

## 폐CRT 건식 세정메커니즘에 관한 연구

송준엽\*, 강재훈\*, 이승우\*(한국기계연구원), 이화조\*\*(영남대)

### A Study on Dry Cleaning Mechanism for End-of-Life CRT

Song, Jun Yeob\*, Kang, Jae Hun\*, Lee, Seong Woo\*, and Yi, Hwa Cho\*\*

#### ABSTRACT

In this study, we suggest a environmentally-conscious and dry cleaning process mechanism for the recycling of end-of-life CRT, and also develop a prototype cleaning system to verify the faulty of the designed mechanism. This system accommodates the specifications of 14~32" end-of-life CRT. In experimental result, it is expected that the developed system improve the productivity up to 10% and decrease the loss rate of cleaning glass 3~4 times rather than the existing methods.

**Key Words** : End-of-life CRT(폐브라운관), Dry Cleaning(건식세정), Environmentally-conscious(환경친화), Abrasive-jet(연마분사), Panel(전면), Funnel(후면)

#### 1. 서론

인류를 문명화시키는데 공헌한 대표적인 산물 중의 하나가 TV라고 할 수 있는데, 그 보급정도(칼라 TV기준)는 국내현황만 파악하여도 1987년 이후 3,000만대를 상회하고, 매년 5%이상의 확산보급이 예측되고 있다. 그러나 최근의 소비형태가 다양화되고, 대형화되면서 제품수명(Life Cycle)이 짧아져 해마다 상당량의 TV가 폐기되고 있는 실정이다. 한국자원재생공사 보고에 의하면 국내 폐TV의 배출잠재량은 2000년 기준으로 300만대에 육박하는 것으로 보고있다<sup>1)</sup>.

따라서 이러한 폐자원을 처리하면서, 재자원화하는 것이 핫 이슈로서 대두되고 있다. TV의 구성요소를 살펴보면 몸체, 브라운관, 회로기판으로 나눌 수 있고, 재료 구성면에서 보면 금속류(철, 알루미늄, 구리), 플라스틱류 및 유리성분으로 최근까지 회수나 재활용이 잘 되지 않는 것이 CRT와 PCB인 것으로 보고되고 있다<sup>2)</sup>.

유리는 TV를 구성하는 상기 재질 중에서 50~60% 이상을 차지하고 있어 재자원화할 주요 대상이지만 CRT의 부분별 재질별 분리와 각 중 유해(형광)물질의 처리, 즉 세정기술 등이 환경친화적으로

지원되지 못하고, 생산처리 측면에서 경제성이 적절히 고려되지 못하여 폐CRT의 재자원화를 지연시키는 원인을 제공하고 있는 것이다.

따라서 본 연구에서는 기존 수작업에 의해 부분별로 분리한 후 파쇄 및 재질별 분류하여 저가품으로 재활용하던 폐CRT처리공정에 대하여 환경친화적 개념을 도입한 건식 세정메커니즘의 설계 및 수율 극대화를 모색한 시스템 자동화하는 연구를 시도하였다.

#### 2. 폐CRT의 세정기술 현황분석

일반적으로 유리의 세정방식은 습식과 건식세정방식이 검토, 활용되고 있다. 대표적인 습식 세정방식으로는 1) Panel/Funnel별로 분리, 파쇄 후 초음파 세정하는 방법, 2) 각각의 유리를 물로 세정, 파쇄하여 카레트화하는 방법, 3) NaOH 혹은 불산을 희석한 세정액을 사용하는 방법 등이 도입되고 있다. 그러나 습식 세정방식은 작업자에 유해한 산액을 사용하는 등 그다지 환경친화적인 공정이 아니며, 처리제품의 품질을 보증하기 위해 세정공정을 여러 번 거치는 등 자체적으로 완전한 처리에 문제가 있는 것으로 보고되고 있다. 건식세정방식으로 독일 VICOR

사에서 사용하고 있는 Mechanical Dry Method, 기계적인 진공청소기를 이용한 형광물질 제거방법이 일부 활용되고 있다. 그러나 이 방법들은 Panel 유리에 도포되어 있는 형광체 제거는 가능하지만 흑연이 붙어 있는 Funnel 세정에는 활용이 불가능하여 흑백TV의 브라운관 세정에만 국한적으로 사용하고 있다.

따라서 타 분야에서 건식세정방식으로 활용되고 있는 방법, 1) 녹이나 스케일의 제거용으로 활용되고 있는 Abrasive-jet Machining 방법, 2) Silica를 이용한 도금층의 최종 다듬질공정용 혹은 미소한 버어 제거용으로 활용되고 있는 Sand Blasting 방법 및 3) Hard Glass Media를 사용한 Glass Blasting 방법의 활용가능성을 우선 검토하여 보았다<sup>3)</sup>.

그 결과 본 연구에서는 사용 연마제의 재사용성, 불순물과 유리성분의 분리성, 세정유리의 Loss율 최소화 등의 요구조건을 수용할 수 있는 최적 방법으로 Abrasive-jet 세정메커니즘을 도입토록 하였다.

### 3. 환경친화적 건식 세정시스템 개발

#### 3.1 Abrasive-jet 세정공정 설계

본 연구에서 검토한 Abrasive-jet 세정메커니즘을 공정화시킨 구성도가 Fig. 1이며, 제시된 세부공정은 이후에 기술할 세정시스템의 주요 유니트로서 구성되게 된다.

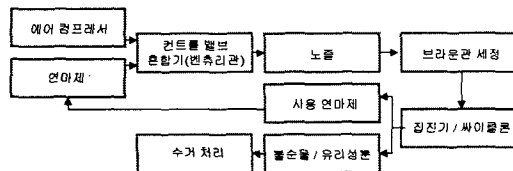


Fig. 1 Dry cleaning process of abrasive-jet method

특히 2장에서 고려된 선정조건 중의 하나인 세정 유리 Loss율, 즉 세정제거 공정률(Q)를 검토하면 다음의 식(1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$Q = \chi Z d^3 v^{\frac{3}{2}} \left( \frac{\rho}{12H_\mu} \right)^{\frac{3}{4}} \quad (1)$$

- 여기에서, Z = 단위시간당 작용하는 연마제의 입도
- d = 연마제의 평균직경
- v = 연마제의 분사속도
- ρ = 연마제의 밀도
- H<sub>μ</sub> = 가공물의 경도
- χ = 상수

#### 3.2 세정용 연마제의 선정연구

건식세정용 연마제로서 적용할 수 있는 대상재질들을 살펴보면 일반적으로 샌드 블라스팅 공정에 적용되는 실리카 계열의 샌드가 있지만 장기적이고, 지속적인 측면에서 재활용성이 불리하고, 상대적으로 미세하게 요구되는 크기의 제어가 곤란하며, 유사한 기계적인 물성치를 갖고 있어 페브라운관의 세정제로서는 부적합하다고 할 수 있다. 알루미늄 가넷 파우더는 재활용성이나 물성치가 우수하며, 비교적 균일한 크기의 제어가 가능하나 산화 알루미늄 성분이 추가되고 실리카가 주성분이 아니므로 혼합 성분 외의 기타 성분을 엄격히 제한하는 고부가가치의 CRT 재활용에 있어서 혼입되는 것이 불가능하다.

따라서 본 연구에서는 Table 1과 같이 석영성분을 주로 하여 효율적으로 재활용할 수 있는 페브라운관의 소재와 유사하고, 비중선별이 용이한 고순도 글라스 미디어를 세정제로 채택하여 재활용성과 선별성을 극대화시킬 수 있도록 하였다.

Table 1. Comparison of material property

| 물성치                      | 실리카계 글라스 | 글라스 미디어 |
|--------------------------|----------|---------|
| 밀도(lbs/ft <sup>3</sup> ) | 120      | 183     |
| 비중                       | 2.8      | 5.4     |
| 경도(Moh)                  | 3.5      | 7.5     |

#### 3.3 브라운관의 사양조사 및 분석

본 연구에서 대상으로 하고 있는 브라운관의 규격은 오실로스코프 혹은 각종 계측장비에 붙어 있는 소형 CRT를 포함하여 4인치에서 32인치까지 다양하다. 브라운관을 구성하는 전면부를 Panel이라 하고 후면부를 Funnel 이라고 호칭하는데 기준은 가로/세로의 크기와 각각의 높이로 구성된다. 현재 브라운관의 경우 거의 국내생산이 가능하며 제조사에서 생산하고 있는 브라운관이 앞으로의 폐기 수요이기 때문에 Flexible한 세정장치의 제작을 위하여 국내 제작사를 중심으로 브라운관의 규격을 조사하였다<sup>4)</sup>. 본 연구에서 조사된 대표적인 브라운관 Panel부의 인치별 주요사양이 Table 2이다.

브라운관의 크기는 대각선의 길이로 표시하는데 이는 가로/세로의 크기에 의해서 결정된다. 브라운관이 대형화되고 제작 및 가공기술이 발달됨에 따라 새로운 평면화 기술 및 유리 강도기술이 적용되어 크기에 따라 높이가 증가하는 완전한 선형은 아니지만 대체로 가로/세로의 크기가 증가하면 Panel의 높이가 증가함을 알 수 있다. 이 분석자료는 세정장치를 설계할 때 Panel부의 높이에 따라 노즐의 Z축 높이를 결정하는데 반영하였다.

Table 2. Specifications of CRT Panel

(단위 : mm)

|            | 15"    | 17"    | 20"    | 21"    | 25"    | 29"    |       |
|------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|
| 가로(H)      | 322.84 | 364.76 | 432.00 | 448.28 | 516.00 | 595.74 |       |
| 세로(V)      | 253.90 | 285.36 | 326.24 | 348.66 | 400.68 | 463.34 |       |
| 높이(h)      | 65.00  | 70.10  | 94.90  | 90.00  | 93.00  | 111.00 |       |
| 비고<br>(두께) | 밀면(a)  | 10.50  | 11.30  | 12.20  | 12.00  | 12.50  | 13.50 |
|            | 옆면(b)  | 8.50   | 9.00   | 9.20   | 9.20   | 9.60   | 11.40 |

특히 브라운관 Funnel의 규격 중 높이(h)는 Fig. 2에서 보이는 바와 같이 절단장치에서 전자총을 제거하는 높이인 Neck Seal Line을 기준으로 삼았다. Panel부와 Funnel부는 접합물질에 의하여 접착되는데 Funnel의 인치별 주요사양이 Table 3이다. 이상의 분석된 결과를 보면 브라운관의 인치가 증가할수록 가로/세로와 높이가 증가하나, 평면 브라운관 등의 새로운 기법 때문에 Funnel 부의 높이가 21인치와 25인치 사이에서는 줄어드는 경향을 보이고 있으며, 다른 제조사에 따라라도 근소한 차이를 보이고 있다.

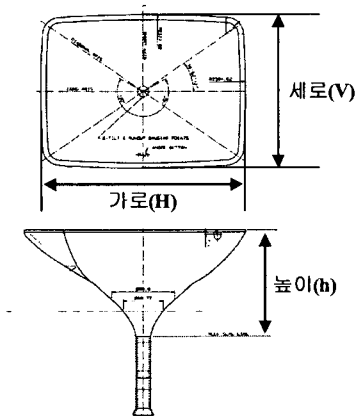


Fig. 2 Standard of CRT Funnel

Table 3. Specifications of CRT Funnel

(단위 : mm)

|       | 15"    | 17"    | 18"    | 20"    | 21"    | 25"    | 29"    |
|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 가로(H) | 324.30 | 366.62 | 400.14 | 432.76 | 449.64 | 516.00 | 595.10 |
| 세로(V) | 255.24 | 287.50 | 306.16 | 327.06 | 349.94 | 400.80 | 462.74 |
| 높이(h) | 194.80 | 203.40 | 216.00 | 237.60 | 244.70 | 199.50 | 212.61 |

### 3.4 Prototype 건식 세정장치 설계 및 제작

이상 본 연구에서 구상한 건식 세정메커니즘과 대상으로 하고 있는 폐 CRT의 사양(크기) 및 형상 등을 고려하여 일차적으로 메커니즘의 수용성과 영향인자, 즉 연마제 입도 및 공급량, 노즐위치 및 수량, 연마제 분사거리 등의 영향조건을 최적화할 수 있는 Prototype 실험장치를 설계·제작하였다<sup>5)</sup>. 개발한 시스템이 Fig. 3으로서 다음과 같이 크게 5 개의 서브기능부로 구성되어 있다.

- 1) 세정 노즐부
- 2) CRT 세정이송 및 고정부
- 3) CRT 이송용 Wire Conveyor
- 4) 집진 및 싸이클론 장치부
- 5) Control Panel

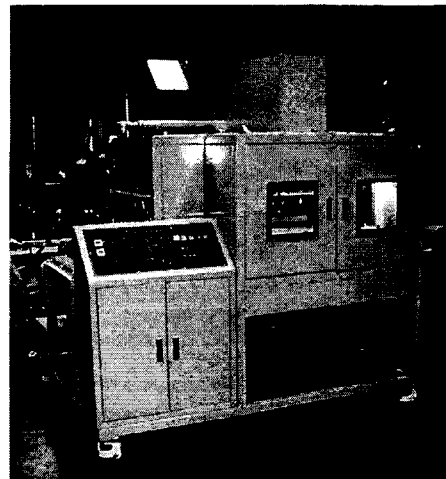


Fig. 3 Developed dry cleaning system

고안된 주요 기능부의 구조를 살펴보면 세정 노즐부는 크게 노즐파트와 세정을 위해 투입되는 CRT의 형상(크기, 높이 등)에 따라 노즐파트를 상하 이동시키는 Up/Down파트로 구성되어 있다. 노즐유니트는 연마제 공급호스와 고압에어(Air)호스가 연결되어 에어량에 의해 연마제 분사량(소모량)을 결정할 수 있도록 설계하고, Fig. 4처럼 상·하·좌·우 조정이 가능한 구조를 채택하였다.

CRT 세정이송 및 고정부는 Wire Conveyor에 투입된 CRT의 세정작업을 위해 작업영역에 들어서면 이동시 좌우로 벗어나는 것을 방지하고, 고압에 의한 세정작업 중의 움직임이나 방향의 변경 등을 발생하지 않게 CRT를 고정시키면서 작업방향으로 전진시켜주는 역할을 한다. 특히 이 부분은 이송 마찰력을 높이기 위해 고무재질로 표면이 코팅된 롤러를 사용하고, CRT의 크기(적용범위 : 14"~32")에 따라

유연하게 자동 조절할 수 있도록 메커니즘을 구성하였다. 이 부분의 적용사진이 Fig. 5이다.

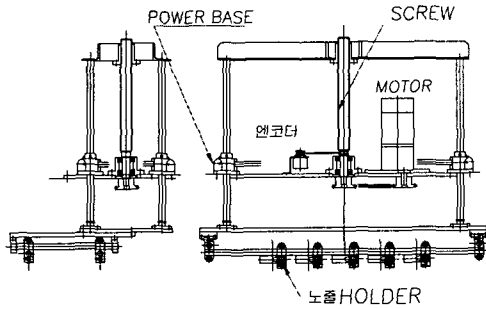


Fig. 4 Structure of cleaning nozzle part

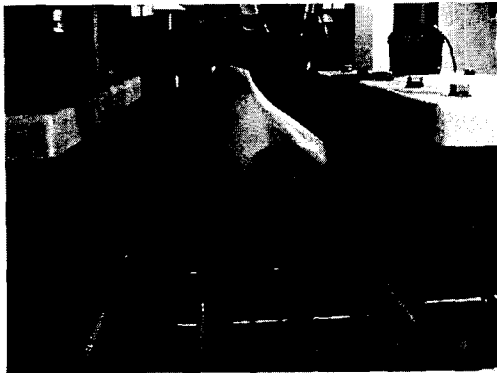


Fig. 5 Application of CRT feeding & fixturing mechanism

#### 4. 특성실험 및 고찰

본 절에서는 Fig. 6에 도식한 것처럼 Abrasive-jet 세정공정의 최적조건을 정립시키기 위해 아래와 같은 세정조건들을 설정하여 특성실험한 결과를 기술한다.

- 1) 단위노즐의 공압력
- 2) 세정면과 노즐선단의 거리
- 3) 노즐간격에 따른 세정범위

##### 4.1 단위노즐의 공압력

브라운관의 이송 속도를 3m/min로 공급하며 브라운관 표면으로부터 노즐 선단까지의 수직 거리는 300mm로 설정한 후, 공압의 변화에 따라 세정되는 폭을 파악하기 위한 실험을 수행하였다.

Table 4에 나타난 바와 같이 공압부가 사용환경 분위기를 4.0, 5.5, 7.0 kgf/cm<sup>2</sup>로 변화시키며 실험

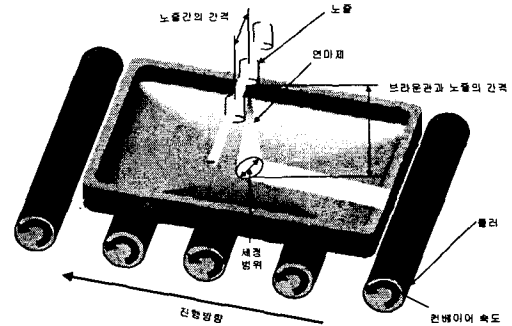


Fig. 6 Optimum parameter of dry cleaning mechanism

한 결과 공압이 높을수록 세정되어지는 폭이 넓어지고 세정정도가 양호해 지는 것을 확인할 수 있었다. 즉, 7.0 kgf/cm<sup>2</sup>의 공압을 추가하는 경우에 있어서 세정폭의 변화가 두드러지게 나타나지 않으므로 임계 공압으로 추정할 수 있었다.

추후에는 세정공정에 의하여 부수적으로 제거되는 브라운관의 표면층의 두께를 측정하여 비교함으로써 손실률을 극소화한 최적 공압조건을 설정하기 위한 후속 연계실험을 실시할 예정이다.

Table 4. Comparison of cleaning scope according to various pressure

(단위 : kgf/cm<sup>2</sup>)

| 압력   | 4    | 5.5  | 7    | 8.5  |
|------|------|------|------|------|
| 세정범위 | 33mm | 35mm | 36mm | 측정불가 |

##### 4.2 세정면과 노즐선단의 거리

브라운관의 이송속도를 3m/min로 공급하며, 7.0 kgf/cm<sup>2</sup>의 공압을 추가하는 경우에 있어서 브라운관 표면으로부터 노즐 선단까지의 수직 거리를 230~383mm로 변화시키며 세정되는 폭을 파악하기 위한 실험을 수행하였다.

Fig. 7에 나타난 결과와 같이 브라운관 표면으로부터 노즐 선단까지의 수직 거리가 길수록 세정되는 폭이 넓어지나 360mm 이상이 되면 오히려 세정되는 폭이 좁아진다는 것을 확인할 수 있었다.

이러한 결과는 브라운관 표면으로부터 노즐 선단까지의 수직 거리가 임계값 이상이 될 경우 공압이 확산 소실되어 연마제의 적정한 분사 각도를 형성하지 못하게 되므로 가속 충돌작용이 둔화되기 때문이라고 추정된다. 따라서 공압과 브라운관 표면으로부터 노즐선단까지의 수직 거리는 상응된 관계를 지니고 있다는 것을 확인할 수 있었다.

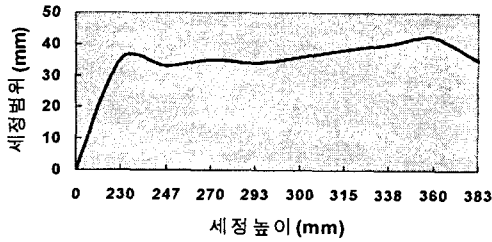


Fig. 7 Cleaning scope according to various distance between cleaning surface and nose of nozzle

### 4.3 노즐개수 및 노즐간의 간격

본 실험은 브라운관 이송속도를 3m/min, 공압 부가압을 7.0 kgf/cm<sup>2</sup>, 브라운관 표면으로부터 노즐 선단까지의 수직 거리를 360mm로 각각 설정하고, 두 개의 노즐을 대상으로 노즐간의 거리를 30~50mm로 다양하게 변화시키며 불완전한 세정부위가 연마제의 간섭 분사작용으로 인하여 효율적으로 제거될 수 있는 조건을 설정하고자 하였다.

그 결과 노즐간의 간격이 50mm 정도로 과대되면 세정범위는 확대(108mm)되나 양 노즐을 통하여 분사되는 연마제의 간섭작용에 따른 각 세정 폭 사이에 불완전한 세정부위가 발생하는 것을 볼 수 있었다. 그러나 40mm 이하에서는 연마제의 간섭 분사작용이 적절하게 이뤄져 불완전한 세정부위 없이 효율적으로 세정(세정범위 : 96mm)이 이뤄지는 것을 확인(Fig. 8 참조)할 수 있었다.

한편 본 실험결과를 살펴보면 노즐 1개를 사용하여 세정되는 면적은 평균 38mm 정도였으나 노즐 2개를 40mm간격으로 배치시켜 세정하였을 경우에는 96mm 정도로 2.5배 정도가 확대되었다. 이러한 결과는 단위노즐 사용시 불완전한 세정범위에 포함되던 부분이 복수노즐의 사용에 따른 중첩효과로 세정면적이 크게 늘어나는 것으로 확인되었다. 따라서 29인치 브라운관(595.1\*462.74mm)의 경우 가로방향으로는 6개, 세로방향으로는 5개 정도면 브라운관 전면적을 수용한 세정이 가능할 것으로 사료된다.

### 4. 결론

본 연구에서는 페브라운관의 세정방법이 환경친화적으로 적용할 수 있는 Abrasive-jet 건식 세정메커니즘을 구상하고, 14~32인치 페CRT의 규격을 수용하면서 고안한 메커니즘의 수용여부를 검증하기 위해 Prototype 건식 세정장치를 개발하였다. 개발한 시스템을 활용한 특성실험을 실시한 결과 기존 수작업

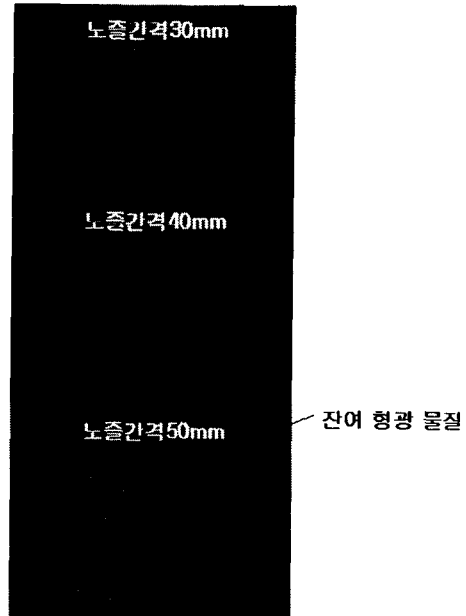


Fig. 8 Cleaning scope according to various intervals of nozzle

에 비해 생산성이 10% 이상 증가하며, 특히 세정유리 Loss률에서는 기존 습식방법에 비해 3~4배 정도의 감소효과를 기대할 수 있을 것으로 사료된다.

한편 향후에서는 부가적인 세정 최적화 조건, 세정노즐의 각도, 브라운관의 이송속도와 일차적으로 실시한 세정조건간의 상관관계 세정실험을 추가적으로 실시하여 세정시스템을 최적화시키는 연구와 개발한 시스템을 실용화 장비로서 발전시키는 연구를 진행, 발전시킬 계획이다.

### 참고문헌

1. 한국폐기물학회, "폐컴퓨터(TV포함)의 효율적 회수 및 처리방안 연구", 한국재생공사, 1998. 7.
2. 石田岩雄, "使用済みTVガラスのリサイクル技術", セラミックス, Vol. 34-2, 1999.
3. Jun Wang, "Abrasive Technology Current Development and Application", Proceedings of the 3rd Int. Conf. on Abrasive Technology, pp22-24, 1999. 11.
4. 이화준, 송준엽, "페브라운관 분리 및 세정시스템 개발", 청정사업보고서, 2002. 5.
5. 송준엽, 강재훈 외, "페브라운관 건식 세정방법 및 장치", 특허출원 10-2001-0034514, 2001. 6.