

BACnet/IP 프로토콜에서 결합허용 BBMD 기능 구현 및 실험적 검증

論 文
55D-12-4

Implementation and Experimental evaluation of Fault Tolerant BBMD in the BACnet/IP Protocol

趙秀云* · 洪承鎬†
(Su-Un Cho · Seung-Ho Hong)

Abstract - BACnet(Building Automation and Control networks) is a standard data communication network protocol designed specifically for building automation and control systems. BACnet provides BACnet/IP Protocol for data communication through the Internet. BACnet device uses BBMD(BACnet Broadcasting Management Device) to deliver BACnet broadcast messages. In this study, we propose a fault tolerant BBMD in the BACnet/IP protocol. The fault tolerant BBMD improves the connectivity of BACnet/IP networks by inheriting the operation of original BBMD in the networks. The fault tolerant BBMD is implemented with added functions to the original BACnet/IP protocol so that it can provide backward compatibility with the original BACnet/IP devices. We examined the validity of the fault tolerant BBMD using an experimental model.

Key Words : BACnet/IP, BBMD, building control, communication protocol, fault tolerant

1. 서 론

정보통신 기술의 발전과 통신 인프라의 확산으로 인해 인터넷을 이용한 시스템의 원격 제어에 대한 요구가 증대되고 있다. 빌딩 자동화 시스템 분야에서도 인터넷을 이용하여 빌딩 내부 시스템을 원격으로 제어하는 방안이 제시되고 있다. 빌딩 자동화 통신망의 국제 표준 프로토콜인 BACnet (Building Automation and Control networks)에서는 인터넷을 통한 데이터 통신 방식으로 BACnet/IP 프로토콜 (Annex J)을 채택하고 있다[1]. BACnet/IP 프로토콜에서는 빌딩내 설비 장치들로 구성된 로컬 네트워크에서 브로드캐스트(Broadcast) 메시지 전송을 관리하는 역할과 외부 네트워크와 설비 장치 사이에서 교환되는 브로드캐스트 메시지를 관리하는 역할을 수행하는 BBMD(BACnet Broadcast Management Device)라는 장비를 정의하고 있다. BBMD는 빌딩 내부에 설치된 설비 장치들과 외부네트워크의 원격 통신 경로를 유지하는 역할을 담당하므로 원격 통합 관리 시스템에서 핵심적인 기능을 수행하는 장비라 할 수 있다.

인터넷을 통해 시스템을 제어하는 경우 링크의 단절 또는 장치의 고장 등으로 인해 제어 시스템에 결함이 발생할 수 있다. 이에 따라 네트워크 장치의 결함에 의한 동작 환경의 변화에도 안정적으로 시스템을 관리할 수 있는 방안이 필요하다. 빌딩 자동화 시스템에서 BBMD의 동작에 결함이 발생할 경우, 빌딩 내부에 연결되어 있는 각 설비 장치들은 외

부 네트워크로 데이터를 전송하지 못하게 되며, 또한 원격 관리자는 빌딩 내부를 제어할 수 없게 된다. 본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위하여 BBMD의 동작에 결함이 발생할 경우, 로컬 네트워크 상의 일반 BACnet/IP 장치가 BBMD 기능을 상속받아 빌딩 내부의 설비 장치 및 외부 네트워크와 통신 링크를 유지하는 방법을 제시한다. 또한 제시된 방법을 결합 허용 BBMD의 실험 모델에 직접 적용하여 이에 대한 기능 동작을 검증하고 성능을 평가하였다. 본 논문에 제시된 결합허용 BBMD 기능은 기존의 BACnet/IP 프로토콜에 결합허용 기능만을 추가함으로써 기존의 BACnet/IP 프로토콜과 호환성이 보장된다.

2. BACnet과 BACnet/IP 네트워크

2.1 BACnet 프로토콜

최근 빌딩자동화 시스템들은 냉난방, 환기, 조명, 방재, 보안 등의 다양한 기능을 필요로 한다[2-5]. 이를 위해 ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating, and Air-conditioning Engineers)에서는 빌딩 자동화와 제어를 위하여 특별히 고안된 국제 표준 통신 프로토콜로 BACnet을 개발하였다[1, 6-7]. BACnet은 응용계층, 네트워크계층, 데이터링크계층 및 물리계층의 네 개의 계층구조로 구성된다.

BACnet의 응용계층에서는 서로 다른 공급업체에서 제공되는 빌딩자동화 시스템간의 상호운용성(interoperability)을 제공하기 위하여, 빌딩 자동화 시스템에서 사용되는 다양한 정보들을 객체(Object)라는 것으로 표준화한다. 이러한 객체는 단순한 입·출력 데이터뿐만 아니라, 자동제어를 수행하기 위한 제어 알고리즘과 원격 감시를 위한 이벤트 알고리즘 등을 포함하고 있다. 객체화된 정보는 BACnet의 응용계

* 正 會 員 : 漢陽大學 電子 電氣 制御計測 工學科 碩士

† 교신저자, 正會員 : 漢陽大學 電子 電氣 制御計測 工學科 教授 · 工博

E-mail : shhong@hanyang.ac.kr

接受日字 : 2006年 9月 26日

最終完了 : 2006年 11月 3日

층에서 제공하는 다양한 표준 통신 서비스를 통하여 전달된다. BACnet의 데이터링크 계층은 네 가지 LAN 기술과 점-대-점 통신을 옵션으로 제공한다. 네 가지 LAN 기술에는 Ethernet, ARCNET, MS/TP 그리고 LonTalk이 있다. BACnet은 데이터링크 계층에서 다양한 프로토콜을 선택적으로 사용할 수 있도록 지원함으로써 사용자가 빌딩자동화 시스템의 규모, 기능 및 성능에 따라 통합 빌딩 자동화 시스템을 효율적으로 구성할 수 있도록 지원한다. BACnet의 네트워크 계층은 하부의 데이터링크계층에서 사용되는 다양한 LAN들을 통합하는 인터넷워킹 기능을 제공한다. 네트워크 계층은 또한 인터넷을 통한 원격 제어를 위하여 IP 프로토콜을 이용한 BACnet/IP 방식을 제안하고 있다[7].

2.2 BACnet/IP 프로토콜

BACnet/IP 프로토콜이 채택되기 이전에는 IP를 이용한 BACnet 메시지의 교환을 위하여 터널링(tunneling) 방식을 사용하였다. 즉, 각각의 BACnet 디바이스가 IP 패킷을 처리할 수 있는 능력을 가지고 외부 네트워크에 연결된 다른 BACnet 디바이스에게 UDP 프로토콜을 이용하여 IP 주소로 직접 전송하는 방식이다. 이러한 방식에서는 외부 네트워크와 빌딩내 BACnet 장치간에 일-대-일 통신은 가능하나, 외부 네트워크에서 여러대의 BACnet 장치에 동시에 브로드캐스트 메시지를 전송하는 것은 불가능하였다.

BACnet/IP 프로토콜은 IP를 이용한 BACnet 메시지의 교환에 있어서 브로드캐스트 통신이 지원되지 못하는 문제를 해결하기 위하여 1999년 초 BACnet 표준 규격의 증보판에서 채택하고 있는 통신 방식이다. BACnet/IP 방식에서는 브로드캐스트 메시지의 전달을 위하여 별도의 BBMD 장치의 개념을 도입하였다. BBMD는 다른 외부 네트워크의 BBMD들과 IP 주소정보를 공유함으로써, 이를 참조하여 로컬 및 원격 브로드캐스트 메시지의 전송을 가능하게 한다.

그림 1에서 보는 바와 같이 BACnet/IP 네트워크는 IP 서브넷(subnet)이 인터넷을 통하여 연결된 형태로 구성된다. IP 서브넷은 IP 주소체계를 가진 BACnet/IP 장치로 구성된 로컬 네트워크이며, BACnet/IP 장치는 빌딩에 설치된 설비 장치로서 BACnet 메시지를 생성하여 IP를 통해 통신하는 장치를 의미한다. 모든 IP 서브넷은 단 하나의 BBMD만을 소유하게 되며, 각 BBMD는 외부 네트워크에 존재하는 BBMD들과 브로드캐스트 메시지 관리를 위한 메시지를 주고받으며 외부 네트워크와의 링크를 유지한다.

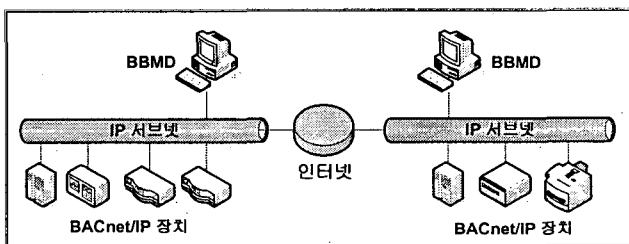


그림 1 BACnet/IP 네트워크에서의 IP 서브넷 구성도
Fig. 1 Configuration of a B/IP network

3. BBMD 관리 정보 및 동작 개요

3.1 BVLC 및 BVLL

BACnet/IP 프로토콜에서는 BACnet/IP 장치 및 BBMD들 사이에서 교환되는 BVLC(BACnet Virtual Link Control) 메시지를 관리하기 위하여 BVLL(BACnet Virtual Link Layer)라는 별도의 가상 계층을 정의하였다. 그림 2에는 BACnet/IP 프로토콜의 계층 구조가 나타나 있다. 본 장에서는 BVLL 계층에서 수행되는 BBMD 동작 개요 및 관리 정보에 대하여 간략히 기술한다.

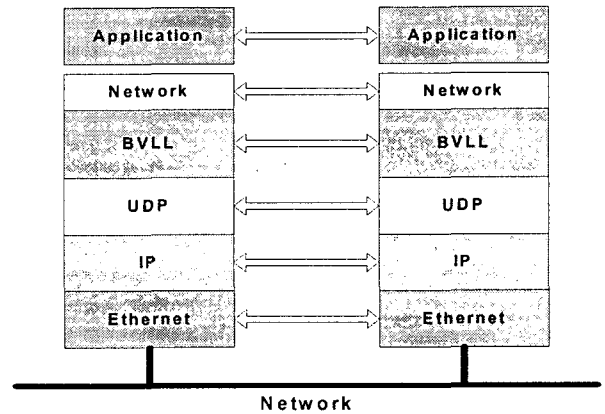


그림 2 BACnet/IP 계층 구조도
Fig. 2 BACnet/IP Layer

3.2 BBMD 관리 정보

BBMD간에 주고받는 정보로는 BDT(Broadcast Distribution Table)와 FDT(Foreign Device Table)가 있다. BDT에는 전체 BACnet/IP 네트워크에 연결된 BBMD들의 주소 정보가 수록된다. BDT에 포함되는 상세 정보는 BBMD의 IP 주소 및 BACnet/IP 프로토콜 규격에서 제시한 통신 포트번호(47808)와 BDM(Broadcast Distribution Mask)으로 구성된다. 이 중 BDM은 로컬 IP 서브넷에서 메시지를 교환할 때, 수신하는 장치가 포함된 네트워크를 로컬 네트워크와 원격 네트워크로 구분하기 위해 사용된다. 외부장치(Foreign Device)는 BACnet/IP 네트워크에서 임시적으로 로컬 IP 서브넷에 등록된 장치를 의미하며, BBMD에 등록함으로써 해당 로컬 서브넷에 연결된 임시 장치로서 동작하게 된다. FDT는 외부 장치가 특정 IP 서브넷에 연결될 때 BBMD가 사용하는 정보로서, 외부장치의 IP 주소 및 통신 포트번호와 외부장치의 TimeToLive 시간 정보로 이루어진다. 이 중 TimeToLive 시간 정보는 외부장치의 사용자가 입력하는 정보로서, BBMD에 외부장치가 등록하는 경우, BBMD에 등록된 후 연결을 해제할 때까지 소요되는 시간값을 의미한다. BBMD는 TimeToLive 시간이 지난 직후, 재등록 여부를 확인 하여 재등록 요청이 없는 경우에 FDT에서 해당 장치의 정보를 삭제하고, 재등록 요청이 있는 경우는 재등록에 사용된 TimeToLive 시간동안 외부장치와의 연결을 유지한다.

3.3 BBMD 동작 개요

특정 IP 서브넷의 BACnet/IP 장치가 전체 BACnet/IP 네트워크에 존재하는 여러 IP 서브넷에 연결된 BACnet/IP 장

치들에게 브로드캐스트 메시지를 전송할 경우, 전송 메시지는 해당 로컬 IP 서브넷의 BBMD로 전송되고, 이를 수신한 BBMD는 모든 BBMD가 공유하고 있는 BDT 정보를 참조하여 수신 측 BBMD에게 전송하게 된다. 수신 측 BBMD는 자신의 로컬 IP 서브넷에 연결된 BACnet/IP 장치에게 브로드캐스트 메시지를 전송한다. 그림 3은 IP 서브넷에서의 BBMD의 브로드캐스트 메시지 전송 동작을 설명한 개념도이다.

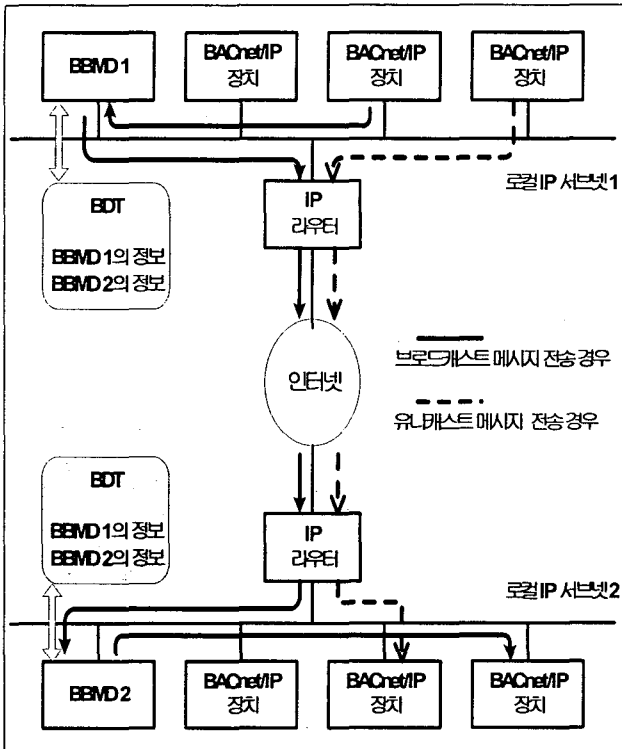


그림 3 IP 서브넷에서 BBMD의 동작 개념도
Fig. 3 Conceptual diagram of the operation of BBMD

그림 3에서 BBMD 1은 로컬 IP 서브넷 1에 존재하는 BBMD이며, 로컬 IP 서브넷 1의 BACnet/IP 장치는 로컬 IP 서브넷 2에 존재하는 BACnet/IP 장치들에게 원격 브로드캐스트 메시지를 전송하는 상황과 이를 수신한 BBMD 2가 자신의 IP 서브넷에 로컬 브로드캐스트 메시지를 전송하는 상황을 나타낸다. BACnet/IP는 브로드캐스트 메시지 전송뿐만 아니라 유니캐스트 메시지의 전송도 지원하며, 그림 3에 로컬 IP 서브넷 1의 BACnet/IP 장치가 로컬 IP 서브넷 2에 존재하는 BACnet/IP 장치에게 직접 유니캐스트 메시지를 전송하는 상황이 점선으로 나타나 있다.

4. Backup BBMD 동작 개요

4.1 Backup BBMD 동작 개요

로컬 IP 서브넷의 BBMD에서 결함이 발생하는 경우, 로컬 IP 서브넷에 연결된 BACnet/IP 장치들은 BACnet 브로드캐스트 메시지를 송수신하지 못하게 된다. 즉, 브로드캐스팅 메시지 교환 측면에서 고립상태에 놓이게 된다. 본 논문에서는 이런 문제점을 보완하기 위해 감시 및 백업기능을 추

가한 결합허용 BBMD의 기능을 제안한다. 그림 4는 BBMD 기능을 상속받는 별도의 BACnet/IP 장치인 Backup BBMD가 포함된 로컬 IP 서브넷의 구성도이다.

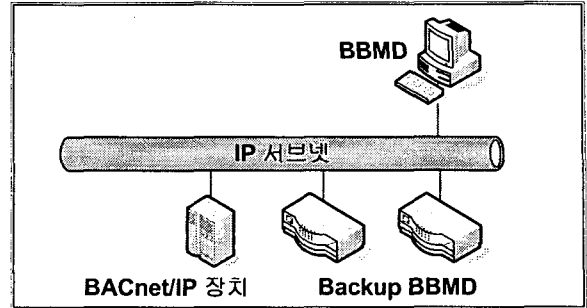


그림 4 Backup BBMD를 포함한 IP 서브넷
Fig. 4 Configuration of a fault tolerant BBMD

결합허용 BBMD에서 네트워크 관리자는 BBMD 기능을 수행할 수 있는 BACnet/IP 장치들을 미리 Backup BBMD로 선정한다. BBMD는 기능 상속에 필요한 BBIB(BACnet BBMD Information Base) 정보를 가지며, 이를 로컬 IP 서브넷에 연결되어 있는 Backup BBMD들에게 백업해 놓는다. 관리자로부터 선정된 Backup BBMD는 BBMD가 정상 상태일 경우 BACnet/IP 장치로 동작하며, BBMD에 결함이 발생한 경우 BBMD로 동작할 수 있다. BBMD와 Backup BBMD의 동작 개요는 아래와 같다.

- (1) BBMD는 관리자로부터 BBIB 정보를 입력받는다.
- (2) BBMD는 BBIB를 참조하여 Backup BBMD의 정보를 추출한 후, BBIB, BDT 및 FDT를 Backup BBMD에게 전달한다.
- (3) BBMD는 주기적으로 자신의 동작 상태를 로컬 IP 서브넷에 존재하는 Backup BBMD 및 BACnet/IP 장치에게 알리고, Backup BBMD는 BBMD 상태를 감시한다.
- (4) BBMD의 결함이 발생할 경우, Backup BBMD는 BBMD의 상태를 확인하는 메시지를 반복 전송한다.
- (5) BBMD의 결함 상태를 확인한 경우, 모든 Backup BBMD는 노드별로 각각 다르게 설정된 시간만큼을 대기한 후 BBMD로서 기능을 선포한다.
- (6) 여러 개의 Backup BBMD들 가운데 가장 먼저 BBMD 기능을 선포한 노드가 BBMD 기능을 대신한다.
- (7) 새로운 BBMD는 자신이 가지고 있는 BBIB, BDT 및 FDT를 Backup BBMD들에게 전달한다.

4.2 Backup BVLC 메시지

BBMD와 Backup BBMD는 상호간에 통신을 통해 주기적으로 상태를 감시하고 자신의 상태를 알리는 과정이 필요하며, 이를 위하여 본 연구에서는 기존의 BACnet/IP 프로토콜에서 제안한 BVLC 메시지 이외에 BBMD와 Backup BBMD 상호간에 교환하는 Backup BVLC 메시지를 아래와 같이 추가로 정의하였다.

- (1) HeartBeat : BBMD가 Backup BBMD들에게 자신의 정상적인 동작 상태를 주기적으로 알리기 위한 메시지.
- (2) Transfer-BDT : BDT 정보가 입력 또는 갱신되었을 때 BBMD가 갱신된 BDT 정보를 Backup BBMD들에게 전

달하기 위한 메시지.

(3) Transfer-FDT : FDT 정보가 입력 또는 갱신되었을 때 BBMD가 갱신된 FDT 정보를 Backup BBMD들에게 전달하기 위한 메시지.

(4) Transfer-BBIB : BBIB 정보가 입력 또는 갱신되었을 때 BBMD가 갱신된 BBIB 정보를 Backup BBMD들에게 전달하기 위한 메시지.

(5) CheckAlive : Backup BBMD가 로컬 IP 서브넷에서 동작중인 BBMD의 결합발생 상태를 확인하기 위해 전송하는 메시지.

(6) Announce-LD : BBMD의 기능을 부여받은 장치가 BBMD가 된 직후, 로컬 IP 서브넷에 BBMD로서의 기능을 선포하기 위하여 사용되는 메시지.

(7) Announce-FD : BBMD의 기능을 부여받은 장치가 BBMD가 된 직후, FDT를 참조하여 외부장치들에게 BBMD로서의 기능을 선포하기 위하여 사용되는 메시지.

BBMD는 관리자에게 입력받은 BBIB, BDT 및 FDT 정보들을 Transfer-BBIB, Transfer-BDT 및 Transfer-FDT 메시지를 이용하여 Backup BBMD 장치들에게 전달하고, HeartBeat 메시지를 주기적으로 전송한다. Backup BBMD 장치들은 BBMD로부터 수신한 Transfer-BBIB 메시지에서 HeartBeat 메시지의 전송 주기를 추출하여, 이 주기로 HeartBeat 메시지가 도착하는지를 감시하게 된다. 만약 Backup BBMD가 HeartBeat 메시지를 전송 주기의 시간동안 수신하지 못하면, Backup BBMD는 반대로 BBMD에게 CheckAlive 메시지를 전송하여 BBMD의 동작 상태를 확인한다. CheckAlive 메시지를 전송한 후 BBMD로부터 아무런 응답이 없는 경우, Backup BBMD 장치들은 노드마다 다르게 설정된 타이머를 동작시켜 BBMD로서의 기능을 선포하는 Announce-LD 메시지의 전송 시점을 기다린다. 타이머가 종료되면 Announce-LD 메시지를 전송한 후 바로 Announce-FD 메시지를 전송한다. 만약 Announce-LD 메시지를 전송하기 전에 다른 Backup BBMD 장치가 먼저 전송한 Announce-LD 메시지를 수신하면, Announce-LD 전송 대기 위한 타이머의 동작을 멈추고 다시 Backup BBMD 모드로 동작한다.

4.3 BBIB(Backup BBMD Information Base)

BBIB는 BBMD의 기능 상속에 필요한 정보로서 관리자가 입력하는 파라미터 값이다. 이 중 동작중인 BBMD의 주소를 제외한 모든 정보들은 상속과정에서 다음의 파라미터들을 공유한다.

(1) Current BBMD IP: 현재 로컬 IP 서브넷에서 BBMD로서 동작중인 노드의 IP 주소.

(2) Currnet BBMD BDM: 로컬 네트워크와 외부 네트워크를 구분하기 위한 Broadcasting Distribution Mask.

(3) HeartBeat Time (H): BBMD가 로컬 IP 서브넷의 Backup BBMD들에게 자신의 상태를 알리기 위한 주기로, 그 값은 관리자가 네트워크의 트래픽 부하 등을 고려하여 결정한다.

(4) Retransmit Time (R): Backup BBMD가 원래의 BBMD의 상태를 확인하기 위한 CheckAlive 메시지를 전송한 후 응답을 기다리는 시간으로 CheckAlive 메시지 전송 시간과 이에 대한 응답 도착 시간 및 BBMD에서 CheckAlive

메시지 처리 시간의 합보다 크게 설정되어야 하며, 그 값은 주어진 시스템의 구성 환경을 고려하여 관리자가 결정한다.

(5) RetryCount (C): Backup BBMD가 원래 BBMD의 상태를 확인하기 위하여 전송하는 메시지의 반복 횟수로서 관리자가 설정하나, 기본값은 BACnet의 응용 계층에서 메시지를 재전송하는 횟수로서 BACnet 표준 규격에 설정된 값 '3'을 사용한다.

(6) Backup BBMD Information: Backup BBMD 기능을 수행할 장치들에 대한 정보로서 Backup BBMD 노드들의 일련번호(노드번호)와 이들의 IP 주소로 구성된다.

4.4 결합 허용 BBMD 타이머

결합허용 BBMD의 동작을 위하여 다음과 같은 타이머들이 정의되었다.

(1) HeartBeat 타이머 : BBMD가 HeartBeat 메시지를 로컬 IP 서브넷에 전송한 후 반복 동작 시키며, 동작 시간은 BBIB 정보로 입력받은 HeartBeat Time(H)이다.

(2) Observe 타이머 : Backup BBMD가 BBMD의 결합 상태를 확인하기 위해 사용하는 타이머이며, BBMD로부터 HeartBeat 메시지를 수신한 후 반복 동작 시킨다. Observer 타이머의 동작 시간 O는 TCP/IP 프로토콜의 Fast Retransmit 전송원리를 참조하여 BBMD로부터 HeartBeat 메시지를 3회 수신하는데 소요되는 시간($O=3H$)로 한다.

(3) Retransmit 타이머 : Backup BBMD가 BBMD에게 CheckAlive 메시지를 전송한 후 응답을 기다리는데 사용되는 타이머이며, Observe 타이머의 동작이 만료되면 동작 시킨다. BBMD의 응답이 없을 경우 최대 C회 만큼 동작하며, 최종 응답이 없는 경우에 BBMD에 결합이 발생했음을 인지한다.

(4) Announce 타이머 : Backup BBMD가 BBMD의 결합을 확인하고, BBMD로서의 기능을 선포하는 Announce-LD 메시지를 전송하기 전에 Backup BBMD가 대기하는 시간을 지정하는 타이머이며, C회의 Retransmit 타이머 동작이 만료되면 동작 시킨다. 동작 시간 A는 각 노드별로 할당된 노드번호 N과 고정된 값인 Retransmit Time 값 R의 곱 ($A=N \times R$)을 사용한다.

4.5 Backup BBMD 상태 천이도

그림 5에는 Backup BBMD에서 결합 허용 기능 동작을 위한 상태 천이도가 나타나 있으며, 표 1과 2에는 각 상태에서의 천이 조건이 주어져 있다. 다음은 상태도에 나타난 각 상태에 대한 설명이다.

(1) Backup BBMD Normal: Backup BBMD가 BBMD를 감시하는 기능을 수행하는 상태이다.

(2) Claim: BBMD의 결합을 감지하고, 이를 확인하기 위한 CheckAlive 메시지를 BBMD에게 전달하기 위한 상태이다.

(3) Check: 입력된 재전송 횟수(C)만큼 CheckAlive 메시지를 재전송하는 상태로서, 전송 후 timeout count를 증가시키고, Retransmit 타이머를 반복 동작시킨다.

(4) Wait: BBMD의 결합 발생을 확인한 상태로서, BBMD 기능을 선포하는 Announce BBMD 메시지를 전송하기 위해 Announce 타이머를 동작시키고 timeout까지 기다리는 상태이다.

(5) Transfer: 로컬 IP 서브넷에서 자신보다 노드 번호가 낮은 Backup BBMD가 없음을 확인한 상태이다.

(6) BBMD Normal: 로컬 IP 서브넷에서 BBMD 기능을 수행하는 상태이다.

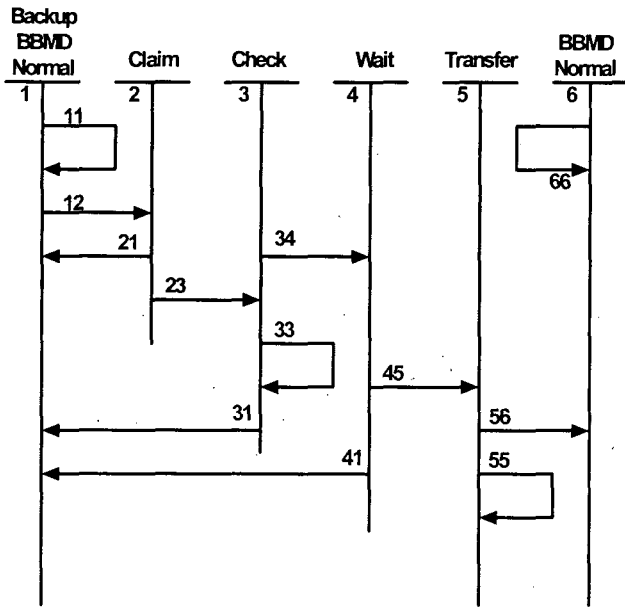


그림 5 Backup BBMD 상태 천이도
Fig. 5 State transition diagram of fault tolerant BBMD

표 1 Backup BBMD 상태 및 천이 조건
Table 1 Type Sizes for Camera-Ready Papers

상태 번호	상태	천이조건
1	Backup BBMD Normal	11, 12
2	Claim	21, 23
3	Check	31, 33, 34
4	Wait	41, 45
5	Transfer	55, 56
6	BBMD Normal	66

표 2 Backup BBMD 상태천이 조건과 천이 후 동작
Table 2 State Transitions in a Backup BBMD

천이	천이 조건	천이 후 동작
11	일반 BVLC 메시지 수신	Observe 타이머 갱신 해당 메시지 처리
	Backup-BBIB, BDT, FDT 메시지 수신	Observe 타이머 갱신 BBIB, BDT, FDT 저장
	HeartBeat 메시지 수신	Observe 타이머 갱신

	Backup-BBIB, BDT, FDT HeartBeat 메시지 이외의 Backup BVLC 메시지 수신	Observe 타이머 갱신 BBMD IP 주소 저장 해당 메시지 처리
12	Observe 타이머 만료	CheckAlive 메시지 전송
21	일반 BVLC 메시지 또는 Backup BVLC 메시지 수신	Observe 타이머 갱신
23	CheckAlive 메시지 전송	Retransmit 타이머 동작 timeout 횟수 증가
31	일반 BVLC 메시지 또는 Backup BVLC 메시지 수신	Retransmit 타이머 리셋 timeout 횟수 초기화 Observe 타이머 갱신
33	Retransmit 타이머 만료, timeout 횟수 < 3	Retransmit 타이머 갱신 timeout 횟수 증가
34	Retransmit 타이머 만료, timeout 횟수 = 3	timeout 횟수 초기화 Announce 타이머 동작
41	HeartBeat 메시지 수신	Announce 타이머 리셋 Observe 타이머 갱신
	Announce-LD 메시지 수신	Announce 타이머 리셋 새로운 BBMD 주소 저장 Observe 타이머 동작
	Announce-LD, HeartBeat 이외의 Backup BVLC 메시지 수신시	Announce 타이머 리셋 Observe 타이머 갱신
45	Announce 타이머 만료	Announce-LD, Announce-FD 전송
55	일반 BVLC 메시지 또는 Backup BVLC 메시지 수신	해당 메시지 처리
56	Announce-LD 메시지 전송	BBMD IP 주소 갱신 Backup-BBIB, BDT, FDT 메시지 전송 HeartBeat 메시지 전송 HeartBeat Timer 가동
66	일반 BVLC 메시지 또는 Backup BVLC 메시지 수신	해당 메시지 처리

4.6 Backup BBMD 복구 시간 추정

결합 허용 BBMD에서 Backup BBMD의 복구 시간은 가능한 한 빨라야 한다. Backup BBMD의 복구 시간(T)은 동작 중이던 BBMD로부터 HeartBeat 메시지를 마지막으로 수신한 시점부터, 자신이 BBMD로서의 동작을 수행하는 시점까지의 소요시간을 의미한다. Backup BBMD의 복구시간(T)은 관리자가 입력한 BBIB 정보에 의하여 결정된다. 그림 6은 BBMD와 Backup BBMD의 복구 과정과 동작 중에 사용되는 타이머의 동작시간을 나타낸다.

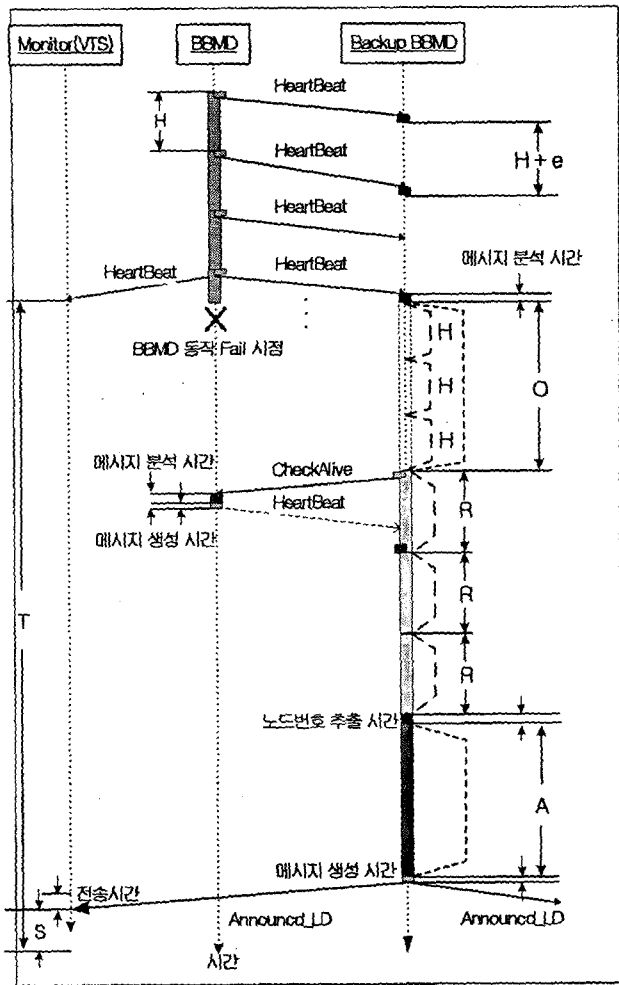


그림 6 Backup BBMD 타이머 동작 관계
Fig. 6 Recovery time in the fault tolerant BBMD

로컬 IP 서브넷에 존재하는 BBMD에 결함이 발생하면, Backup BBMD는 BBMD로부터 주기적인 HeartBeat 메시지를 수신하지 못하게 되므로 Observe 타이머를 갱신하지 못하고 타이머가 만료되는 시간까지 기다린다(O). 이 후 동작으로 BBMD의 상태를 확인하는 CheckAlive 메시지를 전송하고 Retransmit 타이머를 동작시키는 과정을 C회 반복한다. 그 결과 BBMD의 결함을 인지하고, 기능 선포를 위한 Announce-LD 메시지를 전송하기 위해 대기하는 시간을 갖는다(A). 그러므로 모든 Backup BBMD는 동작중인 BBMD로부터 가장 최근에 받은 HeartBeat 메시지 수신시간 이후로 'O + C×R + A' 만큼의 시간을 대기한 후 BBMD의 기능을 선포하게 된다. 하지만 실제 복구 시간은 Backup BVLC 메시지의 생성시간과 처리시간 등 Backup BBMD의 내부에서 발생하는 지연시간과 Announce-LD 메시지의 전송에 의한 지연시간이 추가된다. 이시간은 사용되는 장치의 하드웨어 기종, 오퍼레이팅 시스템, 개발 언어, 알고리즘 구현 방법, 통신 프로토콜 등의 시스템 구성 환경과 현재 동작중인 태스크의 개수 등의 동작 환경에 따라 달라진다. 시스템 관리자는 그러나 해당 시스템의 구성 환경을 고려하여 여기에 소요되는 추가 지연시간을 예측 또는 측정할 수 있을 것이

다. 그림 6으로부터 Backup BBMD의 예상 복구 시간은 아래 식(1)과 같다.

$$T = 3 * H + C * R + A + I \quad (1)$$

여기서 S는 Backup BVLC 메시지들을 생성, 전송 및 처리하는데 소요되는 시간을 보상하기 위한 Safety Factor이다.

5. 실험 모델

5.1 Backup BBMD 소프트웨어 개발 환경

본 연구에서는 제시된 결합 허용 BBMD의 기능을 검증하고 Backup BBMD의 복구 시간이 실제로 어느 정도 소요되는가를 알아보기 위하여 제시된 Backup BBMD 알고리즘에 대한 소프트웨어를 개발하였다. Backup BBMD 소프트웨어에는 BACnet/IP 규격서에서 제시하고 있는 원래의 BBMD 기능에 4장에서 제시한 결합 허용 기능을 추가한 형태로 개발되었다. Backup BBMD 소프트웨어는 Windows 2000 환경에서 Visual C++6.0 툴을 사용하여 구현하였다. 통신 방식은 BACnet 표준 규격에서 제안한 UDP 프로토콜을 사용하였으며, 관리정보는 암호화되지 않은 Text 파일을 사용하였다. 구동 방식은 Event Driven 방식을 적용하였다.

5.2 Backup BBMD 소프트웨어 동작 모드

원래의 BBMD 기능에 대한 동작은 BACnet/IP 규격서에 따라 구현되었으므로 본 논문에서는 결합 허용을 위하여 추가된 기능에 대한 소프트웨어 동작 모드에 대하여서만 기술한다. Backup BBMD 장치에 탑재된 Backup BBMD 소프트웨어의 동작 모드는 4가지로 구분된다.

(1) 초기화 모드: 소프트웨어가 탑재된 장치의 동작역할을 구분하기 위한 모드이다. 소프트웨어가 최초 실행되면, BBIB 정보가 존재하는지의 여부를 확인한다. BBIB 정보가 없는 경우는 Backup BBMD 모드로 동작하게 되며, BBIB 정보가 존재 할 경우는 BBIB 주소 중 Current BBMD IP 주소와 자신의 SA(IP Source Address)를 비교한다. 비교 결과가 같으면 BBMD 모드로 동작하기 위해 초기화 메시지를 전송한다. 비교 결과가 다른 경우는 Backup BBMD 모드로 동작한다. 그림 7은 초기화 모드의 동작 개념을 표현한 순서도이다.

(2) BBMD 모드: 로컬 IP 서브넷에서 BBMD 역할을 수행하기 위한 모드이다. BBMD는 HeartBeat 타이머를 주기적으로 동작시키며 HeartBeat 메시지를 로컬 IP 서브넷에 전송한다. 이 모드에서 CheckAlive 메시지를 수신한 경우, HeartBeat 메시지를 로컬 IP 서브넷에 전송하여 BBMD의 정상적인 동작 상태를 알린다. 또한 기존의 BBMD의 동작으로 인해 BDT 및 FDT 정보가 갱신된 경우는 로컬 IP 서브넷에 존재하는 Backup BBMD들에게 갱신된 정보를 전송한다. 마찬가지로 BBMD의 기능 이전 및 관리자의 정보 입력으로 BBIB 정보가 갱신된 경우도 Backup BBMD들에게 갱신된 정보를 전송한다. 그림 8은 BBMD 모드의 동작 개념을 표현한 순서도이다.

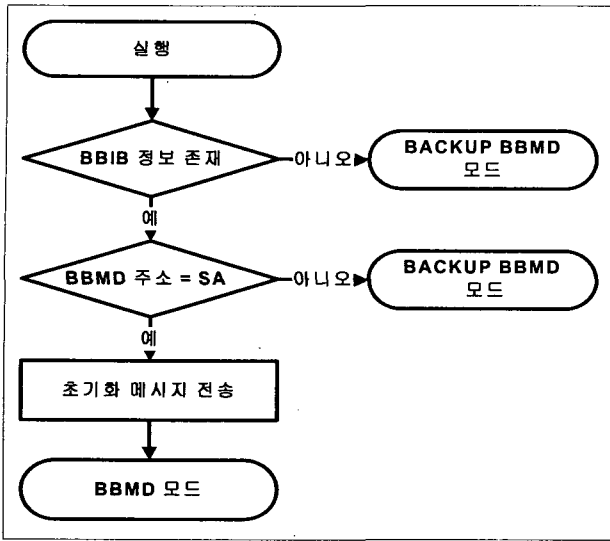


그림 7 Backup BBMD 소프트웨어, 초기화 모드
Fig. 7 Backup BBMD Software Flowchart, Initialize Mode

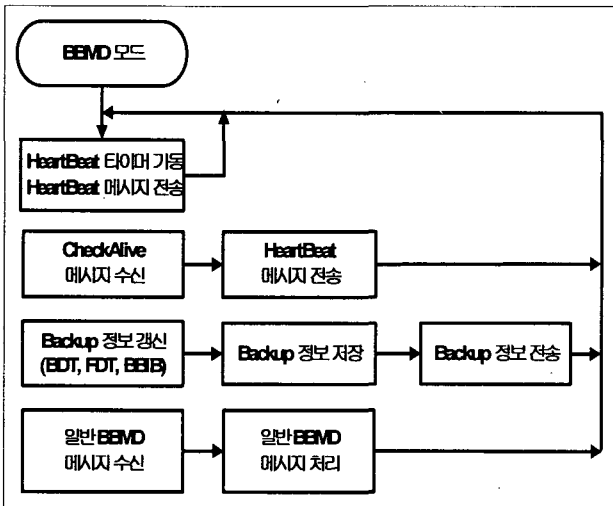


그림 8 Backup BBMD 소프트웨어, BBMD 모드
Fig. 8 Backup BBMD Software Flowchart, BBMD Mode

(3) Backup BBMD 모드: 로컬 IP 서브넷에서 Backup BBMD 역할을 수행하기 위한 모드이다. 이 모드에서는 BBMD로부터 초기화 메시지를 수신한 후, Observe 타이머를 동작시키며 BBMD의 동작 상태를 감시한다. 이 모드에서는 BBMD로부터 정상적인 메시지를 수신하면, Observe 타이머를 갱신한다. 또한 BBMD로부터 BBMD 기능 수행에 필요한 Backup 정보(BDT, FDT, BBIB)를 수신하면 이를 저장한다. 만약 Observe 타이머가 동작이 만료되면, Retransmit 타이머를 동작시킨 후, BBMD에게 CheckAlive를 전송하고 timeout 횟수를 증가시킨다. 여기서 Retransmit 타이머 동안 BBMD로부터 정상적인 메시지를 수신하게 되면 다시 BBMD를 감시하기 위한 Observe 타이머를 동작시킨다. 하지만, Retransmit 타이머가 동작이 만료되어 이를 C회 반복 수행한 결과 BBMD로부터 아무런 응답이 없는 경우는 경쟁 모드로 변환된다. 그림 9는 Backup BBMD 모드의 동작 개념을 표현한 순서도이다.

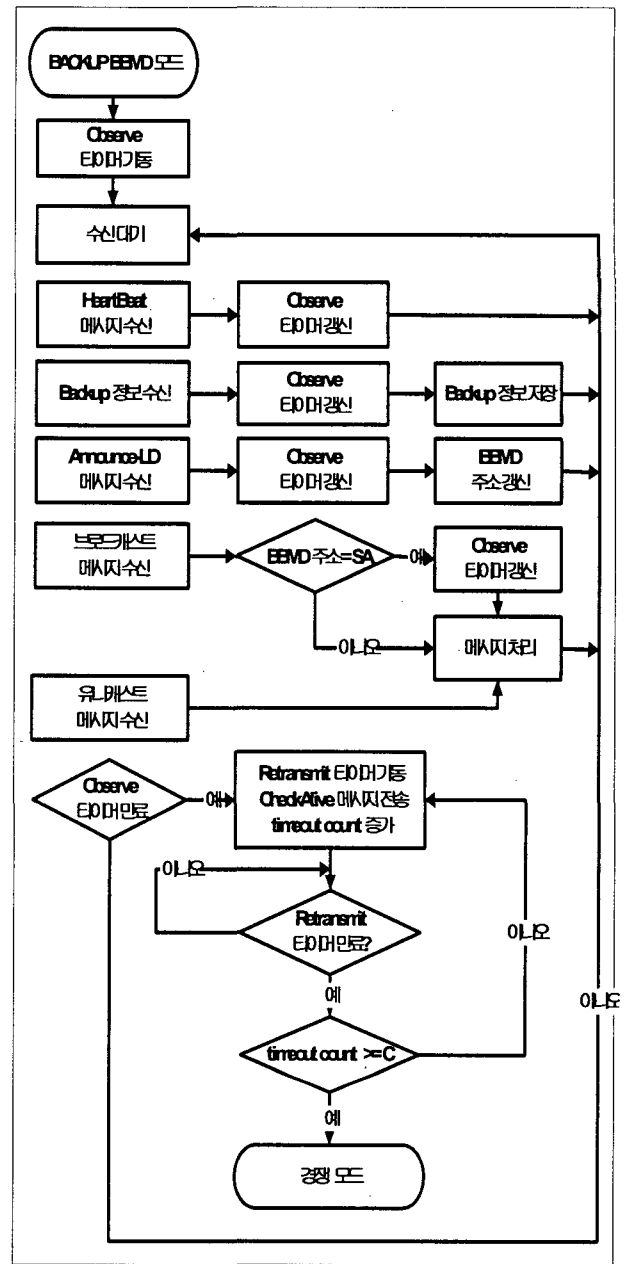


그림 9 Backup BBMD 소프트웨어, Backup BBMD 모드
Fig. 9 Backup BBMD Software Flowchart, Backup BBMD Mode 모드

(4) 경쟁 모드: Backup BBMD모드에서 전환하여 BBMD의 역할을 수행하기 위한 모드이다. 이 모드에서는 Announce 타이머를 동작시킨 후, 다른 Backup BBMD로부터 전송되는 Announce-LD 메시지를 감시하고, Announce 타이머의 동작이 만료되면 BBMD 기능을 선포하는 Announce-LD 메시지를 전송한 후 BBMD 모드로 전환한다. 만약 다른 Backup BBMD로부터 Announce-LD 메시지를 수신한 경우는 동작 중이던 Announce 타이머를 멈추고, 새로운 BBMD가 된 장치의 주소 정보를 BBIB에 저장한 후, 새로운 BBMD를 감시하기 위한 Observe 타이머를 동작시키는 Backup BBMD 모드로 전환한다. 그림 10은 경쟁 모드의 동작 개념을 표현한 순서도이다.

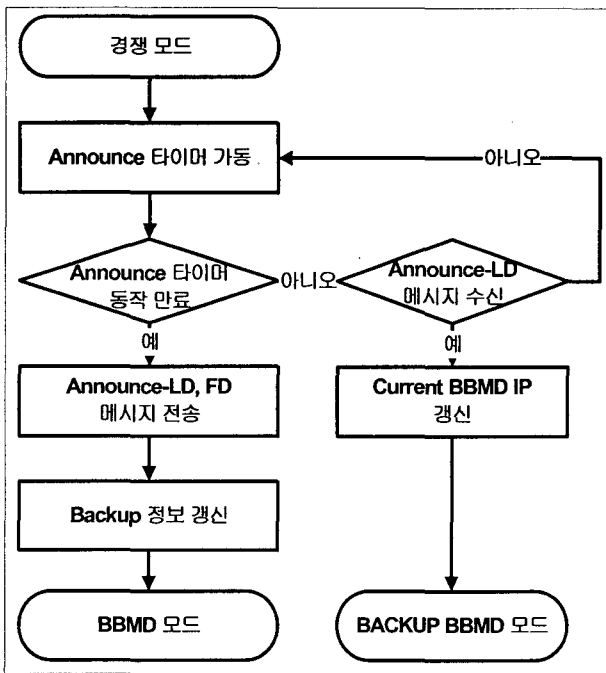


그림 10 Backup BBMD 소프트웨어, 경쟁 모드
 Fig. 10 Backup BBMD Software Flowchart, Competition Mode

5.3 실험 모델 구성 및 실험 결과

Backup BBMD 알고리즘을 검증하기 위해서는 Backup BBMD 소프트웨어가 탑재된 다수의 디바이스와 BBMD 기능을 수행할 디바이스가 필요하다. 본 연구에서는 PC를 실험 노드로 사용하였다. 각 PC에는 모두 같은 프로그램을 탑재하였으며 모두 동일한 사양의 PC를 사용하였다. 실험을 위하여서는 먼저 BBMD와 Backup BBMD를 감시할 수 있는 다수의 Backup BBMD 노드들로 구성된 하나의 로컬 네트워크가 형성되어야 한다. 본 실험에서는 최초 BBMD 기능을 담당하는 PC 1대와 Backup BBMD 기능의 PC 8대로 구성된 하나의 로컬 네트워크(IP 서브넷 1)를 구성하였다. 또한, BBMD의 기본 기능인 원격 접속을 확인하기 위해 또 하나의 로컬 네트워크(IP 서브넷 2)를 구성하여 이를 인터넷으로 IP 서브넷 1과 연결하였다. IP 서브넷 2는 1대의 BBMD와 1대의 Backup BBMD로 구성된다. 이러한 로컬 IP 서브넷에서 모든 PC 노드들은 10Mbps Ethernet 통신망으로 연결된다. 그림 11에는 실험 모델의 구성도가 주어져 있다.

실험 모델에서 IP 서브넷 1의 8번 노드 Backup BBMD에는 VTS (Visual Test Shell)를 탑재하여 로컬 IP 서브넷을 통하여 전송되는 메시지들을 분석하고 복구 시간을 측정할 수 있도록 하였다. VTS는 BACnet의 호환성 시험을 위하여 미국 NIST(National Institute of Standards and Technology)에서 개발한 공개 소프트웨어로서 빌딩자동화 시스템에 사용되는 장치의 BACnet 성능을 테스트하기 위한 어플리케이션 프로그램이다[8]. VTS를 이용하면 BBMD와 BACnet 장치간에 BVLC를 포함한 모든 BACnet 메시지를 생성하여 송신하고, 수신된 메시지의 정보를 필드별로 분석할 수 있다.

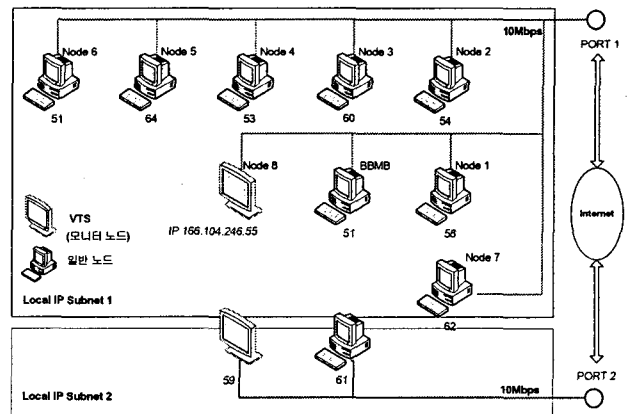


그림 11 결함 허용 BBMD 실험 모델 구성도
 Fig. 11 Experimental model for fault tolerant BBMD

본 연구에서는 실험 모델을 이용하여 Backup BBMD의 결함 허용 기능 및 복구 시간 성능을 분석하였다. 본 연구를 위한 실험환경에서 ping 테스트를 통해 메시지의 왕복 전송시간이 10ms 이하의 값을 가지는 것을 확인하였다. 본 실험에서는 그러나 다양한 네트워크 환경에 대한 편차를 고려하여 IP 서브넷에서 Backup BVLC 메시지 및 이에 대한 응답 메시지의 전송시간이 각각 100ms를 초과하지 않는 것으로 설정하였다. 또한, Window 2000 환경의 PC에서 본 연구를 통하여 개발된 Backup BBMD 소프트웨어를 동작시키는 경우 Backup BVLC 메시지를 처리하는 시간이 100ms를 초과하지 않는 것으로 나타났다. 따라서 관리자가 설정하는 BBIB 파라미터 값 가운데 Retransmit 타이머 값 R은 300ms로 설정되었다. 또한, RetryCount 값 C는 기본값인 3으로 설정하였다. 본 실험에서는 동작중인 BBMD를 포함하여 Backup BBMD를 1번부터 차례로 강제 종료시키고 복구 시간을 측정하였다. 그림 12에는 Backup BBMD가 복구되는 일련의 과정을 VTS를 통하여 확인한 모니터 화면을 캡처한 결과가 제시되어 있다. 그림 12에서 보는 바와 같이 본 연구를 통하여 제시된 결함 허용 BBMD에서 Backup BBMD는 결함이 발생한 BBMD의 기능을 완전히 복구하는 것으로 확인되었다.

Backup BBMD의 복구 시간은 식 (1) 및 그림 6에 나타난 바와 같이 관리자가 설정하는 BBIB 파라미터 가운데 HeartBeat 타이머값(H)에 의해 가장 크게 영향을 받는다. 본 실험환경에서는 BBMD가 발생하는 HeartBeat 메시지를 Backup BBMD가 정상적으로 수신하여 처리하는 시간의 최소 범위가 95 ms로 측정되었다. 따라서 본 실험에서는 H 입력값을 100ms에서 1000ms까지 100ms 단위로 증가시켜 복구시간의 성능을 측정하였다. 측정 방법은 먼저 BBMD와 Backup BBMD를 동작시킨 상태에서 BBMD에게 BBIB 정보를 입력하고, 동작중인 BBMD를 강제로 종료시킴으로써 결함을 발생시켰다. 이후 BBMD를 감시하던 Backup BBMD들이 경쟁과정을 통해 복구되는 시간을 VTS를 통해 측정하였다.

No	TimeStamp	Port	Destination/Source	Service Type
1	04:19:55.708	BACnet_IP_Test	-> 166.104.246.57:47808	AtomicReadFile
2	04:19:55.942	BACnet_IP_Test	-> 166.104.246.57:47808	GetEnrollmentSummary
3	04:19:56.200	BACnet_IP_Test	-> 166.104.246.57:47808	ConfirmedCVNotification
4	04:19:56.473	BACnet_IP_Test	-> 166.104.246.57:47808	ConfirmedEventNotification
5	04:19:56.536	BACnet_IP_Test	-> 166.104.246.57:47808	AcknowledgeAlarm
6	04:19:57.536	BACnet_IP_Test	-> 166.104.246.57:47808	AcknowledgeAlarm
7	04:19:58.536	BACnet_IP_Test	-> 166.104.246.57:47808	AcknowledgeAlarm
8	04:19:59.536	BACnet_IP_Test	-> 166.104.246.57:47808	AcknowledgeAlarm
9	04:20:00.176	BACnet_IP_Test	-> 166.104.246.57:47808	AddListElement
10	04:20:03.796	BACnet_IP_Test	-> 166.104.246.57:47808	AtomicReadFile
11	04:20:03.911	BACnet_IP_Test	-> 166.104.246.57:47808	GetEnrollmentSummary
12	04:20:04.036	BACnet_IP_Test	-> 166.104.246.57:47808	ConfirmedCVNotification
13	04:20:04.176	BACnet_IP_Test	-> 166.104.246.57:47808	ConfirmedEventNotification
14	04:20:05.254	BACnet_IP_Test	-> 166.104.246.57:47808	AcknowledgeAlarm
15	04:20:06.270	BACnet_IP_Test	-> 166.104.246.57:47808	AcknowledgeAlarm
16	04:20:07.270	BACnet_IP_Test	-> 166.104.246.57:47808	AcknowledgeAlarm
17	04:20:08.208	BACnet_IP_Test	-> 166.104.246.57:47808	AddListElement
18	04:20:11.817	BACnet_IP_Test	-> 166.104.246.57:47808	AtomicReadFile
19	04:20:11.942	BACnet_IP_Test	-> 166.104.246.57:47808	GetEnrollmentSummary
20	04:20:12.034	BACnet_IP_Test	-> 166.104.246.57:47808	ConfirmedCVNotification
21	04:20:12.223	BACnet_IP_Test	-> 166.104.246.57:47808	ConfirmedEventNotification
22	04:20:13.236	BACnet_IP_Test	-> 166.104.246.57:47808	AcknowledgeAlarm
23	04:20:14.301	BACnet_IP_Test	-> 166.104.246.57:47808	AcknowledgeAlarm
24	04:20:15.317	BACnet_IP_Test	-> 166.104.246.57:47808	AcknowledgeAlarm
25	04:20:15.395	BACnet_IP_Test	-> 166.104.246.57:47808	AddListElement
26	04:20:20.176	BACnet_IP_Test	-> 166.104.246.57:47808	AtomicReadFile
27	04:20:20.301	BACnet_IP_Test	-> 166.104.246.57:47808	GetEnrollmentSummary
28	04:20:20.426	BACnet_IP_Test	-> 166.104.246.57:47808	ConfirmedCVNotification
29	04:20:20.527	BACnet_IP_Test	-> 166.104.246.57:47808	ConfirmedEventNotification
30	04:20:21.629	BACnet_IP_Test	-> 166.104.246.57:47808	AcknowledgeAlarm
31	04:20:22.645	BACnet_IP_Test	-> 166.104.246.57:47808	AcknowledgeAlarm
32	04:20:23.645	BACnet_IP_Test	-> 166.104.246.57:47808	AcknowledgeAlarm
33	04:20:24.723	BACnet_IP_Test	-> 166.104.246.57:47808	AddListElement

그림 12 Backup BBMD의 복구과정 VTS 화면
Fig. 12 Example of Backup BBMD Recovery Operation On VTS

그림 13에는 식 (1)에서 Safety Factor(S)를 300 ms로 설정하여 복구시간을 예측한 결과와 실제 실험 모델을 통하여 측정된 복구 시간이 주어졌다. 그림 13에서 노드 4에 대한 실험결과는 노드 1, 2, 3을 모두 강제로 종료시킨 후 노드 4가 BBMD 동작을 수행하는데 소요되는 복구시간을 의미하고, 노드 8에 대한 실험결과는 노드 1부터 노드 7까지를 모두 강제로 종료시킨 후 노드 8이 BBMD 동작을 수행하는데 소요되는 복구시간을 의미한다.

그림 13에서 보는 바와 같이 HeartBeat 메시지 전송주기가 100ms로 설정된 경우 노드번호 1번 Backup BBMD에서 복구시간은 1.562s가 소요되었으며, HeartBeat 메시지 전송주기가 1s로 설정된 경우 노드번호 8번 Backup BBMD에서 복구시간은 6.344s가 소요되었다. HeartBeat 메시지의 전송은 네트워크 내의 트래픽 부하를 가중시키므로 시스템 관리자는 로컬 IP 서브넷의 트래픽 부하를 고려하여 시스템 환경에 적합한 HeartBeat 메시지 전송주기(H)를 적절히 설정하여야 할 것이다.

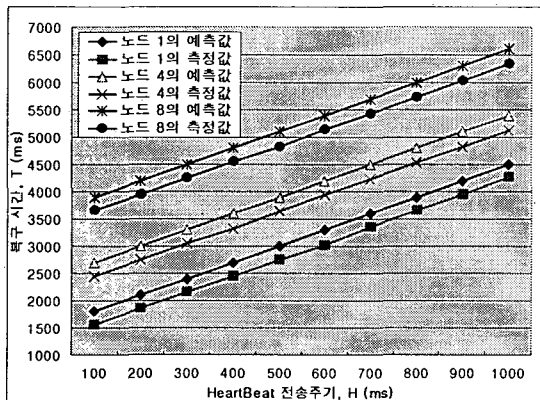


그림 13 H 입력값에 따른 각 노드의 복구시간 비교
Fig. 13 Recovery time of fault tolerant BBMD

그림 13에서 각 노드별 복구 시간(T)은 H의 입력값이 증가함에 따라 선형적으로 증가하고, Backup BBMD의 노드번호가 증가할수록 복구 시간이 선형적으로 증가함을 알 수 있다. 이는 식(1)을 통하여 예측할 수 있는 결과와 일치한다. 본 논문에서 제시하는 결함 허용 BBMD를 사용하는 관리자는 식 (1)과 Backup BBMD 소프트웨어 프로그램이 동작하는 PC의 사양과 종류, 운영체제에서 동작하는 task, 노드 수, LAN의 대역폭 등 네트워크 구성 환경을 고려하여 그림 13에서 제시된 바와 같이 복구 시간을 예측할 수 있을 것이다.

다음 표 3은 그림 11의 환경에서 측정 노드를 1, 4, 8번으로 선정하여 H 값을 변화시켜가며 식 (1)을 통한 예측값과 측정값을 나타낸 표이다. 위 그림 13은 표 3의 데이터를 바탕으로 측정 노드의 복구 시간을 그래프로 나타낸 것이다. 예측값은 4.6절의 식 (1)에서 설명한 S 값이 포함된 값으로 측정값보다 항상 큰 값을 가지게 된다.

표 3 노드별 H 입력값에 따른 예측값과 측정값 비교
Table 3 Comparison of Recovery time Between an Estimation and Measurement Time

구분	Node 1		Node 4		Node 8	
	예측값 (T)	측정값	예측값 (T)	측정값	예측값 (T)	측정값
H = 100	1800	1562	2700	2453	3900	3657
H = 200	2100	1866	3000	2750	4200	3953
H = 300	2400	2156	3300	3047	4500	4250
H = 400	2700	2453	3600	3329	4800	4547
H = 500	3000	2750	3900	3641	5100	4829
H = 600	3300	3021	4200	3938	5400	5141
H = 700	3600	3359	4500	4234	5700	5437
H = 800	3900	3657	4800	4531	6000	5735
H = 900	4200	3938	5100	4828	6300	6031
H = 1000	4500	4266	5400	5125	6600	6344

(단위 : ms)

6. 결론

본 논문에서는 BACnet/IP 네트워크에서 BBMD의 결함 발생 시 IP 서브넷의 BACnet/IP 장치들 이용한 BBMD의 결함허용 기능을 제안하고, 이를 실제로 구현하였으며 Backup BBMD의 복구 성능을 실험모델을 통해 검증하였다. 또한 Backup BBMD가 BBMD의 기능을 복구하는데 소요되는 시간을 미리 예측할 수 있는 방법을 제시하였다. Backup

BBMD의 복구시간은 예측한 바와 같이 HeartBeat 메시지 전송주기(H)에 가장 큰 영향을 받으며, H의 입력값과 Backup BBMD 노드 번호의 증가에 따라 선형적으로 증가하였다. 본 논문에서 제시하는 결합 허용 BBMD를 사용하는 관리자는 식 (1)과 Backup BBMD 구성 및 로컬 IP 서버의 구성 환경을 고려하여 복구 시간을 예측할 수 있고, 이에 대한 참조 데이터를 제시하였다.

감사의 글

본 연구는 과학재단 목적기초(R01-2002-000-00046-0) 지원에 의하여 이루어진 연구로서 관계부처에 감사드립니다.

참고 문헌

- [1] ANSI/ASHRAE Standard 135-2001, BACnet: A Data Communication Protocol for Building Automation and Control Networks, American Society of Heating, Refrigeration, and Air-Conditioning Engineers Inc. Atlanta, GA
- [2] Newman, H. M., Direct Digital Control of Building Systems: Theory and Practice, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1994.
- [3] Boed, V., Networking and Integration of Facilities Automation Systems, CRC Press, Washington, D.C., 2000.
- [4] Seung Ho Hong , Won Seok Song, "Study on the Performance Analysis of Building Automation Network", Proc. ISIE 2003, 2003. 6. BF-000459.
- [5] 홍승호, 송원석, 권영찬, "MS/TP 프로토콜에서 대역폭 할당기법 구현 및 실험적 검증", 대한전기학회 논문지, p.52-55, 2004. 11.
- [6] KS X 6909 Building Automation and Control Network (BACnet), Korean Standards Association, 1999
- [7] ISO 16484-5 Building automation and control systems Part 5 Data communication protocol, 2003
- [8] <http://vts.sourceforge.net>

저 자 소 개



조수운 (趙秀云)

2004년 한양대 전자컴퓨터공학부 졸업.
2006년 동 대학원 전기전자제어계측공학과 졸업. 현재 삼성테크윈 DSC 개발센터 연구원

Tel : 031)740-8445

Fax : 031)740-8356

E-mail : suun.cho@samsung.com



홍승호 (洪承鎬)

1982년 : 연세대 졸업(공학사). 1985년 : Texas Tech University (공학석사). 1989년 : Pennsylvania State University (공학박사) 1992년~현재 한양대 전자컴퓨터공학부 교수

Tel : 031)400-5213

Fax : 031)406-4132

E-mail : shhong@hanyang.ac.kr