

LED 깜빡임을 이용하여 저장장치의 다양한 상태 정보를 표시하기 위한 프로토콜의 설계

이현섭*
백석대학교 컴퓨터공학부 교수

A Design of Protocol for Indicating Various Status Information of Storage Devices Using LED Blinking

Hyun-Seob Lee*
Professor, Division of Computer Engineering, Baekseok University

요약 SSD는 높은 속도와 신뢰성을 바탕으로 HDD를 빠르게 대체하며 광범위하게 현대 컴퓨터 시스템의 저장장치로 자리 잡고 있다. 이러한 SSD는 엔터프라이즈 환경에서 대량으로 사용되기 때문에 각각의 SSD의 상태 정보를 확인하기 위한 LED 깜빡임 방법을 채용하고 있다. 이 방법은 SSD의 동작 및 상태에 따라 LED의 깜빡이는 속도를 제어하는 방법이다. 전통적인 SSD의 LED 활용 방법은 단순히 SSD의 전원 켜짐, 데이터 전송, 오류 등을 표현하기 위해 LED의 깜빡임 속도와 시간을 제어하였다. 그러나 최근에는 LED의 색상 및 깜빡임을 이용하여 데이터를 전송하는 다양한 연구가 진행되고 있다. 본 논문에서는 SSD의 LED 깜빡임을 이용하여 정해진 규칙의 신호를 전송하는 새로운 통신 방식을 제안한다. 제안하는 방법에서는 켜져 있는 LED 신호의 유지시간에 따라 신호를 숫자와 문자 체계로 분류하고, 분류된 신호를 조합하여 다양한 정보 체계를 설계하였다. 또한, 이렇게 조합된 신호를 전송하는 프로토콜을 설계하고, 전송받은 신호를 인클로저의 수신부에서 직관적으로 식별 가능한 표현 형태로 디스플레이 하는 방식을 설계하였다. 이러한 접근 방법은 기존 SSD의 추가적인 통신 채널을 확보하고, 시스템의 성능과 효율성을 증대할 수 있을 것으로 기대한다.

주제어 : LED 신호, LED 깜빡임, 솔리드 스테이트 드라이브, 인클로저, 데이터 전송 프로토콜

Abstract SSD are rapidly replacing HDD as the storage device of choice for modern computer systems due to their high speed and reliability. Since these SSD are used in large quantities in enterprise environments, the LED blinking method is used to check the status of each SSD. This method controls the blinking rate of the LEDs based on the behavior and status of the SSD. The traditional method of using LED in SSD simply controls the blinking speed and time of the LED to indicate power on, data transfer, error, etc. However, in recent years, various studies have been conducted to transmit data using the color and blinking of LED. In this paper, we propose a new communication method that uses the LED blinking of SSD to transmit signals according to a certain rule. In the proposed method, the signals are classified into numeric and character systems according to the duration of the on LED signal, and various information systems are designed by combining the classified signals. In addition, a protocol is designed to transmit these combined signals, and a method is designed to display the transmitted signals in an intuitively identifiable representation at the receiving end of the enclosure. This approach is expected to free up additional communication channels of existing SSD and increase the performance and efficiency of the system.

Key Words : LED Signal, LED Blinking, Solid State Drive, Enclosure, Data Transfer Protocol

*This paper was supported by 2024 Baekseok University Research Fund

*교신저자 : 이현섭(hyunseob@bu.ac.kr)

접수일 2024년 08월 30일 수정일 2024년 09월 25일 심사완료일 2024년 10월 08일

1. 서론

데이터 저장장치 기술의 발달과 함께, SSD(Solid State Drive)는 컴퓨터 시스템의 핵심 구성 요소로 자리 잡았다. SSD는 높은 속도와 신뢰성을 바탕으로 하드 디스크 드라이브(HDD)를 대체하며 널리 사용되고 있다. 이러한 SSD는 성능뿐만 아니라, LED(Light Emitting Diode)와 같은 다양한 시각적 신호 장치를 포함하고 있어 사용자에게 직관적인 상태 정보를 제공하는 데 기여하고 있다. SSD에서는 다양한 방법의 데이터 전송 기술 기술에 대한 요구가 증가하고 있다. 특히, 사물 인터넷(Internet of Things) 환경에서 저전력, 소형화된 기기 간의 효율적인 통신이 가능한 새로운 방식에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다.

전통적으로 SSD의 LED는 주로 장치의 상태(예: 전원 켜짐, 데이터 전송, 오류 등)를 나타내기 위해 사용됐다. 그러나 최근 들어 이러한 LED를 단순한 상태 표시 장치 이상의 목적으로 활용하려는 시도가 제기되고 있다. 특히, LED의 깜빡임(blinking) 패턴을 이용하여 일정한 규칙에 따라 정보를 인코딩하고 전송하는 방법이 가능할 수 있다는 점에서 주목을 받고 있다. 이러한 접근법은 SSD의 하드웨어 자원을 최대한 활용하여 물리적 통신이 가능하게 하거나 보안성을 높이는 데 기여할 수 있다.

본 논문에서는 SSD의 LED 깜빡임을 이용하여 정해진 규칙의 신호를 전송하는 새로운 통신 방식을 제안한다. 제안하는 방법을 통해 LED를 활용하여 데이터를 전송하는 방법과 전송받은 LED 신호를 인클로저에서 식별 가능한 표현 형태로 디스플레이 하는 방식을 설계할 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 LED 깜빡임을 이용한 정보 전송의 이론적 배경과 관련 연구를 살펴보고, 일반적인 LED 깜빡임 방법을 확장한 기존 연구에 대해 분석한다. 그다음 LED 단일 신호의 깜빡거림을 이용하여 정보를 전달하는 방법을 설계한다. 그리고 인클로저의 수신부에서 제안하는 방법을 기반으로 한 LED 신호를 전달받아서 디스플레이 하는 방법을 디자인한다. 마지막으로, 본 연구의 한계점과 향후 연구 방향을 제시한다. 이 연구를 통해 SSD의 LED 활용을 통한 정보 전달 가능성을 확대하고, 새로운 정보 전달 메커니즘을 통한 성능안정 효과를 기대할 수 있다.

2. 배경 및 관련연구

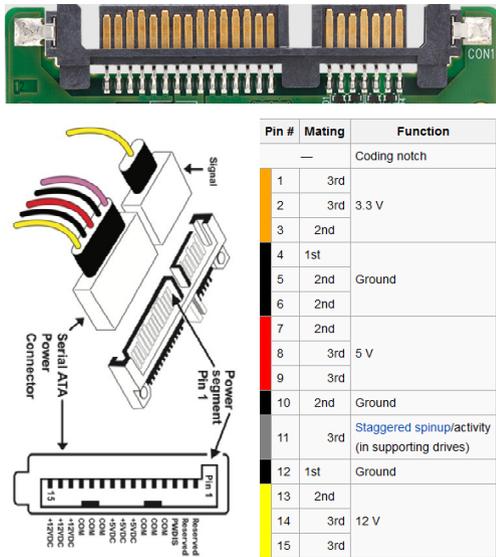
2.1 저장장치의 LED

SSD는 빠른 읽기/쓰기 속도, 낮은 전력 소비, 그리고 높은 신뢰성 때문에 현대 컴퓨팅 시스템에서 중요한 저장 장치로 자리 잡았다[1]. 대부분의 SSD는 장치의 상태를 나타내기 위해 LED를 포함하고 있으며, 이는 일반적으로 전원 상태, 데이터 전송 활동, 오류 상태 등을 표시하는 데 사용된다[2]. LED 깜빡임을 이용한 정보 전달은 기본적으로 전기 신호를 시각적 신호로 변환하는 과정이다. 이는 디지털 신호를 아날로그 형태로 표현하는 일종의 변조 기술로 볼 수 있다. LED의 켜짐과 꺼짐 상태는 각각 1과 0의 이진 신호를 나타낼 수 있어, 데이터 전송의 기본 단위로 활용될 수 있다[3]. 최근 들어, 이러한 LED 깜빡임을 단순한 상태 표시 이상의 목적으로 활용하려는 시도가 증가하고 있다. 특히, 물리적으로 격리된 시스템(Air-Gapped Systems) 간의 은밀한 통신 채널로서의 가능성이 주목받고 있다[4]. 이러한 가능성을 위해 다양한 연구가 진행되고 있다. 특히, 컴퓨터 장비의 LED로부터 발생하는 광학적 방출을 통해 정보가 유출될 수 있음을 증명하는 연구가 진행되었다[3]. 이 연구는 LED 깜빡임을 이용한 정보 전달의 가능성과 보안 위험성을 동시에 제시하였다. 그리고, LED를 통한 보안 위험성과 관련하여 확장된 연구로 'LED-it-GO'라는 기법을 제안되었다[5]. 이 방법은 하드 드라이브의 LED를 제어하여 물리적으로 격리된 컴퓨터에서 민감한 데이터를 유출하는 것이 가능함을 보여주었다. 또한, 이 연구를 통해 SSD LED를 이용한 정보 전달의 실현 가능성을 입증하였다. 그다음, 빛을 이용한 통신 기법으로, 가시광 통신(VLC)의 개념이 연구되었다[6]. VLC는 LED를 이용하여 데이터를 전송하는 기술로, 높은 대역폭과 에너지 효율성을 제공한다. 이 연구는 LED를 이용한 고속 데이터 전송의 가능성을 제시하였으며, SSD LED를 이용한 통신 연구를 통한 정보 전달 가능성을 제공하였다. 최근에는, LED를 통해 SSD의 상태를 모니터링하고 예측하는 새로운 방법을 제안하였다[7]. 이 연구는 SSD의 기본적인 내부 상태를 외부로 전달하는 것의 중요성을 강조하였으며, LED를 이용한 정보 전달이 이러한 목적으로 활용될 수 있음을 시사하였다. 이와 관련하여 확장된 연구로 'VisiSploit'라는 새로운 광학 은닉 채널이 제안되었다[8]. 이 연구는 LCD 화면의 밝기 변화를 이용하여 데이터를 전송하는 방법을 제시하였다. 이는 SSD LED를 이용한 정보 전달의 보안 위협과 그 가능성을 동시에 보여주는 사례이다.

이러한 선행 연구들은 SSD LED를 이용한 정보 전달의 가능성, 응용 분야, 그리고 잠재적인 보안 위협을 다양한 각도로 조명하고 있다. 본 연구에서는 이러한 선행 연구들을 바탕으로, SSD LED 깜빡임을 이용한 새로운 정보 전달 프로토콜을 제안하고자 한다.

2.2 저장장치의 LED 인터페이스 활용

SSD의 대표적인 인터페이스는 SATA, SAS, NVMe가 있다.



[Fig. 1] Fin Array of SATA

Fig. 1은 SATA 인터페이스가 적용된 SSD의 핀 배열 정보를 보여주고 있다[9]. 그림과 같이 SSD의 전원부 Pin은 15개가 있다. 이 중 Pin 11은 SSD의 상태에 따라 LED 깜빡임을 제어하기 위한 Pin이다. 일반적으로 저장 시스템에서는 이 Pin의 신호에 따라 SSD의 상태 정보를 보여주는 LED를 깜빡인다. 이렇게 LED의 깜빡임을 제어하는 메커니즘은 SATA와 NVMe 인터페이스에서도 동일하다.

2.3 상태 정보를 LED로 표시하는 인클로저

엔터프라이즈에서 SSD의 상태 정보를 보여주는 LED는 대량의 SSD 관리를 위해 필요하다.



[Fig. 2] 24-Bay Form Factor

Fig. 2는 SSD에 LED가 연결된 인클로저와 각각의 인클로저에 24대의 SSD를 장착한 24-베이 폼팩터의 사례를 보여주고 있다. 그림과 같이 각각의 SSD 동작 상태를 LED를 통해 보여준다. 엔터프라이즈 서버의 관리자는 각 인클로저의 LED 깜빡임을 통해 SSD의 전원 인가 여부와 동작 상태를 파악할 수 있다. 대량의 저장장치로 구성된 저장장치를 관리하는 엔터프라이즈는 이렇게 직관적인 LED 깜빡임을 모니터링 방법을 통해 각 저장장치 및 시스템의 상태를 빠르게 점검한다.

State Name	Slot/Device State	Status LED	Status LED Amber
Device status off	The server or device is not powered up.	Off	Off
Device online	The device is powered up.	On	Off
Device identify (blink)	The device is identifying the slot location or is indicating the device has received a Prepare for Removal command from the host operating system.	Not applicable	Off
Device failed	The host operating system no longer has access to the device because the device is not responding or has encountered a critical error condition.	Off	On for 250ms / Off for 250ms
Read only	The device will only service read operations.	Off	Not applicable
Predicted failure	The SMART feature set has predicted a degradation or fault condition.	On for 250ms / Off for 250ms	Not applicable

[Fig. 3] SSD states and LED indicator codes

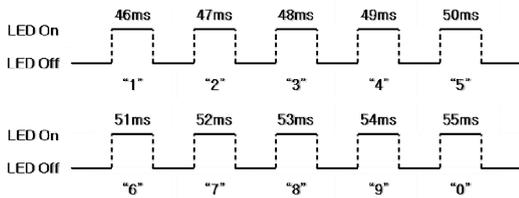
Fig. 3은 엔터프라이즈 NVMe PCIe SSD의 LED indicator code 사용 예를 보여주고 있다[10]. 그림의 예제에서는 녹색과 주황색 2종류의 LED를 사용한다. 전원이 켜져 있는 경우 녹색 LED를 키고, SSD에 문제가

있는 경우에는 주황색 LED를 250ms 주기로 깜빡인다. 그 외에 향후 고장이 예측될 경우 녹색 LED를 250ms 주기로 깜빡인다. 이렇게 LED의 깜빡임과 색상을 통해 SSD의 상태를 식별하기 위한 다양한 노력이 시도되고 있다.

3. 상태정보 전달을 위한 LED 프로토콜 설계

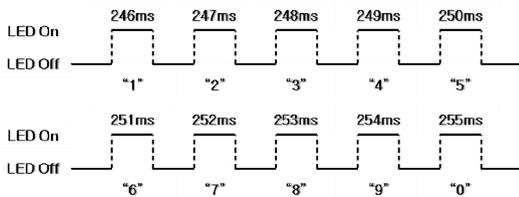
3.1 LED 신호 체계 설계

본 절에서는 저장장치에서 LED를 이용하여 신호를 전달하기 위한 신호 체계를 설계한다.



[Fig. 4] Signal scheme with blinking 50ms

Fig. 4는 50ms를 기준으로 LED를 깜빡이는 LED 시스템에 정보를 전달하기 위한 신호 체계의 구성을 보여주고 있다. 그림과 같이 기본 50ms를 중심으로 1ms의 LED 깜빡임 시간을 통해 1부터 0까지 1ms 단위 차이로 각각 서로 다른 신호 체계를 설계하였다. 일반적으로 사람의 눈으로는 1ms의 차이의 깜빡임을 감지가 어렵다. 따라서 이렇게 기본 50ms와 같은 신호를 중심으로 신호 체계를 설계하면 이전의 단순 LED 깜빡임 체계를 사용하던 시스템과의 호환성이 우수한 장점이 있다.



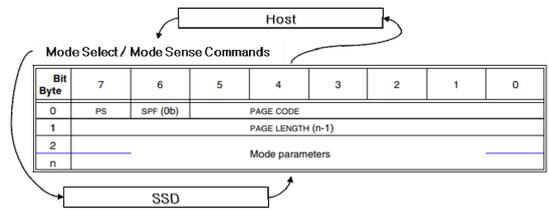
[Fig. 5] Signal scheme with blinking 250ms

Fig. 5는 250ms를 기준으로 LED를 신호를 전달하기 위한 신호 체계를 보여주고 있다. Fig. 5의 신호 체계는 Fig. 4와 비교하여 기본 LED 깜빡임 시간이 다르다. 일반적으로 엔터프라이즈의 LED 깜빡임은 제조 업체에 따

라 다르다. 즉, 제안하는 신호 체계는 서로 다른 신호 체계를 가지고 있는 엔터프라이즈의 LED 깜빡임 시스템에도 적용 가능한 장점이 있다.

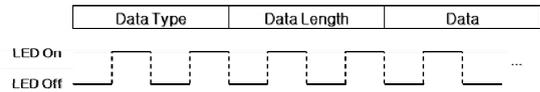
3.2 LED 신호 체계를 이용한 데이터 패턴 설계

본 절에서는 LED 신호를 이용하여 전달하고자 하는 데이터의 패턴과 사용 방법을 설계한다. 기본적으로 엔터프라이즈 SSD는 T10 표준 스펙[11]에 따라 다양한 모드 페이지(Mode Page)를 관리하고 있다. 제안하는 방법은 이러한 모드 페이지 중 표준과는 무관하게 변경이 가능한 공급업체별 모드 페이지(Vendor Specific Mode Page)를 이용한다.



[Fig. 6] Setting for LED Blinking

Fig. 6은 모드 페이지를 이용하여 LED 깜빡임을 제어하기 위한 모드 페이지 사용 방법을 보여주고 있다. 그림과 같이 T10 표준 스펙의 Mode select와 Mode sense 명령[12]을 이용하여 LED 깜빡임의 주기와 전달하고자 하는 정보를 설정한다. 공급업체별 모드 페이지는 SSD를 공급하는 산업체 각각의 스펙에 따라 설정할 수 있다. 따라서 LED 깜빡임 주기와 전달하는 정보를 SSD 공급업체의 스펙이 맞추어 설계한다.



[Fig. 7] Data Format

Fig. 7은 LED 깜빡임을 통해 전송하는 데이터 패턴의 포맷을 보여주고 있다. 제안하는 방법은 모드 페이지에 설정된 주기 값을 참조하여 주기적으로 LED를 깜빡인다. 이때, LED의 켜져 있는 시간을 이용하여 3종류의 데이터를 연속으로 보낸다. 먼저 2번의 깜빡임은 전송하고자 하는 데이터가 어떤 정보를 포함하고 있는지 식별하기 위한 데이터다. 그다음, 두 번의 깜빡임은 전송하고자 하는 데이터의 길이를 의미한다. 마지막 데이터 두 번째

깜빡임에서 전송하는 데이터 길이만큼 깜빡이며, 실제 전송하고자 하는 정보를 포함한다. 예를 들어 두 번째 깜빡임이 02를 전달하였다면 세 번째 구간인 데이터는 두 번의 깜빡임을 통해 모드 페이지에 설정된 정보를 LED 깜빡임을 통해 전송한다. 이때, 모드 페이지의 기본 데이터는 LED를 깜빡이는 주기, 이전 시스템과의 호환을 위한 기본 LED 깜빡임 속도, LED로 전송하기 위한 데이터 타입으로 구성된다.

3.3 LED 신호 체계의 활용

엔터프라이즈 환경의 저장시스템은 다수의 SSD로 구성되어 있다. 따라서 발열과 고장의 문제가 취약하다. 기존의 LED 깜빡임 신호 체계는 SSD의 전원 인가, 동작, 고장 여부를 직관적으로 모니터링 하기 위해 만들어졌다. 이러한 시스템에 본 논문에서 제안하는 아이디어를 적용할 경우 단순한 정보뿐만 아니라 SSD의 다양한 상태정보 전달할 수 있는 시너지가 있다. 대표적인 예는 SMART(Self Monitoring Analysis and Reporting Technology)[13-15]이다. SMART는 저장장치의 다양한 상태정보를 포함하고 있다.

Data Type	Data
00	Default LED Blinking
01	Current Temperature
02	Current Amount of Data Read
03	Current Amount of Data Write
04	Bad Block Count
05	Power On Count
06	Current Smart Status
	0000: No Error
	01xx: Warning
	02xx: Critical

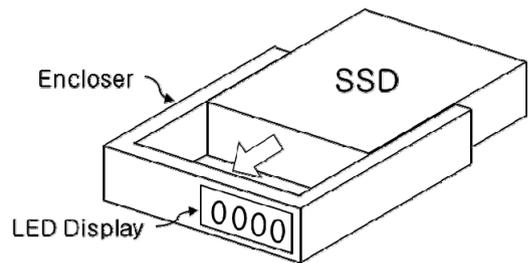
[Fig. 8] Meaning of Data Type

Fig. 8은 SMART를 LED 깜빡임으로 표현할 수 있는 데이터 타입 별 데이터의 예를 보여주고 있다. 그림과 같이 데이터 타입에 따라 LED 깜빡임을 통해 전송할 수 있는 정보를 다양하게 구성할 수 있다. SMART의 정보는 엔터프라이즈 관리를 위해 필요한 정보이다. 따라서 지속적인 모니터링을 해야 한다. 그러나 일반적인 SMART 정보 확인 방법은 SSD의 데이터 전송을 위한 채널을 통해 요청 및 전달된다. 따라서 SMART의 각종 값을 확인하기 위해서는 데이터 전송을 일시적으로 중단해야 한다. 이러한 과정은 지속해서 일정한 성능을 제공해야 하

는 엔터프라이즈에 성능적 부담을 준다. 그러나 본 논문에서 제안하는 방법을 사용할 경우, 성능에 영향을 주지 않고 LED로 SSD의 다양한 정보를 전송할 수 있는 장점이 있다.

3.4 LED 신호 체계의 적용을 위한 수신부 설계

기존의 LED 깜빡임 시스템은 깜빡임의 속도 및 색상을 통해 간단한 SSD의 상태 전달하였다. 그러나 본 논문에서 제안하는 시스템을 적용할 경우 LED의 수신부에서 단순히 깜빡임을 보이는 것 이상의 직관적인 정보 전달을 할 수 있다.



[Fig. 9] Meaning of Data Type

Fig. 9는 제안하는 LED 프로토콜 신호 체계를 적용한 SSD의 Pin 11을 통해 전송되는 신호를 직관적으로 모니터링하기 위한 표시 장치를 보여주고 있다. 그림과 같이 인클로저 장착된 표시 장치에서 SSD로부터 전송된 신호를 숫자 및 문자로 변환하여 출력한다. 그림의 예제와 같이 제안하는 프로토콜을 SSD에 적용하는 동시에 인클로저의 수신부에 적용할 경우 대량의 SSD를 관리해야 하는 엔터프라이즈 환경에서 온도, 상태, 에러뿐만 아니라 SSD의 관심 정보들을 직관적으로 모니터링할 수 있는 장점이 있다. 또한, 이 방법은 데이터 전송을 위한 SSD의 인터페이스를 사용하지 않기 때문에 성능에 영향을 주지 않고 엔터프라이즈의 저장시스템을 관리하는데 기여할 것으로 기대한다.

4. 결론 및 향후 연구 목표

본 논문에서는 SSD의 LED 깜빡임을 이용하여 정해진 규칙의 신호를 송수신하는 새로운 통신 방식을 제안하였다. 제안하는 방법에서는 LED의 깜빡임 중 LED가 켜져 있는 유지시간에 따라 신호를 구분할 수 있는 체계로 분류하고, 분류된 신호를 조합하여 다양한 정보 구조를 설

계하였다. 또한, 이렇게 조합된 신호를 전송하는 프로토콜을 설계하고, 전송받은 신호를 인클로저의 수신부에서 직관적으로 식별 가능한 표현 형태로 디스플레이 하는 방식을 설계하였다. 이러한 접근 방법을 통해 기존 SSD의 데이터 전송 외에 추가적인 정보통신 채널을 확보하였다. 또한, 데이터 전송 채널을 사용하지 않고 별도의 프로토콜을 통해 SSD 내부의 정보를 전송할 수 있다. 따라서 데이터 전송 및 성능에 부하를 주지 않고, 다양한 정보를 송수신하여 엔터프라이즈 시스템 관리 효율성을 증가할 수 있을 것으로 기대한다. 향후에는 단방향 통신이 아닌 양방향 통신 프로토콜 방법을 연구하고, 제한한 기법을 적용한 인클로저를 구현하여 LED 통신방법이 성능에 미치는 효과를 분석할 예정이다.

REFERENCES

- [1] J.Lee and B.Moon, "Advances in flash memory SSD technology for enterprise database applications," *SIGMOD Record*, Vol.44, No.2, pp.5-13, 2015.
- [2] Micron Technology, Inc., "SSD 101: An Introduction to Solid-State Drives," *Micron Technical Marketing Brief*, 2018.
- [3] J.Loughry and D.A.Umphress, "Information leakage from optical emanations," *ACM Transactions on Information and System Security (TISSEC)*, Vol.5, No.3, pp.262-289, 2002.
- [4] M.Guri, M.Monitz, Y.Mirski, and Y.Elovici, "BitWhisper: Covert signaling channel between air-gapped computers using thermal manipulations," *Computer Security Applications Conference*, 2017.
- [5] M.Guri, Y.Solewicz, A.Daidakulov, and Y.Elovici, "LED-it-GO: Leaking (a lot of) data from air-gapped computers via the (small) hard drive LED," *International Conference on Detection of Intrusions and Malware, and Vulnerability Assessment*, pp.161-184, 2017.
- [6] A.Jovicic, J.Li, and T.Richardson, "Visible light communication: Opportunities, challenges and the path to market," *IEEE Communications Magazine*, Vol.51, No.12, pp.26-32, 2013.
- [7] Y.Zhou, F.Mao, X.Hou, and Y.Ji, "A novel SSD health degree prediction method based on feature fusion," *IEEE Access*, Vol.9, pp.26402-26413, 2021.
- [8] M.Guri, O.Hasson, G.Kedma, and Y.Elovici, "VisiSploit: An optical covert-channel to leak data through an air-gap," *Journal of Hardware and Systems Security*, Vol.3, No.2, pp.159-168, 2019.
- [9] Super User, "Why are there so many pins on a SATA power connector?," <https://superuser.com/>

- [10] Dell Technologies, "Dell Express Flash NVMe PCIe SSD User's Guide," *Dell Technologies*, 2024.
- [11] T10, <https://www.t10.org/>
- [12] INCITS Technical Committee T10, "SCSI Commands Reference Manual" 2020.
- [13] J.Kim, S.Lee, and D.Park, "Predictive Maintenance of SSDs Using Machine Learning Techniques on SMART Data," *Journal of Storage Systems*, Vol.45, No.3, pp.234-248, 2022.
- [14] L.Zhang, Y.Wang, and H.Chen, "Improving SSD Reliability through Enhanced SMART Attribute Analysis," *IEEE Transactions on Dependable and Secure Computing*, Vol.18, No.2, pp.789-801, 2021.
- [15] A.Patel, K.Nakamoto, and R.Singh, "A Comprehensive Study on SSD Failure Prediction Using SMART Parameters," *ACM Transactions on Storage*, Vol.19, No.1, pp.1-25, 2023.

이 현 섭(Hyun-Seob Lee)

[종신회원]



- 2013년 2월 : 한양대학교 컴퓨터 공학과 (공학 박사)
- 2012년 3월 ~ 2021년 2월 : 삼성전자 책임연구원
- 2021년 3월 ~ 현재 : 백석대학교 컴퓨터공학부 조교수

<관심분야>

인공지능, 저장시스템, 임베디드 시스템