

## LCD 모니터의 누설 전자파에 대한 분석

# Analysis of the Electromagnetic Leakage from Liquid Crystal Display Monitors

이호성 · 심규홍\* · 오승섭\* · 육종관

Ho seong Lee · Kyuhong Sim\* · Seungsub Oh\* · Jong-Gwan Yook

### 요 약

컴퓨터의 대표적인 출력 매체인 LCD(Liquid Crystal Display) 모니터에서는 일반적으로 의도치 않은 전자파가 누설된다. 이러한 누설 전자파에는 컴퓨터의 메인 보드에서 LCD 모니터로 전달되는 화면 정보가 포함되어 있기 때문에 누설 신호의 복원을 통한 화면 정보 누설의 위험성이 존재한다. 따라서 누설 신호를 통한 전자파 보안 위협이 이슈가 되고 있으므로 정보 누설 가능성에 대한 분석이 필요한 상황이다. 본 논문에서는 데스크탑과 랩탑 모니터에서 누설되는 전자파를 분석하여 화면 정보 누설의 가능성을 확인하였다. 화면 구성 메커니즘을 분석하여 LCD 모니터의 누설 전자파의 형태를 예측하였고, 누설 신호 탐지 실험 환경을 구성하여 원거리에서 누설 전자파를 측정하였다. 또한, 여러 알고리즘을 사용하여 누설 화면을 복원하고, 원 화면과 비교하여 정보 누설 위협에 대하여 확인하였다.

### Abstract

Generally, the compromising electromagnetic emanations are generated from LCD(Liquid Crystal Display) monitor which is typical output component of computer. Because display information transmitted to LCD monitor is included in these emanations, there are risks about information leakage of monitor by eavesdropping of leaked signal. So, analysis about possibility of information leakage is necessary because electromagnetic security through the electromagnetic emanations is being at issue. In this paper, the possibility of display information leakage are demonstrated by analyzing the electromagnetic emanations from desktop and laptop monitors. The characteristics of leaked signal from LCD monitor is verified by analyzing display mechanism and the electromagnetic emanations are measured in the long distance by eavesdropping experiment. Also, threat of information leakage is confirmed by recovering display information with several signal processing technique and comprising with target display.

Key words: Information Leakage, Compromising Electromagnetic Emanations, LCD Monitor, TEMPEST

## I. 서 론

현대 사회에서는 다양한 전자기기들이 사용되고 있으

며, 이에 따른 전자파 간섭(Electromagnetic interference)이 큰 문제로 대두되고 있다<sup>[1]</sup>. 전자파 간섭은 전자기기의 오작동이나 성능 저하와 같은 문제를 일으키며, 최근에는

「이 연구는 2016학년도 LIG넥스원의 연구비의 지원으로 연구되었음.」

연세대학교 전기전자공학부(School of Electrical & Electronic Engineering, Yonsei University)

\*LIG 넥스원(LIG Nex1)

· Manuscript received July 13, 2016 ; Revised September 2, 2016 ; Accepted September 20, 2016. (ID No. 20160713-077)

· Corresponding Author: Jong-Gwan Yook (e-mail: jgyook@yonsei.ac.kr)

방사되는 전자파에 의한 정보 누설 문제가 이슈화되고 있다. 전자파 간섭에 따른 정보 누설 문제는 1985년에 반 에크 방사 현상을 통해 학계에 보고되었다<sup>[2]</sup>. 이 현상은 텔레비전과 같이 전자파를 수신하는 장비 근처에서 컴퓨터를 동작시킬 경우, 텔레비전과 컴퓨터가 연결되어 있지 않더라도 텔레비전 화면이 컴퓨터의 모니터 역할을 하는 것을 뜻한다. 이와 같이 컴퓨터와 같은 전자기기에서 누설되는 전자파를 이용하여 전자기기의 정보를 복원하는 기술을 템페스트(TEMPEST)라고 한다. 현대에는 거의 모든 정보 통신이 전자기기를 통해 이루어지고 있으며, 그에 따른 정보 보안 문제가 대두되고 있으므로, 템페스트에 의한 정보 누설 및 감청에 대한 연구가 지속적으로 이루어지고 있다. 특히 전자전이나 전자파 보안 측면에서 템페스트에 관한 연구가 큰 주목을 받고 있다.

템페스트에 대한 연구는 반 에크 방사 현상의 발견 이후로 대부분이 모니터와 키보드와 같은 컴퓨터 주변기기에 대해서 이루어지고 있다. 특히 모니터는 컴퓨터의 대표적인 출력 장치로서 템페스트 연구의 주요 대상으로 채택되었다. 과거에는 CRT(Cathode Ray Tube) 모니터를 주로 사용했었기 때문에 이에 대한 누설 전자파 분석 연구가 이루어졌으며, 전자적인 측면뿐만 아니라, 광학적인 측면에서도 정보 누설 현상이 분석되었다<sup>[3]</sup>. 이후 컴퓨터의 보급과 함께 LCD(Liquid Crystal Display) 모니터와 다양한 비디오 디스플레이 인터페이스가 등장하면서 컴퓨터 디스플레이의 감청 위협에 대한 연구가 진행되었다<sup>[4]</sup>. 최근에는 고해상도 LCD 텔레비전이 등장에 따라 이에 대한 누설 전자파 분석 연구가 진행되었다<sup>[5]</sup>. 또한, 비디오 디스플레이 연결단자에서 누설되는 전자파를 대상으로 한 연구도 수행되었는데, 아날로그 타입의 VGA(Video Graphics Array) 케이블에서 누설되는 전자파를 측정하여 실험적으로 화면을 복원한 연구와 디지털 타입의 DVI(Digital Visual Interface) 케이블의 비디오 신호 누설 상황을 모델링한 연구가 그것이다<sup>[6],[7]</sup>. 국내에서는 다양한 신호 추정 기법을 이용하여 모니터 전자파 신호를 분석한 연구가 있으나, 누설 신호의 수집 거리가 1m가 되지 못하였다<sup>[8]</sup>.

따라서 본 논문에서는 단순한 RF 계측 장비 구성으로 1m 이상의 거리에서 LCD 모니터의 누설 전자파를 측정

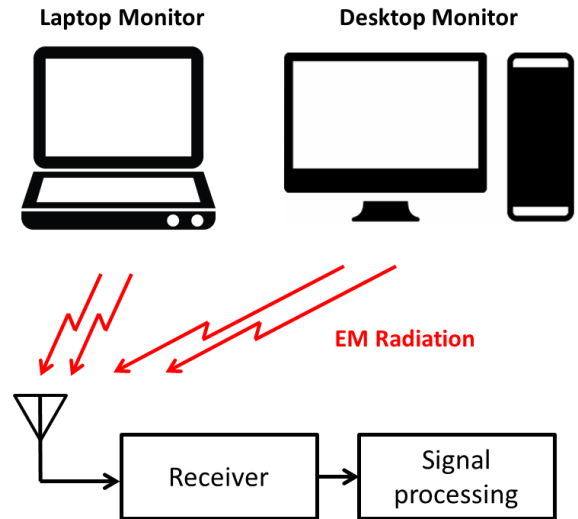


그림 1. 모니터 디스플레이에 대한 TEMPEST  
Fig. 1. Configuration of TEMPEST about monitor display.

하고, 간단한 신호 처리 기법을 적용하여 화면으로 복원하였다. 누설 신호 측정 대상은 데스크탑 모니터와 랩탑 모니터이며, 그림 1과 같은 템페스트 상황을 구성하여 연구를 진행하였다.

## II. 비디오 인터페이스와 LCD 모니터에 대한 분석

LCD 모니터에서 누설되는 전자파에는 화면을 구성하는 영상 신호 정보가 포함되어 있다. 비디오 디스플레이 인터페이스에는 아날로그와 디지털 타입이 있는데, 아날로그 타입에는 대표적으로 VGA가 있다. 디지털 타입에는 DVI와 HDMI(High Definition Multimedia Interface)가 있으며, 최근에는 디지털 타입 비디오 디스플레이 인터페이스의 사용량이 증가하고 있다. 비디오 디스플레이 인터페이스마다 디지털 신호의 채널 구성은 다르지만, 공통적으로 세 개의 비디오 신호 채널이 포함되어 있다. 세 개의 비디오 신호는 각각 빛의 3원색인 빨강, 초록, 파랑을 나타내며, 이 3가지 색의 조합을 통해 화면의 색상을 나타낸다. 직렬 형태로 전송된 3 채널의 비디오 신호로 그림 2와 같이 화면을 구성하게 된다.

모니터에 출력되는 화면은 여러 개의 픽셀(pixel)로 구성되며, 사용자가 설정한 화면 해상도에 따라 수평과 수직 픽셀 개수가 결정된다. 픽셀은 실제로 화면에 출력되

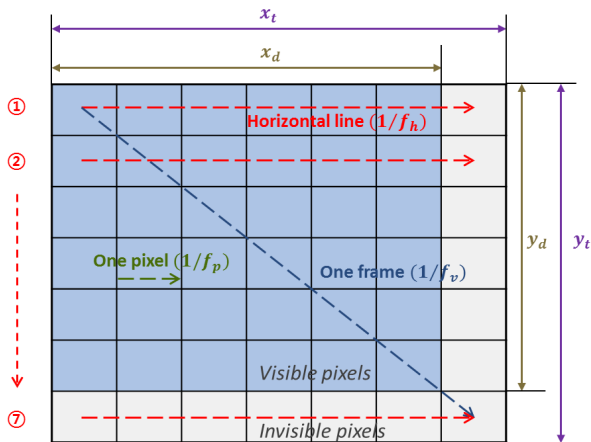


그림 2. 디스플레이의 구성 요소와 순서  
Fig. 2. Composition and sequence of display.

는 픽셀(visible pixel)과 화면에는 나타나지 않는 픽셀(invisible pixel)로 구성되며, 흔히 말하는 화면 해상도는 visible pixel의 너비(display width)와 높이(display height)를 뜻한다. Invisible pixel은 다음 수평선이나 프레임과의 경계선 역할을 하며, 이 픽셀을 포함한 수평과 수직 픽셀 개수를 전체 화면 너비(total display width)와 높이(total display height)라고 한다. 이렇게 화면을 구성하는 너비와 높이를 화면 변수(display parameter)라고 하며, 표 1에 정리하였다.

화면에 출력되는 비디오 신호는 수평 동기 주파수(horizontal synchronous frequency)만큼의 시간이 지나면 다음 수평선으로 이동하게 된다. 이러한 방식으로 가장 밑의 수평선까지 출력이 되면 화면의 한 프레임이 종료되고, 다시 가장 위의 수평선부터 다음 프레임의 화면이 출력된다. 한 프레임의 화면이 출력되는 시간은 수직 동기 주파수(vertical synchronous frequency)만큼의 시간과 같으며, 화면 재생 빈도라고 한다. 또한, 화면의 기본 단위가 되는 픽셀의 주기는 픽셀 주파수(pixel frequency)로 나타낸다. 이렇게 화면 구성의 동기 시간을 담당하는 주파수들을 시간 변수(timing parameter)라고 하며, 표 1에 화면 변수와 함께 정리하였다. 화면과 시간 변수는 VESA(Video Electronics Standards Association) 규격에 의해 정의되어 있으며, 사용자가 설정한 화면 해상도와 화면 재생 빈도에 따라서 나머지 변수들의 값이 정해진다. 예를 들어, 화

표 1. 화면 구성에 사용되는 화면/시간 변수  
Table 1. Display/timing parameter.

화면 변수	
$x_d$	화면 너비
$y_d$	화면 높이
$x_t$	전체 화면 너비
$y_t$	전체 화면 높이
시간 변수	
$f_v$	수직 동기 주파수(화면 재생 빈도)
$f_h$	수평 동기 주파수
$f_p$	픽셀 주파수

표 2. 모니터 디스플레이의 VESA 규격  
Table 2. VESA standard of monitor display.

화면 해상도	수직 동기 주파수 (Hz)	수평 동기 주파수 (kHz)	픽셀 주파수 (MHz)	전체 화면 너비	전체 화면 높이
1,024×768	60.004	48.363	65.000	1,344	806
1,024×768	75.029	60.023	78.750	1,312	800
1,280×1,024	60.020	63.981	108.000	1,688	1,066
1,280×1,024	75.025	79.976	135.000	1,688	1,066
1,600×1,200	60.000	75.000	162.000	2,160	1,250
1,600×1,200	75.000	93.750	189.000	2,160	1,250

면 해상도가 1,280×1,024이며, 화면 재생 빈도가 60 Hz일 때 수평 동기 주파수는 63.981 kHz이며, 전체 화면 너비와 높이는 1,688과 1,066이다. 그 외의 몇 가지 예시를 표 2에 나타내었다.

화면을 출력하는 LCD 모니터는 메인보드와 디스플레이 패널로 구성된다. 모니터의 메인보드는 컴퓨터에서 전송된 비디오 출력 신호를 수신한 후, 화면 출력 포맷에 맞게 변환하는 역할을 하며, 디스플레이 패널은 변환된 비디오 신호를 출력하는 역할을 한다. 메인보드에는 비디오 프로세서(video processor)와 디스플레이 컨트롤러(display controller)와 같이 신호 변환 처리를 하는 IC(Integrated Circuit)-chip들이 포함되어 있다. 메인보드와 디스플레이 패널은 LVDS(Low Voltage Differential Signal)나 FPD(Flat Panel Display)-Link로 연결되어 있으며, 디지털 포맷에 맞게 변환된 신호가 이곳을 통해 디스플레이 패널로 전송

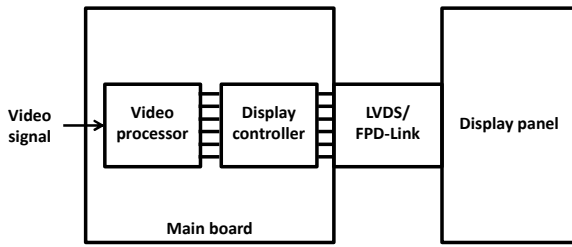


그림 3. LCD 모니터의 일반적인 구조  
Fig. 3. Typical structure of an LCD monitor.

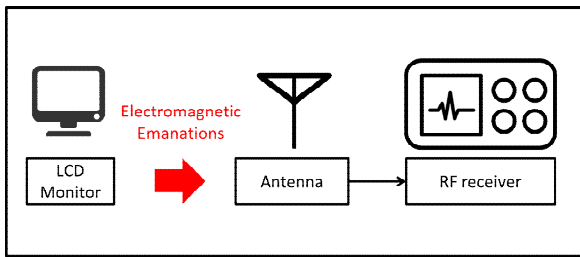


그림 4. 모니터 누설 전자파 측정을 위한 실험 환경  
Fig. 4. Experimental setup.

된다. LCD 모니터에서 누설되는 전자파는 대부분 비디오 프로세서, 디스플레이 컨트롤러, 그리고 LVDS/FPD-link를 통해 방사된다. 따라서 위에서 언급된 주요 누설원에 따라 누설 전자파의 특성이 결정된다.

### Ⅲ. 누설 전자파 측정

LCD 모니터의 누설 전자파는 RF 계측 장비를 이용하여 수집하였다. 누설 전자파를 측정하기 위한 실험 환경은 그림 4와 같이 안테나와 RF 리시버로 구성하였다. 측정에 사용된 안테나는 log-periodic dipole array 안테나이며, 20~3,000 MHz의 넓은 대역폭을 가지고 있다. RF 리시버 역시 광대역의 특성을 가지며, 샘플링 주파수는 60 MHz로 설정하였다. 또한, RF 리시버에는 down-converter가 포함되어 있어서 특정 주파수 대역의 누설 신호를 기저대역으로 천이된 신호로 수집한다. 사용된 RF 계측 장비의 특성은 표 3에 정리되어 있다. LCD 모니터의 누설 전자파 측정은 데스크탑과 랩탑 모니터를 대상으로 진행하였다. 실험에 사용된 데스크탑과 랩탑 모니터는 VGA 케이블로 연결하였으며, 화면 해상도와 화면 재생 빈도는 1,280×1,024와 60 Hz로 동일하게 설정하였다. 측정에 사

표 3. 누설 전자파 측정에 사용된 실험 장비의 특성  
Table 3. Characteristics of experimental equipment.

	종류	대역폭	샘플링 주파수
Antenna	Log-periodic dipole array antenna	20~3000 MHz	-
RF receiver	RF wideband receiver	20 Hz~3.6 GHz	60 MHz

표 4. LCD 모니터의 특성  
Table 4. Characteristics of LCD monitor.

	Desktop monitor	Laptop monitor
모델	TRL-170	E8020
화면 해상도	1,280×1,024	
화면 재생 빈도	60 Hz	

용된 LCD 모니터의 특성은 표 4에 나타나 있다. 안테나와 측정 대상 모니터 사이의 거리는 1 m와 3 m로 설정하였으며, 200 ms 동안 누설 신호를 수집하였다. 이 시간 동안에는 60 Hz의 화면 재생 빈도를 갖는 화면에 대해서 최소 10개의 프레임에 대한 신호를 수집할 수 있다. 이것은 신호 복원 처리 과정에서 수행할 프레임 평균 기법과 연관이 있으며, 충분히 많은 개수의 프레임 신호를 측정하는 것이 목적이다. 누설 전자파 측정 실험은 일반 사무실 환경에서 진행하였다.

LCD 모니터의 출력 화면은 그림 5와 같이 크기가 서로 다른 여러 개의 글자와 모양이 다른 도형으로 구성하

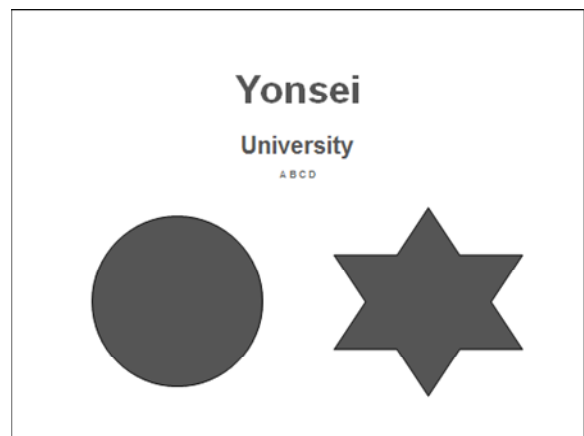


그림 5. 원 화면  
Fig. 5. Target display.

표 5. LCD 모니터 누설 전자파 측정 실험 변수  
Table 5. Experimental parameter.

거리(m)	1, 3
측정 시간(ms)	200
글자 크기	50, 30, 12
색상	배경: 흰색 도형과 글자: '55 <sub>(16)</sub> '(RGB)

였다. 배경 색상은 흰색이며 도형과 글자는 '55<sub>(16)</sub>'의 RGB 값을 가지는 색으로 선정하였는데, 이것은 이와 같은 색상의 조합이 상대적으로 강한 누설 전자파가 발생되는 경우라고 알려져 있기 때문이다<sup>[4]</sup>. 출력 화면과 측정에 대한 변수는 표 5에 정리되어 있다.

누설 신호를 수집하기 전에 주파수 스펙트럼을 통해 주요 누설 대역을 탐지해야 한다. RF 리시버에 내장된 기능을 이용하여 1 m 거리에서 데스크탑과 랩탑 모니터의 주파수 스펙트럼을 측정하였고, 가장 주요한 누설 전자파 대역을 그림 6과 7에 나타내었다. 주파수 스펙트럼을 측정할 때 상대적으로 강한 누설 대역이 여러 주파수에서 발생하는데, 그 중 몇 개의 대역은 화면의 정보를 포함하고 있다. 이 주요 누설 대역들은 2 장에서 언급했던 LCD 모니터의 누설원에 의한 것이며, 대부분 300~500 MHz 사이에 존재한다. 본 연구에서 사용된 데스크탑 모니터의 주요 누설 대역의 중심 주파수는 그림 6에 나타난 것과

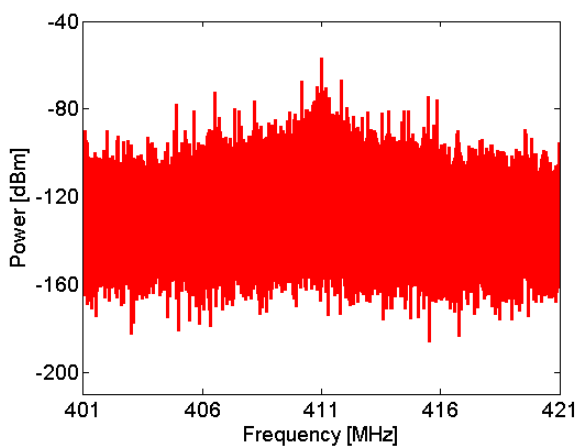


그림 6. 데스크탑 모니터 누설 신호의 주파수 스펙트럼  
Fig. 6. Frequency spectrum of leaked signal from desktop monitor.

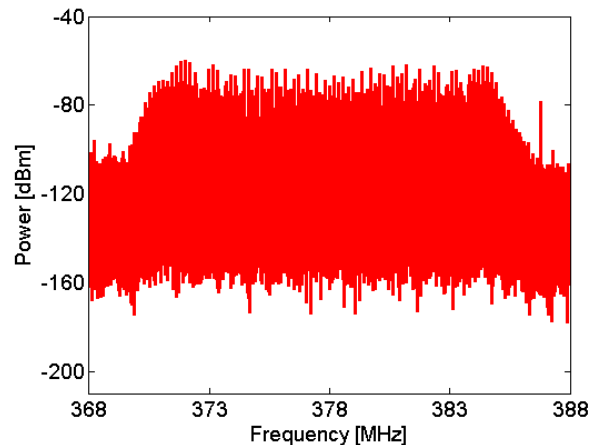


그림 7. 랩탑 모니터 누설 신호의 주파수 스펙트럼  
Fig. 7. Frequency spectrum of leaked signal from laptop monitor.

같이 411.164 MHz이며, 랩탑 모니터의 경우는 그림 7에 보이는 것과 같이 377.8 MHz이다. 대부분의 누설 신호는 중심 주파수를 기준으로 20 MHz 대역 안에 위치하고 있다. 몇 가지 다른 대역에서도 화면 누설 정보를 포함하고 있으나, 복원 화면이 가장 선명한 주파수 대역을 선택하였다. 선택한 중심 주파수를 기준으로 60 MHz의 샘플링 주파수로 신호를 수집하였다. 60 MHz는 실험에서 사용된 RF 리시버에서 설정할 수 있는 가장 높은 샘플링 주파수이다. 출력 화면의 해상도와 재생 빈도에 따른 픽셀 주파수가 108 MHz이므로, 최대한 많은 누설 픽셀 신호를 수집하기 위하여 가장 높은 샘플링 주파수를 사용하였다.

#### IV. 누설 신호 탐지 및 복원

누설 전자파 측정을 통해 수집한 누설 신호는 신호 처리 과정을 통해 화면으로 복원된다. 그림 8은 수집한 누설 신호를 복원하는 신호 처리 과정의 흐름도이다. 먼저 측정된 누설 신호 데이터를 신호 처리 소프트웨어에 로딩한 후, 신호 처리에 필요한 주요 변수들을 입력한다. 그 다음에는 저역 통과 필터링(low-pass filtering)을 통해 누설 화면 정보를 포함하고 있는 신호만을 걸러낸다. 그 후에 필터링된 누설 신호에 대해 동기 주파수 탐지 기법을 적용하여 화면 복원에 필요한 수평/수직 동기 주파수를 탐지한다. 다음으로 동일한 누설 화면에 대한 여러 프레

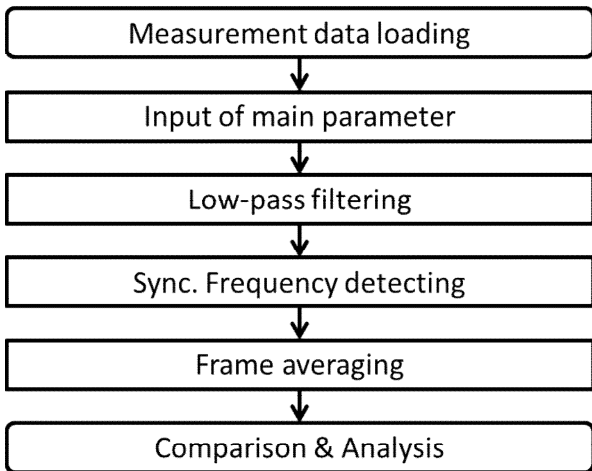


그림 8. 화면 누설 정보 복원의 플로우 차트  
 Fig. 8. Flow chart of leakage information recovery.

임을 평균하여 복원 화면의 가독성을 향상시킨다. 마지막으로 원 출력 화면과 비교하여 누설 신호의 복원 여부를 판단한다. 본 논문에서 누설 신호 복원 과정에서의 결과들은 1 m 거리에서 측정된 LCD 데스크탑 모니터의 누설 전자파를 대상으로 한 것이다.

저역 통과 필터링은 누설 신호 중 화면 정보를 포함하고 있지 않은 불필요한 신호를 제거하기 위한 과정이다. 기저대역으로 수신된 누설 신호는 중심 주파수를 기준으로 약 20 MHz의 대역 안에 강한 신호들이 몰려 있으므로 나머지 대역의 신호는 잡음 신호이다. 따라서 신호 처리 과정에서 10 MHz의 대역폭을 갖는 저역 통과 필터를 적용하면 누설 화면 정보를 포함하고 있는 신호를 얻을 수 있다. 그림 9에는 저역 통과 필터링을 적용한 결과를 양의 주파수 대역에 대해서 주파수 스펙트럼을 통해 비교한 그래프를 나타내었다. 필터링된 누설 신호는 수집된 누설 신호에 비해 잡음 대역의 레벨이 낮으며, 신호 대역과 잡음 대역의 차이는 평균적으로 약 50 dB 이상이다. 따라서 저역 통과 필터링을 통해 신호 대 잡음 비(signal-to-noise ratio)가 향상됨을 알 수 있다.

동기 주파수 탐지 과정에서는 필터링된 누설 신호를 이용하여 화면 구성에 꼭 필요한 정보인 수평/수직 동기 주파수를 탐지한다. 누설 신호의 동기 주파수는 자기상관(auto-correlation) 함수를 이용하여 계산할 수 있다. 자기상

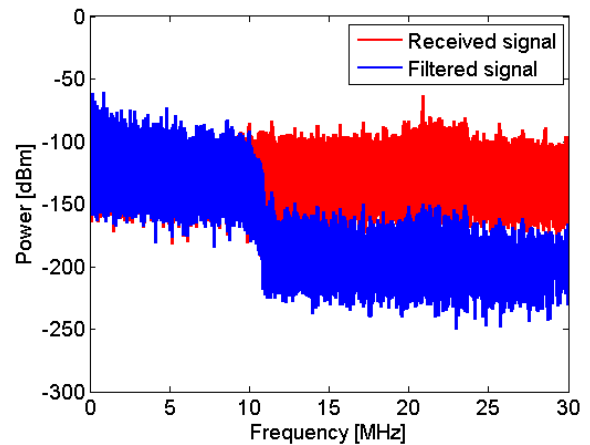
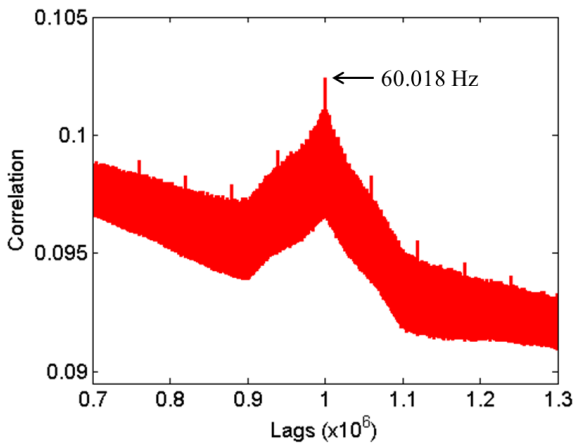


그림 9. 누설 신호와 저역 통과 필터링 신호의 주파수 스펙트럼  
 Fig. 9. Frequency spectrum of received and filtered signal.

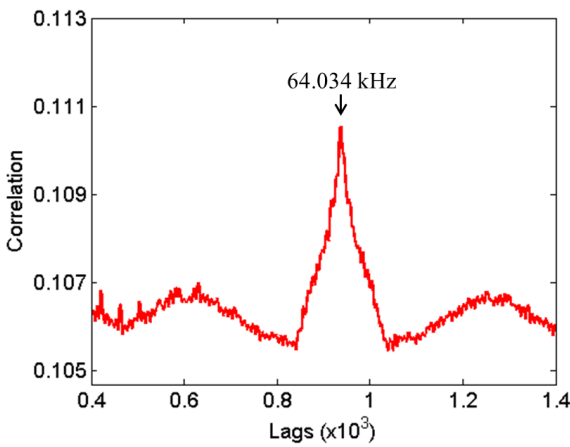
관함수는 그 대상의 자체 상관도를 연산하여 시간 지연에 따른 상관관계 값을 계산해 주는데, 대상의 주기에서 강한 상관관계 값이 나타난다. 비디오 신호의 경우, 화면 구성 원리에 의해 수평/수직 동기 시간만큼 주기성을 가지기 때문에 모니터 누설 신호도 같은 특성을 가지게 된다. 따라서 필터링된 누설 신호에 자기상관함수를 적용하게 되면 그림 10과 같이 수평/수직 동기 지연 시간에서 강한 상관관계 값이 나타난다. 이 시간을 주파수로 바꾸어 나타내면 64.034 kHz와 60.018 Hz이므로 탐지된 수평/수직 동기 주파수의 값을 알 수 있다. 본 연구에서 설정된 화면의 해상도와 재생 빈도는 1,280×1,024와 60 Hz이므로, 표 2에 나타난 VESA 규격에 의해 정의된 동기 주파수는 63.981 kHz와 60.020 Hz이다. 탐지된 동기 주파수의 값이 정의된 값과 거의 같으므로 신호 처리 과정에서 탐지된 동기 주파수 값이 타당함을 알 수 있다.

프레임 평균 과정에서는 동일한 화면의 여러 프레임에 대한 누설 신호를 중첩하여 복원 화면의 가독성을 향상시킨다. 각 프레임에 대한 누설 신호에는 임의의 위치에 강한 잡음 신호가 있는 경우가 대부분이며, 화면 정보를 포함하고 있는 누설 신호가 상대적으로 크기가 작은 경우도 있다. 따라서 여러 개의 프레임에 대한 누설 신호를 중첩하게 되면 임의의 시간 위치에 있는 잡음 신호나 상대적으로 왜곡되어 있는 누설 신호를 보완하여 화면의





(a) 수직 동기 주파수 탐지  
(a) Detection of vertical synchronous frequency



(b) 수평 동기 주파수 탐지  
(b) Detection of horizontal synchronous frequency

그림 10. 자기상관함수를 이용한 동기 주파수 탐지  
Fig. 10. Autocorrelation to detect synchronous frequency.

가독성을 향상시킬 수 있다. 이 경우에 각 프레임에 대한 누설 신호의 타이밍을 맞추는 것이 중요한데, 본 연구에서는 상호상관(cross-correlation) 함수를 적용하여 이를 해결하였다. 상호상관함수는 자기상관함수와 비슷한데, 서로 다른 두 대상에 대한 상관관계 값을 계산한다는 점이 다르다. 동일 화면에 대한 다른 프레임의 누설 신호는 그 파형이 매우 흡사하다. 따라서 각 프레임의 누설 신호마다 상호상관관계를 적용하면 모든 프레임을 동기화 할 수 있다. 그림 11은 단일 프레임의 누설 신호에 대한 복원 화면이며, 그림 12는 프레임 평균 기법을 적용한 복원 화

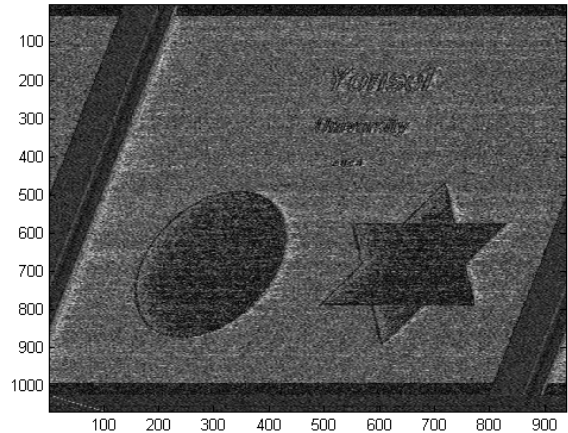


그림 11. 단일 프레임의 누설 신호에 대한 복원 화면  
Fig. 11. Recovered display of single frame.

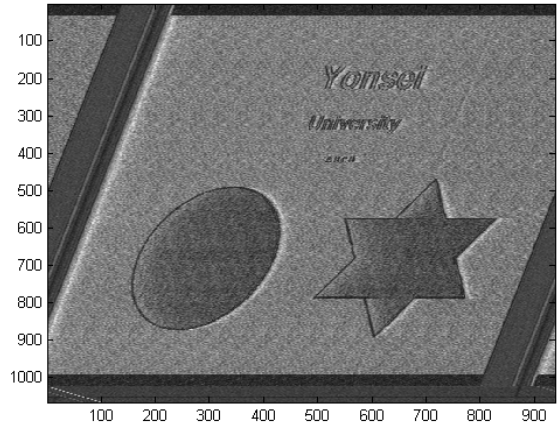


그림 12. 프레임 평균 기법을 적용한 복원 화면  
Fig. 12. Recovered display using frame averaging technique.

면이다. 프레임 평균 기법을 적용한 복원 화면의 글자와 그림이 더욱 선명해지므로, 프레임 평균을 적용하면 복원 화면의 식별력과 가독성이 향상된다는 것을 알 수 있다.

그림 12의 복원 화면은 1 m에서 측정된 LCD 데스크탑 모니터의 누설 신호를 복원한 것이다. 그림 5의 측정 대상 화면과 비교하였을 때 도형과 글자 모두 인식 가능할 정도로 복원되었음을 알 수 있다. 복원 화면은 원 화면에 비해 약간의 기울임이 존재하는데, 탐지된 수평 동기 주파수가 VESA 규격에 의해 정의된 값과 완전히 일치하지 않기 때문이다. 복원에 사용된 탐지된 수평 동기 주파수는 64.034 kHz이고, VESA 규격에 정의된 값은 63.981 kHz

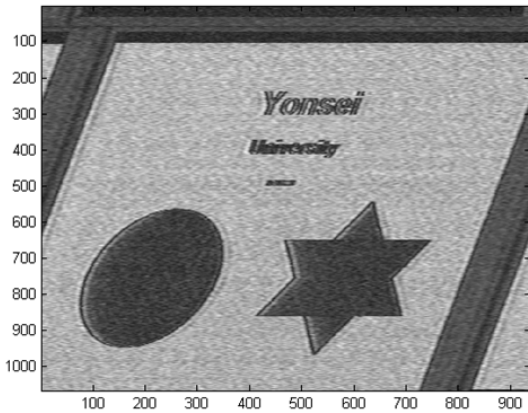


그림 13. 3 m에서 측정된 데스크탑 모니터의 누설 신호에 대한 복원 화면  
 Fig. 13. Recovered display of leaked signal from desktop monitor on 3 meter.

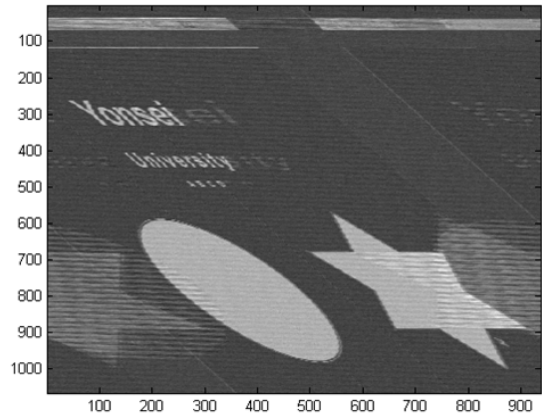


그림 15. 3 m에서 측정된 랩탑 모니터의 누설 신호에 대한 복원 화면  
 Fig. 15. Recovered display of leaked signal from laptop monitor on 3 meter.

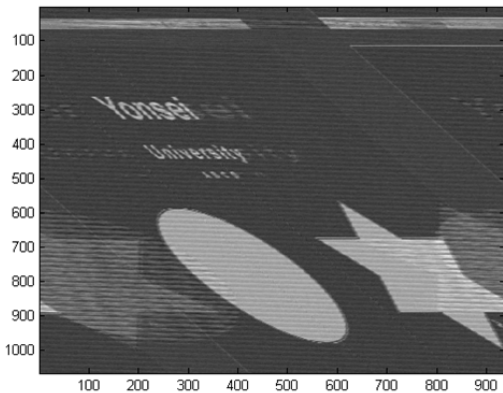


그림 14. 1 m에서 측정된 랩탑 모니터의 누설 신호에 대한 복원 화면  
 Fig. 14. Recovered display of leaked signal from laptop monitor on 1 meter.

이다. 이 경우, 복원된 화면의 수평 픽셀 개수가 정의된 값인 1,688보다 적어서 화면의 기울어짐 현상이 발생한다. 이 현상은 수평 픽셀 개수를 조정하여 VESA 규격에 정의된 값으로 맞추면 보정이 가능하다. 그림 13은 3 m에서 측정된 LCD 데스크탑 모니터의 누설 전자파를 복원한 화면이다. 그림 14와 15는 1 m와 3 m에서 측정된 LCD 랩탑 모니터의 누설 전자파를 복원한 화면이다. 마찬가지로 동일한 신호 처리 과정을 적용하였으며, 데스크탑 모니터의 결과보다 훨씬 더 선명한 화면을 복원하였다. 따

라서 데스크탑과 랩탑 모니터 모두 3 m 이내의 거리에서 누설 신호 복원이 가능함을 확인하였다.

이전 연구에 비해 본 연구에서 3 m 이내의 먼 거리에서 누설 전자파 복원이 가능했던 이유는 지향성이 높은 log-periodic antenna를 사용하고, RF 수신기를 이용하여 누설 신호를 수집하며, 다양한 신호 처리 기법을 통해 신호 대 잡음비를 향상시켰기 때문이다. 특히 RF 수신기를 통한 누설 신호 수집 및 기저 대역으로의 변환은 오실로스코프를 사용하는 것에 비해 더 적은 메모리로 더 많은 데이터를 다룰 수 있어서 빠른 시간 내에 안정적인 신호 처리를 가능하게 하였다.

## V. 결 론

LCD 모니터에서 누설되는 전자파를 분석하고 측정하여 화면으로 복원하였다. 비디오 디스플레이 인터페이스와 LCD 모니터를 분석하여 화면 구성 원리를 파악하고, 누설 전자파의 특성을 예측하였다. 화면의 누설 정보 탐지 실험을 구성하여 데스크탑과 랩탑 모니터의 누설 전자파를 측정하고, 누설 신호를 수집하였다. 수집한 누설 신호에 다양한 신호 처리 기법을 적용하여 화면으로 복원하였다. 이를 통해 LCD 모니터의 누설 전자파를 통한 정보 누설의 위험성을 실제 누설 전자파의 측정과 신호 처리 및 화면 복원을 통해 실험적으로 증명하였다.

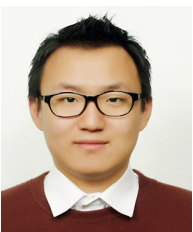


본 연구는 해외에 비해 국내에서는 다소 미진하였던 TEMPEST에 대한 연구를 수행했다는 측면에서 학술적인 의미를 갖는다. 또한, 본 연구의 결과는 군사적 측면에서 활용이 가능할 것으로 예상되며, 특히 전자전에서의 상대방의 정보 탈취 등에 용이할 것으로 예상된다. 또한, 누설 전자파 신호 복원 원리를 역으로 이용하여 추가적인 정보 탈취 방어 수단에 대해 연구할 수 있을 것으로 예상된다. 특히 이 기술은 화면의 구성 정보를 모르는 상태에서도 복원이 가능하다는 점에 있어서 높은 활용성을 가질 수 있다.

### References

- [1] 구태완, 이호성, 육종관, "고속 디지털 시스템 잡음에 의한 RF 시스템 간섭(RFI) 현상에 관한 시스템 레벨의 EMC 분석 및 대책 기술 연구 동향", 한국전자과학 회논문지, 25(10), pp. 966-982, 2014년 10월.
- [2] Van Eck Wim, "Electromagnetic radiation from video display units: an eavesdropping risk?", *Computers & Security* 4.4, pp. 269-286, 1985.
- [3] M. G. Kuhn, Ross J. Anderson, "Soft tempest: Hidden data transmission using electromagnetic emanations", *Information Hiding*, Springer Berlin Heidelberg, 1998.
- [4] M. G. Kuhn, "Compromising emanations: Eavesdropping risks of computer displays", *Univ. Cambridge Comput. Lab., Cambridge, U.K., Tech. Rep. UCAM-CL-TR-577*, Dec. 2003.
- [5] M. G. Kuhn, "Compromising emanations of LCD TV sets", *IEEE Trans. Electromagnetic Compatibility*, vol. 55, no. 3, pp. 564-570, Jun. 2013.
- [6] Ho Seong Lee, Kyuhong Sim, and Jong-Gwan Yook, "Measurement and analysis of the electromagnetic emanations from video display interface", in *Electrical Design of Advanced Packaging & Systems Symposium (EDAPS)*, pp. 71-73, Dec. 2015.
- [7] Tae-Lim Song, Yi-Ru Jeong, and Jong-Gwan Yook, "Modeling of leaked digital video signal and information recovery rate as a function of SNR", *IEEE Trans. Electromagnetic Compatibility*, vol. 57, no. 2, pp. 164-172, Apr. 2015.
- [8] Ho Seong Lee, Kyuhong Sim, and Jong-Gwan Yook, "An information recovery technique from radiated electromagnetic fields from display devices", *2016 Asia-Pacific International Symposium on Electromagnetic Compatibility(APEMC)*, pp. 473-475, May 2016.

이 호 성



2012년 8월: 연세대학교 전기전자공학과 (공학사)  
 2012년 9월~현재: 연세대학교 전기전자공학과 박사과정  
 [주 관심분야] SI/PI/EMI/EMC, TEMPEST

심 규 흥



1997년: 경북대학교 전자공학과 (공학사)  
 2014년: 아주대학교 IT융합대학원 (공학 석사)  
 1997년~현재: LIG넥스원 수석연구원  
 [주 관심분야] 통신대역 신호분석, TEMPEST

오 승 섭



1989년: 조선대학교 전자공학과 (공학사)  
1989년~현재: LIG넥스원 수석연구원  
[주 관심분야] 통신대역 신호분석 시스템,  
고출력 RF 시스템

육 중 관



1987년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학사)  
1989년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)  
1996년 12월: University of Michigan 전기전자공학과 (공학박사)  
1997년 1월~1998년 9월: University of Michigan Research Fellow  
1998년 10월~1999년 2월: Qualcomm Inc. Senior Engineer  
1999년 3월~2000년 2월: 광주과학기술원 조교수  
2000년 3월~현재: 연세대학교 전자공학과 교수  
2012년~2013년: IEEE Distinguished Lecturer (EMC Society)  
[주 관심분야] 마이크로파 시스템 해석 및 설계, 안테나 시스템, RF MEMS, Bio-Radar and Sensors, Computational Electromagnetics, EMI/EMC, HEMP, TEMPEST