

## 고속영상처리용 케이블 커넥터의 개발에 관한 연구

민 경 찬\* · 김 동 일\*\*

### A Study on Development of the High Speed Video Signal Cable Connector

*Min Gyung-Chan, Kim Dong-Il*

요 약

일반 개인용 컴퓨터의 품질향상에 따른 고속 영상처리용 VGA Card의 고속화에 따라 영상신호 케이블을 통한 광대역 방사전자파의 증가를 억제하고 전자파 내성시험 중 정전기 내력을 갖는 영상신호용 케이블 커넥터의 개발이 요구되어 왔다.

본 논문에서는 픽셀수에 따른 영상신호의 주파수 대역폭을 측정하여 영상처리에 지장을 주지 않는 범위에서 차단하고자 하는 주파수 대역을 정한 후, 기존 케이블의 특성임피던스를 주파수별로 구해 여기에 적합한 필터 회로를 설계, 삽입하여 각각의 정특성과 동특성을 측정하였다.

필터회로의 구성은 관통형 커패시터를 커넥터부에 취부하여 공진점이 없는 케이블을 개발하고, 특성을 개선하기 위해 기존의 케이블에 삽입되던 대형 페라이트비드를 소형화시켜 설계, 제작하여 그 특성을 측정한 결과 영상품질을 저하시키지 않고, 100MHz-1GHz까지 크게 개량된 감쇠특성을 가진 케이블 커넥터를 개발하는 데에 성공하였다.

#### Abstract

This study had been carried out to solve many kind of EMC problems in high perfor-

본 연구는 (주) 범아하네스의 연구비 지원과 보암산업, 우일전자의 협력에 의하여 이루어 졌음.

\* (주) 한국기술연구소(Korea Technology Institute)

\*\* 한국해양대학교 이공대학 전파공학과(Dept. of Radio Sciences & Engineering, Korea Maritime Univ.)

mance personal computer that has high speed VGA card used for general purpose. In this paper, We have designed the ideal filter that is composed of feedthrough capacitors with small ferrite bead attached to the connector in order to meet the EMC requirements for a wide band video signal up to 500MHz of PC video output. We have tried to fix a e-equivalent circuit and measuring each static, dynamic characteristic of insertion loss. After that we can get ideal parameters to supress emission from 100MHz to 1GHz frequency band on condition that colour image is not degraded. The video cable proposed here, may be applicable for MIL and more high speed commerical products on low price.

## 1. 서 론

일반 개인용 컴퓨터와 Workstation에 사용되는 영상 출력용 케이블 컨넥터를 통한 방사 전자파와 관련한 문제점은 L.C 소자가 각각의 고유공진점을 가지므로 대책 수립이 매우 어렵다. 따라서 영상 처리용 주변 기기의 전자파 대책은 EMC 기술자로서 하나의 도전이다. 특히 요즘들어 고속 영상처리용 VGA card를 채용한 486DX2급 이상에서 영상신호 케이블을 통한 80-200MHz의 전자파 노이즈가 규정을 넘는 경우가 많다.

따라서 필요에 의해 역기능적으로 발생된 전자파에 대한 대책을 위해 각종 Port 처리용으로 공진점이 없는 필터 부착 케이블 컨넥터의 필요성이 요구되어 왔다.

본 연구에서는 우선 PC 본체와 모니터간에 사용되는 영상케이블 주변회로의 등가회로를 제안하고 케이블을 통한 방사전자파와 정전기에 대한 내력을 고려하여 영상 케이블이 갖추어야 할 조건을 구하였다.

구해진 조건에 따라 기존에 사용되어 왔던 케이블의 특성 임피던스를 주파수별로 측정하였다.

이와 더불어 고속 영상처리시 영상에 영향을 주지않는 회로 정수를 모니터 화면 측정장치를 이용해 화상의 품질에 영향을 주지 않는 차단 주파수를 결정하고, 부분품인 관통형 컨덴사, 관통형 컨덴사+소형 페라이트 비드, 기존 케이블, 기개발된 대책 케이블 각각의 정특성을 측정 비교하였다.

측정된 결과를 토대로, 선정된 개인용 컴퓨터에 개발된 제품을 실장시켜 관통형 컨덴사만을 컨넥터부에 취부했을때와 관통형 컨덴사와 소형 페라이트 비드를 함께 삽입했을 때 각각의 동특성을 측정 비교하였는데 비교의 기준은 다음과 같다.

- 1) 영상품질을 저하 시키지 않을 것(대역폭)
- 2) I/O로서 정전기 내성에 대한 대책
- 3) 원가의 상승요인 최소화, 생산성 고려
- 4) 정해진 차단대역을 제외한 수 GHz대역까지 감쇄특성을 유지할 수 있으며 균용을 포함한 범용성이 있을 것.

## II. 본 론

### 2.1 Video 신호 전송계통의 EMC Modeling

컴퓨터 본체와 모니터용 케이블만을 보았을 때 정전기와 CM(Common Mode) 성분의 전자파의 방사 모델은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

그림 1에서  $i_{cm}$ 은 영상 출력회로에서 공급되는 CM성분의 전류,  $V_{cm}$ 은 전압,  $i_{cm1}$ 은 컴퓨터 본체의 함체를 통해 접지에 바이패스되는 전류성분,  $i_{cm2}$ 는 영상신호 케이블 측에 공급되는 전류성분,  $V_{esd}$ 는 정전기 시험기 인가되는 전압(IEC 801-2의 각 Level),  $i_{esd1}$ 은 커넥터의 임피던스를 통해 접지측으로 바이패스 되는 전류,  $i_{esd2}$ 는 정전기 방전전류의 회로측 유입전류로 기기의 내부회로 손상에 직접적인 영향을 주는 전류성분,  $Z_{cb}$ 는 영상제어회로 출력단에서 커넥터까지의 임피던스 성분,  $Z_{con}$ 은 케이블 커넥터의 임피던스,  $Z_{cc}$ 는 기기함체로부터 접지측에 이르는 임피던스,  $Z_{ca}$ 는 영상신호 케이블의 임피던스이다.

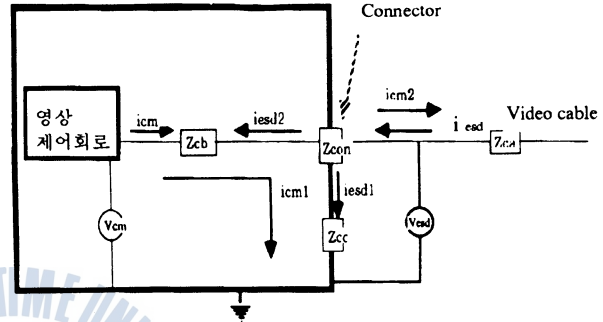


그림 1. 컴퓨터 본체에서 본 EMC회로 모델링.

### 2.2 정전기 대책측면

정전기 방전시험은 신호선의 커넥터측에 인가시키므로 이에 대한 대책이 고려되어야 한다.

그림 1에서 방전전류  $i_{esd}$ 는 커넥터의 임피던스  $Z_{con}$ ,  $Z_{cb}$ ,  $Z_{cc}$ 에 따라  $i_{esd1}$ 과  $i_{esd2}$ 가 되어 다음과 같이 흐른다.

$$i_{esd} = i_{esd1} + i_{esd2}$$

$$\text{또는 } i_{esd} = V_{esd} / Z_{cc} \quad (1)$$

단, 회로의 출력임피던스  $Z_{cb}$ 가 매우 큰 경우  $i_{esd2}$ 는 무시할 수 있으며,  $Z_{con}$ 은 매우 낮은 것을 가정한다.

따라서 정전기 방전에 대한 내성을 높이기 위해서는  $Z_{cb}$ 를 극대화시켜  $i_{esd2}$ 의 전류를 최소화시켜야 한다.  $Z_{cc}$ 의 경우 커넥터를 통해 접지측의 전류를 최대화시켜야 하므로 케이블의 실드선 즉, 편조선을 커넥터의 금속부와 360° 돌려<sup>1)</sup> 접속저항(임피던스)이 최소화 되도록 하는 것이 중요하다.

이때 편조선을 1곳에 묶어 접속하는 것은 Pig tail effects<sup>2)</sup>때문에 금기시 되고 있다.

결론적으로 커넥터 측에 인가되는 정전기 대책은 비디오 출력 임피던스를 높게하고, 모니터의 입력 임피던스를 높은 소자를 사용하는 것이 유리하다. 이 경우 임피던스 부정합에 의한 영향 즉, 반사는 어느정도 감내해야한다.

### 2.3 CM방사 노이즈의 최소화

본 연구의 목표인 CM성분의 노이즈 방사를 최소화 하기 위해서는 아날로그 신호케환선과 본체샤시와의 전위차  $V_{cm}$ 에 의한 전류  $i_{cm}$ 은 다음식으로 표현된다.

$$i_{cm} = i_{cm1} + i_{cm2} \quad (2)$$

의 관계가 성립하며  $i_{cm2}$ 가 많을 수록 방사 노이즈량이 커지므로  $i_{cm1}/i_{cm2}$ 의 비에 따라 방사 노이즈량을 최소화 시킬 수 있다.

방사 노이즈량을 최소화 하기 위해서는 그림 1에서  $Z_{con}$ 과  $Z_{cc}$ 를 최소화시켜 접지측으로 바이패스 되는 전류  $i_{cm1}$ 이 커져야 하는데 이는  $Z_{ca}$ 와 모니터의 입력 임피던스(일반적으로  $75\Omega$ )와 깊은 상관관계를 갖는다. 그러나  $Z_{cc}$ 측 임피던스에 의한 전압강하가 증가하면 영상신호 스펙트럼 전송에 영향을 미쳐 영상품질 을 저하 시킬 수 있다.

따라서  $Z_{con}$ 의 결정은 사용 케이블의 특성임피던스로 정해지나 컨넥터부에 필터 삽입시 영상신호 스텝 트럼을 측정하여 필터의 차단 주파수를 결정해야 한다. 이때 필터의 체정수 결정은 영상신호품질과 필터 차단 주파수가 상보관계가 있으므로 모니터 제작회사의 지원을 받아 컴퓨터 본체의 영상출력단에 삽입된 콘덴사 용량을 고려하여 결정하였다.

### 2.4 컨넥터와 케이블

일반적으로 컨넥터의 경우 15pin을 사용하는데 이중 칼라의 경우 RGB 각 3선, Vertical, Horizontal Syn. 각 2선 총 5개의 신호선과 각각의 접지선을 사용하고 있다. 접지선의 경우 회로측에서 보아 1곳 에 묶이는 구조로 되어 있으나, 전자파 대책측면에서 각각의 신호선과 Twist하기 위해 사용된다. 본 개발 품의 경우 접지를 1개만 사용하도록 했으며 1중 편조를 사용하였다.

그림 2는 본체와 모니터가 연결되었을 때의 회로망 구조를 나타낸다.

영상신호 케환전류  $i_i$ 가 유한 전달임피던스  $Z_t$ 를 통해 케이블과 회로내부의 부하나 임의 루프를 거쳐 접 지에 바이패스 되면 큰 루프가 형성되어 방사 노이즈화 된다. 따라서 그림 3과 같이 컴퓨터와 모니터 사이 에 케이블이 연결 될 때 이상적인 구조가 되는데, 일례로 모니터의 전원은 컴퓨터의 본체에서 공급받는 것

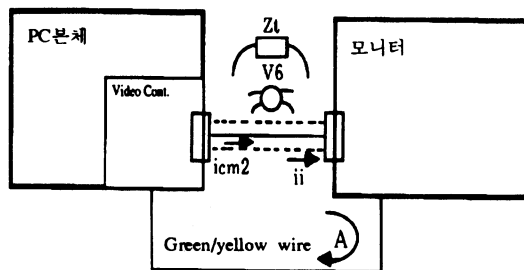
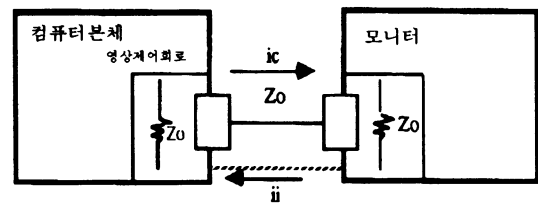


그림 2. 전달임피던스  $Z_t$ 를 통한 영상전류와  $I_{cm}$ 의 접지 측 흐름.



이상적인 경우  $i_i = i_c$ 이다.

$i_i$  = 영상케환전류

$i_c$  = 중심도체전류

그림 3. 케이블의 이상적인 연결 구조도.

이 CM성분을 최소화시키는데 도움이 된다.

## 2.5 화소의 기본단위와 하모닉의 계산

### 2.5.1 문자 생성에 따른 하모닉

통상적으로 EMI 측정시 본체와 모니터 및 부속설비를 연결하고 "H" Pattern을 띄우고 지정된 거리에 서 측정한다. 따라서 본고에서도 "H" Pattern 상태에서 주파수 스펙트럼을 계산하도록 하겠다.

저가격 고해상도 Raster addressed CRT의 경우<sup>5</sup> 통상 100MHz를 약간 넘는 대역폭을 가진다. 영상 제어회로 출력파형은 2-8nS의 상승시간을 가지며<sup>3</sup> 전압은 RS-343-A<sup>6,7</sup>를 사용시 1.0V 또는 0.704V<sub>p-p</sub>이다.

일반적으로 모니터 화질의 품질을 나타내는 기본 단위로 단위 면적당 픽셀(Pixels : 화소의 기본단위) 수로 평가되며, 이의 동작은 그림 4와 같이 픽셀클럭의 상승시간에 모니터의 영상신호 증폭기가 동작되어 픽셀의 파형이 생성되고 2개의 화소가 색을 갖는다.

그림 4의 b)에서 보는 바와 같이 "H" 문자표시의 경우 가로로 8개의 픽셀이 주어져 영상이 CRT상에 수평주사 빔에 의해 생성된다.

픽셀로 된 문자셀의 폭은 일정한 시간을 갖고 유한크기의 패션을 반복하여 표시해 준다.

따라서 문자셀의 폭과 픽셀클럭이 주어지면 스펙트럼 분석기나 리시버로 검출할 수 있는 선형적인 영상 하모닉을 계산해 낼 수 있다.

만일 영상용 픽셀 발진 주파수=69.1968MHz

(1024×864×60Hz의 모니터)

픽셀의 패턴 "1" On "1" Off방식의 경우 다음과 같은 주기를 갖는다.

$$2 \times T_0 \text{ 또는 } F_{1 \text{ on } 1 \text{ off}} = 1/(2T_0) \quad (3)$$

이때 고주파 하모닉은

$$F_{1 \text{ on } 1 \text{ off}(n)} = n \times 1/(2/T_0), n=1,2,3 \dots \quad (4)$$

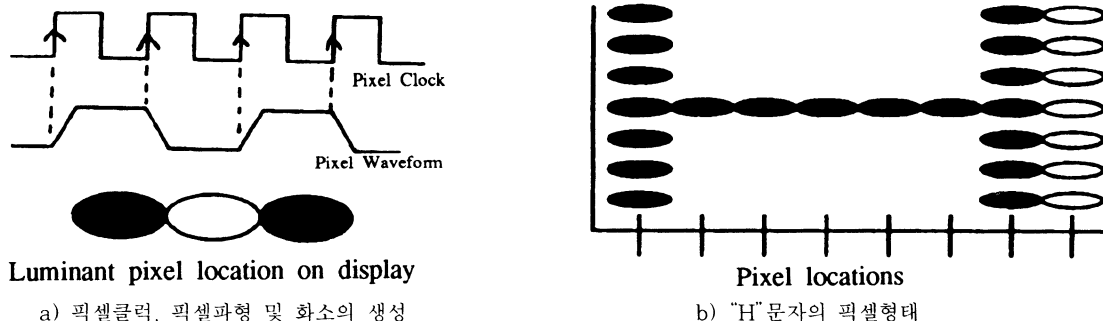


그림 4. 단위화소의 발생과 "H" 문자의 구성.

여기서,  $F_0$  = 픽셀 클럭주파수

$S$  = 문자 셀의 크기

“H” 문자의 경우 :

$$s=8, f(1)=8.6496\text{MHz}$$

$$f(2)=17.2992\text{MHz}$$

$$f(3)=\dots$$

(5)

1 on 1 off 패턴의 경우:

$$s=2, f_{(1)}=34.5984\text{MHz}$$

$$f_{(2)}=69.1968\text{MHz}$$

$$f_{(3)}=\dots$$

(6)

위와 같은 조건에서  $n=1$ 과  $f_1$  : 최초로 기록되는 영상 하모닉 주파수가 주어지면  $s$ 를 풀 수 있다.

일예로,

$F_0=69.1968\text{MHz}$ , 단,  $f_1=8.6496\text{MHz}$ 일때

$$s=F_0/f_1$$

$$=69.1968/8.6496$$

$$=8\text{Pixels wide}$$

(7)

## 2.5. 2 영상신호

영상신호는 PC본체로 부터 표시용 모니터에 수평동기 신호의 Line timing의 끝을 알리는 정보, 수평 동기 신호로 Frame timing의 끝을 알리는 정보, 픽셀의 위치정보, 픽셀의 밝기 및 색상정보 등이 부호화 되어 전송되고 모니터에서 복호화를 위해 증폭된다.

만일, 수평픽셀수 : 1280, 수직픽셀수 : 1024, 픽셀클럭 : 119.848MHz 일때 영상신호의 픽셀 펄스 대역폭은  $1/F_0$  계산되며, 수평과 수직펄스는 70kHz, 66kHz가 일반적이다.

이 경우 다음과 같은 제 정수가 정해진다.

1) 픽셀 주파수 : 119.848MHz(조건이 주어짐)

2) 픽셀 펄스폭 : 0.35/Rise time

3) 대역폭 : 233MHz

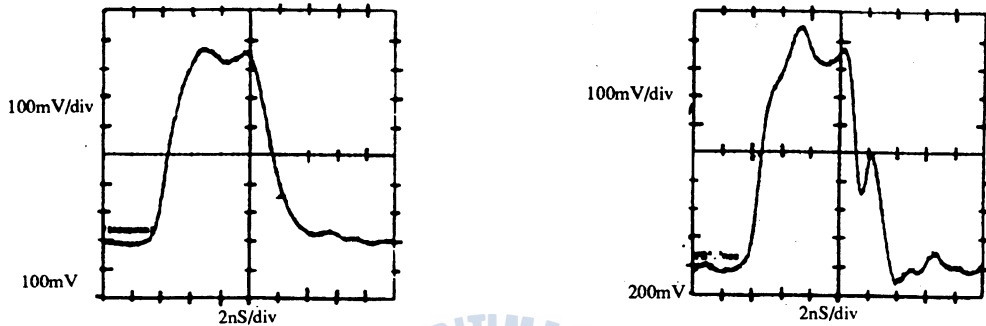
이상의 결과에서 컴퓨터 본체의 영상신호 픽셀출력부품으로 부터 발생하는 최대 기본파가 120MHz정도 된다.

## 2.6 영상신호의 파형관측

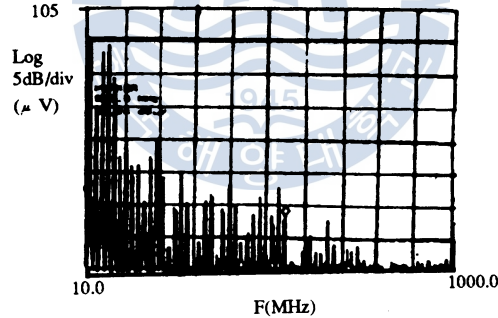
시간축/주파수 축상의 영상신호 파형관측<sup>3)</sup>

제품의 설계에 따라 제정수에 의해 달라 질수 있겠으나 시료 2개의 경우 다음과 같은 파형이 관측된다.

#1 시료의 영상신호회로 출력단의 사용하지 않는 출력핀을 중단하고 수용량의 콘덴서를 삽입하고 픽셀 시간의 1/3을 증가시켜 7.64nS로 개선하니 파형의 링킹현상이 없어져 다음 6과 같은 고차수 하모닉이 10dB정도 개선되었다.



- a. #1 영상제어회로 1 On 1 Off의 단일 픽셀파형 (1280×1024×72, 픽셀클럭 130.808MHz, 영상회로에 D/A변환칩으로 RAMDAC사용)
- b. #2 영상제어회로 1 On 1 Off의 단일 픽셀파형(영상신호 회로를 중단하지 않아 Die에서 반사가 일어나 파형이 찌그러진 경우)



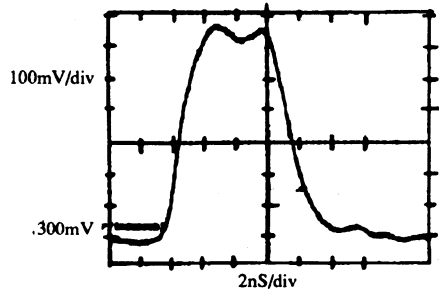
c. "a" 파형의 스펙트럼(H패턴, 500MHz까지 분포)

그림 5. 영상신호의 시간축/주파수 축상의 파형.

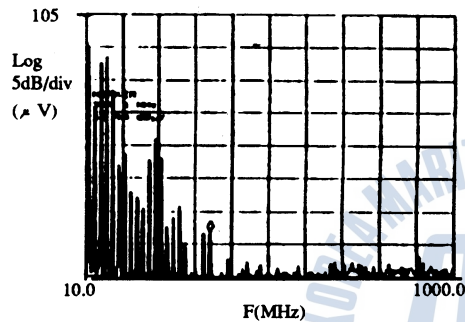
## 2.7 기존 케이블의 임피던스 측정

기존 케이블의 임피던스를 Network 분석기를 사용하여 측정하여 S/W로 처리 계산하니 표 1과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

특징적인 것은 측정대상 케이블의 경우 평행2선식 케이블로 118.69~993Ω까지 변화가 심하였는데 75Ω 표준 케이블에 비해 많은 차이가 있어 임피던스 정합이 필요하다. 이와 같은 결과로 보아 필터회로 구성상<sup>2)</sup> 저역의 경우 모니터측 임피던스가 높아 공진점이 없는 관통형 콘덴서의 삽입이 적합하며, 100MHz 이상 고역의 경우 페라이트 비드와 관통형 콘덴서의 상보적 관계가 필터 특성을 개선할 수 있었다.



a. 회로개선에 의한 파형



b. 회로개선 후 스펙트럼

그림 6. 개선된 회로의 출력파형과 스펙트럼.

## 2.8 필터용 부품의 제작과 특성시험

컨택타에 부착되는 관통형 콘덴서를 관련업체의 지원으로 설계하여, 컨넥터의 금속부에 부착시키는 구조로 제작하였다.

정확한 측정을 위해 설계제작된 관통형 콘덴서의 정특성, 비드와 함께 부착시 정특성, 케이블에 부착된 상태의 정특성을 측정하였다.

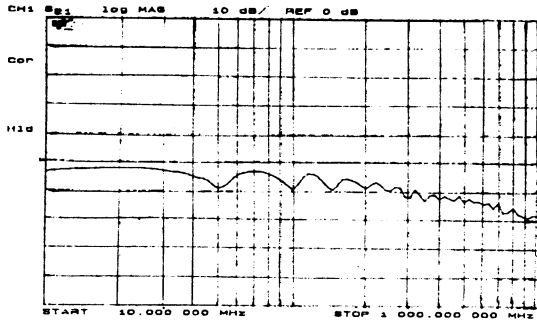
그림 7은 대책된 필터부착 케이블/컨넥터의 정특성곡선이다. 차단주파수 100MHz를 중심으로 1GHz까지 30-40dB이상 감쇄효과가 뛰어난 것을 알 수 있으며 점선으로 표시된 b)의 곡선은 타사에서 제작된 필터부착 케이블의 감쇄 곡선이다.

설계 제작된 케이블 컨넥터를 주어진 시료의 영상 케이블 컨넥터로 사용하여 전자파 지정시험기관의 오픈 사이트에서 동특성을 측정하였다.

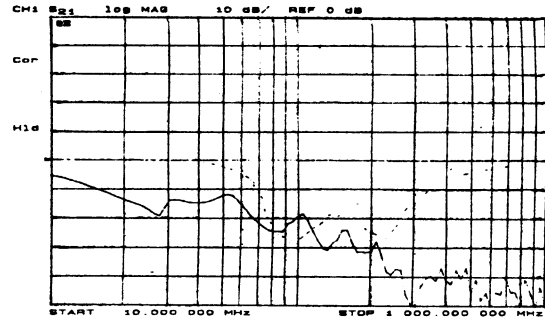
표 1. 사용 케이블의 주파수별 임피던스.

주파수(MHz)	R	X <sub>i</sub>	$\sqrt{R^2 + X_i^2}$
10.000 000	49.961	150.760	158.82
29.800 000	360.77	-221.670	423.43
49.600 000	808.25	467.590	933.76
69.400 000	524.00	-461.720	698.40
89.200 000	216.03	-300.190	369.84
109.000 000	61.477	-115.030	130.43
128.800 000	103.70	72.844	126.73
148.600 000	683.63	168.000	703.97
168.400 000	159.61	-108.730	193.13
188.200 000	280.45	63.141	287.47
208.000 000	658.44	-182.280	683.21
227.800 000	165.77	-295.130	307.62
247.600 000	162.81	-45.094	168.94
267.400 000	153.65	-184.980	240.47
287.200 000	109.25	-72.344	131.03
307.000 000	220.18	-39.844	223.76
326.800 000	181.88	-42.758	186.84
346.600 000	206.66	-104.470	231.56
366.400 000	216.71	-65.563	226.41
386.200 000	179.94	-136.190	225.67
406.000 000	95.227	-70.844	118.69
425.800 000	155.03	29.727	157.85
445.600 000	238.06	-63.992	246.51
465.400 000	203.04	-86.953	220.88
485.200 000	122.00	-80.023	149.86
505.000 000	106.21	-24.633	109.03
524.800 000	180.06	26.680	182.03
544.600 000	200.89	-8.0781	201.05
564.400 000	223.20	-20.859	224.17
584.200 000	156.02	-78.867	174.82
604.000 000	144.96	2.758	144.99
623.800 000	233.05	42.797	236.95
643.600 000	255.59	-65.133	263.76
663.400 000	210.55	-80.859	225.54
683.200 000	197.50	-93.820	218.65
703.000 000	146.35	-81.016	167.28
722.800 000	136.13	-26.344	138.66
742.600 000	177.48	-14.047	178.04
762.400 000	204.81	-28.734	206.82
782.200 000	213.74	-78.867	227.83
802.000 000	125.07	-56.738	137.34
821.800 000	141.09	21.016	142.65
841.600 000	238.59	6.656	238.68
861.400 000	232.59	-41.016	236.18
881.200 000	227.43	-73.000	238.86
901.000 000	159.94	-73.586	176.06
920.800 000	186.95	-6.7656	187.07
940.600 000	249.72	-70.078	259.37
960.400 000	194.16	-85.445	212.13
980.200 000	196.31	-94.367	217.81
1000.000 000	140.59	-97.883	171.31



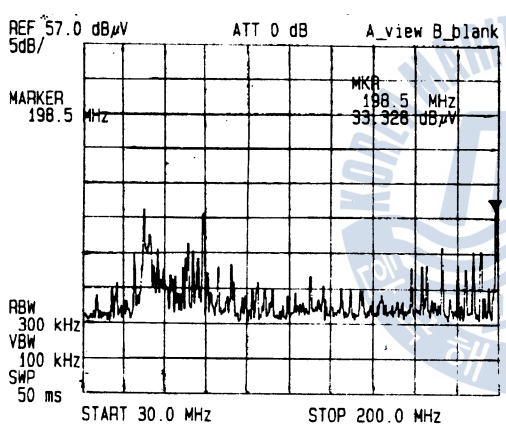


a. 필터를 부착하기 전 케이블의 정특성

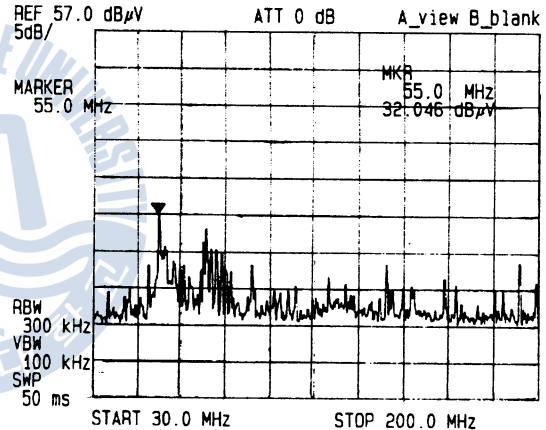


b. 설계한 필터를 부착한 케이블 커넥터의 정특성

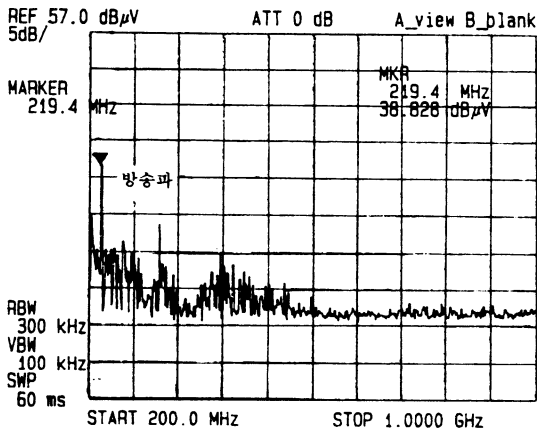
그림 7. 필터부착 전후의 정특성 비교.



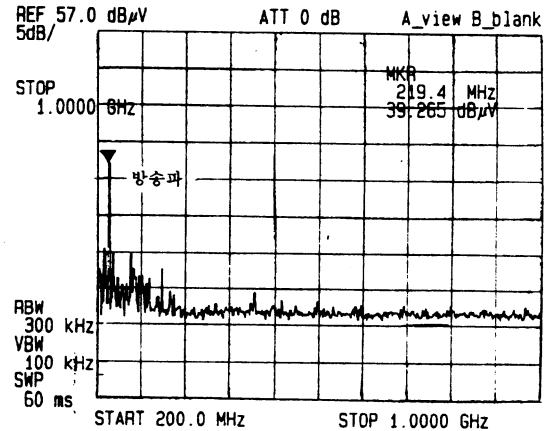
a. 2중 편조 케이블의 동특성 (30-200MHz)



b. 개발된 필터 부착 1중편조 케이블의 동특성 (30-200MHz)



c. 2중 편조 케이블의 동특성 (200-1000MHz)



d. 개발된 필터부착 케이블의 동특성 (200-1000MHz)

그림 8. 개발된 케이블 커넥터의 스펙트럼 비교.

이때 안테나 팩터는 비교의 편익을 위해 고려치 않았으며, 측정 데이터상의 88-108MHz대역과 219MHz은 방송 주파수대역이다.

측정된 동특성의 결과는 그림 8에 나타낸다.

그림 8의 b), d) 동특성에서 보는 바와 같이 본연구에서 개발된 케이블 컨넥터는 대략 100MHz 이상에서 공진점이 없는 뛰어난 감쇄특성을 갖는 것을 알 수 있다.

### III. 결 론

이상의 연구에서 다음과 같은 결과를 얻어 낼 수 있었다.

- 1) 본체의 영상 제어회로에서 미사용 단자처리와 컨덴서 삽입으로 영상신호 주파수 대역을 줄일 수 있었다. (500MHz→120MHz)
- 2) 모니터 내부회로에서 영상신호를 정형(Reforming)하고 증폭시키므로 영상신호에 영향을 주지않고 목표한 대역의 노이즈를 이상적으로 줄일 수 있었다.
- 3) 모니터의 입력 임피던스를 포함한 케이블 임피던스가 발생 전자파와 밀접한 관계가 있다.
- 4) 케이블 실드선의 차폐능과 접지선 처리와는 밀접한 관계가 있다.
- 5) 고품질 모니터의 개발에 따른 고속클럭의 사용과 더불어 필터 내장형 케이블의 경우 고역까지 차단 특성이 뛰어나야 한다.
- 6) 전자파의 차단은 본체의 합체에서 이루어져야 한다.
- 7) 케이블의 입하검사시 또는 부정기 시험을 통해 케이블의 dc저항과 특성임피던스, 차폐특성 등이 주기적으로 검사되어야 한다.

본연구에서는 주로 관통형 컨덴서의 특성을 이용한 성능이 크게 개선된 고속 Video Signal Cable을 설계·제작하였다. 앞으로 I/O port와 관련하여 연구되어야 할 분야는 참고문헌 등<sup>4)</sup>을 볼때 난이도가 높은 EMS의 Burst대책 측면에서 해당신호의 정성적인 분석을 토대로 전선이나 케이블 자체의 인덕턴스를 재료공학적으로 높이는 방법에 대해 연구되었으면 한다.

### 참고문헌

- 1) 1993 Zurich EMC Symposium "Pigtail effects of the cable connector" China, 1993.
- 2) 민 경찬, 노이즈 종합대책, 성안당, pp. 144 - 153, 1990.
- 3) 1991 IEEE EMC Symposium, August Cherry Hill, pp. 134 - 141, pp. 407 - 413, 1991.
- 4) ITEM '89, '90, '91. I/O cable 개발동향 광고.
- 5) Jim Hagerman "Video Risetime Requirements for Computer Driven Raster Scan CRT Display" *SID 90 Digest*, Vol. XXI, pp. 148 - 151, 1990
- 6) Electronic Industries Association, "EIA Standards for High Resolution Monochrome Closed Circuit Television Camera" EIA Electronical Engineering Department, Washington, DC., Septemb-

er 1969.

- 7) Carlo Infante, "An Introduction to CRT Display". Digital Equipment Corporation. March 1, 1989.
- 8) "EMC 대책용 영상신호 케이블 개발보고서" 한국기술연구소. 1993. 9.



