

# 스마트 홈을 위한 CAN 기반 화재 감지 시스템의 구현

## Implementation of CAN-based Fire Detection System for Smart Home

이 경 창, 김 정 희, 이 흥 희\*  
(Kyung Chang Lee, Jung-Hee Kim, and Hong-Hee Lee)

**Abstract :** This paper presents a network based fire detection system using CAN, in order to evaluate feasibility of home automation protocol for smart home. In general, because a traditional fire detection system has an analog transmission method with 4-20mA current, it has several shortcomings such as weakness to noise. Hence, as an alternative to the traditional system, this paper presents the architecture of CAN based fire detection system and the design method of CAN communication network. Also, the performance of the suggested system is evaluated through an experimental testbed. Especially, CAN has several advantages such as low cost and easiness of implementation compared to Ethernet or ARCNET, which are low layer of BACNet. Therefore, if CAN is adopted as low layer of BACNet, the home automation system is implemented more effectively.

**Keywords :** network-based fire detection system, controller area network(CAN), home automation system, home network, intelligent building

### I. 서론

최근 신축되고 있는 건물들은 고객의 편의성과 안전성을 향상시키기 위하여 인텔리전트 빌딩(intelligent building)의 형태로 건설되고 있는 추세이다[1][2]. 특히, 고객의 지능화에 대한 요구를 충족시킬 수 있는 스마트 홈(smart home)을 구현하기 위하여, 인텔리전트 빌딩에서는 그림 1과 같은 홈 네트워크 시스템(home network system)과 홈 자동화 시스템(home automation system)에 대한 요구가 증대되고 있다[3].

인텔리전트 빌딩에서는 고객의 편의성을 증대시키기 위하여, 그림 1과 같은 냉장고, 전자레인지 등과 같은 가전 기기, TV, 오디오 등과 같은 멀티미디어 기기, PC 등과 같은 인터넷 기기들이 사용되고 있다. 최근에는 고객의 편의성과 지능화에 대한 요구를 충족시키기 위하여, 가전 기기들을 홈 네트워크로 연결하여 가정 안 밖에서 단말기나 셀룰러폰, PDA 등을 이용하여 가전 기기를 원격으로 제어하거나 모니터링할 수 있게 되었다. 특히, 이러한 홈 네트워크 시스템을 구현하기 위하여, 여러 표준 기관이나 기업들에 의하여, Echonet, Konnex, LnCP, LonWorks 등과 같은 홈 네트워크 프로토콜에 대한 연구가 진행되고 있다[4].

뿐만 아니라, 인텔리전트 빌딩에서는 고객의 안전성과 편의성을 향상시키기 위하여, 그림 1과 같은 HVAC(Heating, Ventilating and Air Conditioning), 조명, 방범, 방재 시스템 등과 같은 홈 자동화 시스템이 사용되고 있다. 전통적인 홈 자동화 시스템에서, 스위치, 밸브, 화재 감지기 등과 같은 홈 자동화 기기들은 HAVC용 제어기나 방재용 제어기 등과 같은 독립된 제어기와 일대일 방식(point-to-point connection)으로 연결되어 있다. 특히, 전통적인 화재 감지 시스템에서는 4-20mA

전류를 사용하는 아날로그 전송 방식으로 인하여, 특성 회선에 연결된 화재 감지기로부터 문턱값(threshold)을 넘는 전류가 수신된 경우에 그 구역에서 화재가 발생된 것으로 간주하고 있다. 이로 인하여, 전통적인 화재 감지 시스템은 단락 등과 같은 다양한 형태의 노이즈에 취약할 뿐만 아니라, 정확한 화재 발생 지역에 대한 파악이 어렵다는 단점이 있다. 최근에는, 이러한 문제를 해결하기 위하여 아날로그 전송 방식을 디지털 전송 방식이나 무선 전송 방식을 이용하여 화재 감지 시스템을 구성하려는 연구가 진행되고 있다[5][6]. 뿐만 아니라, 이러한 홈 자동화 시스템을 위하여, BACNet, LonWorks 등과 같은 프로토콜에 대한 연구가 진행되고 있다[7].

특히, 최근에는 CAN을 홈 네트워크 및 홈 자동화용 프로토콜로서 적용하기 위한 논의가 CiA(CAN In Automation)를 중심으로 활발하게 제기되고 있다[8][9]. 일반적으로, CAN[10]은 BACNet의 하위 계층으로 사용되는 Ethernet이나 ARCNET 등에 비하여, 센서 단계에서의 구현이 가능하다는 장점을 가지고 있다. 즉, CAN의 경우 대다수의 반도체 제조 회사에서 원칩으로 구현이 가능한 저가의 마이크로컨트롤러가 출시되고 있으며, CAN 노드를 구성하기 위한 다양한 저가의 개발 툴이 존재하기에 센서 단계에서의 구현이 매우 용이하다는 장점을 가지고 있다. 또한, 자동차, 로봇, 산업 자동화 등과 같은 다양한 분야에서 많은 응용이 공개되어 있음에 따라, CAN은 하드웨어로의 구현이 매우 쉽다는

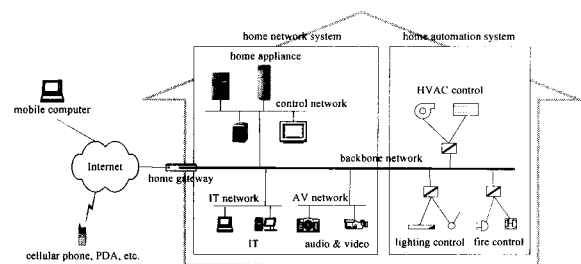


그림 1. 홈 네트워크 시스템의 개념도.

Fig. 1. Schematic diagram of home network system.

### \* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2004. 2. 16., 채택확정 : 2004. 5. 7.

이경창 : 울산대학교 네트워크기반자동화연구센터(gclee@pnu.edu)

김정희, 이흥희 : 울산대학교 전기전자정보시스템공학부

(feedback14@hanmail.net/hhlee@mail.ulsan.ac.kr)

※ 본 연구는 한국과학재단 지정 울산대학교 네트워크 기반 자동화 연구센터의 지원에 의한 것임.

장점을 가지고 있다. 따라서, 이러한 장점을 가진 CAN을 홈 자동화용 프로토콜의 표준으로 정착되어 가고 있는 BACNet의 하위 계층으로 사용하게 되는 경우, 보다 효과적으로 빌딩 자동화 시스템을 구성할 수 있을 것이다.

본 논문에서는 CAN의 홈 자동화용 프로토콜로서의 가능성을 평가하기 위하여, CAN을 적용한 네트워크 기반 화재 감지 시스템에 대하여 제안할 것이다. 본 논문은 서론을 포함하여 5장으로 구성되어 있다. II장에서는 네트워크 기반 화재 감지 시스템의 구조에 대하여 제안한다. III장에서는 CAN 기반 네트워크 모듈의 설계에 대하여 제시하고, 이론적으로 제안된 CAN 시스템이 빌딩 자동화 시스템에서 요구하는 실시간 요구 조건을 만족하는지를 검증한다. IV장에서는 제안된 시스템의 성능을 확인하기 위하여, CAN 기반 화재 감지 시스템 테스트베드를 구축하고, 화재 감지가 요구 조건 내에 검출될 수 있는지를 검증한다. 마지막으로 V장에서는 요약과 결론을 제시한다.

**II. 네트워크 기반 화재 감지 시스템의 구조**

**1. 전통적인 화재 감지 시스템**

그림 2.a는 전통적인 화재 감지 시스템의 기본 구조를 나타내고 있다. 그림에서, 수신기(receiver)와 연기 감지기 (smoke detector), 열 감지기(heat detector), 가스 감지기(gas detector) 등과 같은 화재 감지기(fire detector)나 유도등(guided light), 방화벽(fire wall), 스프린클러(sprinkler), 연기 배출 장치(smoke ventilator) 등과 같은 액추에이터(actuator)는 4-20mA 전류를 이용하는 아날로그 전송 회로를 통하여 연결되어 있으며, 하나의 신호선에는 같은 경계 구역을 감시하는 복수 개의 화재 감지기가 병렬로 연결되어 있다[11].

그림 2.b는 전통적인 화재 감지 시스템에서 수신기와 화재 감지기와의 연결 방법을 나타내고 있다. 그림에서, 수신기는 화재가 발생하였을 경우 아날로그 회선에 흐르고 있는 전류가 증가된다는 점을 이용하여 화재를 감지한다. 즉, 화재가 발생하면, 이것을 감지한 화재 감지기가 내장된 스위치를 사용하여 전송 회선을 도통시켜 회선에 흐르는 전류를 증가시킨다. 이 때, 수신기는 전류가 증가된 회선에서 화재가 발생하였다고 판단하고, 해당 구역에서 벨(bell)이나 표시창(sign

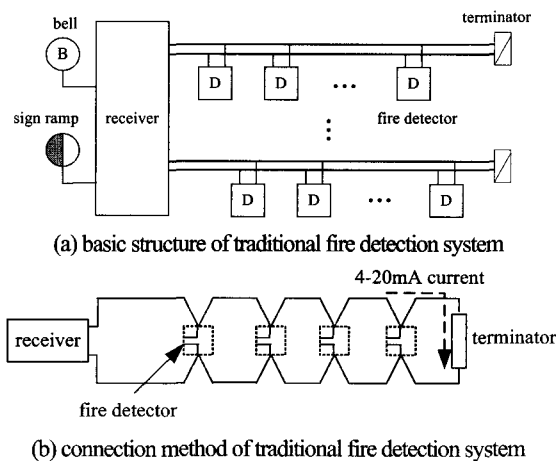


그림 2. 전통적인 화재 감지 시스템의 기본 구조.  
Fig. 2. Basic structure of traditional fire detection system.

ramp)을 이용하여 화재가 발생하였음을 알린다.

일반적으로, 전통적인 화재 감지 시스템에서는 동일한 회선에 연결되어 있는 화재 감지기 중의 하나라도 작동을 하게 되면, 해당되는 아날로그 회선에 흐르는 전류가 증가된다. 이로 인하여, 수신기는 아날로그 회선에 연결되어 있는 어떠한 화재 감지기에서 화재가 검출되었는지를 알지 못하기 때문에, 발화 장소는 경계 구역 단위로 인식된다. 또한 화재 감지기와 아날로그 회선이 노후되거나 부식 등으로 인하여 고장이 발생한 경우에도 화재가 발생되기 전까지는 고장 여부를 파악하기 어렵다는 단점이 있으며, 누전에 의하여 과전류가 회선에 발생하는 경우에도 경보가 발생될 수 있다는 단점이 있다. 뿐만 아니라, 전통적인 화재 감지 시스템에서는 특정한 문턱값을 넘어서는 전류가 감지되었을 경우에만 화재로 인식되기 때문에, 수신기는 화재 감지기에서 측정된 연기나 열의 감지 정도와 같은 실시간 감지 정보를 알 수 없다는 단점을 가지고 있다. 이로 인하여, 전통적인 화재 감지 시스템은 화재가 아닌 경우에도 벨이나 경보가 울릴 수 있기 때문에, 잘못된 화재 경보를 하거나 오작동에 의하여 대형 사고를 유발할 가능성이 매우 높다.

**2. 네트워크 기반 화재 감지 시스템**

그림 3은 전통적인 화재 감지 시스템이 가지는 단점을 보완할 수 있는 네트워크 기반 화재 감지 시스템의 기본 구조를 나타낸다. 그림에서, 화재 감지거나 액추에이터, 벨, 표시 장치 등은 공유된 전송 매체(shared transmission medium)를 사용하는 네트워크를 이용하여 연결되어 있으며, 디지털 통신 방식을 이용하여 상호 데이터 교환이 이루어지고 있다.

이러한 연결 방법에 의하여, 네트워크에 접속된 화재 감지기는 자신의 고유한 주소를 가지기 때문에, 수신기는 어떠한 화재 감지기에서 화재가 발생하였는지를 알 수 있다. 또한, 수신기는 주기적으로 자신이 관할하는 경계 지역에 설치된 화재 감지기의 상태를 검사하기 때문에, 화재 감지기의 고장이나 전송 회선의 단선 등과 같은 고장을 파악할 수가 있다. 뿐만 아니라, 수신기는 각 화재 감지기로부터 연기나 열의 감지 정도를 수신할 수 있기 때문에, 특정 문턱값에 따라 화재 유무를 판단하는 전통적인 방식보다 오보를 줄일 수 있다. 특히, 수신기는 동일 구역에 설치된 복수의 화재 감지기로부터 디지털화된 연기나 열의 감지값을 파악할 수 있기 때문에, 감지 신호의 변화 경향을 계산 및 비교하여 보다 정확한 판단을 내릴 수 있는 지능형 화재 감지 및 추론 알고리즘의 적용이 용이해 질 것이다[12][13].

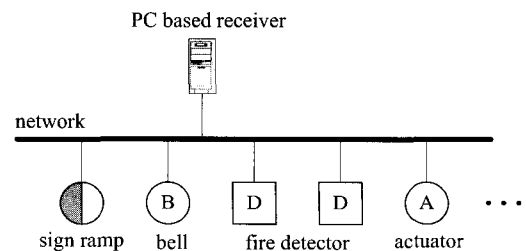


그림 3. 네트워크 기반 화재 감지 시스템의 구조.  
Fig. 3. Structure of network-based fire detection system.

또한, 네트워크 기반 화재 감지 시스템에서는 PC 기반 수신기를 사용할 수 있다는 장점을 가지고 있다. PC 기반 수신기는 전통적인 전용 수신기에 비하여, 가격이 현격하게 낮으며, 설치와 유지 보수가 용이하다는 장점을 가지고 있다. 특히, PC 기반 수신기에서는 MMI(Man Machine Interface)를 구현할 수 있기 때문에, 사용자와의 인터페이스가 유연해지고 홈 네트워크 시스템과 원활하게 통합될 수 있으며, 전화나 인터넷을 통하여 원격에서 제어할 수 있다는 장점이 있다.

최근 들어, 이러한 네트워크 기반 화재 감지 시스템의 구현을 위하여, BACNet과 LonWorks 등과 같은 프로토콜이 개발되고 있으며, Bluetooth 등과 같은 무선 기반 방식에 대한 연구도 진행되고 있다[5][6].

III. CAN 기반 화재 감지 시스템 설계

1. CAN 프로토콜 개요

CAN은 자동차 내의 센서나 액츄에이터, ECU(Electronic Control Unit)들 간에 디지털 통신을 제공하기 위하여 1980년대 보쉬에서 개발되었으며, 1993년 ISO 표준으로 제정되었다. CAN은 다른 필드버스 프로토콜에 비하여 가격 대 성능비가 매우 우수할 뿐만 아니라, 대다수의 반도체 제조 회사에서 원칩 형태의 마이크로컨트롤러로 개발되어 가장 대중화되어 있는 프로토콜로 인정 받고 있다. 이러한 장점으로 인하여, CAN은 자동차 분야뿐만 아니라, 공장 자동화와 빌딩자동화, 로봇, 선박, 공작기계 등과 같은 다양한 분야에서의 데이터 교환을 위한 응용으로 확대되어 가고 있다[8].

CAN은 메시지의 내용에 따라 11비트 또는 29비트로 이루어진 식별자(identifier, ID)를 부여하여 모든 메시지를 구별하고 메시지의 우선권을 정하는 내용 기반 주소 지정 방식(contentbased addressing)을 사용한다. 즉, 만약 어떤 스테이션이 메시지를 전송하기 시작하면, 나머지 스테이션들은 수신된 데이터가 자신이 가진 ID와 관련이 있는 지를 비교한다. 만약, 자신이 가진 ID와 관련이 있으면 받아들이고, 관련이 없으면 무시한다.

또한, 둘 이상의 스테이션에서 거의 동시에 전송을 시도했을 경우에는 충돌이 발생할 수 있다. 이러한 상황에서, CAN은 충돌된 메시지들의 ID를 한 비트씩 비교하여 가장 낮은 ID 값을 가진 메시지(우선순위가 가장 높음)만 전송을 계속

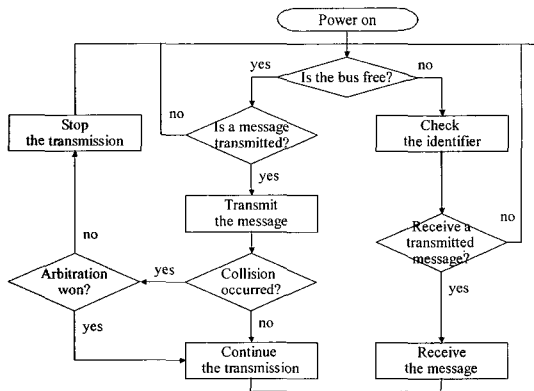


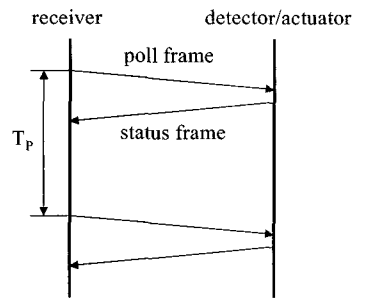
그림 4. CAN 프로토콜의 흐름도.  
Fig. 4. Flowchart of CAN protocol.

하고, 나머지 메시지는 즉시 전송을 중단하는 그림 4와 같은 CSMA/NBA(carrier Sense Multiple Access with Non-destructive Bitwise Arbitration)을 사용한다.

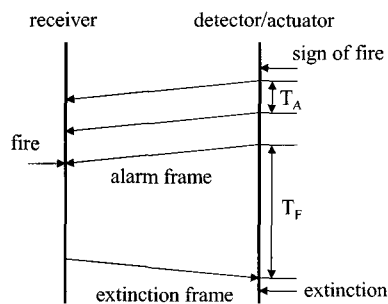
2. 화재 감지 시스템을 위한 CAN 통신망 설계

본 절에서는 CAN 기반 화재 감지 시스템을 위한 CAN 통신망의 설계 방법에 대하여 서술한다. 먼저, 그림 5.a는 정상 상태에서 수신기와 화재 감지기간의 데이터 교환을 나타내고 있다. 그림에서, 수신기는 화재 감지기의 상태를 검사하기 위하여,  $T_P$ (폴링 주기, polling period) 주기동안 폴 목록(poll list)에 있는 화재 감지기와 액츄에이터에게 차례대로 폴 프레임(poll frame)을 송신하고, 폴 프레임을 수신한 화재 감지기와 액츄에이터는 자신의 상태를 상태 프레임(status frame)에 포함시켜 수신기로 전송한다. 이러한 방법으로, 수신기는 주기적으로 화재 감지기나 액츄에이터의 상태를 점검할 수 있기 때문에, 화재 감지기의 고장이나 전송 회선의 단선 등과 같은 고장을 감지할 수가 있게 된다.

그림 5.b는 화재가 발생하였을 경우에 수신기와 화재 감지기간의 데이터 교환을 나타내고 있다. 그림에서, 화재 감지기는 열이나 연기의 발생, 가스의 누출 등과 같은 화재의 징후(sign of fire)가 발생하면, 즉, 화재 감지기의 값이 변화되면,  $T_A$ (알람 주기, alarm period) 주기로 값을 측정하여 경보 프레임(alarm frame)을 이용하여 수신기로 송신한다. 이 때, 수신기는 여러 개의 화재 감지기로부터 실시간 화재 정보를 수신하고, 이들을 종합적으로 검토하여 화재가 발생되었음을 결정한다. 만약 수신기는 화재가 발생하였다고 결정하면, 소화 프레임(extinction frame)을 이용하여 액츄에이터에게 화재 진압 명령을 내리게 된다. 마지막으로, 소화 프레임을 수신한 감지기는 경보 프레임의 송신을 중단하게 된다. 이 때, 화재



(a) exchange of status message



(b) exchange of fire alarm and extinction message

그림 5. CAN 기반 화재 감지 시스템에서의 메시지 정의.  
Fig. 5. Message definition of CAN-based fire detection system.

감지기에서 경보 프레임이 송신하고 나서부터 액츄에이터가 소화 프레임을 받기까지  $T_R$ (응답 시간, response time)의 시간이 걸리게 되며,  $T_R$ 는 화재 감지 시스템에서 요구되는 시간보다 작도록 설정되어야 한다. 이러한 방법에 의하여, 문턱값을 넘는 경우에만 화재 감지기가 작동되는 전통적인 화재감지기에 비하여, 수신기는 여러 개의 화재 감지기로부터 디지털 정보를 직접 수신하여 종합적으로 이용할 수 있기 때문에, 보다 더 정확한 화재 경보를 내릴 수 있게 된다.

그러나, CAN 기반 화재 감지 시스템에서, 경보 프레임이나 소화 프레임은 다른 어떠한 프레임보다 가장 우선적으로 전송될 수 있어야 한다. 따라서, 본 논문에서는 경보 프레임이나 소화 프레임에 전송 우선권을 주기 위하여, 그림 6과 같은 ID 할당 방법을 사용하였다. 그림에서, CAN의 29비트 ID 필드는 4개의 프레임 종류를 구분하기 위하여 5개의 서브 ID 필드로 나누었다.

먼저, 프레임 ID(frame ID)는 프레임의 종류를 결정하기 위한 필드로서, 소화 프레임은 00으로, 경보 프레임은 01로, 풀 프레임은 10으로, 상태 프레임은 11로 설정하였다. 그림 7a는 다수의 스테이션에서 동시에 다른 프레임 ID를 가지는 메시지가 생성된 경우를 나타내고 있다. 그림에서, 수신기에서 발생된 00의 값을 가진 소화 프레임은 CAN의 CSMA/NBA 알고리즘의 특성에 따라, 다른 어떤 프레임보다 가장 우선적으로 전송된다. 그 다음으로, 감지기 B에서 발생된 01의 값을 가지는 경보 프레임은 감지기 A에서 발생된 11의 값을 가지는 상태 프레임보다 먼저 전송된다. 이러한 방법에 의하여, 프레임의 우선 순위를 소화 프레임, 경보 프레임, 풀 프레임, 상태 프레임 순으로 설정함으로써, 화재 진압에 직접적으로 관련되는 소화 프레임과 경보 프레임의 전송이 우선적으로 이루어 지도록 하였다.

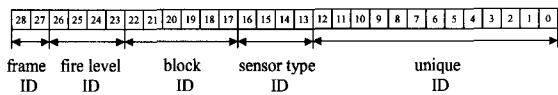


그림 6. CAN 기반 화재 감지 시스템에서의 메시지 할당 방법.

Fig. 6. Message allocation method of CAN-based fire detection system.

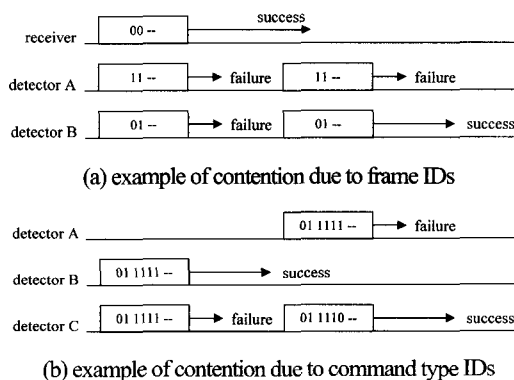


그림 7. ID 에 따른 경쟁의 예.

Fig. 7. Example of contention due to ID.

화재 레벨 ID(fire level ID)는 화재 감지 레벨을 설정하기 위한 필드로서, 초기값은 1111로 설정된다. 그림 7b는 화재 레벨 ID의 작동 알고리즘을 나타낸다. 그림에서, 특정 시점에 같은 프레임 ID를 가진 두 메시지가 있는 경우, 생성된 지 더 오래된 프레임이 전송될 수 있도록 화재 레벨 ID는 조정된다. 즉, 감지기 B와 C에서 경보 프레임이 발생되면, 고유 ID(unique ID)를 비교하여 높은 우선순위를 가진 감지기 B가 우선적으로 경보 프레임을 전송한다. 반면, 감지기 C는 전송에 실패하였기 때문에 화재 레벨 ID를 1 감소시켜 화재 레벨을 한 단계 증가시킨다. 다음으로, 감지기 A에서도 경보 프레임이 발생된다고 할 때, 감지기 A는 001111의 경보 프레임, 감지기 C는 001110의 경보 프레임을 가지게 됨으로써, 생성된 지 더 오래된 감지기 C의 경보 프레임이 우선적으로 전송되게 된다. 이러한 방법에 의하여, 다수의 화재 감지기에 서 화재 징후가 발견되어 동일한 경보 프레임이 동시에 발생되는 경우, 각 프레임들은 최소한의 전송 지연을 가지고 수신기로 송신될 수 있으며, 수신기는 화재 징후가 발견된 정확한 위치를 파악할 수 있게 된다.

블록 ID(block ID)는 화재 감지기나 액츄에이터들을 그룹 별로 관리하기 위하여 사용되는 필드이다. 예로, 특정 지역에서 화재가 발생한 경우, 특정 지역에 속한 모든 액츄에이터에게 소화 명령을 내리는 경우에 이 필드를 이용한다. 센서 형태 ID(sensor type ID)는 화재 감지기나 액츄에이터의 종류를 나타내는 필드로서, 연기 감지기, 열 감지기, 가스 감지기, 스프린클러 등과 같은 화재 감지기의 종류를 구분하기 위하여 사용된다. 마지막으로, 고유 ID(unique ID)는 화재 감지기의 고유의 번호를 나타내는 필드로서, CAN 기반 화재 감지 시스템에서 유일한 값을 가지도록 설정된다.

### 3. CAN 기반 화재 감지 시스템의 최대 전송 지연

CAN 프로토콜에서는 우선 순위가 높은 ID를 가지는 메시지가 우선적으로 전송되도록 설계되었기 때문에, 우선 순위가 가장 낮은 ID를 가지는 메시지는 주어진 허용 한계를 넘어서 전송되는 경우가 발생할 수도 있다. 따라서, CAN 기반 화재 감지 시스템이 오류없이 동작하기 위해서는, 각 프레임들이 주어진 허용 한계를 넘어서지 않도록 폴링 주기  $T_p$ 와 알람 주기  $T_A$ 가 설정되어야 한다.

먼저,  $T_p$ 와  $T_A$ 를 계산하기 위하여, 각 프레임의 전송 시간이 계산되어야 한다. 29비트 ID를 가진 확장된 CAN 메시지 에서 최악 전송 시간(worst-case transmission time,  $C_m$ )은 (1)을 이용하여 계산된다[12-14].

$$C_m = \left( \left\lfloor \frac{54 + 8s_m}{4} \right\rfloor + 67 + 8s_m \right) \tau_{bit} \quad (1)$$

식에서,  $\tau_{bit}$ 는 CAN의 비트 타임으로서, 전송 속도의 역수로서 계산된다[15]. 예로, CAN의 전송 속도를 500Kbps로 설정하는 경우, 2 $\mu$ sec로 계산된다.  $s_m$ 은 CAN 메시지의 바이트 크기이다. 첫번째 항은 최악의 경우에 발생할 수 있는 비트 스템프(bit stuff)에 의하여 발생하는 항이며, 두번째 항은 CAN 메시지에 부가되는 오버헤드 크기, 세번째 항은 CAN

메시지의 비트 크기이다.

CAN에 접속된 모든 감지기에서 경보 프레임을 발생시키고, 수신기가 이를 수신한 후 모든 액츄에이터에게 소화 프레임을 발생시키는 최악의 경우에서, CAN 기반 화재 감지 시스템이 오류없이 운영되기 위해서는, 즉, 모든 프레임들이 폴링 주기 내에 전송되려면,  $T_p$ 와  $T_A$ 는 (2)에서 계산된 값보다 크도록 설정되어야 한다.

$$(T_p, T_A) > \sum_{i=1}^{N_d} C_{Ai} + \sum_{i=1}^{N_a} C_{Ei} + \sum_{i=1}^{N_d+N_a} (C_{Pi} + C_{Si}) \quad (2)$$

위에서,  $C_{Ai}$ 는  $i$ 번째 감지기에서 발생하는 경보 프레임의 전송 시간이며,  $C_{Ei}$ 는  $i$ 번째 액츄에이터로 전송되는 소화 프레임의 전송 시간이다. 그리고,  $C_{Pi}$ 와  $C_{Si}$ 는  $i$ 번째 감지기가 액츄에이터로 전송되는 폴 프레임과 상태 프레임의 전송 시간이다. 마지막으로,  $N_d$ 는 CAN에 접속된 감지기의 개수이며,  $N_a$ 는 액츄에이터의 개수이다.

예로, 모든 프레임의 데이터 크기가 1바이트라고 하고, 8,000개의 감지기와 2,000개의 액츄에이터가 CAN 기반 화재 감지 시스템에 접속되어 있다고 하자. 여기에서, 데이터의 크기가 1바이트인 이유는 화재 감지기에서 생성되는 열이나 연기의 정도를 충분히 표현할 수 있기 때문이다. 여기에서, (1)과 (2)로부터  $C_{Ai}$  등은  $180\mu\text{sec}$ 로 계산되고,  $T_p$ 와  $T_A$ 의 하한은 5.4초로 계산된다. 따라서,  $T_p$ 와  $T_A$ 를 5.4초보다 크게 설정되면, 하나의 폴링 주기 내에 생성된 모든 프레임들의 전송이 완료될 수 있다.

특히, 미국의 NFPA(National Fire Protection Association)에서는 화재 감지기가 화재를 감지하고 나서 액츄에이터가 작동되는 데까지 걸리는 시간인 화재 경고 신호 전달 시간(response-time)을 90초 이내로 제시하고 있다[8][16]. 따라서, 다수의 화재 감지기와 액츄에이터를 가지는 대규모의 CAN 기반 화재 감지 시스템에서, 화재 감지기의 감지 시간과 액츄에이터의 작동 시간을 고려하더라도, 화재 감지와 소화가 주어진 요구 조건 내에 충분히 수행될 수 있을 것으로 평가된다.

IV. CAN 기반 화재 감지기의 구현

본 논문에서는 제안된 CAN 기반 화재 감지 시스템의 성능을 평가하기 위하여 그림 8과 같은 실험 모델을 구성하였다. 실험 모델에는 1대의 PC 기반 수신기와 2대의 연기 감지기, 1대의 가스 감지기, 1대의 액츄에이터 역할을 하는 통신 모듈이 접속되어 있다. 또한, 실험 모델에서 CAN의 전송 속도는 500Kbps로 설정하였으며, CAN의 전송 거리를 향상시키기 위하여 CAN 리피터를 설치하였다. 여기에서, CAN 프로토콜은 물리 계층으로 트위스트 페어를 사용하는 경우 500Kbps의 속도에서 100m의 전송 거리를 가지고 있다. 따라서, 한 두 개의 CAN 리피터를 이용하는 경우 가정 내에 존재하는 모든 감지기를 연결하기에 충분할 것으로 평가된다. 또한, 각 가정에 설치된 수신기는 관리소와 저속의 CAN으로 연결하게 되면(10Kbps에서 6Km의 전송 거리), 하나의 전송 회선으로 수십, 수백의 가정을 연결할 수

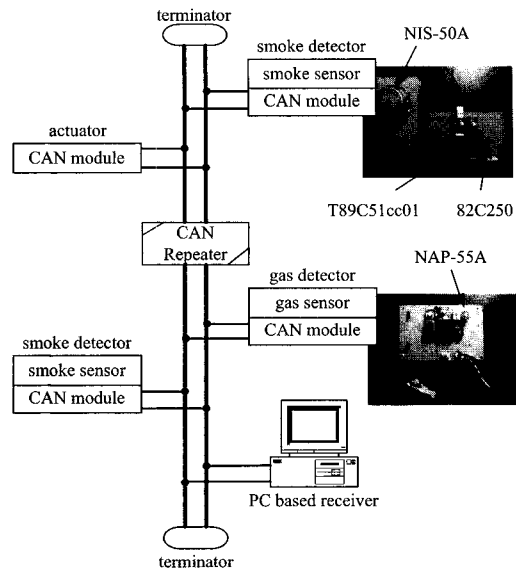


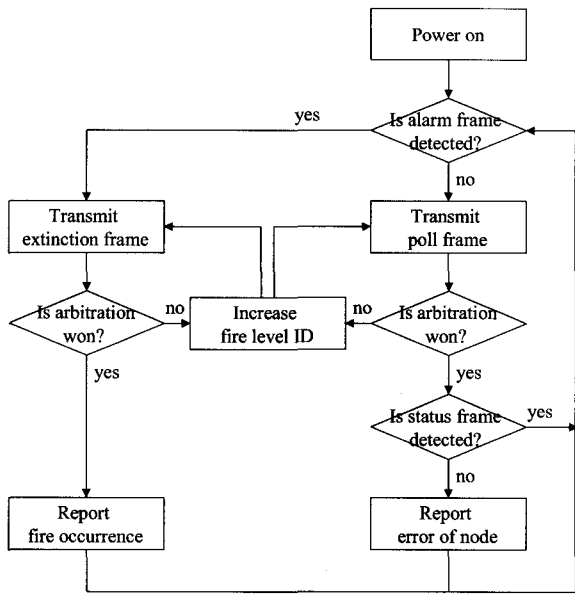
그림 8. CAN 기반 화재 감지 시스템의 실험 모델. Fig. 8. Experimental testbed of CAN-based fire detection system.

있을 것으로 평가된다.

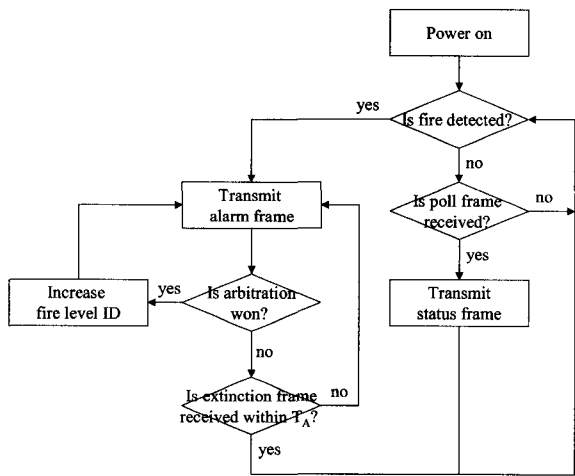
PC 기반 수신기는 CANAnalyzer에서 제공되는 CPAL을 사용하여 구현하였다. 연기 센서는 소비 전류가 극히 적고 전지 구동이 가능한 NEMOTO사의 NIS-05A를 사용하였으며, 가스 감지 센서는 도시 가스나 LPG 가스 누출 감지에 범용적으로 사용되는 NEMOTO사의 NAP-55A를 사용하였다. CAN 통신 모듈은 CAN 컨트롤러가 마이크로컨트롤러에 내장되어 있는 Atmel사의 T89C51cc01을 사용하였으며, CAN 트랜시버로는 Philips의 PCA82C250을 사용하였다.

그림 9.a는 실험 모델에서 PC 기반 수신기의 운영 알고리즘을 나타내고 있다. 그림에서, 수신기는  $T_p$  주기로 자신의 폴 목록(poll list)에 저장되어 있는 ID를 이용하여 차례대로 화재 감지기로 폴 프레임을 전송한다. 만약 전송 매체에서 충돌이 발생하게 되면, ID를 비교하여 경쟁에서 이긴 경우 전송을 계속한다. 그러나, 경쟁에서 진 경우 화재 감지 ID를 증가시키고, 재전송을 위하여 버스가 사용되지 않을 때까지 기다린다. 또한, 전송 매체를 관찰하는 중에 경보 프레임이 감지되면, 해당되는 액츄에이터를 구동시키기 위하여 소화 프레임을 전송한다. 본 실험 모델에서는  $T_p$ 를 10msec로 설정하였다. 이 값은 (2)에 의하여 계산된 전체 최악 전송 시간보다 충분히 크기 때문에 실험 모델에서 발생하는 모든 프레임의 전송이 보장될 수 있는 시간이다.

그림 9.b는 실험 모델에서 화재 감지기가 액츄에이터의 운영 알고리즘을 나타내고 있다. 그림에서, 화재 감지기는 화재의 징후가 감지되지 않는 경우에는 폴 프레임을 수신하면 자신의 상태를 포함하는 상태 프레임을 수신기로 전송한다. 만약, 화재의 징후가 감지되는 경우, 변화된 감지 정보를 포함하는 경보 프레임을 수신기로 전송하고 소화 프레임을 기다린다. 만약,  $T_A$  시간 내에 소화 프레임이 수신기로부터 수신되지 않으면, 변화된 감지 정보를 포함하는 경보 프레임을 수신기로 다시 전송한다. 본 실험 모델



(a) operation algorithm of PC based receiver



(b) operation algorithm of fire detector or actuator

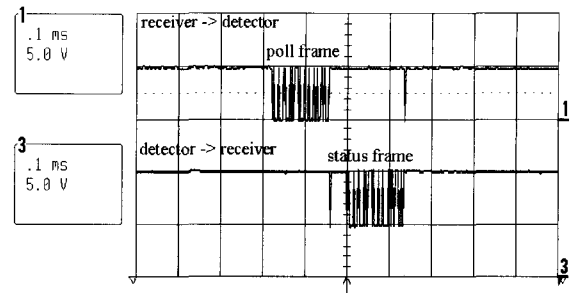
그림 9. CAN 기반 화재 감지기의 운영 알고리즘.

Fig. 9. Operation algorithm of CAN-based fire detector.

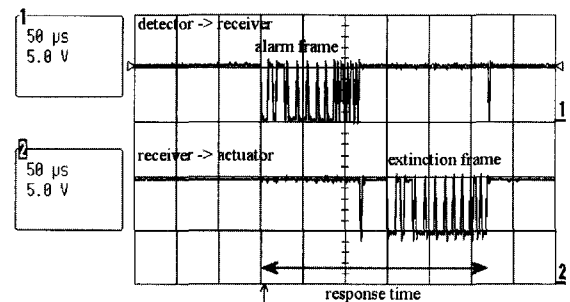
에서는  $T_A$ 를  $T_p$ 와 동일한 10msec로 설정하였다.

그림 10은 CAN 기반 화재 감지 시스템에서의 메시지 전송을 오실로스코프를 이용하여 측정한 그림이다. 그림 10.a는 정상시에 주기적으로 수신기와 화재 감지기 간에 교환되는 폴 프레임과 상태 프레임을 나타내고 있다. 이 때, 화재가 발생하게 되면, 그림 10.b에서 보는 바와 같이 화재 감지기는 수신기로 경보 프레임을 전송하게 된다. 만약, 수신기가 경보 프레임을 분석하여 화재라고 판단되는 경우 수신기는 액츄에이터로 소화 프레임을 전송하게 된다. 이 때, 화재 감지기가 화재 경보 신호를 보내고 나서부터 액츄에이터로 소화 신호가 오는 데 까지 걸리는 화재 경고 신호 전달 시간은 약 0.27msec로서, NFPA의 규정[8][16]인 90초 보다 월등하게 적응을 알 수 있다.

그림 11은 연기 감지기에서 수신기로 전송되는 상태 프레



(a) in case of normal time



(b) in case of fire

그림 10. CAN 기반 화재 감지 시스템에서의 메시지 전송.

Fig. 10. Message transmission in CAN based fire detection system.

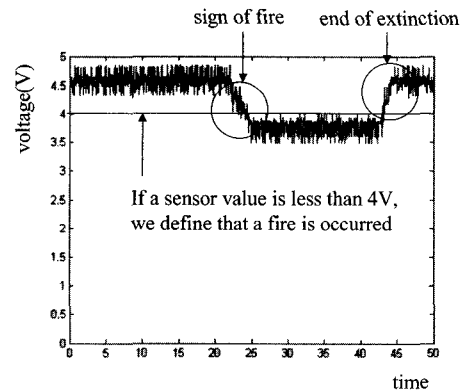


그림 11. 센서의 실제 값을 이용한 화재 감지를 위한 메시지 전송.

Fig. 11. Message transmission for fire detection using real value of sensor.

임에 포함되어 있는 연기 센서의 센서 값을 나타내고 있다. 그림에서, 전통적인 화재 감지 시스템은 문턱값을 넘는 경우를 화재로 판단하는 경우에 비하여, CAN 기반 화재 감지 시스템에서는 측정된 값을 수신기로 바로 전송하는 것을 볼 수 있다. 따라서, 수신기는 여러 가지 감지기의 아날로그 값을 분석하여 보다 지능적인 화재 유무를 판별할 수 있다.

그림에서, 수신기는 4V 이상의 값을 가진 센서값이 지속적으로 수신되는 경우, 화재로 판단하고 소화 명령을 내리게 된다. 반면, 연기 센서의 센서값이 4V 이하로 내려가면 소화가 완료되었다고 판단한다. 예로, 감지기에서 노이즈 등과

같은 순간적인 동작 오류로 인하여 순간적으로 4V 이상의 높은 전압이 발생하는 경우, 전통적인 화재 감지기는 화재 신호를 수신기로 전송하고 수신기는 액츄에이터를 작동시킨다. 그러나, CAN 기반 화재 감지기는 전압 신호를 수신기로 보내고, 수신기는 해당 화재 감지기에서 지속적으로 화재 징후가 감지되는 지, 아니면 해당되는 화재 감지기뿐만 아니라 주위에 있는 화재 감지기들로부터 유사한 화재 징후가 감지되는 지를 평가하여, 수신기는 화재 유무를 결정하게 된다. 따라서, CAN 기반 화재 감지 시스템은 전통적인 화재 감지 시스템에 비하여 보다 정확한 화재의 감지가 가능하게 될 것으로 평가된다. 뿐만 아니라, 한 지점에 2-3개의 화재 감지기를 설치하는 경우, 하나의 감지기가 오작동을 하더라도 정확하게 화재 유무를 결정할 수 있는 지능형 화재 감지 및 추론 알고리즘의 적용이 가능하게 될 것이다.

### V. 요약 및 결론

본 논문에서는 CAN이 스마트 홈의 구현을 위하여 요구되는 홈 자동화 시스템용 프로토콜로 적용이 가능한가를 검증하기 위하여 CAN 기반 화재 감지 시스템에 대하여 제안하였다. 이를 위하여, 본 논문에서는 CAN 기반 화재 감지 시스템의 구조와 CAN 통신망 설계 방법에 대하여 제안하였으며, 실험 모델을 구현하여 제안된 시스템의 성능을 평가하였다.

이상과 같은 실험으로부터, 본 논문에서 제안된 CAN 기반 화재 감지 시스템의 화재 경고 신호 전달 시간이 매우 작으며, NFPA의 규정을 만족하고 있음을 알 수 있었다. 또한, 화재 감지기로부터 측정값을 직접 수신할 수 있기 때문에, 전통적인 화재 감지 시스템에 비하여 보다 정확한 화재의 감지가 가능할 것으로 평가된다. 뿐만 아니라, 한 지점에 2-3개의 화재 감지기를 설치하는 경우, 하나의 감지기가 오작동을 하더라도 정확하게 화재 유무를 결정할 수 있는 지능형 화재 감지 및 추론 알고리즘의 적용이 가능하게 될 것이다.

특히, CAN은 BACNet의 하위 계층으로 사용되는 Ethernet이나 ARCNET 등에 비하여, 대다수의 반도체 제조 회사에서 원칩으로 구현이 가능한 저가의 마이크로컨트롤러를 이용할 수 있고, 다양한 저가의 개발 툴이 존재하기 때문에, 센서 단계에서의 구현이 매우 쉽다는 장점을 가지고 있다. 따라서, CAN을 BACNet의 하위 계층으로 사용하는 경우, 보다 효과적으로 빌딩 자동화 시스템을 구성할 수 있을 것으로 평가된다. 저가격과 용이한 구현성으로 인하여 보다 효과적인 방법으로 홈 자동화 시스템의 구현이 가능해질 것이다.

그러나, 본 논문에서는 CAN 기반 화재 감지 시스템에 대한 기본적인 구조에 대하여만 제안하였을 뿐이며, 실제 대규모 시스템에 적용하는 경우에 발생할 수 있는 문제점들에 대하여는 고려되지 못하였다. 따라서, 향후에는 실제 대규모 시스템에 적용될 수 있도록, BACNet을 이용한 응용 계층에 대한 연구와 전원 문제 등에 대한 연구가 필요하다. 뿐만 아니라, 통신 선로나 통신 모듈의 고장에 대처할 수 있는 여유 자유도를 가지는 중복 모듈(dual redundant module)에 대한 연구와 복수의 화재 감지기로부터 수신된 감지 정보를 이용하여 보다 정확한 화재 여부를 판별할 수 있는 지능형 화재 감지 및 추론 알고리즘에 대한 연구가 필요하다.

### 참고문헌

- [1] 박영철, "BACNet 의 필요성," 설비저널, 제 29 권, 제 6 호, pp. 52-57, 2000.
- [2] R. Nunes, J. Delgado, "An Architecture for a Home Automation System", *IEEE International Conference on Electronics, Circuits and Systems*, pp. 259-262, 1998.
- [3] K. S. Lee, K. C. Lee, S. Lee, K. T. Oh, S. M. Baek, Network Configuration Technique for Home Appliances based on LnCP, *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, vol. 49, no. 2, pp. 367-374, 2003.
- [4] K. Wacks, "Home Systems Standards: Achievements and Challenges," *IEEE Communications Magazine*, vol. 40, no. 4, pp. 152-159, 2002.
- [5] 송원석, 홍승호, 송규동, 손장열, "BACNet을 이용한 화재감지/모니터링 시스템 성능 평가," 대한건축학회논문집, 제 18 권, 제 1 호, pp 171-178, 2002.
- [6] N. Sriskanthan, F. Tan, and A. Karande, "Bluetooth based home automation system," *Microprocessors nad Microsystems*, vol. 26, pp. 281-289, 2002.
- [7] D. Snoonian, "Smart Buildings," *IEEE Spectrum*, vol. 40, no. 8, pp. 18-23, 2003.
- [8] T. C. Hooi, M. Singh, Y. K. Siah, and A. R. Ahmad, "Building Low-Cost Intelligent Building Components with Controller Area Network (CAN) Bus," *Proceedings of IEEE Region 10 International Conference on Electrical and Electronic Technology*, pp. 466-468, 2001.
- [9] CiA DSP 416-1 V 1.0 part 1: CANopen application profile for building door control - General definitions and basic principles, 2003.
- [10] Road Vehicles-Interchange of Digital Information-Controller Area Network for High-Speed Communication, ISO 11898, 1994.
- [11] 이영실, 소방 설비 도해, 성안당, pp. 92-121, 1998.
- [12] D. T. Gottuk, M. J. Peatross, R. J. Roby, and C. L. Beyler, "Advanced fire detection using multi-signature alarm algorithms," *Fire Safety Journal*, vol. 37, no. 4, pp. 381-394, 2002.
- [13] 이홍철, 김태형, 황인주, "다센서 이용 화재 감지 및 추론 시스템 구축 연구(I)," 대한설비공학회 2003 년도 동계 학술 발표 대회 논문집, pp. 705-710, 2003.
- [14] K. Tindell and A. Burns, "Guaranteed Message Latencies for Distributed Safety-Critical Hard Real Time Control Networks," *Technical Report YCS 94-229*, Dept. Computer Science, Univ. of York, York, UK, 1994.
- [15] M. Ellims, S. Parker, and J. Zurlo, "Design and Analysis of a Robust Real-Time Engine Control Network," *IEEE Micro*, vol. 22, no. 4, pp. 20-27, 2002.
- [16] K. Tindell, H. Hansson, and A. Wellings, "Analysing real-time communications: controller area network (CAN)," *Proceedings of IEEE Real-Time Systems Symposium*, pp. 259-263, 1994.
- [17] W. Stallng, Local and Metropolitan Area Networks, 6th Ed. Macmillan Publishing Company, 2000.
- [18] NFPA, National Fire Alarm Code, 1996.



**이경창**

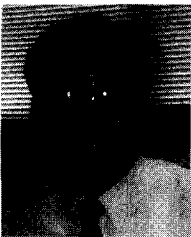
1971년 5월 1일생. 1996년 부산대학교  
생산기계공학과 졸업. 동대학원 석사  
(1998년). 동대학원 박사 (2003년).  
1998년~2003년 기계공학연구정보센터  
전임연구원. 2003년~현재 네트워크 기반  
자동화 연구센터 전임 연구원. 관심분야

는 필드버스, 산업용 이더넷, 차량용 네트워크, 홈 네트워크.



**김정희**

1976년 10월 5일생. 2002년 울산대학교  
제어계측공학과(공학사). 동대학원 전자  
정보시스템공학과 석사(2004년). 2004년  
~현재 대우정밀 연구원. 관심분야는  
산업용 네트워크, 차량용 네트워크.



**이홍희**

1957년 10월 15일생. 1980년 서울대학교  
(공학사). 동대학원 석사 (1982년). 동대  
학원 박사 (1990년). 1985년~현재 울산  
대학교 전기전자정보시스템공학부 교수.  
관심분야는 전동기 제어, 산업용 네트  
워크, 차량용 네트워크, 홈 네트워크.