

# Defocussed된 畫像의 復舊에 關한 研究

## (A Study on the Image Restoration in the Defocussed Image)

李明鍾\*, 安秀桔\*\*

(Myung Jong Lee and Souguil ANN)

### 要約

Defocussed된 정지화상은 그 PSF(point spread function)이 rectangular 혹은 Gaussian 등의 2차함수가 되며 이것과 입력화상과의 convolution으로 모델링 할 수 있음이 알려져 있다.

그런데 이를 TV 카메라의 주사선을 이용한 analog 방식으로 개선코자 할 경우에는, 매 수평주사선에 관한 한 1차원적인 처리가 가능하며 이 defocussed된 화상은 원래의 화상과 일정한 폭을 가진 펄스와의 수평방향으로 convolution된 결과로 해석 할 수 있음을 밝혔다.

또한 TV 카메라와 analog compound high pass filter를 사용한 복구 실험으로써 현저히 개선된 사진을 얻을 수 있었다.

### Abstract

The point spread function of defocussed image is known as two dimensional function, one of rectangular type and Gaussian type function and etc, and the defocussed image can be modeled as the convolved output between original image and the supposed PSF.

But, in case of analog method using the scanning line of TV camera, one dimensional process can be effective, and it was shown that the defocussed image can be analyzed as the convolved output between the original image and the pulse with finite width in the horizontal direction.

And using TV camera and a analog compound high pass filter, the restoration experiment is made and we have got some pictures with remarked improvements.

### I. 序論

화상처리에 있어서 디지털 방법이 압도적인 연구 수단이 되고 있으나 광학적인 방법이나 아날로그 방법도 나름대로의 장점을 가지며 연구되어온 바 그 예로 실

시간 처리가 가능하다는 점 등이다.

본 논문에서는 defocussed 된 화상에 있어서 디지털방식이 아닌 TV 카메라와 간단한 아날로그 필터를 사용하여 아날로그적인 화상복구에 관한 연구를 수행하였다.

화상의 defocussing 함수가 본질적으로 2차원의 함수이지만 본체와 같은 TV 수평주사선을 사용한 경우에는 수평방향의 변위  $x$ 에 대한 1차원적인 복구만이 가능하므로 defocussed된 화상의 경우 수평방향 주사선상에서의 일차원적인 모델링을 행하여 그것이 일정

\*正會員, 建國大學校 電子工學科  
(Dept. of Electronics Eng., Kon Kook Univ.)

\*\*正會員, 서울大學校 電子工學科  
(Dept. of Electronics Eng., Seoul National Univ.)

接受日字: 1984年 3月 17日

한 쪽을 가진 펄스와 원래의 화상과의 convolution, 즉 주파수 영역에서 원래화상의 스펙트럼과 sinc 함수형의 스펙트럼과의 곱으로 표시 될 수 있음을 밝혔다.

다음에 아날로그 compound high pass filter를 사용한 화상의 복구실험을 행하여 현저한 개선을 확인하였다.

II. 本 論

1. 화상의 표현<sup>[1]</sup>

일반적으로 TV등에서의 화상 표현은 (그림 1) 처럼 위치정보 (x, y)와 시간 t, 그리고 강도(強度 : intensity) 함수 λ를 포함하는 4 차원의 식 g(x, y, λ, t)로 표시 할 수 있다. 그러나 화면이 정지되어 있는 경우에는 λ(x, y)와 같이 2 차원 위치에 따르는 강도만의 함수로 표시 할 수 있다. 이와 같이 주어진 λ(x, y)의 화상이 TV카메라의 주사선에 의해서 주사되는 경우에는 그림 1과 같이 특정한 주사선 y<sub>i</sub> 상을 전자빔 (electron beam)이 수평방향으로 주사할 때 이 빔에 변조를 일으키는 것은 화상의 수평방향 성분 뿐임은 명백하다. 따라서 y<sub>i</sub> 주사선상의 화상은 λ(x)로 표시할 수 있고 전화상은 {λ(x, y<sub>i</sub>), i=1...N} (단 N은 주사선수)으로 표시 할 수 있다. 이러한 TV 주사선이라는 제한을 가진 1 차원적인 모델링은 화상을 2 차원적으로 동시에 다루는 일반적인 디지털 모델링과는 다르며, 이 경우 한 방향으로의 복구만을 가정하여 전개되나 차후 수평, 수직 2 회의 처리를 가정하면 2 차원적인 복구를 수행 할 수 있게 된다.

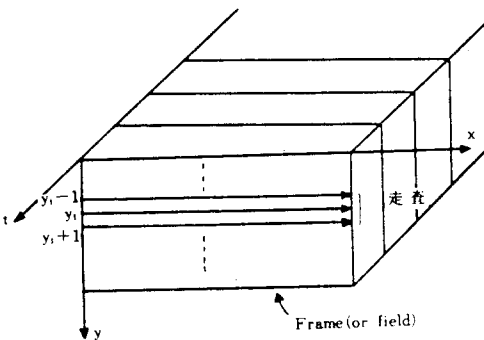


그림 1. TV 화상의 표현  
Fig 1. Expression of TV image.

따라서 엄밀히는 화상의 표현방법이 아니나 한 주사선상에서의 복구만을 논하는 것이므로 이하에서 일차원의 표현으로 전개한다.

2. 화상복구 시스템의 일반적 모델<sup>[2][3]</sup>

어떠한 화상시스템도 완전히 흠없는 화상을 얻게 할 수는 없다. 예로 공중 정찰의 경우나 항성 촬영의 경우에서 촬영된 사진은 대기의 교란, 광학시스템의 불완전성, 카메라와 피사체간의 상대 운동등으로 손상을 입은 화상을 얻게 된다.

이렇게 원래의 화상이 손상되고 이 손상을 제거하는 시스템의 일반적 모델을 그림 2에 보인다.<sup>[4]</sup>

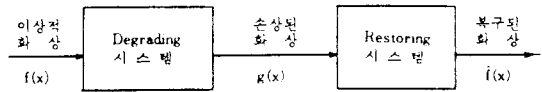


그림 2. 일반적인 화상 시스템  
Fig 2. General image system.

그림 2에서 화상시스템이 완전하다고 가정할 때의 화상을 f(x) [f(x, y)의 일차원 표현]라 하고 실제로는 시스템의 불완전성에 기인하여 손상된 화상을 얻게 되는 바 이를 g(x)라 한다. 그리고 이 화상에 복구처리를 행함으로써 얻어진, 이상적 화상 f(x)에 근사하게 개선된 화상을 f-hat(x)라 했다. 이 모델을 세우는데 2 가지 가정이 있다.<sup>[2]</sup>

첫째는 degradation의 본질과 수학적 특성(즉 point spread function)이 알려진 경우에 한다.

둘째는 이러한 처리는 a posteriori의 방법이라는 점이다.

그런데 본제와 같은 defocussing, 카메라의 움직임, 대기난류, 렌즈의 광학적 전달 함수 등에 기인하는 degradation의 경우에는 그림 2의 모델에 대해 그림 3과 같은 간단한 선형복구모델이 성립한다.<sup>[2]</sup>

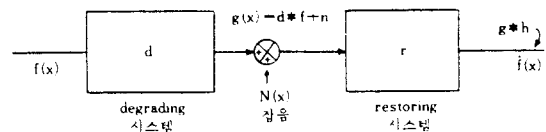


그림 3. 선형 복구 시스템  
Fig 3. Linear restoration system.

여기서의 화상표현은 강도함수이며 손상된 화상은, 잡음을 포함하여 (1)식과

$$g(x) = f(x) * d(x) + n(x) \quad (1)$$

같이 표시되고 복구된 화상은 (2)식과 같이 표시된다.

$$\hat{f}(x) = g(x) * r(x) \quad (2)$$

식(1), 식(2)를 후리에 변환하면

$$G(\omega) = F(\omega) \cdot D(\omega) + N(\omega) \quad (3)$$

$$\hat{F}(\omega) = G(\omega) R(\omega) \quad (4)$$

$$\therefore \hat{F}(\omega) = R(\omega) \cdot F(\omega) \cdot D(\omega) + R(\omega) \cdot N(\omega) \quad (5)$$

이때  $R(\omega) = D^{-1}(\omega)$ , 즉 역필터를 가정하면

$$\hat{F}(\omega) = F(\omega) + D^{-1}(\omega) N(\omega) \quad (6)$$

식(6)에서 이론적으로 잡음이 없다면 화상을 원형대로 재생할 수 있게 된다. 그러나 잡음이 없더라도 대부분의 degrading 시스템의 전달함수가 주파수 영역에서 영점(zero)들을 갖게 되어 수학적으로 완전한 역필터가 존재하지 않게 되며<sup>1)</sup> 실제로는 구현의 문제가 남게 된다. 그래서 S/N비가 큰, 영점 이전의 주파수 영역에서의 복구만을 행하는 등의 방법으로 이의 영향을 피하고 있다.<sup>1)</sup>

### 3. Defocussed된 경우의 解析

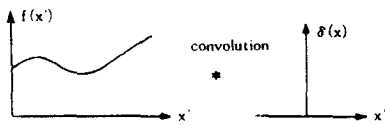
이 경우 역필터를 求하기 爲해서는 前述한 그림 3의  $f(x)$ 가 어떠한 degrading 시스템을 通過한 것과 같은가를 찾아야 한다. 本題에서는 이 degrading을 defocussing, 즉 초점이 맞지 않은 경우로 한다. 結局 이 defocussing 함수 d를 알면 復旧시스템 r은 d의 逆으로 취하면 된다.

理想的 入力 畫像을  $f(x)$ 라 하고 그림 4의 (a)와 같이 초점이 맞은 이 경우에 얻어지는 畫像  $g(x)$ 는, 델타 함수를 使用하면

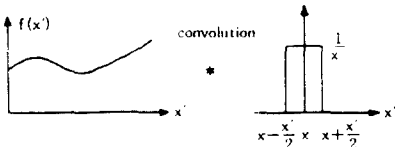
$$g(x) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x') \delta(x'-x) dx' \quad (7)$$

로 表示할 수 있다.<sup>1)</sup> 다시말해  $g(x)$ 는 水平走査線上에서  $x'$ 를  $-\infty$ 에서  $+\infty$ 까지 변경시키면서 weight는  $f(x')$ 로 되는 point source의 線型合(linear sum)으로 表示할 수 있는 것이다.

式(9)에 후리에 變換을 行하면



(a) Focused



(b) Defocused

그림 4. 畫像의 構成

Fig. 4. Construction of images.

$$G(\omega) = F(\omega) \cdot 1$$

이 되어 焦點이 맞는 경우에는 왜곡이 없는 원래의 스펙트럼을 유지하게 된다. 그런데 焦點이 맞지 않은 경우에는 그림 4의 (b)와 같이 point source가 一定한 幅 x만큼 平均되어 나타나게 된다. 이를 詳細히 圖示하면 그림 5와 같다. 한 점 0에 모일 point source의 情報가 그림에서와 같이 aa' 및 bb'와 같이 낮은 強度로 一定한 幅을 가지고 나타난다. 이 경우 얻어진 畫像은 그림 4의 (b)와 같이  $f(x')$ 와 幅  $x'$ 의 필스와의 convolution 積으로 表示할 수 있다.

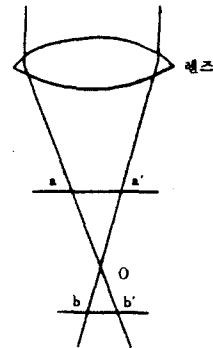


그림 5. 1차원 defocussing의 원리

Fig. 5. One dimensional defocussing mechanism.

$$g(x) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x') h(x'-x) dx' \quad (8)$$

식(10)에 후리에 變換을 取하면

$$G(\omega) = F(\omega) \cdot H(\omega) \quad (9)$$

이때 그림 4의 (b)에서  $h(x)$ 는 우함수이므로

$$\begin{aligned} H(\omega) &= 2 \int_0^{\infty} h(x) \cos \omega x dx \\ &= 2 \int_0^{x/2} \frac{1}{x} \cdot \cos \omega x dx \\ &= \frac{\sin \frac{\omega x'}{2}}{\frac{\omega x'}{2}} = \text{sinc} \frac{\omega x'}{2} \end{aligned} \quad (10)$$

이 sinc 함수를 周波數 영역에서 圖示한 것이 그림 6에 있다.

식(10)을 식(9)에 대입하면

$$G(\omega) = F(\omega) \cdot \text{sinc} \frac{\omega x'}{2} \quad (11)$$

즉 초점이 맞지 않은 화상은 원래의 스펙트럼  $F(\omega)$ 에 sinc 함수를 곱하는 형이 되어 그 envelope 그림 6에서와 같이 compound low pass filter의 특성이 된다.

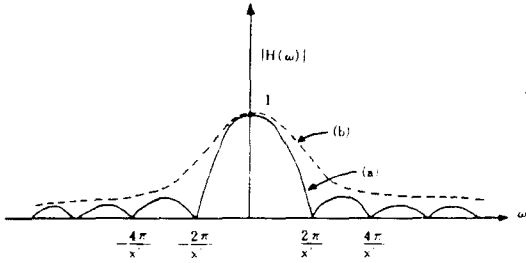


그림 6. (a) 주파수 영역에서의 sync 함수  
(b) Sync 함수 envelope에 근사시킨, compound low pass filter의 특성

Fig. 6. (a) Sync function in the frequency domain.  
(b) Characteristics of compound low pass filter approximating the sync function envelope.

4. 복구 시스템의 구성

Defocussing 과정이 그림 6 과 같이 주파수 영역에서 sinc 함수이므로 복구 필터는

$$R(\omega) = D^{-1}(\omega) = \left[ \text{sinc} \frac{\omega x'}{2} \right]^{-1}$$

를 구하면 된다. 그런데 sinc 함수는 영점들을 갖긴 하지만 이것은 defocussing이 일종의 적분, 즉 면적에 관계된 함수이므로 특정한 주파수에서의 영점은 넓이에 크게 기여치는 못하게 되며, 특히 main lobe에 대부분의 에너지가 모여 있으므로 영점 이전에 대한 복구만을 생각 할 수도 있다.

그런데 sinc 함수의 이상적 역필터는 디지털 필터로는 몇가지 근사한 역필터 함수가 제시되고 있으나 아날로그 화로로는 구현이 불가능하므로 여기서는 그림 7 과 같이 sinc 함수의 envelope를 compound low pass filter의 주파수 특성에 근사시키고 이의 역인 R-C compound high pass filter로써 복구시스템을 구성하였다(그림 8 참조). 이때 compound high pass filter를 사용한 것은 저주파수 성분의 완전감쇄를 방지하기 위한 것이며 D.C. 혹은 저주파에서도 이득

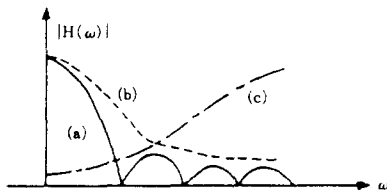


그림 7. (a) Sinc 함수  
(b) 근사시킨 defocussing 과정  
(c) 복구 과정

Fig. 7. (a) Sinc function.  
(b) Approximated defocussing process.  
(c) Restoring process.

$R_2/R_1 + R_2$ 를 갖게 된다.

이제 defocussing의 정도  $x'$ 과 compound low pass filter의 차단주파수와의 관계를 규명하자.

Compound low pass filter의 차단주파수를 각각  $\omega_1$ ,  $\omega_2$ 라 하면,  $\omega_1$ 은 sinc 함수의 main lobe에 근사시킨 차단주파수로 하고  $\omega_2$ 는 n번째 side lobe를 포함하는 차단주파수로 한다. 이때 그림 6으로 부터

$$\omega_1 = \frac{2\pi}{x'} \tag{12}$$

$$\omega_2 = \frac{2\pi \cdot n}{x'}$$

이 된다. 본체의 1 차 filter에 대해서는

$$\omega_1 = \frac{1}{(R_1 + R_2)C_1}$$

$$\omega_2 = 1/R_2 C_2 \text{ 이 되므로}$$

$$\omega_1 \text{에 대해 } x' = 2\pi(R_1 + R_2)C_2$$

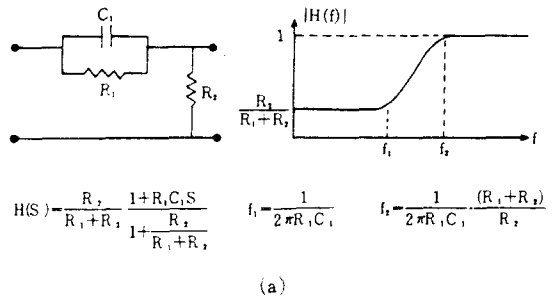
$$\omega_2 \text{에 대해 } x' = 2\pi n R_2 C_2 \text{가 되며}$$

filter의 수치를 위해 정리하면

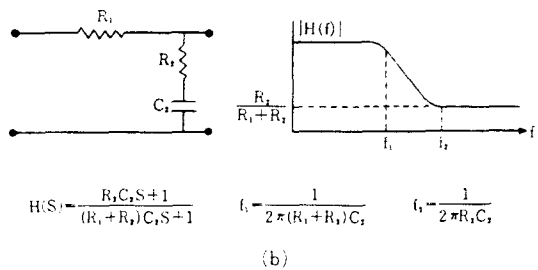
$$nR_2 = R_1 + R_2 \tag{13}$$

가 된다.

식(12)의  $\omega_1$ ,  $\omega_2$ 를 알면 high pass filter는 쉽게 구할 수 있다(그림 8 참조).



$$H(S) = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \frac{1 + R_1 C_1 S}{1 + \frac{R_1}{R_1 + R_2} S} \quad f_1 = \frac{1}{2\pi R_1 C_1} \quad f_2 = \frac{1}{2\pi R_1 C_1} \frac{(R_1 + R_2)}{R_2}$$



$$H(S) = \frac{R_2 C_2 S + 1}{(R_1 + R_2) C_2 S + 1} \quad f_1 = \frac{1}{2\pi (R_1 + R_2) C_2} \quad f_2 = \frac{1}{2\pi R_1 C_2}$$

그림 8. RC compound filter  
(a) R-c compound high pass filter.  
(b) R-c compound low pass filter.

Fig. 8. RC compound filter.  
(a) R-c compound high pass filter.  
(b) R-c compound low pass filter.

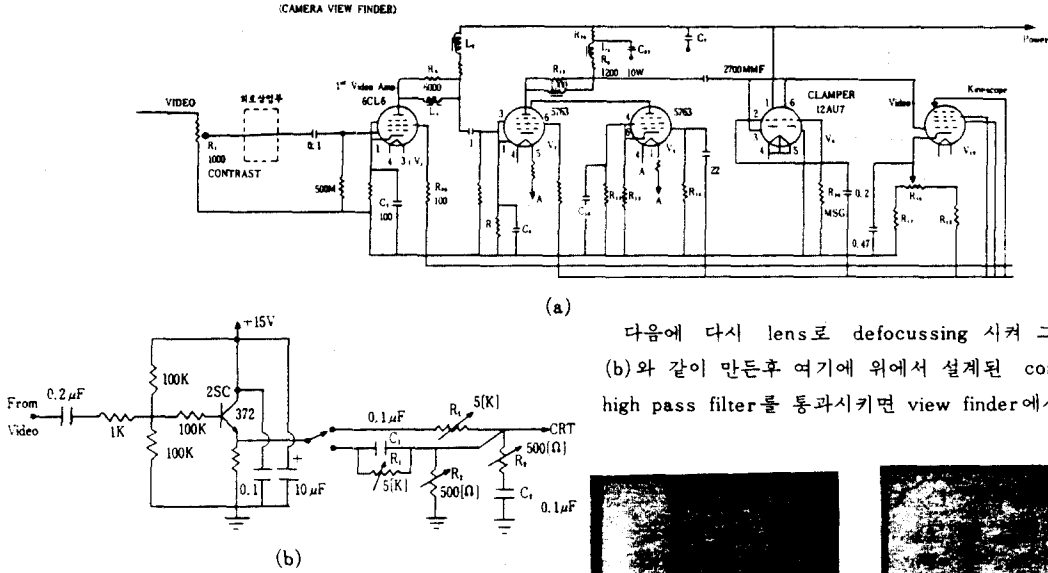


그림 9. (a) Camera view finder  
(b) 삽입 회로부  
Fig. 9. (a) Camera view finder.  
(b) Inserted circuits.

III. 실험 및 검토

실험에 사용된 화상은 "IMAGE SIGNAL PROCESSING"이란 흰띠와 검은띠들로 구성된 그림이었고 이때 사용한 회로와 카메라 view finder에서의 삽입부를 그림 9에 보였다.

먼저 degradation 되지 않은 화면을 그림 10의 (a)에 보였다. 그리고 이 화면을 TV camera lens를 manual로 defocussing시켜, 즉 광학적으로 defocussing된 것을 view finder에서 찍은 사진이 그림 10의 (b)에 있다. 다음에 본문에서 밝힌대로 compound low pass filter를 통과시켜서 얻은 사진이 광학적으로 defocussing시켜서 얻은 사진과 근사한가를 확인키 위해 low pass filter를 통과시켜서 얻은 사진이 그림 10의 (c)에 있다. 이때 차단주파수  $f_1, f_2$ 를 여러가지로 바꾸어서 제일 근사한 것을 택했다. 육안으로 거의 같은 상태였다. 이때의 소자값은  $R_1 = 1.44K\Omega, R_2 = 160\Omega, C_2 = 0.1\mu F$ 이며  $f_1 = 1KHz, f_2 = 10KHz$ 가 되었다.

이경우 식(13)에 의해서, 복구에 포함되는 sidelobe의 갯수는  $R_1, R_2$ 의 값으로 구해 지는데  $n=10$ 임을 알 수 있다. 복구시스템은 compound high pass filter를 사용하여 얻었는데 광학적으로 defocussing된 사진과 같은 정도의 defocussing을 이미 low pass filter로써 얻어 그 차단 주파수를 알았으므로 이 차단주파수를 유지하고 소자값을  $R_1 = 1.6K\Omega, C_2 = 0.1\mu F$ 로 결정하였다.

다음에 다시 lens로 defocussing시켜 그림 10의 (b)와 같이 만든후 여기에 위에서 설계된 compound high pass filter를 통과시키면 view finder에서 복구

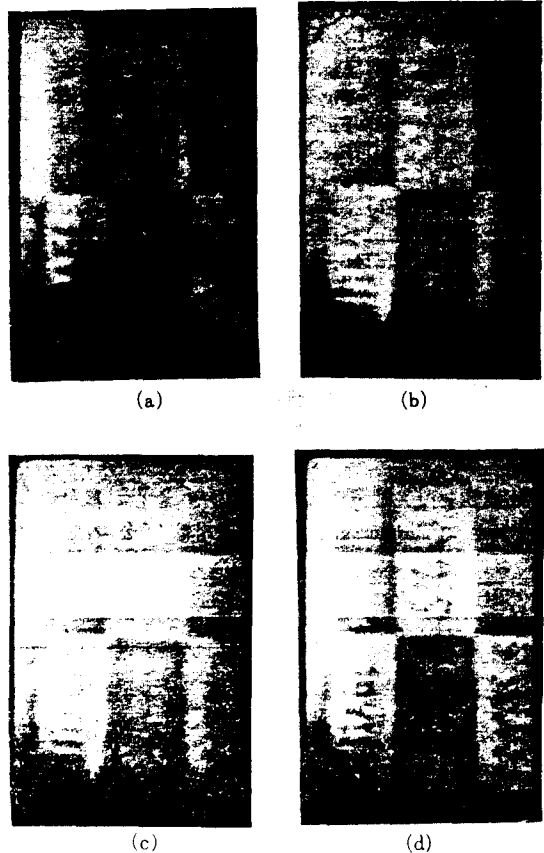


그림 10. (a) 본래의 사진(no degradation)  
(b) TV camera lens로 defocussing된 사진  
(c) low pass filter로 defocussing된 사진  
(d) 복구된 사진  
Fig. 10. (a) Original image.  
(b) Defocussed image through TV camera lens.  
(c) Defocussed image through low pass filter.  
(d) Restored image.

된 사진을 얻을 수 있는 바 그림10의 (d)이다.

본 논문의 실험에는 수년전 TBC가 서울대에 기증한 RCA사의 진공관형이며 orthicon tube를 활상관으로 사용한 TK-31 camera와 camera control, TK-31A power supply, TG-2A studio sync generator를 사용하였다.

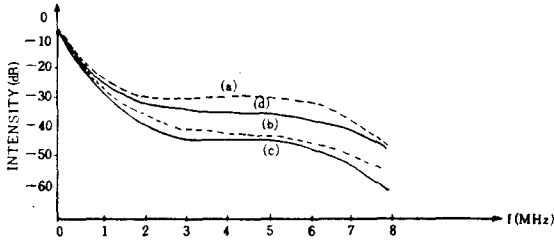


그림11. (a) Fig. 10의 (a) 그림의 스펙트럼  
(b) Fig. 10의 (b) 그림의 스펙트럼  
(c) Fig. 10의 (c) 그림의 스펙트럼  
(d) Fig. 10의 (d) 그림의 스펙트럼

Fig. 11. (a) Spectrum of Fig. 10 (a).  
(b) Spectrum of Fig. 10 (b).  
(c) Spectrum of Fig. 10 (c).  
(d) Spectrum of Fig. 10 (d).

#### IV. 結 論

많은 경우 degrading 과정을 알 수 없어서 a posteriori 방법으로 일반적인 화질개선을 꾀하곤 한다.

그런데 본 논문에서는 defocussed 화상을 TV 카메라의 일차원적인 주사선을 이용하여 복구를 행하는 경우에는 그 defocussing 함수가 일정한 폭을 가진 펄스

로서 defocussed된 화상은 원래의 화상과 이 일정한 폭(defocussing의 정도에 따라 달라짐)의 펄스와의 convolution積으로 얻어짐을 밝혔다. 주파수 영역에서 sinc 함수의 envelope에 근사시킨 compound low pass filter로서 이를 입증하였다. 그리고 이의 역이 되는 compound high pass filter로써 복구실험을 행하여 현저히 개선된 사진을 얻었고 이들을 주파수 스펙트럼으로 비교하였다.

물론 수평, 수직 양방향의 복구는 2회의 처리로써 얻어질 수 있다. 차후 sinc 함수에 근사시킬 수 있는 여러 filter들의 근사도를 정량적으로 규명할 수 있는 연구와, 아날로그와 디지털의 병용처리는 각각의 장점을 살리는 방향에서 바람직한 연구가 될 것이다.

#### 參 考 文 獻

- [1] 吹抜敬彦, 画像のデジタル信号処理, 日刊工業新聞社, pp.7-11, 1981.
- [2] T.S. Hwang, W.F. Schreiber and O.J. Treitjak, "Image processing," *Proc. of IEEE*, vol. 59, no. 11, 1971.
- [3] H.C. Andrews, B.R. Hunt, *Digital Image Restoration*. Prentice-Hall Inc., Chap 5, 1971.
- [4] Azriel Rosenfeld, Avinash, C. Kak, *Digital Picture Processing*. Academic Press, Chap. 7, 1976.
- [5] Andrews, H.C, *Computer Techniques in Image Processing*. Academic Press, 1970.
- [6] R.C.A., TV Camera Technical Manual.