



# 전자빔의 기본특성과 칼라 CRT의 전자총기술

김 원 현 책임연구원(LG. Philips Displays, Device 연구소)

## I. 머리말

CRT의 해상도는 전자빔의 spot경으로 제약되며, 고해상도를 위해서는 screen의 전면에서 선명하고 작은 고밀도의 spot가 필요하게 된다.

따라서, 전자총은 CRT 전체에서 특히 해상도 결정에 중요한 위치를 차지하고 있다.

전자총이라는 개념은, 19세기말 K. F. Braun이 관측용 브라운관을 발명한 시기(1897)에는 존재하지 않았다. 당시는 고진공을 얻는 것이 곤란하고, 음극과 양극간에 고전압을 인가하면 저압 gas방전이 생겼다. 상기의 브라운관 중에서 고속전자를 양극에 설치한 전극으로 끌어내어 이용하였다<sup>[1]</sup>.

1904년 A. R. Wehnelt는 산화물 음극을 발명하여, 음극 가까이에 부전위의 전극을 쓰는 것에 따라 빔전류가 제어될 수 있다는 것을 보였다. (오늘의 G<sub>1</sub>에 해당). 1920년대에 들어 서면서 산화음극을 사용한 관측관이 개발되었다. 이것은 관내에 소량의 Argon을 봉입했기 때문에 전리에 의해서 생긴 양ion이 전자의 공간전하 반발력을 약화시킴으로써 전자빔을 얻을 수 있었다.

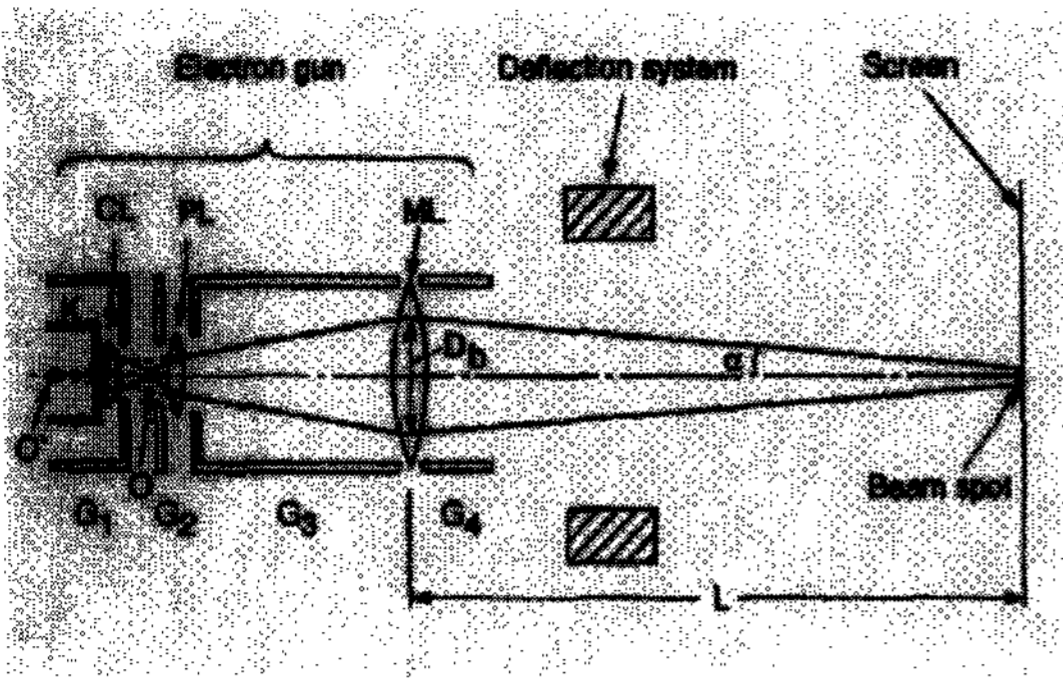
그러나 질량이 큰 이온은 고속이므로 편향을 제어하지 못했다.

1920년대의 후반, 축대칭의 자계와 전계가 전자에 대하여 렌즈작용을 하는 것이 발견되고 당시 가능하게 된 고진공속에서 전자빔을 집속할 수 있게 되었다. 1929년에는 획기적인 전자총이

V. K. Zworykin에 의해서 개발되었다<sup>[2]</sup>. 이것은 산화음극, 제어전극, 수백 V의 제1양극과 약 5kV의 제2양극(neck)내벽의 도전막에 인가되도록 구성되어, 두 양극간에 형성되어 이루어지는 전자렌즈가 전자빔을 집속하여 형광면상에 고밀도의 빔spot이 얻어졌다. 이것이 오늘의 CRT 전자총의 시초라고 생각되며 그 후의 전자광학의 진보와 여러가지의 설계개선의 결과로 흑백 CRT에 대하여 충분한 focus 성능이 얻어지게 되었다.

1950년대에 개발된 칼라 CRT는 shadow-mask를 통과하는 빔의 투과율이 20%보다 낮아 3분의 전자총을 사용하지만 각 전자총의 빔전류는 흑백 CRT에 비교하여 컷다. 더우기 빔 1개 당의 전자렌즈의 구경이 제약되고, self-convergence DY의 비균일 자계분포는 spot 형상을 현저히 왜곡 시키게 된다<sup>[3]</sup>. 1970년대의 후반에 들어서 HDTV와 computer monitor 등이 등장하면서 칼라 CRT의 고해상도화가 중요한 과제로 되어 고성능전자총의 연구개발이 여러가지 각도에서 행해져왔다.

그 결과, 칼라 CRT의 focus 성능은 현저히 개선되어 오늘날 볼 수 있는 것 같은 고휘도, 고해상도의 color display가 여러가지의 용도에 쓰이게 되었다. 여기에서는 우선 CRT에서의 전자빔의 기본적 특성을 논하며 이어서 칼라 CRT 전자총의 주렌즈방식과 광각화와 고휘도 고품위의 성능개선에 필요한 금후의 기술동향에 관해서 논한다.



<그림 1>

## II. CRT 전자총의 기본구조 및 동작원리

CRT 전자총의 기본 구조를 <그림 1>에 나타냈다.

Cathode K와 G<sub>1</sub>, G<sub>2</sub>, G<sub>3</sub> 및 G<sub>4</sub>로 구성된다. Cathode는 병렬형으로 표면은 flat하며, emitter에는 주물질로 산화물(BaO, SrO, CaO)가 쓰인다. G<sub>1</sub>은 cup상(또는 판상), G<sub>2</sub>은 판상, G<sub>3</sub>과 G<sub>4</sub>는 원통상으로 어느 것이나 원형의 개구를 갖는다. G<sub>3</sub>는 focus전극 G<sub>4</sub>는 anode 또는 고압전극이라 부른다.

인가전위는 V<sub>c</sub>, V<sub>g1</sub>, V<sub>g2</sub>, V<sub>g3</sub> 및 V<sub>g4</sub>를 의미한다. V<sub>g3</sub>는 focus전압(V<sub>foc</sub>), V<sub>g4</sub>는 anode 전압(V<sub>a</sub>) 또는 고압(Extra High Tension, EHT)라고도 부른다. 칼라수상관(CPT)의 경우 인가전압의 일례는 V<sub>c</sub>=100 V, V<sub>g1</sub>=0 V, V<sub>g2</sub>=500 V, V<sub>g3</sub>=8.4 kV, E<sub>b</sub>=30 kV이며, V<sub>c</sub>에 비디오신호가 인가된다.

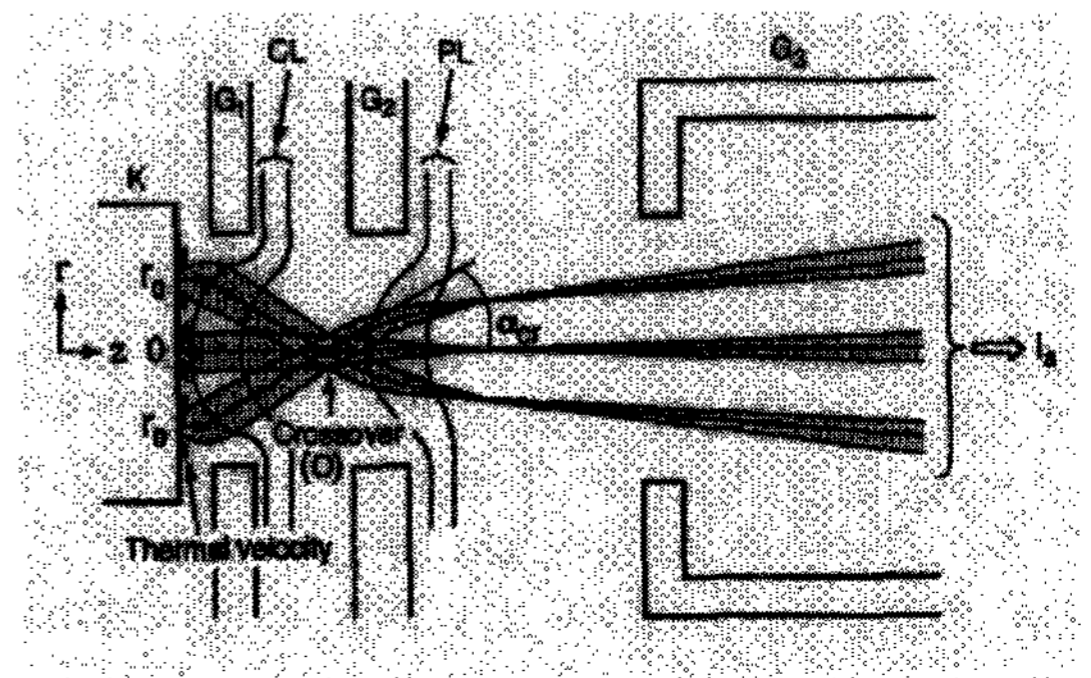
빔전류 I<sub>a</sub>는 평균치가 0.5mA, Peak치가 4mA 정도 된다. 전자총의 후면에는 편향장치가 설치되며 전자빔을 편향시킨다. CPT와 color display tube(CDT)에서는 편향요크에 의한 전자편향, 오실로관에서는 관내의 편향전류에 의한 정전평향이 행하여진다. 또한 칼라 CRT에서는 screen의 앞에 shadow-mask가 있지만 그림에는 생략되어 있다.

Cathode를 출발한 전자는 cathode렌즈 CL에 빔경이 최소화되는 crossover O 생긴다. 발산하는 빔은 G<sub>2</sub>-G<sub>3</sub> 간의 pre-focus렌즈 PL에

서 예비수렴되어, G<sub>3</sub>-G<sub>4</sub> 간의 주렌즈 ML에 입사한다. ML은 이 빔을 focusing하여 빔을 screen상에 집속시키어 빔 spot을 만든다. 빔 spot은, 물점에 상당하는 crossover와 pre-focus렌즈 PL과 주렌즈 ML에 의한 상에 해당한다. 다르게 표현을 하면 crossover O의 후방에 pre-focus렌즈 PL에 의한 허상 cross over O'가 생기며, 이것이 주렌즈 ML에 의해서 screen상에 결상된다. 주 렌즈 ML에서의 빔경을 D<sub>b</sub>, screen에의 빔의 입사각(반각)을 α, 주렌즈로부터 screen까지의 거리를 L로 나타낸다. Cathode, G<sub>1</sub>, G<sub>2</sub>는 삼극부(triode section)라고 부른다. 이것에 pre-focus렌즈 PL을 더한 영역을 빔형성부(beam forming region)라고 부른다.

이와 같이 전자총은 기능적으로는 빔형성부와 주렌즈부(집속렌즈라고 부른다)로 대별된다.

<그림 2>는 빔형성부의 확대도이다. Cathode 직전의 등전위선은 cathode렌즈 CL에 해당되며, G<sub>2</sub> 전위가 G<sub>1</sub> 공경에 침투하여 생긴다. G<sub>2</sub> 공경 출구의 등전위선은 pre-focus렌즈 PL에 해당하며, G<sub>3</sub> 전위가 G<sub>2</sub> 공경에 침투하여 생긴다. Cathode상의 세점, 즉, 중심 O과 동작면 주변부(중심에서 r<sub>0</sub>위치)에서 출발하는 전자를 주목하면, 열 cathode에서 방사되는 전자는 Maxwell분포에 따라 열초속도를 갖기 때문에, 임의의 한점 전자는 그 전방의 모든 방향으로 방사된다. 그것들은 cathode렌즈 CL에서 집속되어 미세한 빔다발(beamlet)이 된다. 초속도분포의 확



<그림 2>

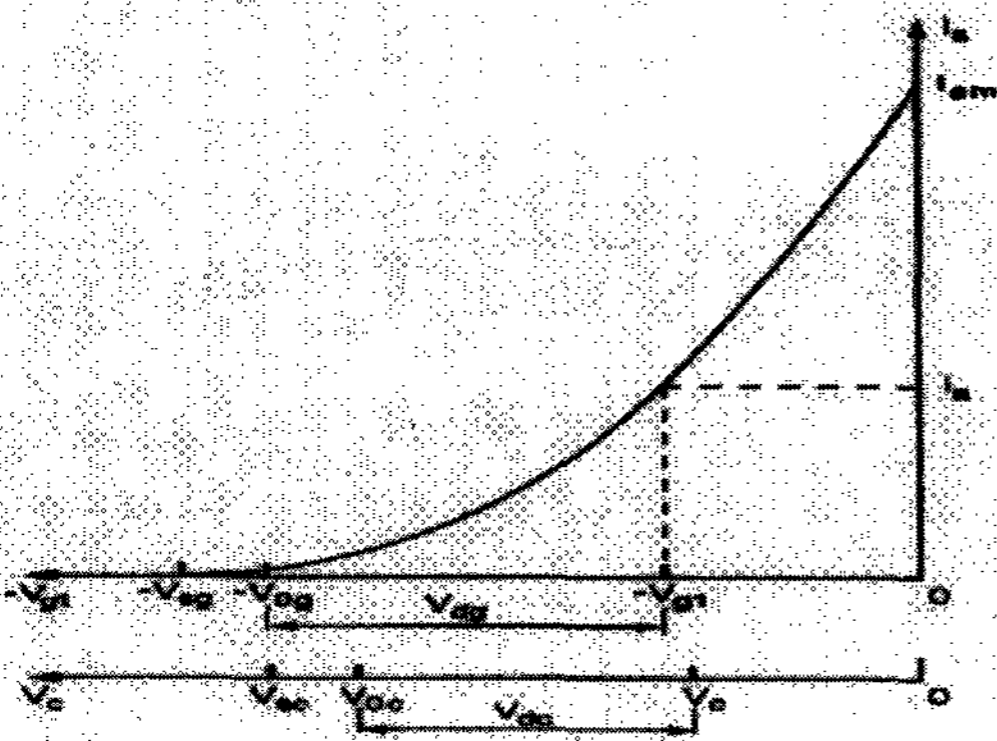
대는 cathode 온도가 높을수록 커지기 때문에 beam도 굵게 된다. 주변부  $r_0$ 에서는 같은 beam이 cathode렌즈의 축방향에 모이고, 축상에서 서로 교차하여 crossover O를 생기게 한다. 이와 같이 crossover는 cathode의 상이 아니고, cathode렌즈의 출사동(exit pupil)에 해당하는 것으로 그 크기는 cathode온도가 높을수록 커진다. Crossover에서의 빔의 발산각(반각)  $\alpha_{cr}$ 은 pre-focus렌즈 PL의 작용영역으로 수렴된다. 이러한 예비수렴을 받은 beam은 전부  $G_3$ 에 들어가,  $G_3-G_4$  간의 주 렌즈 ML에 입사한다. 통상 CPT나 CDT에서는 어떤 전극도 빔을 차단하지 않기 때문이고 실질적으로 전cathode전류가 빔전류  $I_a$ (anode전류라고도 함)가 되어 형광면의 shadow-mask와 연결된 anode 하단을 통하여 고압전원에 유입한다.

### III. 빔전류의 특성과 cathode load

빔전류  $I_a$ 는  $G_1$  또는 cathode K의 전위를 바꿔 제어한다. 前者를 grid drive라고 부르며  $G_1$ 에 음의 bias전압  $-V_{g1}$ 을 인가한다 (cathode는 zero 전위). 後者는 cathode drive라고 부르며, cathode에 양의 bias전압  $V_c$ 를 인가하는 ( $G_1$ 는 zero전위) 방식이다.

빔전류  $I_a$ 의  $-V_{g1}$ 과  $V_c$ 의 관계와 빔전류와의 관계는 <그림 3>에 있다.

편의상, 음의  $G_1$  전압  $V_{g1}$ 과 양의 cathode전



<그림 3>

압  $V_c$ 은 모두 원점의 좌쪽을 가리킨다. 그림 중의 기호는 이하에 설명한다. 또, 원점의 오른쪽은 cathode K에 대하여  $G_1$ 은 정 전위로 되는 영역에서  $G_1$ 에 cathode 전류가 흐르기 때문이고 통상 사용되지 않는다.

#### 1. Cutoff 전압

전류 특성을 규정하는 데에 있어서 cutoff전압이 중요하게 된다. 여기서는 두 종류의 cutoff전압을 정의한다. 전자는 spot cutoff전압  $V_s$ 에서 실측가능한 것과 또 다른 것은 Laplace cutoff 전압  $V_0$ 에서 이론상의 값이다.

Spot cutoff전압은 어두운 실내에서 편향을 멈춰 spot가 정확히 사라지는 전압으로  $V_{g1}$  (grid drive) 또는  $V_c$  (cathode drive) 방식이다. 각각  $V_{sg}$  및  $V_{sc}$ 로 표시된다. Laplace cutoff전압은 cathode 직전의 축상전계강도 (Laplace전계)가 정확히 0이 되는 때의  $V_{g1}$  혹은 (또는)  $V_c$ 를 의미하며 각각  $V_{0g}$  혹은 (또는)  $V_{0c}$ 에서 나타낸다. Laplace cutoff전압은 열전자방사의 초속도효과를 포함하지 않기 때문에, 실측되는 cutoff전압보다 항상 작다. 그 차는 cathode의 동작온도와 cutoff전압의 절대치에 의존한다. 예를 들면 spot cutoff전압이 160 V 일 경우 8 V에서 10 V 정도의 값이 된다<sup>[4]</sup>. Grid drive의 Laplace cutoff전압  $V_{0g}$ 는  $V_{g2}$ 과  $V_{g3}$ 를 써서 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$V_{0g} = D_{1g} V_{g2} + D_{2g} V_{g3} \quad (1)$$

여기서  $D_{1g}$ ,  $D_{2g}$ 는 정수로, grid drive의 침투율 (penetration factor 또는 durchgriff)과 연관된다. Grid cutoff전압  $V_{0g}$ 는 동일한 관계로 cathode cutoff전압  $V_{0c}$ 과 연결지을 수 있다<sup>[3]</sup>.

$$V_{0c} = V_{0g} / (1 + D_{1g} + D_{2g}) \quad (2)$$

#### 2. 빔 전류의 drive 특성

Laplace cutoff전압  $V_0$ 와  $G_1$ 전압  $V_{g1}$  (혹은 (또는) cathode전압  $V_c$ )과 차와 drive 전압  $V_d$ 와의 관계는  $V_{dg} (= V_{0g} - V_{g1})$ , grid drive

에 대한서의 관계지수로 나타내면  $V_{dg}(=V_{og}-V_{gl})$ 로 나타낼수 있다.

빔전류  $I_a$ 는, drive 전압  $V_d$ 의 지수관수로  $I_a=CV_d^\gamma$ 로 표현할 수 있다.

여기서, C는 비례정수로, 지수  $\gamma$ 는 gamma라고 부른다. Gamma  $\gamma$ 의 값은, grid drive, cathode drive와 함께 저전류영역에서 2.5에 가깝고, 전류가 증대함에 따라서 약간씩 증대한다.

<그림 3>에 나타낸 것 같이, 빔전류  $I_a$ 는 0 bias일 때 최대로, 이것을  $I_{am}$ 으로 나타낸다.  $K=I_{am}/V_o^{3/2}$ 를 drive factor라 한다.(실효 perveance) Grid drive에 대하여서는  $K_g(=I_{am}/V_{og}^{3/2})$ , cathode drive에 대하여서는  $K_c(=I_{am}/V_{oc}^{3/2})$ 으로 나타낸다. 최대전류  $I_{am}$ 은 cutoff전압이 같은 때 K에 비례하기 때문이고 K가 클수록 동일 drive 전압으로 큰 전류를 변조할 수 있다. 또한 최대전류  $I_{am}$ 이 같으면 K가 클수록 cutoff전압을 작게 할 수 있다. 즉 같은 전류를 작은 drive 전압으로 변조할 수 있다.

$K_c$ 와  $K_g$ 의 관계는 (2) 식을 써서 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$K_c = K_g(1 + D_{1g} + D_{2g})^{3/2} \quad (3)$$

CPT 전자총의 경우, 대표적인  $D_{1g}$ 와  $D_{2g}$ 의 값은 각각 0.25 및  $5 \times 10^{-4}$ 이다. 따라서 cathode drive의 drive factor  $K_c$ 는 grid drive에 비교하여 약 40% 커진다. 이것이 cathode drive가 주로 이용하게 된 가장 큰 이유이다. 다른 이유는 VI.1에서 설명하겠지만 오늘날의 칼라 CRT 전자총은 3빔공통의  $G_1$  전극을 사용하고, 삼색을 독립으로 변조하기 위해서는 cathode drive가 필요하다.

### 3. Cathode load

Cathode표면에서의 전류밀도분포  $j_c(r)$ 는 근사적으로 다음 식으로 나타낼 수 있다<sup>[5]</sup>.

$$j_c(r) = j_{co}(1 - r^2/r_0^2)^{3/2} \quad (4)$$

여기서  $j_{co}$ 는 축(기본)상의 peak전류밀도,  $r$ 는 경방향거리,  $r_0$ 는 위동작면의 반경이다.  $r_0$ 는

drive전압  $V_d$ 에 따라서 변화하며,  $V_d$ 가 0일 때는 0, 최대치(0 bias)인 경우에는  $G_1$ 경의 반경과 같이 된다.

전류밀도분포  $j_c(r)$ 을 가리킨다. (4)식을 cathode동작면에 관해서 적분하면 다음 식과 같이 빔전류  $I_a$ 가 얻어진다.

$$I_a = \int_0^{r_0} j_{co}(1 - r^2/r_0^2)^{3/2} 2\pi r dr = \frac{2}{5} \pi r_0^2 j_{co} \quad (5)$$

(5)식으로부터 축상전류밀도  $j_{co}$ 는 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$j_{co} = 2.5 \frac{I_a}{\pi r_0^2} = 2.5 \bar{j}_c \quad (6)$$

여기서,  $\bar{j}_c$ 는 전류밀도분포  $j_c(r)$ 의 평균치를 나타낸다. 축상전류밀도  $j_{co}$  혹은 평균전류밀도  $\bar{j}_c$ 는, cathode load의 지표로서 전자총의 설계에 이용된다. 여기서는 전류밀도  $j_{co}$ 를 쓰는 것으로 한다. 통상, cathode load는  $A/cm^2$ 로 표현되지만, 빔전류  $I_a$ 는 mA로 동작면반경  $r_0$ 는 mm에서 측정되는 수가 많다.

따라서 이들 단위를 쓰고 (6)식을 다시 쓰면 다음 식과 같이 된다.

$$j_{co} = 0.25 \frac{I_a}{\pi r_0^2} = 0.25 \bar{j}_c \quad [A/cm^2] \quad (7)$$

Screen상에 작은 spot경을 얻기 위해서는 높은 cathode load가 필요하게 된다. 즉 허용되는 cathode load에는 한계가 있어, 높은 load에서 동작시키면 수명은 짧아지게 된다. 또한 수명이 2만시간 이상 필요로 한다. 산화물 cathode의 경우, 장시간 평균치에 대하여 허용되는  $j_{co}$ , 종래형은 약  $1.4 A/cm^2$ , 산화스칸듐의 분산형<sup>[6]</sup> 등의 개량형은 이것 보다 약간 높은  $2 A/cm^2$  정도가 된다.

그 이상 높은 cathode load가 필요로 되는 경우에는 함침형 cathode(impreg-nated 또는 l-cathode)가 쓰인다<sup>[7]</sup>. 함침형으로서는 약  $5 A/cm^2$ 의 cathode load가 허용된다.



#### IV. Spot경을 제약하는 기본적 요인

고휘도로 고해상도의 화상표시를 하기 위해서는 충분히 큰 빔전류와 충분히 작은 spot경, 즉, 높은 전류밀도의 spot가 필요하게 된다. Spot의 전류밀도의 기본적인 3가지 제약 요인이 있다.

1. 열전자방사의 초속도 분포
2. 빔내의 전자의 서로간의 반발력(공간전하 반발력)
3. 정전렌즈의 구면수차

상기의 각 요인은 합성되어 나타나며, 편향력에 의해서 spot형상의 왜곡현상이 나타나는데 VI.4에 설명한다.

이들 요인은 서로 복잡하게 관계하기 때문에, spot경을 정확히 계산하기 위해서는 엄밀한 해석이 필요하다. 때문에 현재는 computer simulation을 하여 계산한다<sup>8)</sup>. 기본특성의 이해를 위해 사용하며 단순모델 계산에 많은 도움이 된다.

##### 1. 열전자 방사의 초속도 분포

Cathode로부터 방사되는 전자는 Maxwell 분포에 따르는 열초속도를 갖는다. 따라서, crossover에서의 전류밀도분포  $j_{cr}(r)$ 는 다음 식 같은 Gauss분포를 갖게 된다.

$$j_{cr}(r) = j_{cro} \exp(-r^2/r_{cr}^2) \quad (8)$$

여기서,  $j_{cro}$ 는 축상의 peak전류밀도,  $r$ 는 축으로부터의 거리,  $r_{cr}$ 는 전류밀도가 축상의  $1/e$ 가 되는 거리이다.(전술한 것처럼 crossover는 cathode의 상이 아니며 cathode렌즈의 방출경(exit pupil)에 상당하기 때문에, 그 전류밀도분포는 (4)식에 보이는 것처럼 cathode표면의 그것과는 다르다). Crossover에서의 축상전류밀도  $j_{cro}$ 는 다음 식으로 주어진다.

$$j_{cro} = j_c \left(1 + \frac{eV_{cr}}{kT}\right) \sin^2 \alpha_{cr} \quad (9)$$

여기서,  $j_c$ 는 균일하다고 가정한 cathode의 전류밀도,  $V_{cr}$ 는 crossover의 공간전위,  $T$ 는 cathode온도( $^{\circ}K$ ),  $e$ 는 전자의 전하,  $k$ 는 볼츠

만상수,  $\alpha_{cr}$ 는 crossover에서의 빔의 발산각을 나타낸다. <그림 2 참조>

(9)식은, 열전자의 초속도분산의 제약을 근거로 하여 얻을 수 있는 전류밀도의 상한에 해당하는 것으로, 1937년에 D. Langmuir에 의해서 처음 사용되었기 때문에 Langmuir limit라고도 불린다<sup>9)</sup>.

실제의 전자총으로서의 cathode의 전류밀도는 균일하지 않고 (4)식과 같은 분포를 갖는다. 따라서  $j_c$ 를 대신해서 분포의 평균치  $\bar{j}_c$ 를 쓰며<sup>10)</sup> 또한 괄호 내의 1은 무시할 수 있고, 발산각  $\alpha_{cr}$ 은 충분히 작으므로,  $\sin \alpha_{cr} = \alpha_{cr}$ 로 (9)식은 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$j_{cro} = \bar{j}_c (11600 V_{cr}/T) \alpha_{cr}^2 \quad (10)$$

Screen상의 spot는, <그림 1>에 나타난 것처럼 crossover O의 pre-focus렌즈 PL과 주 렌즈 ML에 의한 결상이다. 따라서, 다른 요인(공간전하 반발력 또는 렌즈의 구면수차)를 무시하면 spot의 전류밀도분포  $j_{sp}(r)$ 도 Gauss분포가 되어, 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$j_{sp}(r) = j_{sp0} \exp(-r^2/r_{sp}^2) \quad (11)$$

여기서,  $j_{sp0}$ 는 축상의 peak전류밀도,  $r$ 는 축으로부터의 거리,  $r_{sp}$ 는 전류밀도 축상의  $1/e$ 가 되는 거리이다.

전자렌즈계의 배율  $M$ 은, Lagrange-Helmholtz의 관계로부터 다음 식과 같이 나타낼 수 있다<sup>11)</sup>.

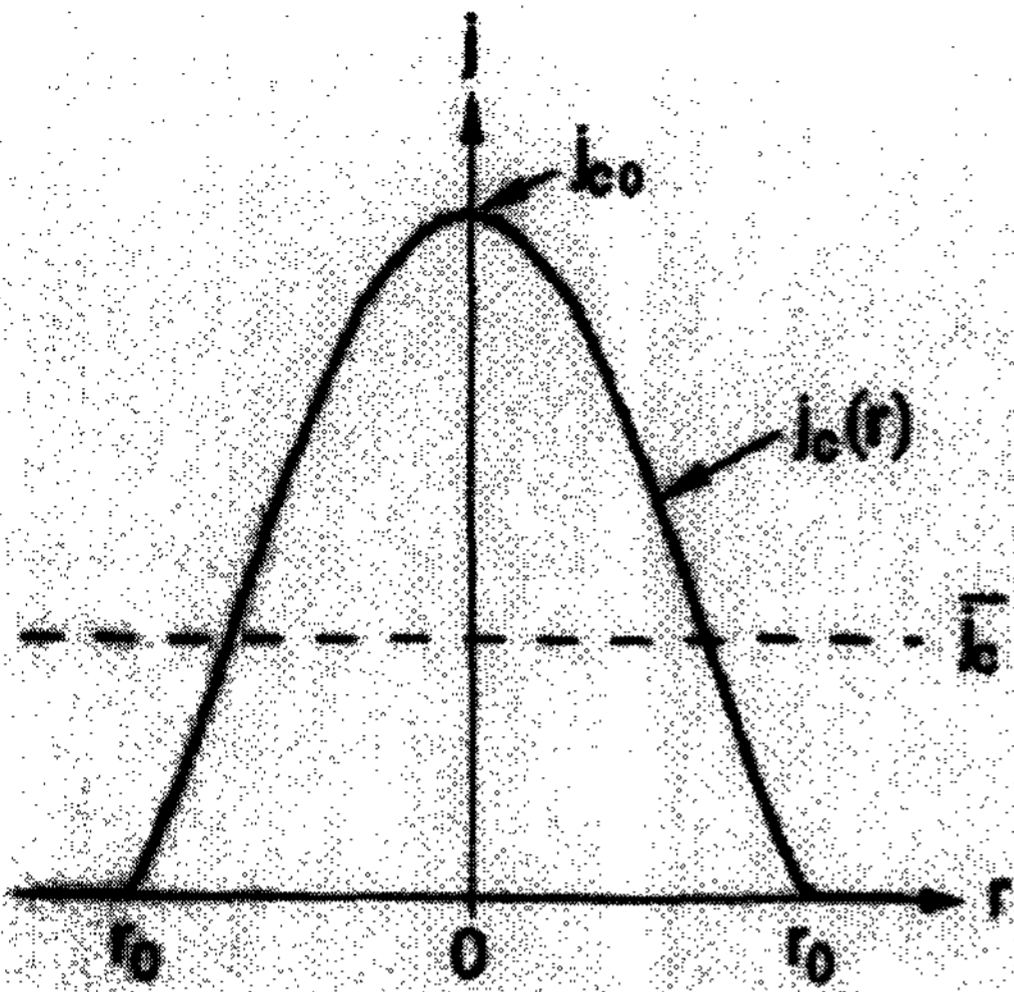
$$M = \alpha_{cr} \sqrt{V_{cr}} / \alpha \sqrt{V_a} \quad (12)$$

여기서,  $\alpha$ 는 screen에의 빔의 입사각(<그림 1 참조>),  $V_a$ 는 screen의 전압이다.

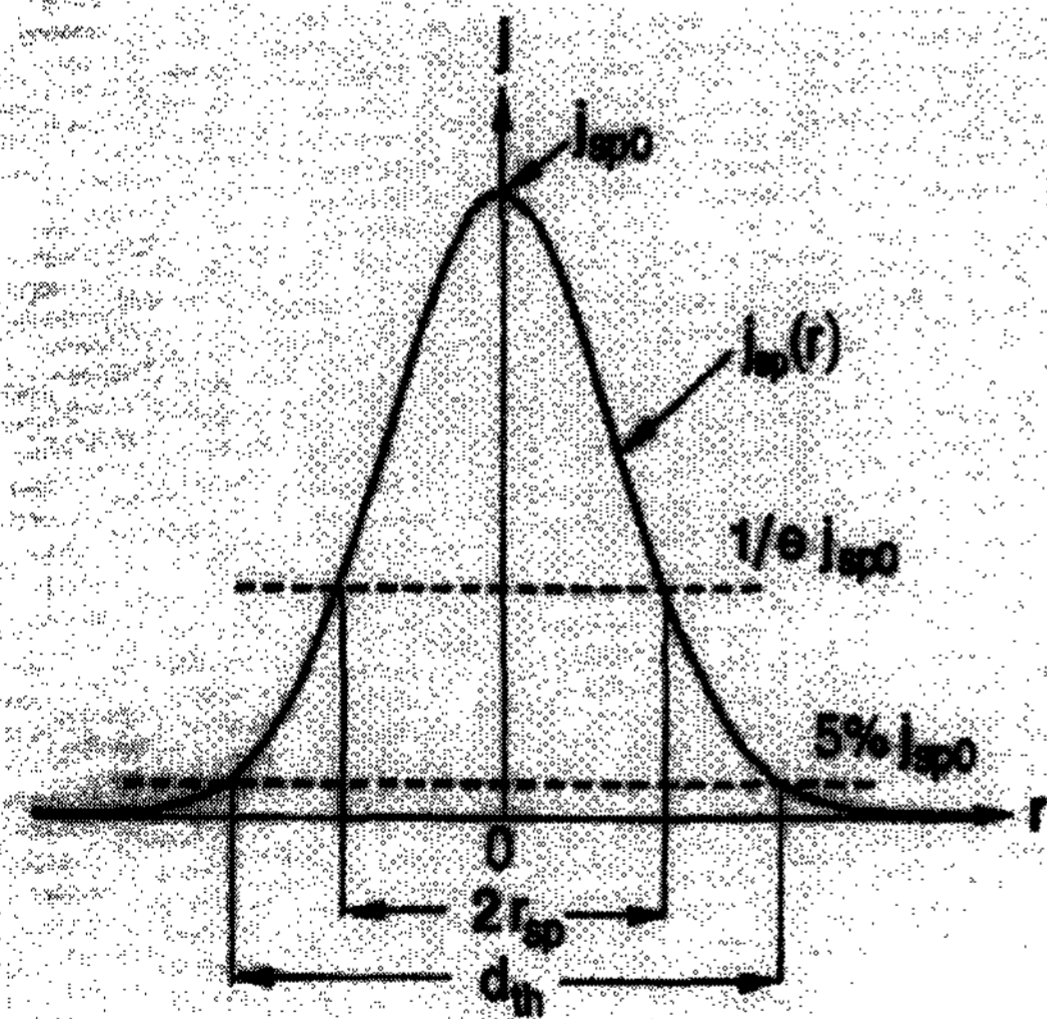
(12)식은 pre-focus렌즈 PL과 주 렌즈 ML의 종합배율을 말해 준다. Spot의 peak전류밀도  $j_{sp0}$ 는 crossover에서의 peak전류밀도  $j_{cro}$ 를  $M$ 의 자승으로 나눈 것과 같기 때문이고,

$$j_{sp0} = j_{cro} / M^2 = \bar{j}_c (11600 V_a / T) \alpha^2 \quad (13)$$

이 식의 우측에는 렌즈계의 배율  $M$ 이 나타나지 않는다. 이것은 (10)식에 있어서 crossover



<그림 4>



<그림 5>

에 관계하는  $\alpha_{cr}$ 와  $V_{cr}$ 가 spot에 관계하는  $\alpha$ 와  $V_a$ 가 서로 바뀌어지게 된다. 즉  $V_a$ 와 앞선 주어진  $j_{sp0}$ 과 렌즈의 배율에는 관계하지 않는다. 빔전류  $I_a$ 는 전부 spot에 흘러 들어 오기 때문이고 (11)식을 면적에 관해서 적분한 것은  $I_a$ 와 같다.

$$I_a = j_{sp0} \int_0^\infty \exp(-r^2/r_{sp}) 2\pi r dr = \pi r_{sp}^2 j_{sp0} \quad (14)$$

(13)식과 (6)식 및  $\alpha \approx D_b/2L$ 의 관계 <그림 1

참조>를 쓰면 다음 식을 얻는다.

$$2r_{sp} = 3.3 \times 10^{-2} \frac{L}{D_b} \left( \frac{TI_a}{j_{co}V_a} \right)^{1/2} \quad (15)$$

이것은, <그림 5>에 나타나 있으며 Gauss분포의 축상 peak값  $j_{sp0}$ 의  $1/e$ 값의 폭으로 정의한다. 일반적으로 spot경은 분포의 peak값의 5%값의 폭으로 정의되는 것이 많으며<sup>[12]</sup>, 5%경을  $d_{th}$ 에서 나타내면 (15)식은 다음 식과 같이 다시 쓸 수 있다.

$$d_{th} = 5.7 \times 10^{-2} \frac{L}{D_b} \left( \frac{TI_a}{j_{co}V_a} \right)^{1/2} \quad (16)$$

여기서  $d_{th}$ 는 주렌즈에서의 spot경  $D_b$ 에 반비례하기 때문이고, 이후에는 편의상  $C_m/D_b$ 로 나타낸다.  $d_{th}$ 는 열전자의 초속도분산에 기인하기 때문에, thermal spot경, 또는 magnified crossover라고 한다. 빔경  $D_b$ 가 주어질 때  $d_{th}$ 는 cathode의 축상전류밀도  $j_{co}$  (cathode load)의  $1/2$ 승에 반비례한다. 따라서  $d_{th}$ 를 축소하기 위해서는  $j_{co}$ 를 높여줄 필요가 있다. 따라서  $G_1$ 의 경을 작게 할 경우 cutoff 접압을 높게 하여 cathode동작면의 반경  $r_0$ 를 작게 한다. 그러나 이를 위해서는 III.3에서 논의할 것이지만 고부하에 견디는 고성능 cathode가 필요하게 된다.

## 2. 공간전하 반발력

빔내의 전자는 서로 반발하기 때문에 빔경이 커지게 된다.

이것을 공간전하 반발력이라고 하며 전류밀도가 높을수록, 또한 전자의 주행거리가 길수록 그 영향은 커진다. 주렌즈-screen간의 주행거리가 길기 때문에 고전위 ( $V_a$ )에 관계하지 않고 반발력의 영향이 강하게 나타난다.

특히 CPT와 같이 빔 전류가 많이 필요한 경우 반발력에 의한 spot경의 증대는 현저하다. 주렌즈로부터 screen까지는 등전위공간이기 때문에 다음과 같은 가정을 하여 반발력에 의한 spot경의 증대를 근사적으로 나타낼 수 있다<sup>[13]</sup>. 빔의 중심을 따라서 z축으로, 경방향을 따라서 r축을 잡는다. 열초속도를 무시하고 주렌즈에서의 빔

전류밀도를 똑같다고 할 경우 축상의 한 점의 방향은 단면형상차의 미분 방정식으로 나타낼 수 있다.

$$\frac{d^2r}{dz^2} = \frac{I_a}{4\pi\epsilon_0\sqrt{2}(e/m) V_a^{3/2}r} = 1.52 \times 10^4 \frac{I_a}{V_a^{3/2}r} \quad (17)$$

여기서,  $\epsilon_0$ 는 진공의 유전율이다.  $e/m$ 은 전자의 비전하이다.

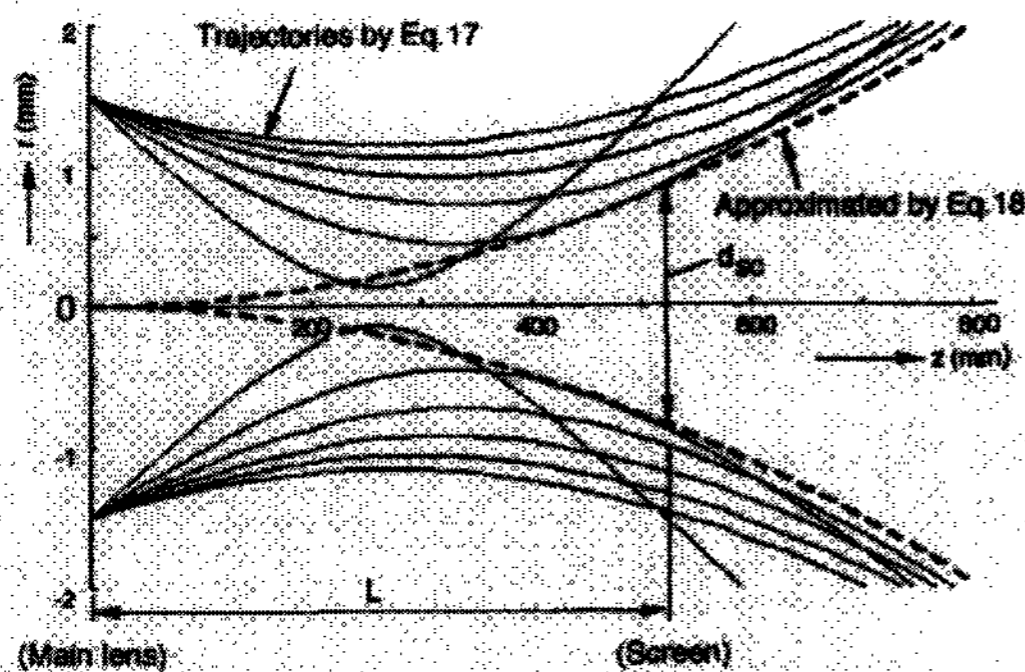
일례로서, anode전압  $V_a$ 를 30kV, 빔전류  $I_a$ 를 4mA, 주렌즈에서의 빔경  $D_b$ 를 3mm으로 하여, 주렌즈에서의 빔을 여섯개로 발사할 경우 (17)식에 의해서 빔의 횡단면 형상을 <그림 6>의 한 군의 곡선으로 표시하였다<sup>[14]</sup>.

이들 곡선으로부터 포물선이 빔경을 그 이하로 작게할 수 없는 한계가 있음을 알 수 있다. 따라서 주렌즈-screen거리  $L$ 에 대한  $d_{sc}$ 가 반발력으로 결정되는 spot경 요인임을 나타낸다.

그림 중 점선은  $d_{sc}$ 를 간단히 어렵하기 위한 근사함수 곡선으로 (18)식을 얻을 수 있다.

$$d_{sc} = \frac{0.8I_aL^2}{2\pi\epsilon_0\sqrt{2}(e/m) V_a^{3/2}D_b} = 2.42 \times 10^4 \frac{I_aL^2}{V_a^{3/2}D_b} \equiv C_{sc}/D_b \quad (18)$$

이 식의  $d_{sc}$ 는  $D_b$ 에 반비례이다. 그래서 편의상 이것을  $C_{sc}/D_b$ 로 나타낸다. 이 관계는 thermal spot경  $d_{th}$ 가 (16)식과 같은 형태이기 때문



<그림 6>

에 뒤에 나올 합성 spot경  $d_s$ 를 취급하는 데에 있어서 편리하다. (18)식은 반발력  $d_{sc}$ 가 주렌즈에서의 빔경  $D_b$ 와 같을 경우 특히 양호한 근사를 얻을 수 있다.

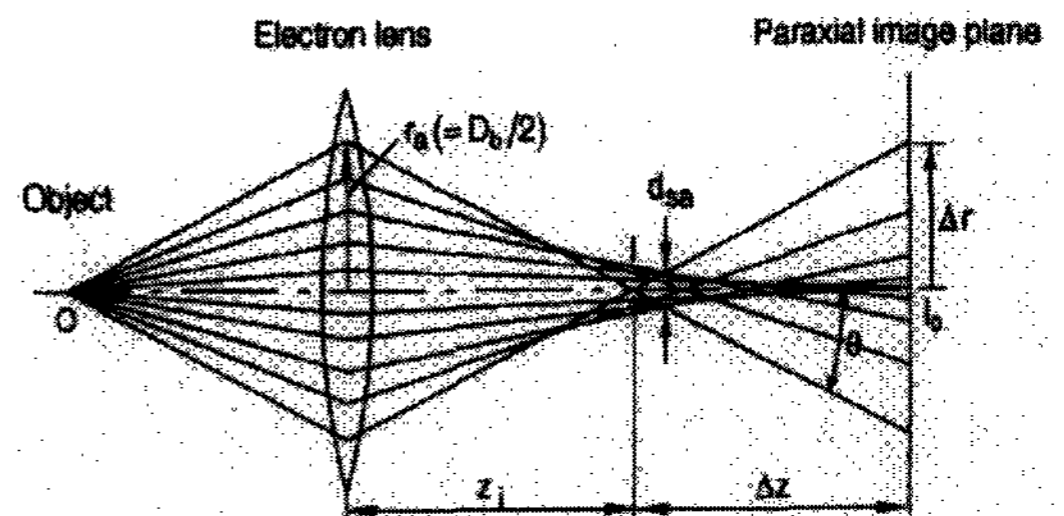
### 3. 전자렌즈의 구면수차

Thermal spot경  $d_{th}$ 는 전술한 것처럼 cross-over경에 pre-focus렌즈 PL과 주렌즈 ML의 종합배율  $M$ 을 빼서 구할 수 있지만 이것은 근축빔에 한정되어 축으로부터 떨어진 빔은 렌즈수차의 영향을 받는다. 전자렌즈는 광학렌즈와 같고 3차로서 상면의 만곡, 왜곡, 비점수차, coma 및 구면수차 등 5개의 수차를 따르나 편향이 없을 때의 spot에 실질적인 영향을 주는 것은 주렌즈의 구면수차이다<sup>[15]</sup>.

<그림 7>에 주렌즈의 구면수차를 나타내었다. 물점 0를 출발한 근축전자는 근축상점  $I_0$ 에서의 축을 나누어 보면, 렌즈면을 축으로부터  $r_a$ 만큼 떨어져 통과하는 분리된 축상의 전자는,  $I_0$ 의 앞  $\Delta z$ 에서 축을 나눈다.  $\Delta z$ 를 구면수차의 종수차라고 한다. 렌즈로부터의 거리를  $z_i$ 로 하며 축과 이루는 각을  $\theta$ 로 한다. 근축상면  $I_0$ 에서는 축으로부터  $\Delta r$ 만큼 변위한다. 이 두 가지를 구면수차의 횡수차라고 한다. 종수차  $\Delta z$ 는 주렌즈에서의 변위  $r_a$ 의 급수전개로 나타낼 수 있다. 그 경은 주렌즈가 축대칭인 것을 고려하면  $r_a$ 의 지수는 짝수에 한정되므로 다음 식이 얻어진다.

$$\Delta z = c_2r_a^2 + c_4r_a^4 + c_6r_a^6 + \dots \quad (19)$$

여기서 각도  $\theta$ 는 매우 작으므로  $\Delta r = \theta\Delta z$  및



<그림 7>

$\theta = r_a/z_i$ 로 나타내면 (19)식은 다음 식과 같이 된다.

$$\Delta r = (c_2/z_i) r_a^3 + (c_4/z_i) r_a^5 + \dots \quad (20)$$

여기서  $c_2, c_4$ 는 정수이다.  $r_a$ 는 작은 값으로서 5차 및 그 이상의 고차항을 생략하면 다음 식을 얻는다.

$$\Delta r = c_2' r_a^3 \quad (21)$$

각도  $\theta$ 가 작은 범위에서는  $c_2' (= c_2/z_i)$ 는 정수라고 간주할 수 있기 때문에 결국 구면수차  $\Delta r$ 는 렌즈에서의 변위  $r_a$ 의 3승에 비례한다. 이와 같이 구면수차가  $r_a$ 의 3승에 비례한다고 하는 알려진 관계는 렌즈의 축대칭성분 만으로 서술할 수 있다. 이후는 취급의 편의상  $r_a$ 의 대신에 빔경  $D_b$ 를 쓰면 (21)식은 다음과 같이 쓸 수 있다.

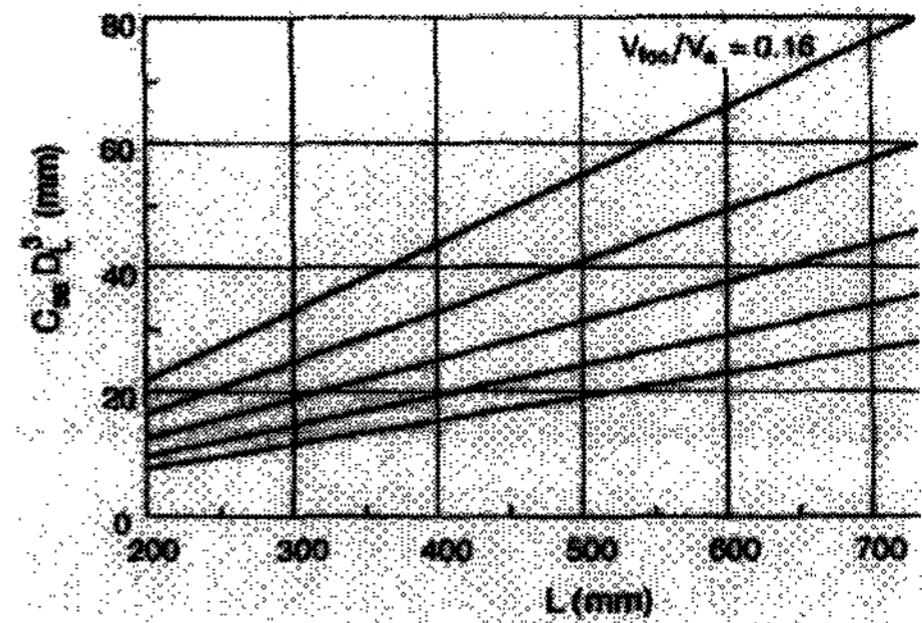
$$2\Delta r = c_{sa} (D_b/D_L)^3 \quad (22)$$

여기서  $2\Delta r$ 는 근축상면 I0에서의 빔경  $c_{sa}$ 는 3차 구면수차의 수차계수이고  $D_L$ 은 렌즈의 구경이다. 실제의 CRT에서는 spot경이 최소가 되도록 focus조정을 하기 때문에 screen상에 생기는 것은 근축상면이 아니며 <그림 7>에  $d_{sa}$ 에서 가리키는 최소착란원에 상당한다. 최소착란원은  $2\Delta r$ 의 1/4로 주어지기 때문에<sup>[11]</sup> 결국 구면수차로 결정되는 spot경요인  $d_{sa}$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$d_{sa} = \frac{C_{sa}}{4} (D_b/D_L)^3 \equiv C_{sa} D_b^3 \quad (23)$$

여기서  $C_{sa}$ 는  $c_{sa}/4D_L^3$ 로 주어지는 3차의 수차계수이다. 일반적으로  $C_{sa}$ 는 해석적으로 구하는 것이 곤란하기 때문에 궤도계산으로 구한 결과를 graph로 표시하기도 하고 수식표현을 하기도 한다. 이와 같은 graph의 일례를 <그림 8>에 나타냈다. 이것은 bi-potential렌즈의  $C_{sa}$ 와  $D_L^3$ 의 적분을 주렌즈-스크린 간 거리  $L$ 에 대하여 plot한 것으로 parameter는 focus 전압비이다.

주렌즈의 구경  $D_L$ 에 대하여 빔경  $D_b$ 가 커지면 고차의 수차가 문제가 된다. 그러나 실제의 설계에서는  $D_b/D_L$ 은 0.3~0.5를 넘지 않은 범위에



<그림 8>

설정되는 것이 보통이기 때문에 3차 수차만으로 충분한 경우가 많다.

#### 4. 최적 빔경과 최소 spot경

Screen상에서 관측되는 spot경  $d_s$ 를 얻기 위해서 위의 3가지의 spot경 요인 즉, thermal spot경  $d_{th}$ , 반발력 spot경  $d_{sc}$ , 및 수차 spot경  $d_{sa}$ 를 어떻게 결합하면 좋을지에 대하여 이제까지 많은 제안이 있어 왔다<sup>[3]</sup>.

Thermal spot경은 전류밀도분포가 Gauss분포이고, 수차 spot는 원통형상인 것을 고려하여 통합하고, 반발력 spot경  $d_{sc}$ 를 단순히 더한 결합식  $d_s$ 식으로 표현한다<sup>[12]</sup>.

$$d_s = 0.7d_{th} + \sqrt{(0.3d_{th})^2 + d_{sa}^2} + d_{sc} \quad (24)$$

이하에서는 설명의 편의상, spot경  $d_s$ 는 위의 세 factor를 단순화시키면 spot경  $d_s$ 는 (16), (18) 및 (23)식을 사용하여 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$d_s = d_{th} + d_{sc} + d_{sa} = (C_{th} + C_{sc})/D_b + C_{sa} D_b^3 \quad (25)$$

이 식으로부터  $D_b$ 에는 최적치가 있고, 거기서  $d_s$ 가 최소치가 됨을 알 수 있다. (25)식을  $D_b$ 로 미분하여 0으로 하면

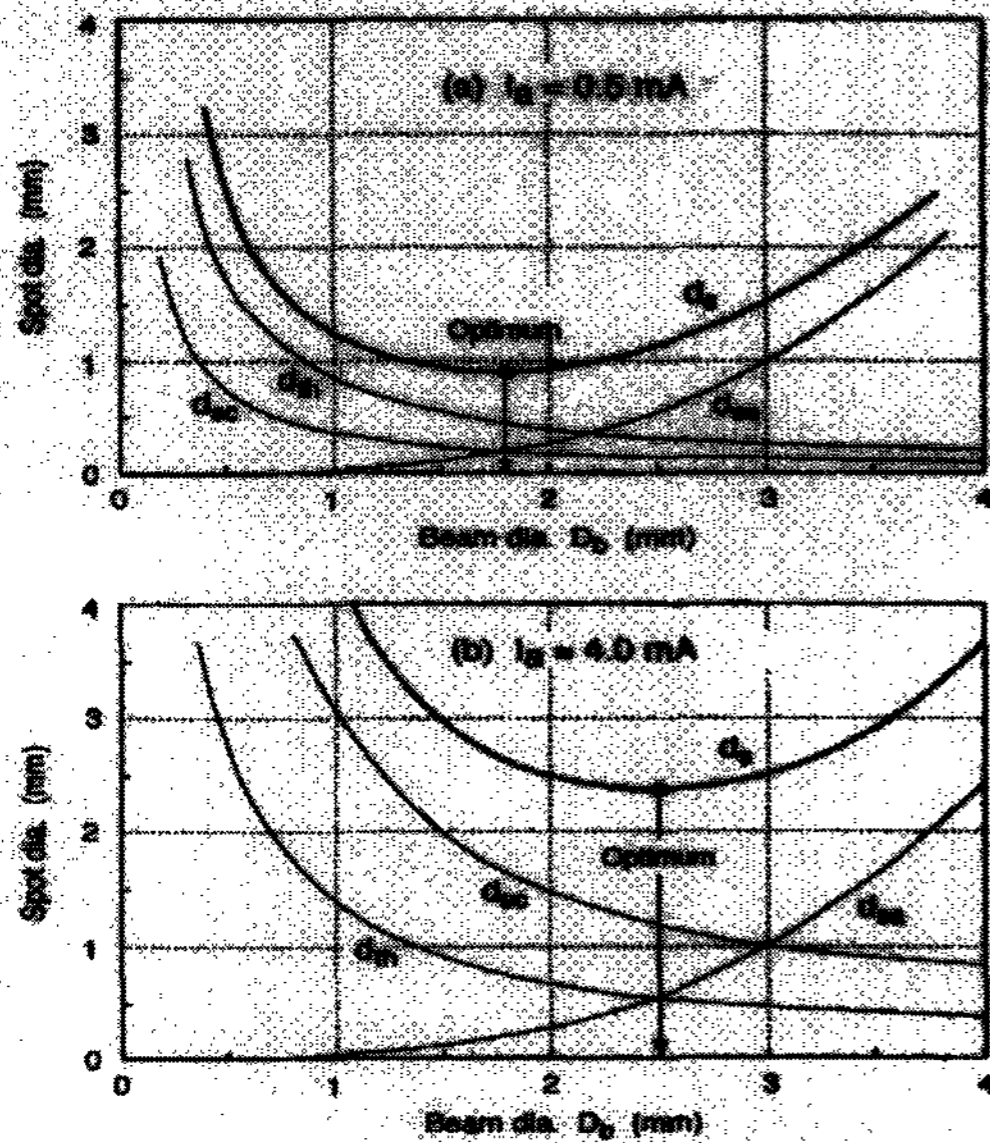
$$\frac{dd_s}{dD_b} = \frac{-(C_{th} + C_{sc}) + 3C_{sa} D_b^4}{D_b^2} = 0 \quad (26)$$

여기서  $D_b$ 의 최적치는 다음과 같이 구한다

$$D_b = \{(C_{th} + C_{sc})/3C_{sa}\}^{1/4} \quad (27)$$

이 관계를 (25)식에 대입하면 최소 spot경은





〈그림 9〉

다음과 같이 된다.

$$d_s = 4 \left\{ (C_{th} + C_{sc}) / 3 \right\}^{3/4} C_{sa}^{1/4} \quad (28)$$

이상의 결과를 graph로 표현하기 위해 칼라관 용의 대표적 전자총(bi-potential형)을 예로 든다. 렌즈구경  $D_L$ 은 8mm, 렌즈-screen간 거리  $L$ 은 400mm, anode전압  $V_a$ 는 30kV, focus 전압비  $V_{foc}/V_a$ 는 0.28로 한다.

Spot경  $d_s$ 와 셋의 spot경 요인, 즉 thermal spot경  $d_{th}$ , 반발력 spot경  $d_{sc}$ , 및 구면수차 spot경  $d_{sa}$ 를 빔경  $D_b$ 의 관수로 표시하면 〈그림 9(a),(b)〉와 같이 된다. 〈그림 9(a)〉는 빔전류  $I_b$ 가 0.5mA의 저전류(장시간 평균수준) 〈그림 9(b)〉는 4mA의 고전류(white peak의 수준)인 경우이다. 앞에서는 thermal spot경  $d_{th}$ 가 최대요인 것에 비해서, 후자는 반발력 spot경  $d_{sc}$ 가 최대요인으로 된다.

이처럼 칼라브라운관의 고전류시의 spot경은 반발력의 영향이 매우 크다. 이것을 약화시키기 위해서는 빔경  $D_b$ 를 크게하는 것이 좋지만, 반대로 렌즈의 구면수차가 커진다. 따라서, 구면수차가 적은 전자렌즈가 중요하게 된다.

## V. 전자렌즈계

CRT 전자총은 II에서 기술한 바와 같이 물점(crossover)을 형성하는 빔형성부와 물점에서의 빔을 screen상에 집속하는 주렌즈부 ML로 크게 구별하여 생각할 수 있다. 빔형성부에는 cathode 렌즈 CL과 pre-focus 렌즈 PL이 포함된다.

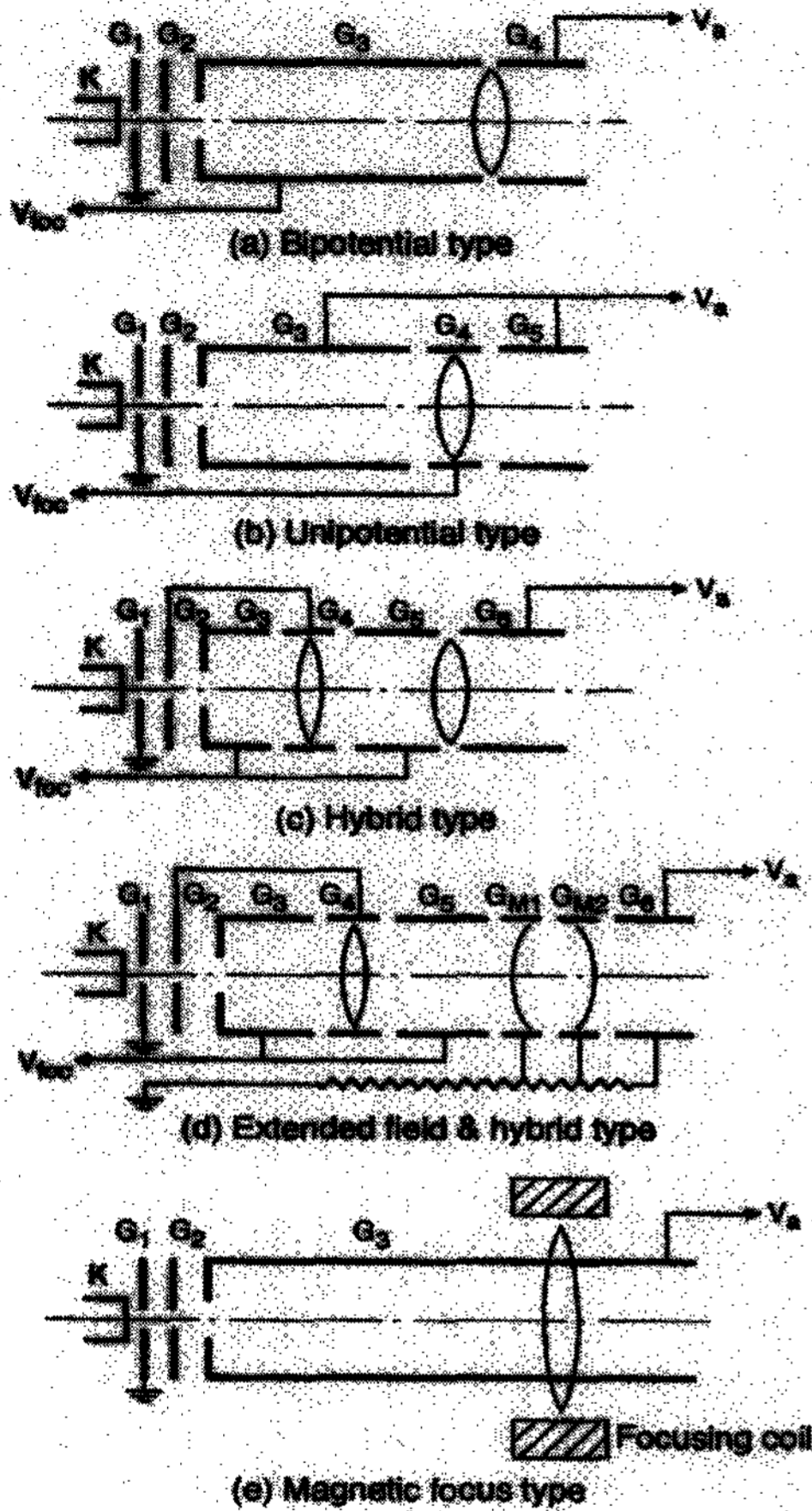
### 1. 주렌즈부

주렌즈는 집속렌즈라고도 불리워지고, 수차가 적은 양호한 렌즈특성과 더블러, 관내방전을 일으키기 어려운 안정된 고압특성과 제조용이성이 요구된다. 정전집속형과 전자 집속형이 있으나, 오늘날에는 사용하기 쉬운 前者가 거의 사용되고, 後者は 투사관의 일부에 사용할 뿐이다. 대표적인 집속렌즈방식을 〈그림 10〉에 표시하였다. (a)에서 (d)는 정전형이고, (e)는 전자기형이다. 정전형은 bi-potential형과 uni-potential형이 기본형으로, 양자를 조합한 hybrid형으로도 사용한다.

Anode전압  $V_a$ 는 용도관의 크기에 따라 20kV에서 35kV 정도까지가 일반적이고 anode button으로부터 내부도전막을 지나서 anode에 공급된다. 그 밖의 전극에는 네크의 stem pin으로부터 공급되는 통상 10kV 이하의 전압이 사용된다. 그 이상의 전압이 필요한 경우에는 네크관 내에 고압분할을 사용하기도 한다〈그림 10(d)〉. Focus 전압 조정은 정전렌즈의 focus전압  $V_{foc}$ 에 의해, 전자기렌즈는 집속coil의 전류에 의해 행하여 진다.

#### 1) Bi-potential형

Anode전압과 수 kV의 focus 전압이 필요하여 Bi-potential이라 한다. 일반적으로 저전류로부터 중전류까지 양호한 spot특성이 얻어지며, 고압특성도 양호하여 칼라관에 많이 쓰였다. Focus전압비  $V_{foc}/V_a$ 는 오래 전에는 20% 정도이었지만, 오늘날에는 구면수차를 저감하기 위해서  $G_3$  전극길어도 길게 하여 28% 정도에 높인 것이 표준으로 되어 있다. (IV.3 참조) 이것을



〈그림 10〉

hi bi-potential, 또는 high bi(hi-bi)라고 부른다<sup>[17,18,19]</sup>.

2) Uni-potential

Focus전압을 0V 가까이 할 수 있기 때문에 전용 focus전원이 필요하지 않고, 고압만을 사용하므로 이 이름이 붙은 것이다. Cost merit측면에서 흑백 CRT에 널리 사용되었다. CPT나 투사관에 사용되는 경우에는 수차저감 때문에 G4 전극길이를 길게 하여 focus전압을 수 kV로 높인다.

이것을 high uni-potential 또는 high uni(hi-uni)라 부른다<sup>[20,36]</sup>.

일반적으로, uni-potential형은 anode전압이

G3에 가해지기 때문에 G2-G3 간의 pre-focus 렌즈가 강하고, 주렌즈에서의 빔경이 압축되어 구면수차에 의한 고전류 spot경의 증대를 억제하기 쉽다. 그러나 그 반면, 렌즈계의 종합배율이 커지기 때문에 저전류 spot경은 bi-potential형에 비하여 커진다. 고압특성은 bi-potential형에 비해서 약간 불리해진다.

3) Hybrid형

G5-G6 간의 bi-potential 렌즈의 전단에 uni-potential 렌즈(G3-G4-G5)를 부가한 것이고, G4전압은 통상 G2와 동일하다. spot특성, 고압특성도 bi-potential형에 가깝다. 설계의 자유도가 커서 빔경을 최적화 하기 쉽고 전자총 길이를 단축하기 용이하다<sup>[21]</sup>. CDT에 보편적으로 쓰인다.

4) 전계 확장형

G5과 G6의 간격을 확대하여 그 사이에 새로운 전극(G<sub>M1</sub>, G<sub>M2</sub>)을 부가하고, 네크관 내에 마련한 고압분할저항으로 각 전극에 10~20kV의 중간전압을 공급한다. 이렇게 하면 렌즈전계가 확장되기 때문에 구면수차가 저감된다. 그러나 구조가 복잡하고 안정도가 높은 고압분할저항이 필요하다. 주로 대형 칼라관에 쓰인다. 그림은 hybrid형을 병용한 경우를 나타낸다<sup>[22]</sup>.

5) 전자기 집속형

집속 coil을 네크관 외에 설치하기 때문에 자체렌즈의 구경을 정전렌즈에 비해 크게 할 수 있다. 이 경우 구면수차가 작고, 고전류 때의 spot경을 작게 할 수 있다. 주로 대화면용의 고해상도 투사관에 쓰인다.

2. 빔형성부

1) Cathode렌즈와 pre-focus 렌즈

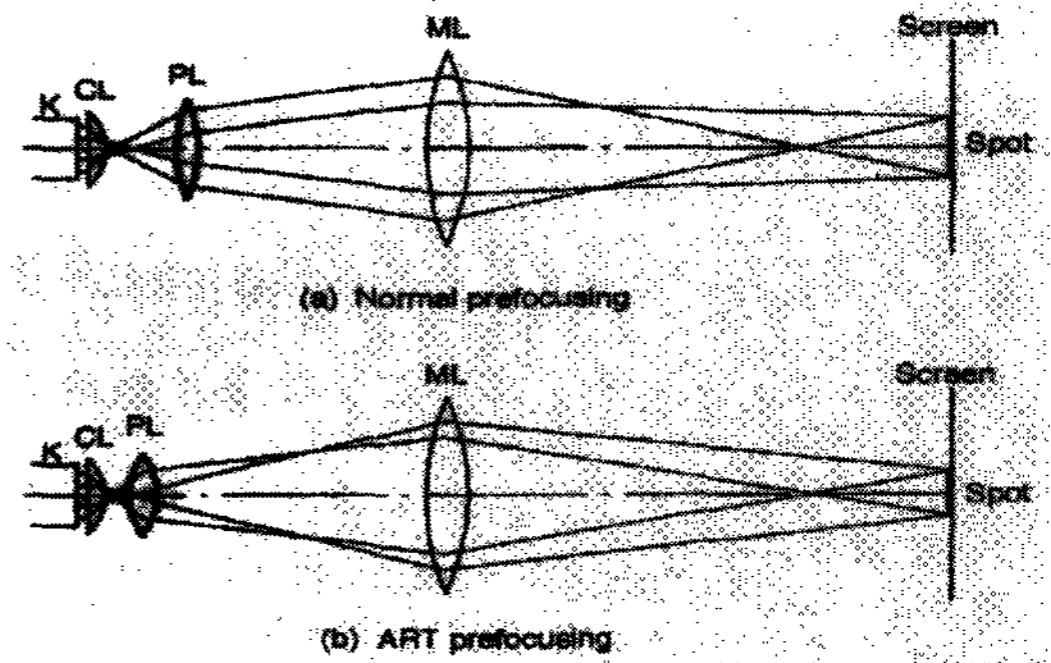
Cathode로부터의 전자는 cathode렌즈 CL에서 축방향으로 모여져서 crossover를 만든다 〈그림 2 참조〉.

이 렌즈의 강도는  $G_1$ 공경, K- $G_1$ 간격,  $G_1$ 두께,  $G_1$ - $G_2$ 간격 drive전압 등에 의존한다. drive전압을 올리면 빔전류의 상승과 동시에 cathode의 방출반경( $r_0$ )이 넓어진다. 이때 렌즈의 강도는 약해지지만, 구면수차는 현저히 증대한다. 이것은 high drive때의 spot경 증대의 하나의 원인이 된다.  $G_1$ 의 공경을 작게 하면 cathode load  $j_{c0}$ 가 올라가고, (16)식에서 보는 바와 같이 thermal spot경  $d_{th}$ 를 축소할 수 있다. 그러나 허용되는 cathode load는 cathode에 의해 결정되고(III.3 참조) 이것과 동작 빔전류(장시간 평균치)에 의해  $G_1$ 공경이 결정되어진다. 일반적으로 CDT에서는 0.3~0.4mm, CPT에서는 0.5~0.7mm가 사용된다. K- $G_1$  간격이나  $G_1$ 판 두께는 spot특성에 미미한 영향이 있으나, 이것을 일률적으로 논하는 것은 곤란하고, 설계의 know-how에 속하는 문제이다. 최근은  $G_1$ 과  $G_2$ 에 비원형의 개구를 사용하는 일이 많아서(VI.5 참조) cathode렌즈의 작용은 한층 복잡하게 된다. Pre-focus렌즈 PL은  $G_2$ - $G_3$  간에 생기고, crossover로부터 발산하는 빔을 예비 집속하여 주렌즈에서의 빔경  $D_b$ 를 최적으로 유지한다. 이 렌즈의 강도는 주로  $G_2$ 의 공경과 판두께,  $G_2$ - $G_3$  간격 및 그 사이의 전위차에 의존한다.

## 2) ART (Aberration Reducing Triode)

High drive때의 cathode 렌즈의 구면수차에서 기인하는 spot경의 증대는, pre-focus 렌즈의 특별한 설계에 의해 개선할 수 있다. 통상의 pre-focus 렌즈의 경우에 <그림 11(a)>에 표현한 바와 같이 cathode렌즈 CL의 구면수차(빔의 날개)가 spot경의 증대를 야기한다. 동도 (b)에서 보는 바와 같이 강한 pre-focus 렌즈 PL을 crossover에 근접시키어 설계하면(예컨대  $G_2$ - $G_3$  간격을 좁게), pre-focus 렌즈를 cathode 중심부에서의 빔에 대하여 약한, 반대로 주변에서의 빔에 대해서는 강한 작용을 시킬 수 있다.

그렇게 하면 주렌즈에서 중심빔과 주변빔의 위치관계가 역전된다. 이 결과 cathode렌즈의 구면수차가 주렌즈의 구면수차로 부분적으로 상



<그림 11>

쇄되어 spot경이 축소된다. 이것을 ART (Aberration Reducing Triode)라 한다. CPT 전자총의 high drive시의 spot경 개선에 상당한 효과가 있다<sup>[23,24]</sup>.

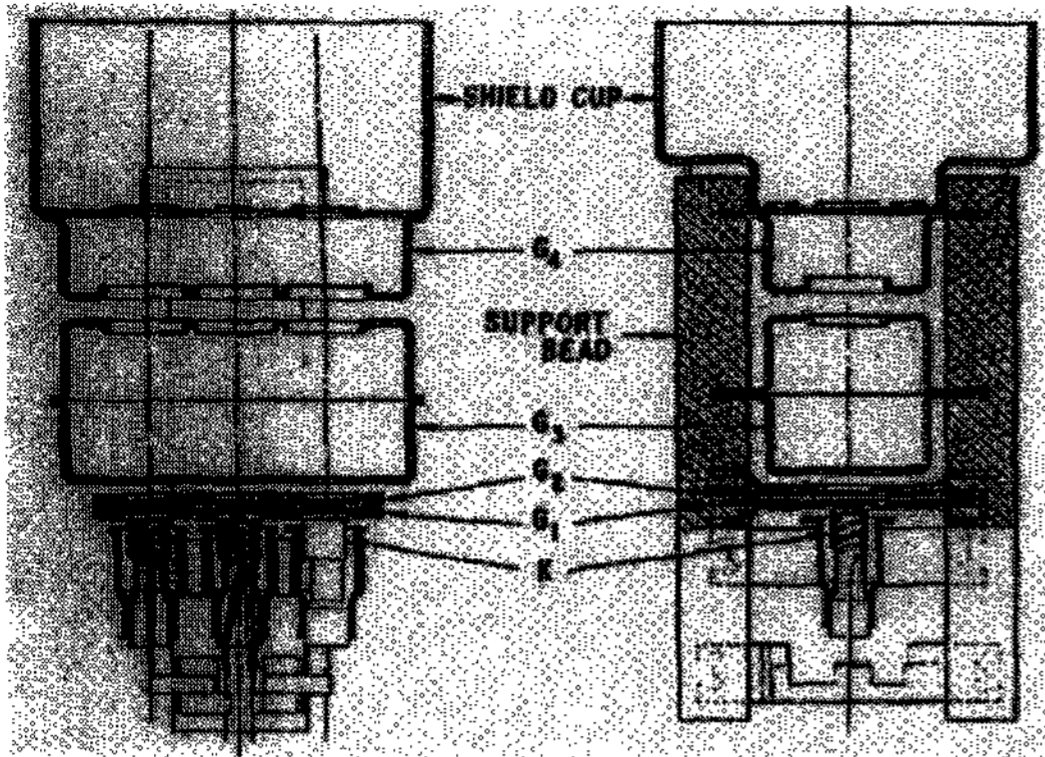
## VI. 칼라 CRT의 전자총기술

### 1. In-line unitized 전자총

초기의 칼라 CRT 전자총은, 독립한 3본을 delta형을 사용하였으나, 현재는 전부 in-line 배열로 unitized라고 불리는 일체화구조이다. 이것은 1972년에 RCA가 in-line self-convergence 방식으로 개발한 것으로, convergence 성능을 확보하기 위해서 neck를 가늘게 하고 (36.5→29.1mm) 전자빔간 거리(S치)를 좁혀, 일체화한 구조로 조립정도를 향상시킨 것이다<sup>[25,26]</sup>.

Unitized 전자총은, <그림 12>에 표시한 독립된 3개의 cathode를 제외하면  $G_1$ 로부터  $G_4$ 까지의 각 전극은 3개의 전자빔에 대하여 공통으로, 각각 3개의 전자빔 통과공을 갖는다.  $G_1$ 와  $G_2$ 는 판상( $G_1$ 은 cup형상의 것도 있다.),  $G_3$ 는 cap형상,  $G_4$ 은 cup형상으로,  $G_3$ 와  $G_4$ 의 대향면에 주렌즈 개구가 있다. 이들의 전극은 2본의 multi-form glass rod(support bead)로 지지된다. 그 때문 각전극에는 supporter라고 불리는 돌출부가 설치된다. 이것을 고온가열하여 연화한 multi-form glass로 매입하여 고정한다. (일반적으로 비딩이라고 한다.) 도시한 전자총은 bi-potential이나, 그밖에 전술한 각종의 렌즈 type





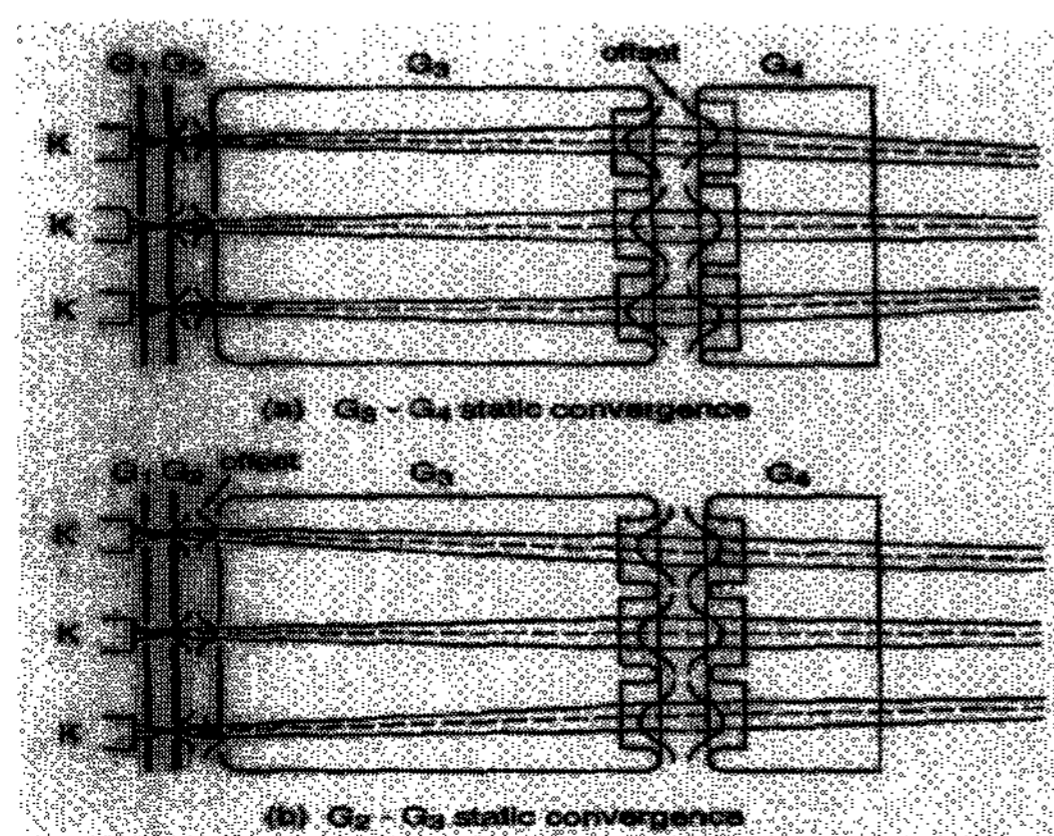
<그림 12>

도 unitized구조로 가능하다.

이 구조는 3개의 개구가 동일 전극상에 가공되기 때문에, 보다 고정밀도의 alignment를 실현이 가능하였고, 그 결과 focus and static convergence가 개선되었다.

### 2. Static convergence

무편향시의 3개 전자빔을 스크린 중앙의 한점에 집중시키기 위해서 <그림 13>에서 보는 바와 같이 static convergence방식이 쓰인다. <그림 13(a)>는  $G_3$ - $G_4$  방식으로, side빔을 주렌즈에서 전자빔을 내측으로 집중시킨다. 이를 위해서 side렌즈의  $G_4$  개구는  $G_3$ 에 대하여 외측으로 offset이 된다. 같은 도면 <그림 13(b)>는  $G_2$ - $G_3$  방식이라고 부르고,  $G_2$ - $G_3$  간의 pre-focus



<그림 13>

렌즈로 side 빔을 내측으로 집중시킨다. 주렌즈에 offset이 없기 때문에 focus전압 조정에 따라서 spot이동이 작고, 또 side빔의 spot coma (비대칭의 halo)가 발생하지 않는 것이 특징이다[23,27,28].

상기와 같은 방식은 전자총 제조상에서 기인하는 static convergence error의 보정이 필요하게 된다.

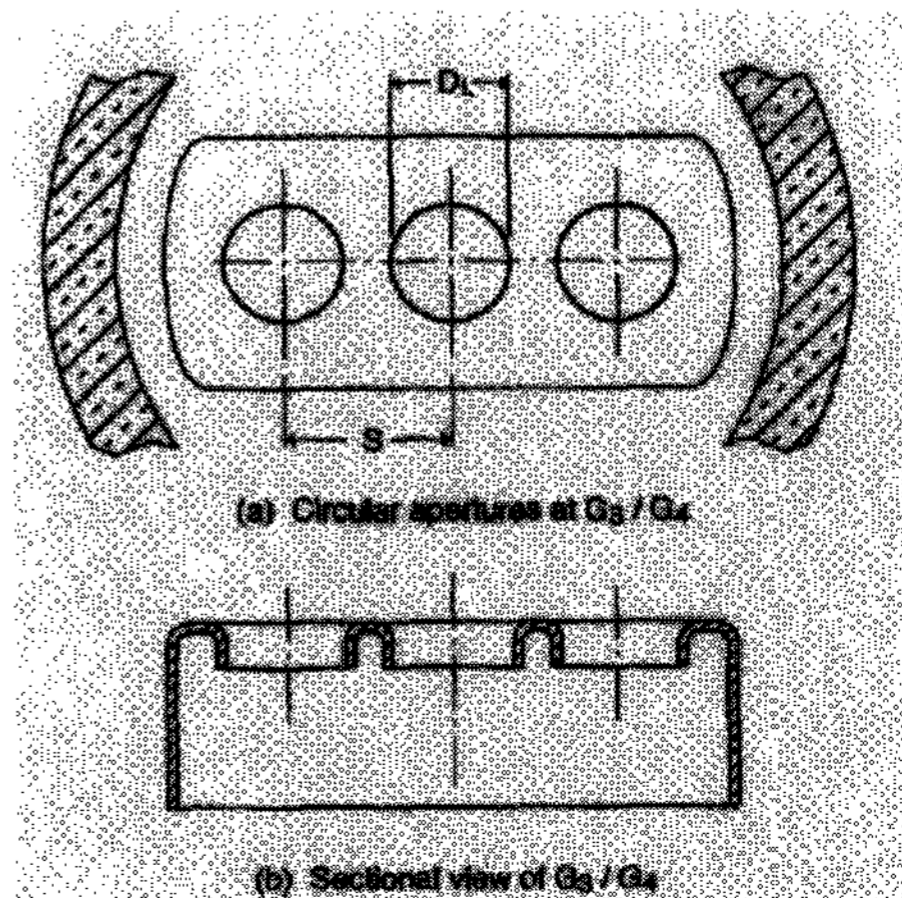
통상 다극으로 착자한 2개의 CPM을 관외에 장착해 error를 보정한다. 또한 관내의  $G_4$ 전극의 끝단에 장착한 한개의 자성체ring를 제조 process 중에 착자하여 보정하는 방법도 있다.

### 3. 비축대칭 대구경 전자렌즈

Unitized 전자총은 상기의 특징이 있는 반면, small neck화(29.1mm)와 in-line화에 따라서 주렌즈 구경이 제약되어 focus 성능이 저하되었다.

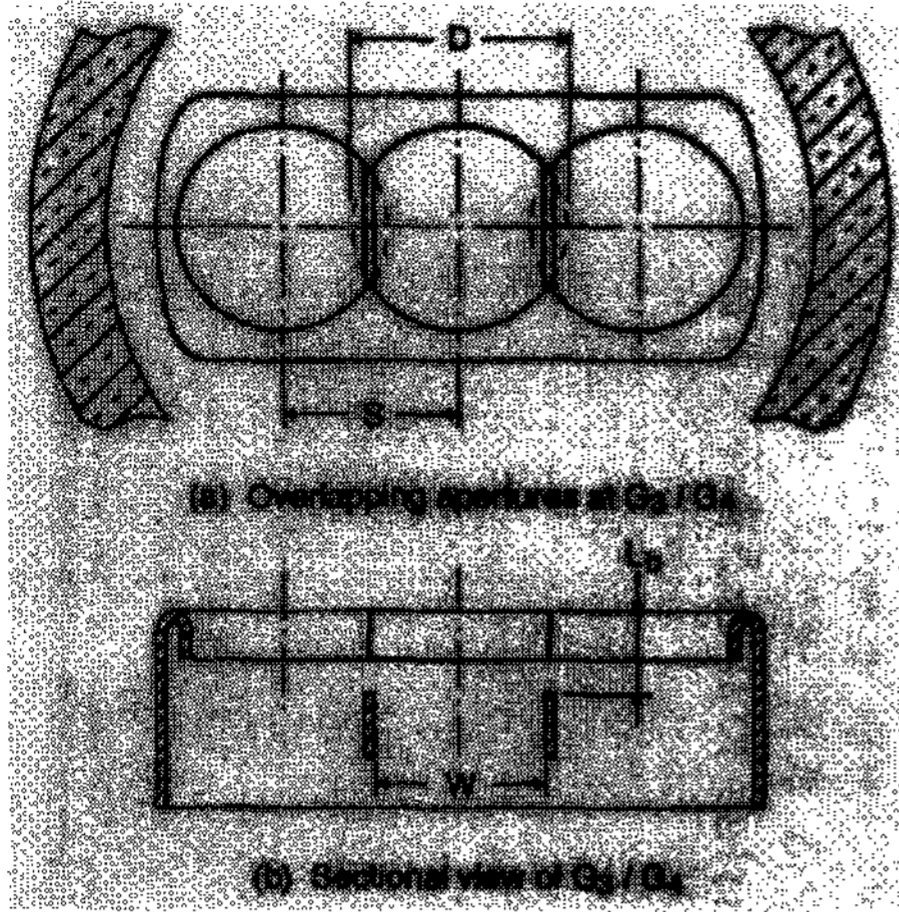
주렌즈는, <그림 14>에 도시한 바와 같이 3개의 원개구가 간섭하지 않게 (bridge) in-line에 배열되어 있고, convergence 성능을 위하여 렌즈간격(S치)은 될 수 있는 한 작게 하였다.

그 결과, 주렌즈경  $D_L$ 이 delta형의 약 9.5mm에서 약 4.5mm로 감소하여, 구면수차에 의한 spot경이 증대하게 되었다. 또한, self-convergence의 편향자계는 screen 주변부의 spot형상



<그림 14>





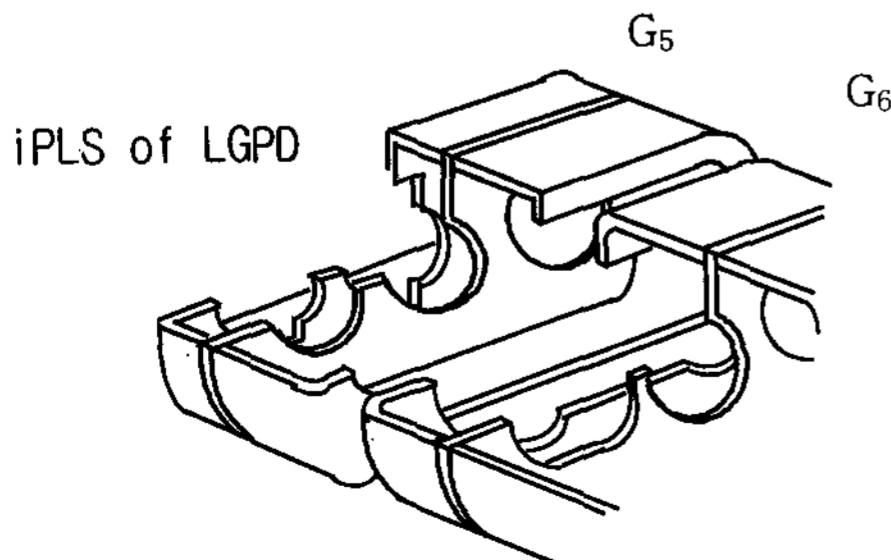
<그림 15>

을 현저히 찌그러지게하여 focus성능을 한층 저하시키게 된다.

Unitized된 전자총의 주렌즈를 대구경화 하기 위해서는 OLF(Overlapping Field) 렌즈라 불리는 새로운 렌즈구조가 Matsushita로부터 제안되었다<sup>[29]</sup>.

그것은 이제까지의 진원인 주렌즈를 비원형의 개구부로 전환한 것으로, 그 원리를 <그림 15>에 도시했다.

즉, 진원의 개구를 overlap될 때까지 확대하여, 전계 보정판으로 보상한다. 이 경우, 전계 보정판의 간격 W은 연직개구경  $D_L$ 이 작기 때문에 수평방향의 렌즈작용이 지나치게 강해진다. 이 때문에 전계보정판의 축방향위치를 전극면에서 일정량 후퇴시킴에 따라 수직 렌즈 action을 최적화할 수 있다.

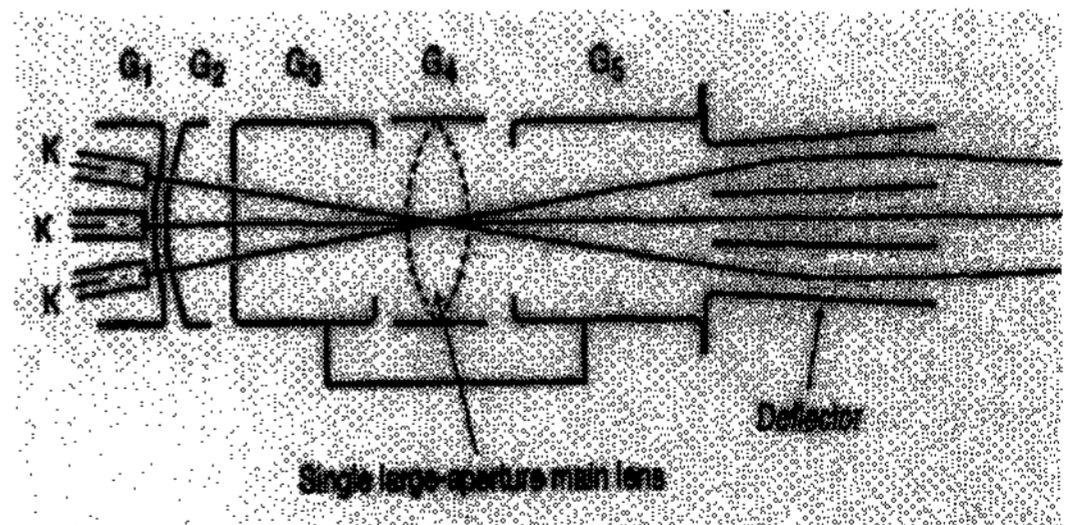


<그림 16>

그 결과, S치를 증대시키지 않고 렌즈경이 약 70% 확대되어 spot경이 개선되었다. 그 후 같은 원리에 근거하는 대구경 렌즈가 연달아서 개발되어, 일반적인 주렌즈 방식으로서 정착하고 있다. RCA의 XL(Extended Field)<sup>[30]</sup> 렌즈와 Hitachi의 EA Lens<sup>[31]</sup>, LGPD의 iPLS(innovative Powerful Lens System) 렌즈<sup>[44]</sup>가 그 예로서, <그림 16>은 iPLS 렌즈의 구조를 나타낸다. 진원렌즈는 축대칭 전계이기 때문에 이차원으로 해석할 수 있는 데 대하여, 비원형 렌즈는 삼차원해석이 필요하게 된다. 따라서, 전자총의 설계에는 高精度의 3차원 simulation이 필요한 Tool로 된다<sup>[32,33,34]</sup>.

4. Trinitron 전자총

Trinitron 전자총은 1968년 Sony가 발표한 것으로, <그림 17>에서 보는 바와같이, in-line 배열의 3개의 빔을 하나의 대구경 uni-potential 렌즈의 중앙에서 교차시키어, 전자총의 출구에 있는 편향판으로 static convergence를 조정한다<sup>[35,36]</sup>. 대구경렌즈이므로 구면수차가 적고,



<그림 17>

spot경을 작게 할 수 있는 특징이 있다<sup>[37]</sup>. 그러나 편향판에 anode전압보다 약간 낮은 전압을 필요로 하는 등 구조적으로 복잡하게 된다.

5. 편향수차의 저감

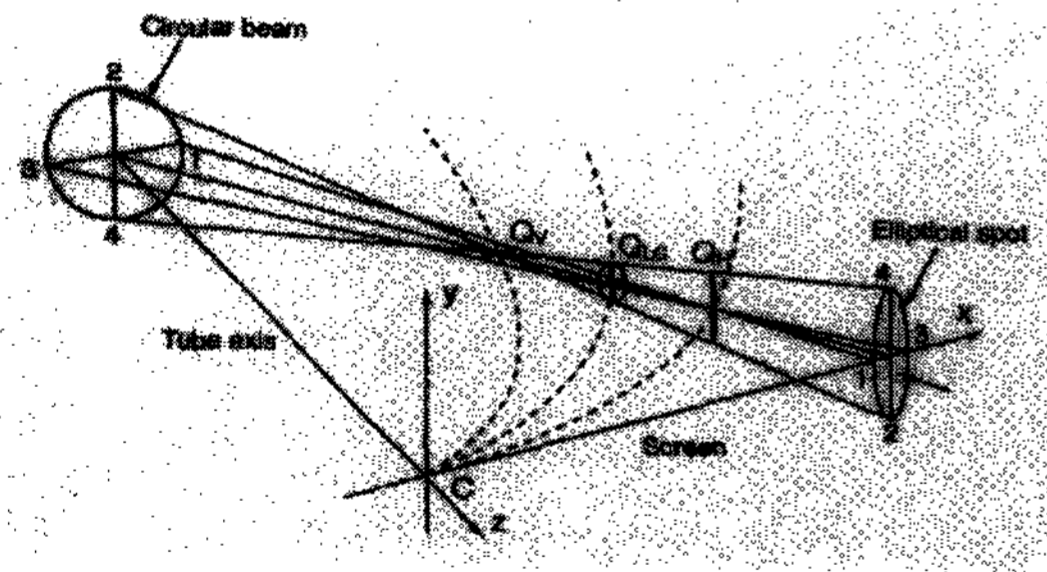
편향에 의한 spot의 defocus와 형상의 찌그러짐을 총칭하여 spot의 편향수차라 부른다.(편향수차는 mis-convergence 벗어남도 포함된다.) 따라서, 편향수차에 기인하는 spot품질의 저하를

막는 것이 대단히 중요하다.

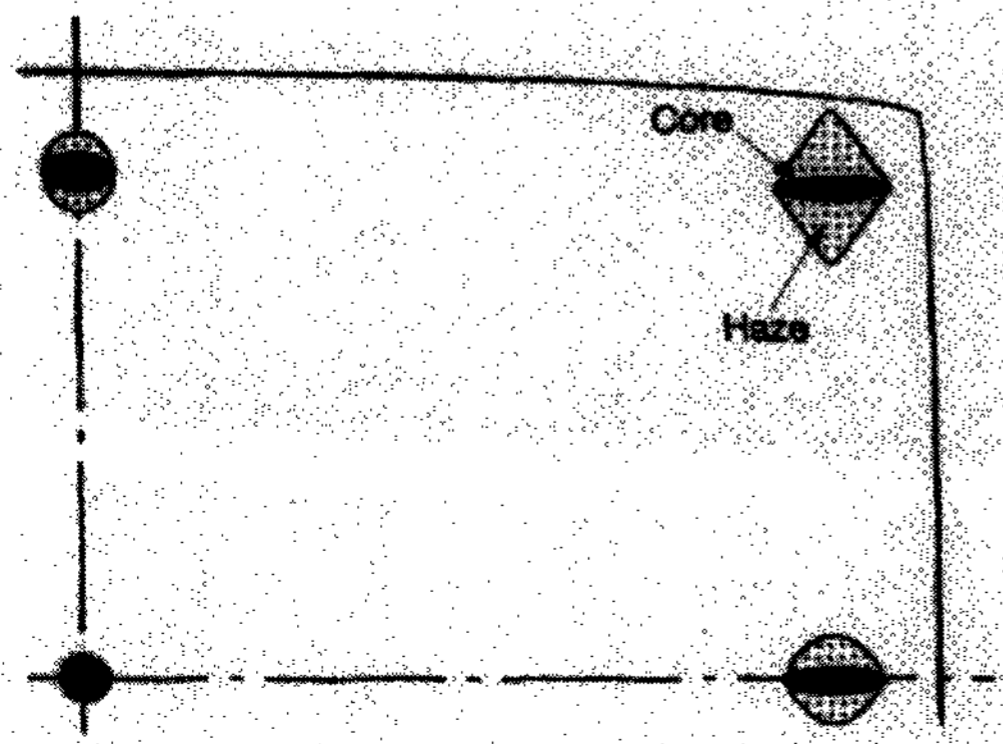
1) Spot의 편향수차

Screen 중앙 (C)으로 한점에 focus된 빔을 편향하면, <그림 18>에서 보는 바와 같이 focus 점은 수평방향( $Q_H$ )과 수직방향( $Q_V$ )이 서로 다르다. 이것을 비점수차(astigmatism)라고 한다. 스크린상의 spot는 수평, 수직방향이 over-focus가 된다. 이것은 통상의 dynamic focus로 보정할 수 있다.

In-line self-convergence방식은 수평일렬의 3본의 빔을 수평이 pin-cushion, 수직이 barrel 인 강한 자계로 편향하여 convergence를 맞춘다. 수직상면은 screen의 안쪽으로 후퇴하므로 수직방향은 over-focus되어, 수직방향의 focus 전압  $V_{focV}$ 는 편향과 동시에 상승한다. 그 결과 <그림 19>에 도시한 바와같이 spot의 연직방향



<그림 18>



<그림 19>

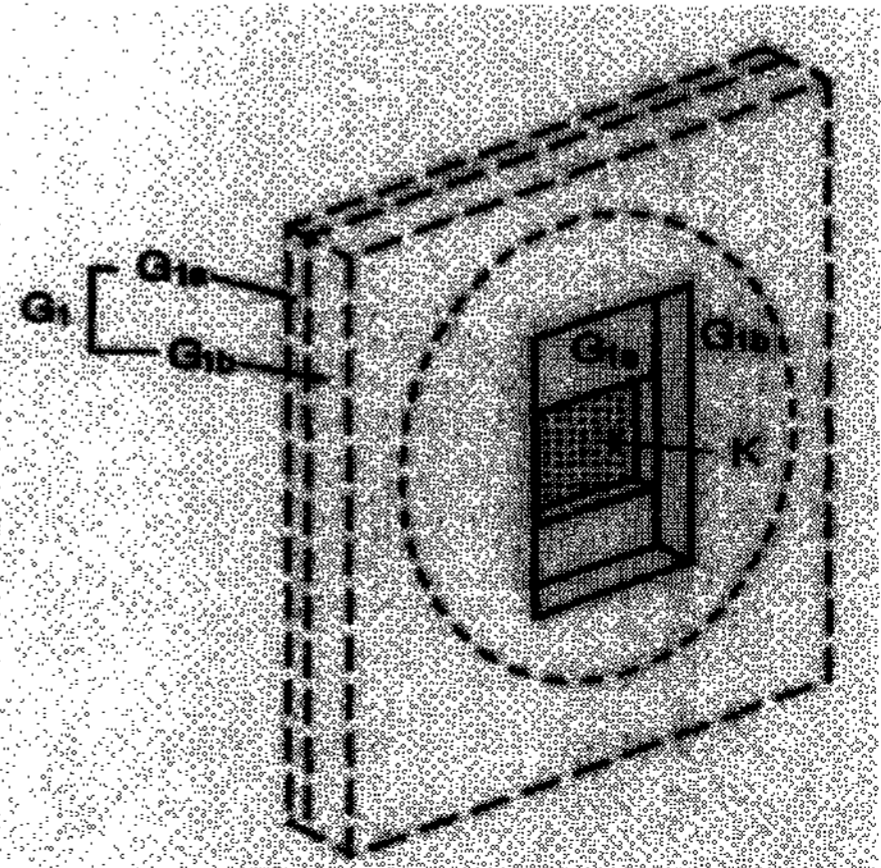
에 halo가 발생하여 주변부 해상도를 저하시킨다. 수평과 수직의 focus전압차를 편의상 spot의 astigmatism  $V_{ast}$ 라 정의한다. 즉,

$$V_{ast} = V_{focH} - V_{focV} \quad (29)$$

Spot astigmatism은 self-convergence자계의 4극성분(quadrupole)에서 기인한다. 자계와 반대의 quadrupole을 전자총에서 발생시켜 빔에 작용시킨다면 편향자계 때문에 사용한다. 발생하는 spot astigmatism을 소거시킬 수 있다.

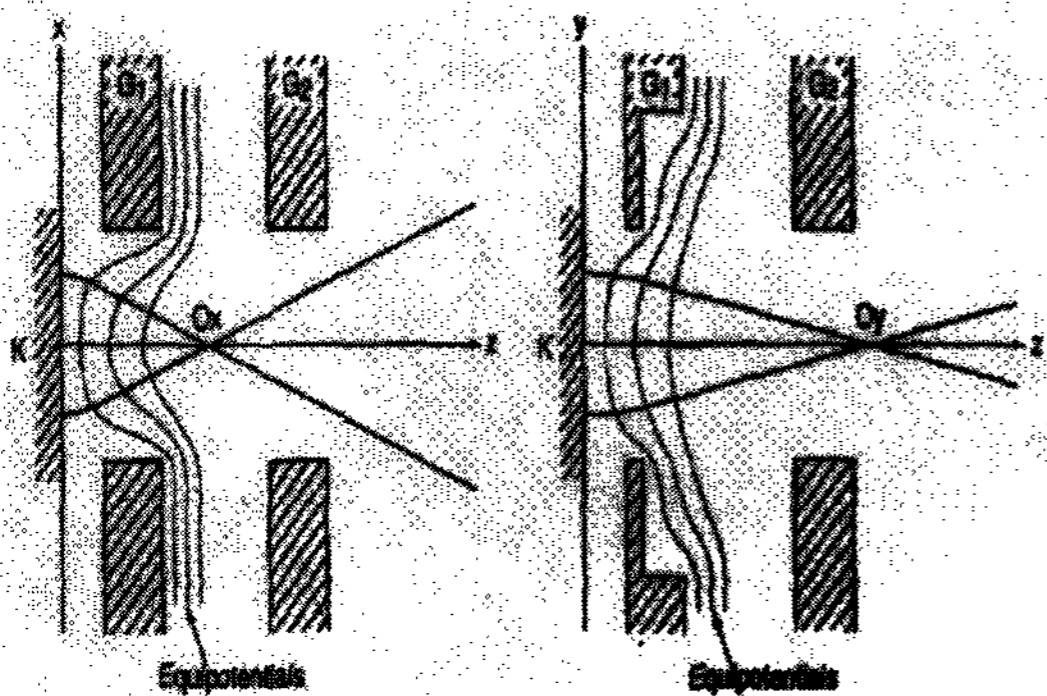
2) Static quadrupole

$G_1$  또는  $G_2$ 에 비원형의 개구를 쓴다. 일례로서,  $G_1$  quadrupole의 구조를 <그림 20>에 표시하였다<sup>[23,38]</sup>. 이것에 의해 cathode 렌즈에 quadrupole전계가 생기어, <그림 21>에서와 같이 crossover가 수평방향은 cathode방향으로, 수직방향은 주렌즈 방향으로 분리된다. 그 결과, 자계의 astigmatism에 기인하는 수직방향의 over-focus가 상쇄될 수 있다.  $G_1$  quadrupole은 고전류에서 효과가 있기 때문에 주로 CPT 전자총에 쓰인다. 비교적 저전류로 동작하는 CDT용에는  $G_2$  quadrupole이 많이 쓰인다<sup>[39]</sup>. 그러나, 양자 모두 편향자계가 없는 screen중앙부에서는 전자총의 quadrupole만이 작용하기



<그림 20>



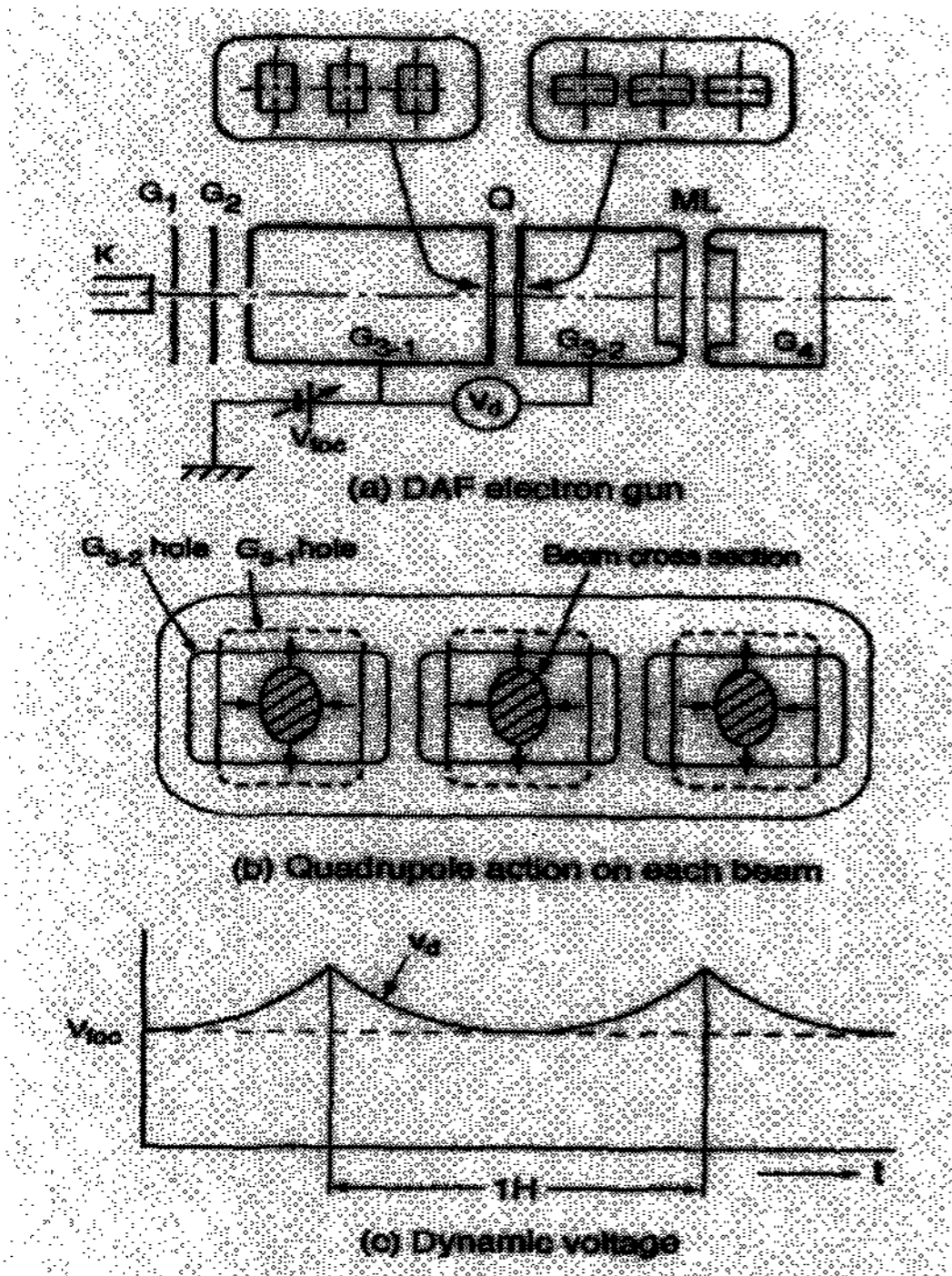


<그림 21>

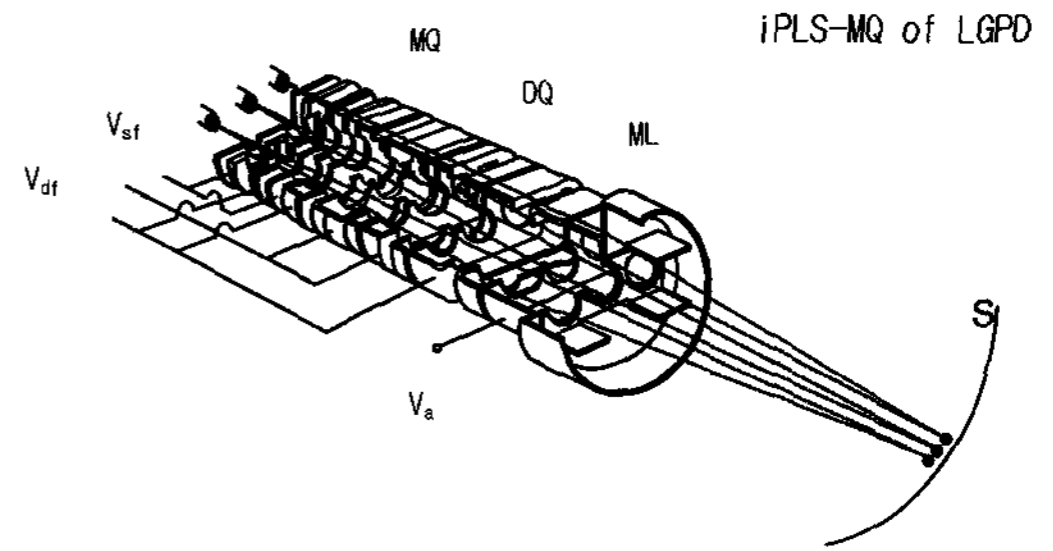
때문에, spot의 수직방향의 under-focus로 되어 중앙에서의 수직 해상도가 저하된다.

3) Dynamic quadrupole

Astigmatism을 screen의 각 지점에서 dynamic으로 상쇄시키고 수평과 수직방향의 상면을 일치시킨다. 그러나 일치한 상면은 최소착란원



<그림 22>



<그림 23>

$Q_{Lc}$ 의 위치(<그림 19 참조>)에 생기므로 이것을 screen상에 shift 시키기 위해서는 동시에 dynamic focus가 필요하게 된다. DAF(Dynamic Astigmatism and Focusing) 전자총은 하나의 예로 그 원리를 <그림 22>에 표시하였다[40,41].

DAF전자총은 수평해상도를 손상함과 동시에 moire가 생기기 쉬운 문제가 있다. 이것을 개선하기 위해서 quadrupole을 빔형성부의 가까이 설치하여, 동시에 dynamic전압을 인가한다[42,43]. <그림 23>에는 DAF전자총의 단점을 보완한 iPLS-MQ 전자총의 구조를 나타낸다[44,45].

6. 목표 spot성능과 금후의 기술동향

In-line self-convergence방식의 칼라 CRT의 focus성능은 대폭 향상되어, 고정세 display monitor나 HDTV가 필요로 하는 해상도를 상당한 정도 해결할 수 있게 되었다. 그러나 고휘도 화면이나 광각편향시 screen의 주변부에서의 spot경은 여전히 크다.

CDT는 동작전류가 0.3mA로 낮고 편향각도 90°이기 때문에, spot경은 screen의 중앙, corner에서 거의 만족할 만한 수준이다. 반면에 CPT는 평균전류는 0.5mA 정도이지만 순간 peak전류는 4mA에 도달하고 편향각도 106°로 크다. 일반적으로, screen중앙에서의 spot경은 허용할 수 있지만, corner에서의 spot수평경이 중앙에서 보다 2배정도 증대한다. 이러한 수평경의 증대는 in-line self-convergence방식의 근본적 문제로 그 해결을 위해 computer simula-

tion<sup>[46]</sup>과 새로운 방식의 검토<sup>[47]</sup>가 계속해서 행하여지고 있다.

칼라 CRT는, cost performance가 뛰어나기 때문에 금후에도 오랫동안 display의 주류로 될 것으로 생각한다. 정보화 사회의 발전은 한층 발전된 고성능의 칼라 CRT를 요구할 것이다. 따라서 새로운 관점에서의 혁신이 여러가지의 형식으로 시도될 것으로 예상된다. 그 중에서도 해상도의 향상은 가장 중요한 과제이다.

일예로 함침형 cathode, 비축대칭형전계에 의한 저수차 전자렌즈, 공간전하 반발력의 저감 등이 기대된다. 또한 高程度 simulation으로 설계 시간 단축과 더불어 高程度부품가공에 의한 조립 process의 혁신도 중요한 과제이다.

끝으로 본 원고를 위하여 여러가지의 advice와 자료를 지원하여 주신데 대하여 스즈끼 고문께 감사의 말씀을 드립니다.

#### 참 고 문 헌

- [1] P. K. Keller : Inform. Disp., 13(6), 12-16, 1977.
- [2] V. K. Zworykin and G.A. Morton : Television, 2<sup>nd</sup> ed., John Wiley & Sons, New York, 1954.
- [3] H. Suzuki : Electron Gun Systems for Color Cathode Ray Tubes, in "Advances in Imaging and Electron Physics" (B.Kazan,ed.) 105, 267-404, Academic Press, New York, 1998.
- [4] J. Hasker : Philips Res. Rept., 21, 122-150, 1966.
- [5] M. Ploke : Z Angew. Phys., 4, 1-12, 1952.
- [6] M. Saito et al. : IEEE Trans. Electron Devices, ED-37(12), 2605-2611, 1990.
- [7] S. Endo et al. : Tech. Group Inform. Disp. Inst. Electron. Inform. Commun. Eng. Jpn., EID89-75, 7-12, 1990.
- [8] R. C. Alig and J. R. Fields : Jour. SID, 8(3), 99-113, 2000.
- [9] D. B. Lanmuir : Proc. IRE 25, 991-997, 1937.
- [10] H. Moss : J. Electron. and Control, 10, 341-364, 1961.
- [11] O. Klemperer and M. E. Barnett : "Electron Optics", 3<sup>rd</sup> ed., 229-232, Cambridge Univ. Press, London, 1971.
- [12] P. G. J. Barten : Proc. SID, 25(3), 155-159, 1984.
- [13] B. J. Thompson and L. B. Headrick : Proc. IRE, 28, 318-324, 1940.
- [14] R. C. Alig : RCA Rev., 41, 517-536, 1980.
- [15] P. Grivet : "Electron Optics", 2<sup>nd</sup> ed., Pergamon Press, Oxford and New York, 1972.
- [16] K. r. Spengenberg : "Vacuum Tubes", McGraw-Hill, New York, 1948.
- [17] 村中秀雄, 岡本隆三 : 電通學會 電子裝置研究會資料 ED77-72, 9-16, 1977.
- [18] D. L. Say : IEEE Trans. Consum. Electron., CE-24(1), 75-80, 1978.
- [19] R. H. Hughes and H. Y. Chen : IEEE Trans. Consum. Electron., CE-25(2), 185-191, 1979.
- [20] J. Kilton et al. : SID'99 Digest. XXX, 1084-1087, 1999
- [21] C. A. Davis and D. L. Say : IEEE Trans. Consum. Electron., CE-25, 475-480, 1979.
- [22] 下間武敏, 外 : 87-79, 25-30, 1987.
- [23] J. Gerritsen and P. G. J. Barten : Proc. SID, 28(1), 15-19, 1987.
- [24] T. G. Spanjer et al. : SID'87 Digest, XVIII, 170-173, 1987.
- [25] R. L. Barbin and R. H. Hughes : IEEE Trans. Broadcast. Telev. Review., BTR-18, 193-200, 1972.
- [26] A. M. Morrel : 2<sup>nd</sup> Annual Convention



- Fernseh und Kinitechnische Gesellschaft, Munich, Germany, 1974.
- [27] K. Hosokoshi et al.: Proc Japan Disp. '83, 272-275, 1985.
- [28] H. Y. Chen: Proc. SID, 26(4), 267-271, 1985.
- [29] K. Hosokoshi et al.: IEEE Trans. Consum. Electron., CE-26, 452-458, 1980.
- [30] R. C. Alig and R. H. Hughes: SID Digest, XIV, 70-71, 1983.
- [31] S. Shirai et al.: Proc. Japan Disp. '83, 276-279, 1983.
- [32] D. M. MacGregor: IEEE Trans. Consum. Electron., CE-29(3), 318-325, 1983.
- [33] D. J. Bechis et al.: Proc. SID, 30(3), 229-239, 1989.
- [34] A. F. Aalders et al.: SID'89 Digest, XX, 38-41, 1989.
- [35] S. Yoshida et al.: IEEE Trans. Broadcast. Telev. Receiv., BTR-14, 19-27, 1968.
- [36] S. Yoshida et al.: IEEE Trans. Broadcast. Telev. Receiv., ED-19(4)231-238, 1973.
- [37] T. Saito et al.: J. Appl. Phys., 44(10), 4505-4510, 1973.
- [38] P. G. J. Barten and J. Kaashoek: IEEE Trans. Consum. Electron., CE-24(3), 481-487, 1978.
- [39] H. Suzuki et al.: Proc. Japan Display '83, 612-615, 1983.
- [40] A. Ashizaki et al.: Proc. Japan Display'86, 44-47, 1986.
- [41] H. Suzuki et al.: Proc. SID, 28(4), 403-407, 1987.
- [42] H. Suzuki et al.: Jour. SID, 1, 129-134, 1993.
- [43] H. Suzuki et al.: Proc. Japan Display'92, 269-272, 1992.
- [44] W. H. Kim et al.: SID'95 pp.99-102 1995
- [45] H. C. Kim et al.: Proc. of IDW '99, pp.525-528, 1999
- [46] R. C. Alig: Jour. SID, 1, 371-374, 1993.
- [47] A. Krijn et al.: SID'01 Digest, XXXII, 1008-1011, 2001.