

브라운관 Funnel Glass 내면의 흑연피막의 표면전기저항에 관한 연구

김상문 · 김태옥 · 신학기*

부산대학교 공과대학 무기재료공학과

*경남정보대학 공업화학과

(1998년 8월 1일 접수)

Study on the Surface Electric Resistance for Inner Conductive Film in CRT Funnel

Sang-Mun Kim, Tae-Ok Kim and Hag-Ki Shin*

Department of Inorganic Materials Engineering Pusan National University

*Industrial Chemistry Kyongnam Intelligence College

(Received August 1, 1998)

요 약

브라운관 funnel glass 내면의 흑연 피막의 저항에 관하여 연구하기 위하여 흑연이 함유된 도전성 도료를 제조하여 flow coating 방법으로 28" wide TV용 funnel glass 내면에 도포하고 흑연피막의 특성과 브라운관의 동작 특성을 평가하였다. 고형분 농도가 증가함에 따라 도전성 도료의 점도와 흑연피막의 두께는 증가하였으며 흑연피막의 전기저항은 감소하였다. 도포 후 건조조건에 따라서도 도전막의 표면상태, 전기저항 및 브라운관의 초기동작 특성 등이 다르게 나타났다. 도전성 도료의 고형분 농도는 27%, 점도는 13 cps 전후에서 안정한 흑연피막을 제조할 수 있었으며, 이 때 진공특성이 최적의 상태로 나타났다. 그리고 도전성 도료의 상태와 제조조건에 따라서 브라운관의 다른 전기적 특성들도 변할 수 있기 때문에 브라운관 전체의 특성을 동시에 평가할 해야한다고 생각한다. 그리고 funnel glass에서의 부위 별 저항산포 차이를 줄이기 위해서는 도포 시에 도전성 도료를 주입하는 위치, 건조 조건, funnel glass의 예열 온도 등에 대한 조사도 이루어져야 한다고 생각한다.

ABSTRACT

We have studied the surface electric resistance for inner conductive film consisted of graphite and iron oxide by coating the conductive paint on inner face of 28" wide CRT funnel and have evaluated the working properties of 28" wide CRT according to the surface electric resistance. We found that the viscosity of paint and the thickness of conductive film became the higher but the surface electric resistance of conductive film was the lower than before in accordance with the increase of solid contents in conductive paint, and that the surface condition and the surface electric resistance of conductive film changed highly according to the drying conditions also. From these results, we could get the uniform thickness and the uniform film resistance and the optimum working property of electric propertise in CRT when we used the conductive paint with solid contents 28% and viscosity about 13cps.

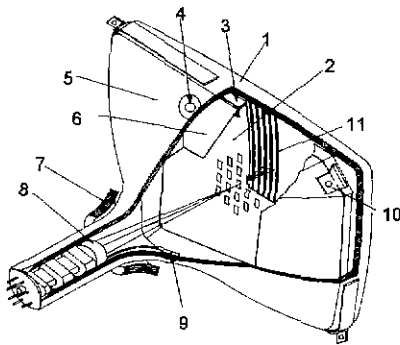
Key words : Inner conductive film, Graphite, Iron oxide, Coating, CRT

I. 서 론

Display소자로서 1890년에 브라운관이 개발된 이래 브라운관은 1970년대의 흑백 브라운관 시대, 1980년대에 칼라브라운관 시대를 거쳐 현재 wide 영상의 wide 브라운관 시대를 맞이하여 미래의 high vision 시대를 열어가고 있으며 영상 display 소자로서 색상, 휘도

및 가격 면에서 다른 display 소자보다 우수한 장점을 가지고 있다.¹⁾

이러한 브라운관은 다음과같이 이루어져있다. 브라운관은 Fig. 1에 표시한 바와 같이 내측면에 형광막이 형성되어있는 panel과 내측면에 전도성을 갖는 도전막이 도포된 funnel이 약 450°C의 로에서 frit glass로 서로 봉합되어져 있으며 funnel의 neck부에는 전자빔을 발생시



1. panel glass 2. shadow mask 3. frame 4. cavity
5. funnel glass 6. inner shield 7. deflection yolk
8. electron gun 9. getter 10. contact spring
11. screen

Fig. 1. The structure of the CRT.

키는 전자총이 장착되어 있고 panel의 내측에는 색선별 전극인 shadow mask가 frame에 의하여 지지되어 있으며 편넬의 외주면에는 전자빔을 좌우로 평행시켜주는 deflection yolk가 장착되어져 있다. 그리고 전자빔의 형광막에 도달되기 전에 지사기의 영향으로 편향되어지는 것을 방지하기 위하여 shadow mask가 결합된 frame 뒷쪽에 지사기 차폐체가 부착되어 있고, 브라운관의 진공도를 유지시켜 주는 getter가 전자총에 부착되어 있으며 브라운관 외부에서 cavity를 통하여 브라운관 내부로 전기가 흘러 브라운관이 동작되어지도록 하기 위하여 funnel내부 전면에는 도전성을 갖는 막이 형성되어 있으며 funnel 내면과 shadow mask 결합체가 전기적으로 통전되어지도록 하기 위하여 contact spring으로 연결되어 있다.

이렇게 구성된 브라운관은 전자총에 영상신호를 입력하면 전자총의 cathod로 부터 열전자가 방출되며 방출된 전자는 전자총의 각 전극에서 인가된 전압에 의하여 panel 쪽으로 가속 및 집속 과정을 거치면서 panel의 형광막이 형성되어있는 방향으로 진행하게 된다. 이 때 전자는 panel의 neck부에 장착된 purity magnet의 자기장에 의하여 전자의 진행 경로가 조정되며 조정된 전자빔은 deflection yolk에 의하여 panel내면에 주사되어지는데 편향된 전자빔은 panel의 내측면 frame에 결합된 shadow mask의 slot을 통과하여 panel 내면의 형광막에 충돌하여 적색, 녹색, 푸른색의 형광체를 발광시켜 영상신호를 재현하게된다.¹²⁾

그리고 funnel 내면에 형성되어 있는 흑연피막은 cavity를 통하여 인가된 전압이 전자총, shadow mask 및 형광막까지 전기적으로 도전이 이루어지도록 하는 역할 이외에 외부에 형성된 흑연피막과 funnel glass를 사이

에 두고 형성되어 있어 전기적으로 콘덴서의 역할을 하여 브라운관의 on, off에 대한 응답을 신속하게 해주며, 외부로부터 인가되는 전압의 ripple을 작게 해주고, 브라운관 내부의 이물질에 의하여 spark가 발생하였을 때 브라운관을 동작시켜 주기위하여 설치된 외부의 PBC기판에서 IC가 파괴 되는 것을 방지해주는 역할도 수행하고 있다.^{3,4)}

종래에는 내부 흑연피막 형성을 위해서 흑연, 접착제(물유리), 분산제로 혼합물을 만들어 사용하다가 근래에는 전기적 저항 증가를 목적으로 금속 산화물을 추가하고 있다.⁵⁾

또, 초기에는 내부 흑연피막도 외부 흑연피막처럼 흑연과 접착제만으로 구성하여 브라운관에 도포하였다. 그러나, 브라운관의 내부의 통전 부위에 이물질이 존재할 경우 동작 중 발생하는 spark로 인하여 높은 과전류가 생겨서 그것이 도전성이 양호한 흑연피막을 통하여 흘러 브라운관 외부의 동작기판에 있는 IC를 파괴시키는 문제점이 발생하는 경우가 있기 때문에 1971년 RCA사에 의하여 종래의 내부 흑연피막에 산화철(Fe_2O_3)을 첨가하여 흑연피막의 표면전기저항을 높인 soft arc 혹은 soft flash 흑연피막이 개발되었다.^{6,9)} 이후 1970년대 중반에 Hitachi사는 RCA사의 특허를 회피하기 위해 산화철(Fe_2O_3) 대신 산화티탄(TiO_2)을 첨가시킨 새로운 형태의 내부흑연피막을 개발하여 RCA사와는 완전히 다른 system의 도전성 흑연피막을 갖는 브라운관을 생산하여 현재에도 사용되고 있다.¹⁰⁻¹³⁾

흑연피막을 형성하는 방법은 도전성 도료를 붓으로 문혀서 도포하는 brush법과 funnel glass 위에서 부어 아래로 흘러 내리게 하여 도포하는 flow coating법과 spray 분무하여 도포하는 spray법이 있다. RCA사에서 개발한 흑연과 산화철이 혼합되어있는 도전성 도료는 주로 spray빔을 이용한 것으로 막 형성이 용이하고 막 두께가 균일할 뿐 아니라 접착력이 좋은 반면에 공정오염이 심하고 line 유지관리가 어려운 점이 있으며, Hitachi사에서 개발한 산화티탄과 흑연이 혼합되어 있는 도전성 도료는 brush법을 이용한 것으로 막 두께가 균일하여 방전전류가 낮지만 설비와 생산작업이 복잡하고 막의 접착력이 약한 점이 단점이 되고 있다.³⁾

한편 flow coating법은 자동화가 쉽고, 막형성이 용이하고 접착력이 우수하여 대화면용 브라운관 생산에 유리하지만 막 두께가 불균일하며 막형성 후 neck부의 세척이 필요하다는 것이 단점이다. 현재 요구되고 있는 funnel glass 내부의 흑연피막 특성으로는 접착력이 우수하여 흑연 박리가 없어야하고, 대량 생산을 위한 자동화가 쉬워야 하며, 도포 작업 및 유지 관리 작업이 간단해야 하며, 전기저항 값이 부위별로 균일하게 형성되어

야 하며, 브라운관의 진공특성을 저하시키지 않는 것이 요구되고 있다.^{10,11)}

따라서 본 연구에서는 이러한 요구특성들을 만족시키기 위하여 flow coating 방법으로 funnel glass 내부에 흑연피막을 만들고 그 특성들을 평가하여 결과를 보고하고자 한다.

II. 실험

흑연피막의 도전성을 조절하기 위하여 입자경 0.1~1.0 μm 인 흑연 분말과 입자경이 1~10 μm 인 산화철을 첨가하고 접착제로서 규산칼륨을 첨가하고 polymethylene bisnaphthalene sodium sulfonate로 되어있는 분산제를 첨가하고 농축된 Sodium salt of condensed naphthalene sulfonic acid를 1% 첨가하여 증류수를 첨가하여 12시간 ball milling하여 피막용 도전성 도료를 만들어 flow coating법으로 도료 200 g을 28 inch형 wide TV용 funnel glass 내면에 공급하여 30초 동안 도포하고 건조하여 내부 도전성 피막을 형성하였다. 여기에 shadow mask와 inner shield가 부착된 frame이 결합되어있는 panel glass를 frit glass로 450°C에서 sealing한 후 전자총을 삽입하여 브라운관을 제조하고 흑연피막의 표면저기저항과 emission warm-up time을 측정하여 브라운관의 진공특성을 평가하였다.

III. 결과 및 고찰

브라운관의 funnel glass 내면에 도포된 흑연피막에 사용된 흑연과 산화철에 대한 입도분포를 MANERN社 Mastersizer/e를 이용하여 측정하고 그 결과를 Fig. 2에 나타내었다. 입도분석 결과 도전성 흑연은 0.1~1.0 μm 이었고 평균입경은 0.27 μm 였으며 산화철은 1.0~10 μm 의 것이 사용되었으며 평균입경은 4.10 μm 였다.

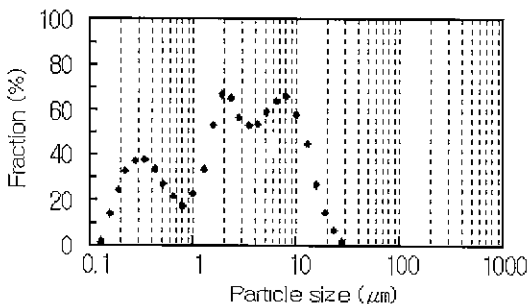


Fig. 2. Particle size distribution for graphits and iron oxides in conductive paint.

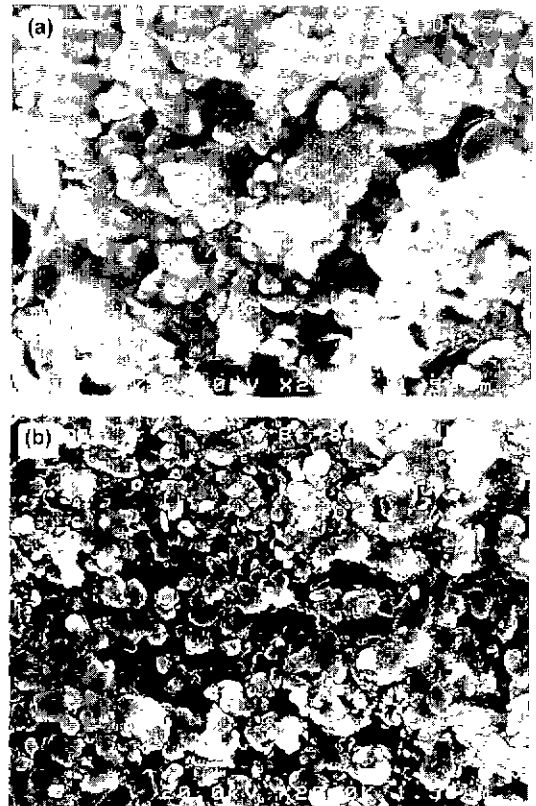


Fig. 3. The scanning electron micrographs of conductive paint

Fig. 3은 funnel glass 내면에 도포되는 도전성 흑연도료를 이용하여 흑연막을 형성시킨 후 80°C에서 건조하고 450°C에서 1시간 열처리한 흑연피막의 표면을 전자현미경으로 관찰한 것으로 건조하였을 경우는 Fig. 3의 (a)와 같이 바인더와 분산제가 흑연과 산화철입자를 표면에 흡착되어 응켜서 덮혀있는 상태로 나타났지만 Fig. 3의 (b)와 같이 450°C에서 열처리하였을 경우는 분산제는 열분해 되어버리고 유리질에 의하여 흑연과 산화철이 응집되어져 막을 형성된 것으로 나타남이 확인되었다.

Fig. 4는 흑연피막에 사용된 도료의 온도 변화에 따른 물성의 변화를 살펴보기 위하여 흑연도료에 대하여 Perkin-Elmer社 DSC(Differential Scanning Calorimeter)인 DSC-7과 TGA(Thermogravimetric Analysis)인 TGA-7을 이용하여 승온속도를 10°C/min으로 하여 300°C까지 air분위기에서 열분석한 것이다. Fig. 4로 부터 열분석 결과를 살펴보면 122.7°C에서 흡열peak가 나타나며 이 때 소모된 열량은 1075 J/g임을 DSC 분석 결과 알 수 있으며 TG 분석 결과와 함께 검토해 보면 50°C 부근

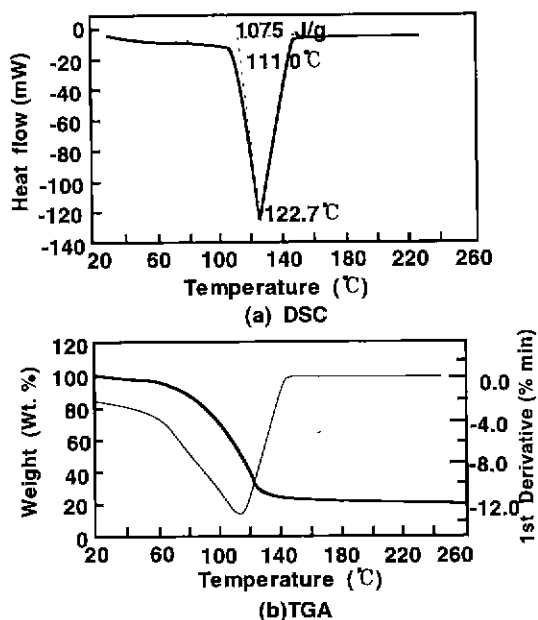


Fig. 4. The results of thermal analysis for inner conductive film on CRT funnel.

에서 부터 흡열 반응과 함께 무게감량을 보이다가 111°C부터 급격한 흡열반응을 보이며 122.7°C 이후 부터는 완만한 무게 감소를 보이고 150°C부터는 거의 일정하게 유지되며 전체 무게 감량은 80% 정도로 나타났다. 이 무게감량은 도전막이 도포 후 건조될 때의 수분의 증발과 도료제조를 위하여 사용된 계면활성제의 열분해에 기인한 것으로 생각되며 흑연막의 건조는 170°C 정도에서 완전히 끝난다고 생각된다.

농도에 따른 점도의 변화를 살펴보기 위하여 東洋計

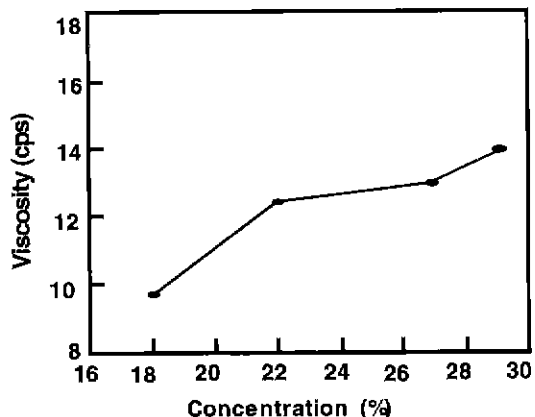


Fig. 5. Viscosity of paint vs. concentration for conductive film on CRT funnel.

器社 B형 점도계와 spindle NO.1을 이용하여 60초동안 점도를 측정하여 그 결과를 Fig. 5에 나타내었다.

Fig. 5로부터 도전성 도료의 농도가 증가함에 따라 점도가 증가하는 것이 확인되었다. 도료에서 도료속에 분산된 산화철과 흑연입자의 침전정도를 살펴보면 흑연과 산화철의 비중이 2.3g/ml과 4.6g/ml로서 차이가 있기 때문에 도료속에서 비중이 큰 산화철의 침전이 잘 일어난다고 볼 수 있다. 따라서 도전성 도료에서의 pigment의 침전에 대한 안정성이 중요시 되고있다. 도료 속에서 입자들의 침전에 대하여는 아래의 stock식을 통하여 살펴보면 농도가 증가 시 도료의 점도가 증가하므로 입자들의 침전속도는 감소된다고 볼 수 있으며 침전에 대한 도료의 안정성을 유지시켜주는 분산제의 선택도 중요하지만 입자들의 침전이 거의 없는 최적의 농도와 점도에서 도전성 도료를 도포하는 것이 중요하다고 생각한다. 실제로 도료를 시험관에 일정량 담아서 입자들의 침전정도를 관찰한 결과 점도의 증가에 따라서 침전이 감소됨을 확인할 수 있었으며, 또, 도전성 도료에서 고형분의 농도가 증가 할 수록, 점도가 상승하고 입자들의 침전이 적게일어나서 funnel glass에 도포된 흑연피막의 표면 균일하고 도전성이 좋은 것으로 나타났다. 침전속도, 점도, 고형분 농도, 도포성을 종합 비교한 결과. 고형분 농도는 27%, 점도는 13 cps 전후하여 가장 좋게 나타났다.

$$v = \frac{2r^2g(\rho_s - \rho)}{9\eta}$$

- v : 입자의 침전 속도
- r : 입자의 반경
- ρ_s : 고체 입자의 밀도
- ρ : 도료의 밀도
- η : 도료의 점도
- g : 중력 가속도

흑연피막에서의 고형분 농도와 건조 조건에 따른 흑연피막의 전기저항을 평가하고 그 결과를 Fig. 6에 나타내었다. 건조조건은 funnel glass에 도전피막을 형성 후

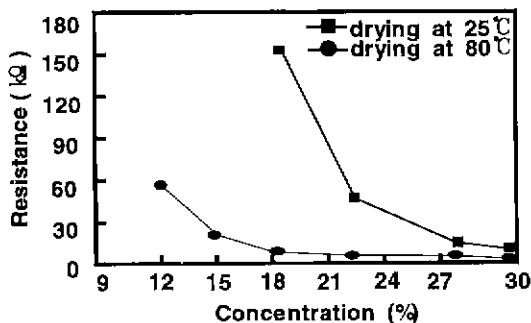


Fig. 6. Surface electric resistance of inner conductive film vs. solid content of pint on CRT funnel.

25°C의 상온에서 완전 건조시키는 방법과 80°C의 열풍을 1.0 l/min로 공급하여 10분간 건조시키는 방법으로 건조 후 450°C에서 1시간 열처리하여 실시하였다.

Fig. 6으로 부터 도전성 도료의 농도가 증가할수록 흑연피막의 전기저항은 감소함을 알 수 있는데 이는 농도가 증가할 수록 도전성 흑연피막 두께가 증가하기 때문이다. 이를 근거로 인위적인 막두께 조절은 어렵지만, 고흡분 농도를 조절하여 막 두께를 어느 정도는 조절이 가능하다고 생각된다. 또, 건조 조건에서는 25°C 상온에서 건조시키는 것 보다 80°C에서 건조 시에 저항이 더 낮게 측정되었다. 이는 도포된 도전성 도료가 상온건조 시에, 도전성 도료의 점도가 낮아서 쉽게 흘러내려 도막의 두께가 얇게 형성되었기 때문으로 추정된다. 고흡분 농도가 증가할 수록 고온에서의 건조와 상온 건조에 따라 전기저항의 차이는 작아 지는데 그 원인은 도전성 도료의 농도가 27%를 전후하여 도포 후 흑연피막의 안정성이 좋아졌기 때문이라고 생각된다. 그러므로 흑연피막의 경우, 고흡분 농도를 27% 전후로 하는 것이 도전막의 안정성에 유리하다고 판단된다.

막 두께 별로 흑연피막의 표면전기저항을 측정하여 그 결과를 Fig. 7에 나타내었다. Fig. 7으로 부터 살펴보면 도전막의 두께가 증가함에 따라 전기저항은 감소되었으며 Fig. 6에서 27% 농도로 도포될 경우 표면전기저항은 9 kΩ 수준으로 나타났는데 Fig. 7로 부터 두께는 약 3 μm였다.

건조조건에 따른 도전막의 표면상태를 전자현미경으로 관찰하여 Fig. 8에 나타내었다. Fig. 8로 부터 상온에서 자연건조할 경우 도전막에 crack이 발생하였으나 80°C 고온에서 건조할 경우 흑연피막의 표면 상태는 양호한 것으로 나타났다. 일반적으로 흑연피막의 crack이 발생되면 브라운관 외부로부터의 충격이나 진동에 의하여 도전막의 박리가 쉬워지고 또 브라운관 내부에서 방전 시 막이 쉽게 파괴되어 브라운관 내부에서 전류가 흐르지 않게되고 화상의 형성이 불가능 해지는 도통불량

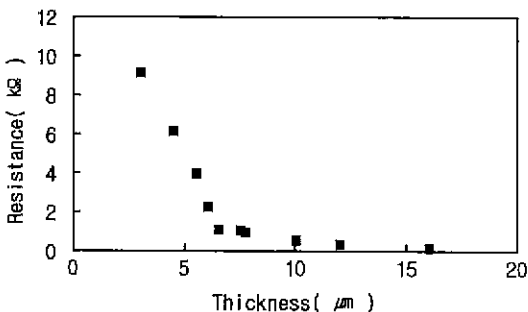
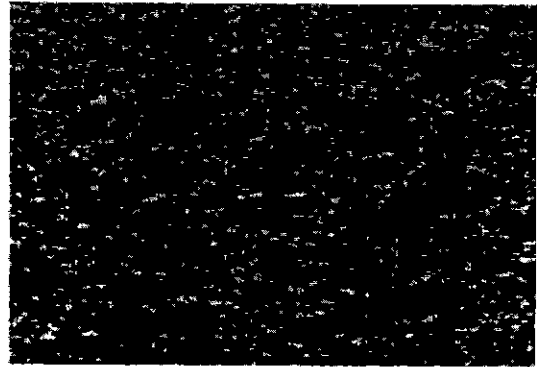
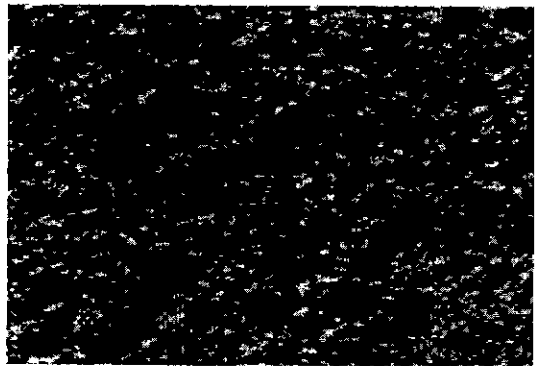


Fig. 7. Surface electric resistance of inner conductive film vs. film thickness on CRT funnel.



(a) drying at 80°C (×3000)



(b) drying at 25°C (×3000)

Fig. 8. The scanning electron micrographs of conductive films after baking according to dry conditions on CRT funnel.

현상이라고 하는 치명적인 품질불량을 유발할 가능성이 높아진다고 알려져 있다.⁶⁻¹⁷⁾

고흡분 농도가 27%인 흑연을 28" wide TV용 funnel glass에 flow coating하였을 때 panel glass와 funnel glass가 sealing되는 지점으로부터 funnel glass의 neck부분 까지의 각 부위별 저항 분포는 측정하여 Fig. 9에 나타내었다. Fig. 9의 결과로 살펴보면, funnel의 seal면쪽에서 neck부로 갈수록 저항이 감소하고 있다. 이는 도전성 도료가 funnel glass에 도포된 후 도전성 피막이 건조되기 전에 seal면으로부터 아래의 neck부로 흘러내리기 때문에 funnel glass의 경사로 인하여 도전막 두께가 neck부로 갈수록 두꺼워지기 때문이다. 그리고 funnel glass의 장변부와 단변부 및 corner부의 표면 전기저항 특성을 비교한 결과 단변부의 전기저항 값이 가장 낮게 측정되었다.

장변부 보다 단변부에서 전기저항이 낮게 나타난 것은 장변부와 단변부에서 seal면으로부터 도전성 도료의

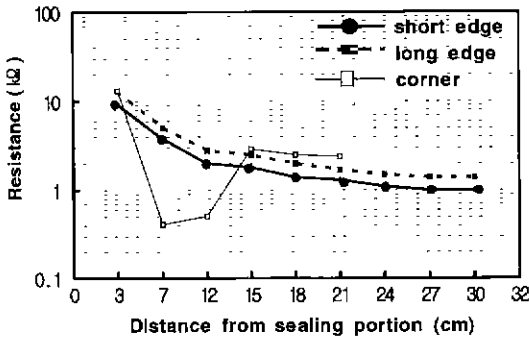


Fig. 9. Surface electric resistance vs. distance from sealing portion on CRT funnel.

홀러 내리는 정도가 달라서 단변부에서 막두께가 더 두껍게 형성되어진 결과라고 생각된다.

Fig. 9의 평가 결과로는 장·단변부의 저항 차이는 있지만 전체적으로는 저항 분포가 비교적 균일하며 안정적이라고 할 수 있다.

Funnel glass 내면의 흑연피막에 도포되는 도전성 도료의 농도를 변경하여 28" wide 브라운관을 제작한 후 브라운관의 emission warm-up time을 green, red, blue 3색에 대하여 평가하고 table 1에 나타내었다. emission warm-up time이란 냉각상태에 있는 브라운관 전자총에서 heater와 각극에 전압을 인가하였을 때 전자총의 cathode로부터 전자들이 방출되어 cathode 전류가 450 μ A에 도달하여 브라운관의 panel face면에 화상이 맺히는데 걸리는 시간을 말하며 이 시간의 의미는 내부가 진공상태인 브라운관에서 브라운관 내부에 CO₂와 같은 gas가 존재할 경우 전자총의 cathode에서의 전자방출 능력이 저하되며 그 결과 화면에 화상이 맺히는데 걸리는 시간이 길어진다. funnel glass 내면에 형성되는 도전성 피막의 두께와 피막형성 시 도전성 도료의 농도 및 첨가되는 유기물 성분 등에 따라서 브라운관 내부에 gas의 존재 및 그 양이 변할 수 있고 또한 화상이 맺히는 시간이 달라질 수 있다. 일반적으로 양품의 경우는 3초 내지 10초 이내에 화상이 맺히고 있다. 따라서 브라운관의 진공특성을 판단할 수 있는 emission warm-up time은 짧을 수록 좋다.

Table 1로부터 도전성 도료의 농도를 27%로 할 경우가 29%로 하였을 때 보다 emission warm-up time이 더 작아져서 동작특성이 우수함을 알 수 있는데 그 이유는 29%의 농도를 갖는 도료를 제조할 경우 도전성은 우수하나 흑연피막의 두께는 더 두껍기 때문에 흑연피막의 비표면적이 증가하게되고 또 도전층으로 부터의 가스의 발생량이 많아져 emission warm-up time이 증가하게 되었기 때문이라고 생각한다.

Table 1. The Results of Evaluation on Emission Warm-up Time of CRT vs. Solid Content of the Conductive Paint

Concentration		27%	29%
Viscosity (cps)		13	30
Resitivity (kΩ)		4	2.13
Emission warm up time (sec)	Red	7.91	11.0
	Green	8.17	11.28
	Blue	8.05	11.44

IV. 결 론

흑연이 함유된 도전성 도료를 제조하여 28" wide TV용 funnel glass 내면에 flow coating 방법으로 도포하고 흑연피막의 특성과 브라운관의 동작특성을 평가한 결과 다음과 같은 결론에 도달하였다.

1. 고휘분의 농도가 증가할 수록 도전성 도료의 점도와 도전막의 두께는 증가하였으며 도전막의 전기 저항은 감소하였다.
2. 브라운관의 품질에 영향을 미치는 도전막의 상태와 표면전기저항은 도전막의 건조조건에 따라서 변하기 때문에 건조는 80°C 이상에서 건조시켜 crack이 없는 막을 형성하는 것이 요구된다.
3. 도전성 도료의 고휘분 농도는 27%, 점도는 13 cps 전후일 때 표면전기 저항의 분포가 균일한 안정된 도전막이 형성되었으며, emission warm-up time이 가장 안정적으로 나타났다.

참고문헌

1. A.M. Morrell, "Color Picture Tube Design Trend." *Proceedings of the SID*, **22**, 3-9 (1981).
2. H. Ilhan Refioglu, "History and Development of the Color Picture Tube," *IEEE Press*, 335-343 (1983).
3. Deyama Sado, "브라운관 및 브라운관의 내장도료" 한국공고특허 공보 KR90-6174.
4. C.W. Thierfelder, "Low arc Picture Tube Development Using Statically Designed Experiments," *RCA Engineer*, **25(24)**, 27-33 (1978)
5. Hirasahya, E., Kanci, K. and Amayota, B., "Color Brown Tube," Patent (Japan) JPB62-52422.
6. James Johnn Maley and Donald Walter Barch, "Cathode Ray Tube Having Conductive Internal Coating Compressed of Iron Oxide and Graphite," *USPAT* 3.791,546 (1974).
7. J. Gerritsen, "Soft Frash Picture Tube," *IEEE Trans. On Consumer Electronics*, **24(4)**, 560-565 (1978).
8. Samul Broughton and Donad walter, "Cathode Ray

- Tube Having Conductive Internal Coating Exhibiting Reduced Gas Absorption," USPAT 4,041,347 (1977).
9. Johannes M.A.A, Reinhart C.W., Eisses, "Picture Display Tube Having an Internal Resistive Layer," USPAT 4,251,749 (1981).
 10. Iue, H., Oya, I., Aoyama, S. and Mayato, T., "Preparation Method of Cathode Ray Tube," Patent (Japan) JPB63-18832.
 11. Kasiyahara, K., "Preparation Method of Conductive Film in CRT," Patent (Japan) JPB62-4730.
 12. Hirasahya, E., "Cathode Ray Tube," Patent (Japan) JPB 64-5741
 13. Akiyama, M., Hirasahya, E. and Kitahara, O , "Color Brown Tube," Patent (Japan) JPB04-43374.