

# EtherCAT 통신방식을 응용한 IEEE 802.15.4 Ad-Hoc 무선 센서 네트워크 라우팅 방식

## IEEE 802.15.4 Ad-Hoc Wireless Sensor Network Routing Method Applying EtherCAT Communication Method

박 정 현\*, 서 창 준\*★

Jeong - Hyeon Park\*, Chang-Jun Seo\*★

### Abstract

IIoT, the IIoT technology applied to the industrial field, is being used as a monitoring technology for increasing in production rate and safety of workers. However, monitoring through the construction of IIoT network using Ethernet and RS485 in production lines where dozens to hundreds of machine tools are manufacturing components, have difficulties of infrastructure cost and network flexibility and fluidity. Therefore, in this paper, using IEEE 802.15.4 standard WSN device to construct a Ad-Hoc WSN in the production line. In addition, the transmission period and order of the sensor nodes are set by applying the EtherCAT communication method in which the payload frames are shared by all the sensor nodes. From this, we have overcome the problem of reliability decline and real-time issue due to the packet collision of wireless network and confirmed that it is a wireless network routing method that can be used in the actual industrial field.

### 요 약

IIoT 기술을 산업현장에 적용시킨 IIoT는 생산을 향상 및 작업자의 안전을 위한 모니터링의 기술로 이용되고 있다. 하지만 수십에서 수백 대의 공작기계가 부품을 가공하고 있는 생산라인에 Ethernet과 RS485 등을 유선 네트워크를 이용한 IIoT 네트워크의 구축을 통한 모니터링은 기반비용 및 네트워크의 유연성 및 유동성의 문제를 가진다. 이로 인해 유선 네트워크에서 무선 네트워크로의 변화가 필요한 실정이다. 따라서 본 논문에서는 IEEE 802.15.4 표준 무선 네트워크 디바이스를 이용하여 생산라인에 Ad-Hoc WSN를 구축한다. 또한 추가적으로 Payload Frame을 모든 센서 노드가 공유하는 특징을 가지는 EtherCAT 통신방식을 이용하여 센서노드의 전송주기 및 순서를 설정하였다. 이를 통해 무선 센서 네트워크의 패킷충돌로 인한 신뢰성 저하와 실시간성 문제를 해결했으며 실제 산업현장에 사용할 수 있는 무선 네트워크 라우팅 방식을 확인하였다.

*Key words* : IIoT(Industrial Interent of Things), WSN, IEEE 802.15.4, Ad-Hoc, EtherCAT

\* Dept. of Electronic & Telecommunication Engineering, Inje University

★ Corresponding author

High Safety Vehicle Core Technology Research Center, Inje Univ

E-mail: elecscj@inje.ac.kr, Tel: +82-55-320-3438

※ Acknowledgment

This research was supported by The Leading Human Resource Training Program of Regional Neo industry through the National Research Foundation of Korea(NRF) funded by the Ministry of Science, ICT and future Planning(grant number)(NRF-2016H1D5A1911140)

Manuscript received Jun. 11, 2018; revised Jun. 25, 2018; Accepted Jun. 28, 2018

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

## I. 서론

모든 사물을 하나의 인터넷으로 묶는 사물인터넷(Internet of Things, IoT)시대에 맞춰 무선 센서 네트워크는 센서노드들을 목적하는 지역에 배포하여 온도, 습도, 산불 감지, 생태계 감시 등의 다양한 정보를 수집하여 무선으로 싱크노드에 정보를 전달하는 네트워크이며[1][2], 사물인터넷을 구성하는 중요한 요소기술이다. 또한 네트워크의 토폴로지가 유연하고 네트워크간의 연결성 또한 우수한 특징을 가지고 있다. 근래에는 기존의 사물인터넷 기술에서 추가적으로 산업현장에서 사용되는 산업용 사물인터넷(Industrial Internet of Things, IIoT)이 대두되고 있다. 산업용 사물인터넷은 네트워크 기반에서 기계와 제품, 생산과정과 서비스에 지능을 부여하여 자율적으로 통신 및 제어가 가능하고 인간은 생산 공정과 공급체인의 흐름을 시각적으로 확인할 수 있도록 하는 환경을 말한다[3]. 위에서 논한 무선 센서 네트워크의 특징과 산업용 사물인터넷을 이용하여 수십에서 수백 대의 동작기계가 부품을 가공하고 있는 생산라인에 실시간성과 신뢰성을 갖춘 무선네트워크 라우팅 알고리즘을 적용하고자 한다. 기존의 산업용 네트워크 방식 중 기반 비용이 많이 드는 단점이 있는 낮은 수준에서의 RS485 통신과 높은 수준에서의 Ethernet통신에 실시간성을 구현한 EtherCAT을 대체하기 위해 무선 센서 네트워크 디바이스인 IEEE 802.15.4 표준 기반의 무선 센서 네트워크 디바이스를 사용한다. 무선 센서 네트워크에 의해 연결되는 모든 동작기계는 상태정보 및 이상상태를 송신하는 무선 센서노드가 되어 자율적으로 구성되고 기반구조 없는 Ad-Hoc네트워크를 형성한다[4]. Ad-Hoc 네트워크에서의 라우팅 기법으로는 모든 센서노드에 자신의 패킷(Packet)을 송신하는 단순하면서 싱크노드로의 속도가 빠른 Broadcasting 기반의 플러딩(Flooding) 기법이 많이 사용된다. 플러딩 기법은 모든 센서노드에 자신의 정보 및 수신 받은 정보를 다시 재방송하기 때문에 네트워크 속도는 빠르다. 하지만 채널의 트래픽이 증가하여 재방송을 제한하지 않으면 패킷의 중복송신과 충돌(Collision), 채널에서의 과도한 경쟁 발생한다. 이러한 현상을 방송폭풍(Broadcasting storm)문제라고 한다[5].

IEEE 802.15.4 표준 무선 센서 네트워크에서 채널의 사용 중(Channel busy) 또는 방송폭풍 등으로 인해 패킷이 충돌 또는 센서노드가 지속적으로 채널에 접속하지 못할 경우 충돌한 패킷의 재전송 또는 다음 패킷전송에 있어 임의의 지연시간을 갖는 Random Backoff Time을 가진다. 이러한 Random Backoff Time을 기반으로 하는 방송과 감지 다중 접속 및 충돌회피 기법인 CSMA/CA(Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance)의 특성상 전체 네트워크는 실시간성이 크게 결여되고 패킷의 불확실성과 심한 경우 과도한 Backoff Time으로 인해 네트워크에 음영을 야기하게 한다. 더욱이 이와 같은 문제점은 많은 수의 네트워크를 연결할 때 주로 발생하며 무선 센서 네트워크를 구축하기에 앞서 반드시 해결해야할 문제이다. 이러한 문제점을 개선하기 위해 본 논문에서는 각 센서노드에서의 패킷송수신에 있어서 EtherCAT통신방식을 응용하여 센서노드간의 연결성을 확보하고 센서노드의 패킷송신 주기와 우선순위를 결정하여 해결하였다. 따라서 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 근거리 무선 네트워크의 종류와 특징이 설명되고 IEEE 802.15.4 표준 무선 센서 네트워크의 특징과 본 연구에서 응용된 EtherCAT 통신방식의 특징, 기존 플러딩 방송기법의 문제점을 제시한다. 3장에서는 기존 방송폭풍과 Random Backoff Time으로 인해 센서 네트워크에 발생하는 문제점을 센서 노드에서 생성하는 데이터의 패킷화 및 EtherCAT 통신방식을 응용하여 해결한다. 또한 무선 센서 네트워크의 네트워크 구조 설계와 라우팅(Routing) 방식을 제안한다. 4장에서는 무선 센서 네트워크 라우팅 방식의 신뢰도의 평가를 위해 실제 실험을 통한 결과를 제시하며, 마지막 5장으로 결론을 맺는다.

## II. 관련연구 및 문제점

### 1. 근거리 무선네트워킹 클래스

무선을 이용해 사물인터넷망 또는 산업용 사물인터넷을 구축하기 위해 필요한 근거리 무선 네트워크(Short-Range Wireless Networks)의 종류는 다음 그림 1과 같이 WLANs(Wireless Local area Networks)와 WPANs(Wireless Personal

Networks) 두 종류로 구분된다.

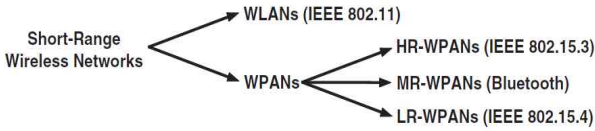


Fig. 1. Short-range Wireless Networking Classes.

그림 1. 근거리 무선네트워크 클래스

WLANs는 Ethernet을 대체하기 위해 개발된 IEEE 802.11 표준으로 통칭 Wi-Fi(Wireless Fidelity)라 불리며 전송속도 1~11Mbps, 전송거리 30~100m이며 2.4GHz 대역에서의 무선 인터넷의 용도로 사용된다. WPANs는 전송속도에 따라 고속(High Rate, HR), 중속(Medium Rate, MR), 저속(Low Rate, LR)으로 구분된다.

HR-WPANs(IEEE 802.15.3)는 10m이내 근거리에서의 영상 및 고속의 전송속도를 지원하는 표준화 기술이며 최대 55Mbps를 지원한다. 또한 전송거리의 제약 및 높은 전력에서 타 기기간의 간섭의 문제를 가지고 있어 저전력으로 구축해야 하는 점을 가지고 있다. MR-WPANs(Bluetooth)는 10m이내 근거리 네트워크 기술로 저가, 저전력의 1~3Mbps의 전송속도를 가지며 무선 헤드셋, 마우스 등의 무선기기 응용분야에 주로 사용된다. LR-WPANs(IEEE 802.15.4)는 ZigBee 네트워킹의 기반이 되는 네트워크 표준으로 30~100m의 전송 거리에 최대 250Kbps의 전송속도를 가지며 유연한 토폴로지, 저전력 특성으로 인해 무선 센서 네트워크에 주로 사용된다. 다음 표 1은 근거리 무선네트워킹에서 주로 사용되는 ZigBee, Bluetooth, IEEE 802.11b의 특징을 비교한 표이다.

Table 1. Comparison of characteristics of short-range wireless communication.

표 1. 근거리 무선통신의 특징비교

Classes	Data Rate	Typical Range	Application Examples
ZigBee	20 to 250Kbps	10-100 m	Wireless Sensor Networks
Bluetooth	1 to 3 Mbps	2-10 m	Wireless Headset Wireless Mouse
IEEE 802.15.3	Up to 55Mbps	2-10 m	Multimedia
IEEE 802.11b	1 to 11 Mbps	30-100 m	Wireless Internet Connection

## 2. IEEE 802.15.4 표준 센서 네트워크

저속 무선 개인용 네트워크를 의미하는 LR-WPANs(IEEE 802.15.4)는 낮은 전송속도와 가격, 저전력, Star, Mesh, Tree등 과 같은 유연한 토폴로지를 가진다. 특히 물리계층과 매체 접근 제어에 대한 표준으로써 저속 저전력 통신에 중점을 두었다[6]. 또한 IEEE 802.15.4 표준의 센서노드 자체가 외부의 주변장치 없이 서로가 자유롭게 네트워크를 구성하는 Ad-Hoc 네트워크를 형성하는 특징으로 인해 데이터 처리량이 작은 무선 센서 네트워크의 응용분야에 많이 사용된다. 따라서 넓은 범위의 연결성과 유연한 토폴로지를 가지는 장점으로 본 연구에서의 유선네트워크가 가지는 단점을 충분히 보완할 수 있다.

다음 그림 2는 IEEE 802.15.4 표준과 ZigBee 표준의 네트워킹 프로토콜 계층(Layer)을 나타낸다. ZigBee 표준과 IEEE 802.15.4 표준이 합쳐서 ZigBee 무선 네트워킹을 형성하는 것을 확인할 수 있다. 따라서 ZigBee 무선네트워킹은 IEEE 802.15.4 표준을 바탕으로 정의된 것이며, IEEE 802.15.4가 ZigBee 무선네트워킹이라고 할 수 없다.

IEEE 802.15.4 표준은 최하위 계층이자 다른 센서노드와 라디오 송수신기를 통해 직접 데이터 패킷을 송수신하기 위한 물리계층(Physical Layer, PHY)와 네트워크 채널 즉 통신매체(Medium)의 접근을 위한 매체 접근 제어(Medium Access Control, MAC) 계층으로 앞서 언급한바와 같이 정의된다. MAC계층에서 지원되는 채널 액세스 메커니즘이 CSMA/CA이다.

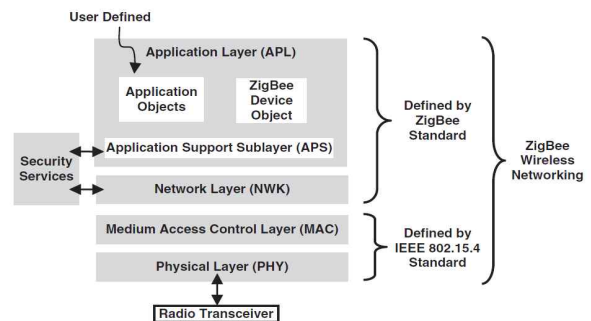


Fig. 2. Networking protocol layers of ZigBee standard and IEEE 802.15.4 standard.

그림 2. ZigBee 표준 및 IEEE 802.15.4 표준의 네트워킹 프로토콜 계층

### 3. 기존 라우팅 기법

#### 가. Ad-Hoc 네트워크

IEEE 802.15.4 표준을 기반으로 하는 애드혹(Ad-Hoc) 네트워크는 분산형 무선통신 네트워크를 의미하며 각 노드가 데이터를 송수신할 수 있으며 라우터 역할도 할 수 있다. 따라서 특정 기지국 또는 AP(Access Point)에 의존하지 않고 무선통신단발로만 구성된다[7]. 또한 통신 영역에 위치하지 않은 센서노드간의 통신을 위해서는 중간에 위치한 센서노드를 경유하는 멀티 홉(Multi Hop) 통신 방식을 이용한다[8]. 즉 경로간의 센서노드가 배터리, 파손, 센서의 이상 등의 내부요인 및 외부요인에 의한 문제가 발생할 경우 이웃한 다른 센서노드를 통해 대체경로가 생성된다. 따라서 자율적으로 네트워크를 형성하는 센서노드의 특징으로 인해 센서노드의 참여 및 탈퇴가 용이하다.

#### 나. 플러딩 기법 및 문제점

Ad-Hoc 네트워크에서 주로 사용되는 플러딩 방식은 센서노드의 통신가능거리에 위치하고 있는 모든 센서노드에 패킷을 Broadcasting 하는 라우팅 방법이다. 플러딩 방식에서 각 무선 센서노드가 새로운 패킷을 전송받게 되면 그 패킷을 다른 노드로 재방송(Re-Broadcasting)한다. 이와 같은 재방송 과정은 네트워크의 모든 노드들이 데이터를 수신할 때까지 반복한다[9]. 이때, 센서노드는 수신 받은 패킷이 이전에 받은 적이 있을 경우에는 재방송 하지 않으면서 채널의 리소스(Resource)를 조절한다. 따라서 하나의 싱크노드로 패킷을 전송하는 방식 중에 플러딩 방식은 빠르고 가장 신뢰성이 높은 방식이다[10]. 그러나 이러한 플러딩 방식은 모든 노드가 같은 패킷을 재전송하는 것은 효율성 측면에서 재고의 여지가 있다. 또한 불필요한 패킷의 전송 같은 전송범위가 중첩된 곳에 위치한 노드는 동일한 패킷을 여러 번 송수신하고 많은 충돌을 유발한다[11]. 특히, 노드간의 연결성이 높거나 밀집해 있는 경우에 이러한 문제점들은 네트워크의 성능을 크게 저하시키고 대역폭에 치명적인 장애를 가져오는 방송폭풍의 원인이 되는 문제점을 가지고 있다[12].

### 4. EtherCAT 통신방식

#### 가. EtherCAT의 특징 및 동작

산업용 Ethernet으로 불리는 EtherCAT은 다량의 데이터를 실시간성을 부여하여 고속으로 전송할 수 있고 넓은 대역폭을 가지며 별도의 필드버스(Field Bus) 하드웨어가 필요 없어 저비용, 고효율의 산업용 통신 네트워크 구현을 위한 해결책으로 적극 활용되고 있다[13]. EtherCAT 네트워크의 구조는 마스터-슬레이브(Master-Slave)구조를 가지며 일반적으로 하나의 마스터에 다수의 슬레이브 노드로 구성된다. EtherCAT 슬레이브 노드는 데이터를 읽고 쓰기 위한 2개의 표준 Ethernet 포트가 필요하고 실시간성을 보장하며 EtherCAT 프레임 처리하기 위한 EtherCAT Slave Controller가 필요하다. EtherCAT의 데이터 전송은 마스터에서 생성한 데이터 프레임이 슬레이브 노드를 통과하는 동안 슬레이브 노드는 데이터를 실시간으로 읽고 자신의 데이터를 프레임에 쓰는 방식(On-the-Fly)으로 이루어진다[14]. 이러한 동작 특성은 유선에서의 스위치나 허브의 필요성을 없애면서 한 주기 당 한 프레임 정도면 통신을 위해 충분하므로 대역폭 이용률을 높일 수 있다. 통신 주기는 EtherCAT 마스터가 생성한 데이터 프레임이 네트워크의 모든 슬레이브 노드를 통과하여 다시 마스터노드로 돌아옴으로써 통신주기가 결정된다.

#### 나. EtherCAT 프로토콜

EtherCAT은 IEEE 802.3 표준 Ethernet 프레임의 Ethernet 데이터영역에 EtherCAT 프레임이 내장되며 Ethernet Header의 16bit EtherType에 식별자(Identifier)0x88A4로 EtherCAT이 구분된다.

EtherCAT을 사용하는 모든 슬레이브 노드는 표준 Ethernet 프레임에 내장되어있는 EtherCAT 프레임을 사용한다. EtherCAT은 표준 Ethernet 포트에 전송주기를 결정하는 EtherCAT Master가 전체 프레임을 네트워크에 포함되어 있는 모든 슬레이브 노드에 송신한다. 전체 프레임의 구조는 그림 4와 같으며 위에서 설명한 바와 같이 Ethernet데이터 영역에 EtherCAT Header와 EtherCAT Telegram이 할당되어 사용된다. 또한 EtherCAT Telegram은 EtherCAT 네트워크상의

모든 슬레이브 노드가 공유한다. 슬레이브 노드는 EtherCAT Telegram에서 여러 개의 Datagram으로 다시 세그먼트 되어 각각의 슬레이브 노드가 할당받아 사용한다. 슬레이브 노드에서 데이터의 교환은 Datagram에서 일어나며 이러한 분할된 Datagram들로 인해 EtherCAT이 분산처리에 장점을 가진다고 할 수 있다. 또한 슬레이브 노드는 EtherCAT 프레임을 단순히 읽고 할당된 Datagram에 데이터를 쓴다. 이러한 Access 과정의 시간이 매우 짧으므로 실시간성이 보장된다. 다음 그림 3는 EtherCAT 마스터에서 출발한 EtherCAT 프레임을 나타낸 것이다.

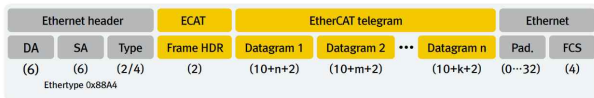


Fig. 3. EtherCAT Frame.  
그림 3. EtherCAT 프레임

### III. EtherCAT을 응용한 센서 네트워크의 구현

#### 1. 무선 센서 네트워크의 Target Field의 특징 분석

무선 센서 네트워크를 목표로 하는 Target Field에 구축하기 위해서는 먼저 무선통신 디바이스 선정과 Target Field의 특징분석이 진행되어야 한다. 본 연구에서 사용되는 무선통신 디바이스는 FirmTech사의 FZ760BC를 사용했으며 이의 사양은 표 2와 같다. 또한 Target Field의 특징분석은 센서노드에 에너지 공급가능 여부와 노드간의 배치 및 전송거리 등의 특성이 먼저 분석되어야 한다. 만일 센서노드에 외부에서 에너지를 공급할 수 있는 필드 구조일 경우 센서노드의 에너지 효율성 측면을 크게 고려할 필요가 없다. 외부에서 공급되는 에너지 자원을 이용하여 전송 횟수 및 다중경로설정, 송신출력 에너지증가 등을 이용하여 센서노드의 데이터 신뢰성을 높여 구현이 가능하다. 또한 센서노드간의 거리 및 정적, 동적 토폴로지와 관련된 특성을 고려해야 한다. 센서노드간의 거리를 적절하게 배치하고 음영지역이 생기지 않게 하며 무선 네트워크의 통신 연결성을 보장해야 한다. 네트워크 토폴로지가 동적일 경우

센서노드간의 라우팅 경로가 수시로 변하기 때문에 순간적인 센서노드의 밀집으로 인한 트래픽 증가와 같은 노드 부하에 강인해야 한다.

본 논문에서는 위에서의 내용을 바탕으로 그림 4와 같은 CNC(Computer Numerical Control)공작 기계들이 2m 간격으로 배치되어 있는 35m x 25m크기의 Target Field특성을 분석하여 무선 센서 네트워크의 구조 설계한다. 또한 공작기계에서 생성되는 전류, 절삭력, 진동, 토크 등과 같은 공작기계의 상태정보들을 무선 센서 네트워크를 이용해 신뢰성 있게 싱크노드로 전달할 수 있는 네트워크 구조와 라우팅 방식을 제안한다.

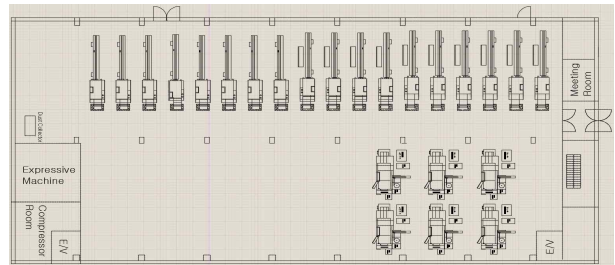


Fig. 4. Networking Target Field.  
그림 4. 네트워킹 타깃 필드

Table 2. Specification of wireless communication device.

표 2. 무선통신 디바이스(FZ760BC)의 사양

<b>Standard</b>	IEEE 802.15.4 Support
<b>Frequency Range</b>	2.4GHz ISM Band
<b>Sensitivity</b>	-98 dBm(Typical)
<b>Transmit Power</b>	6dBm(Typical)
<b>Current Consumption</b>	38mA(Max)
<b>Input Power</b>	3.3VDC+/-0.2
<b>Communication Distance</b>	120M
<b>Size</b>	20.5x27.7x9.4mm(W x L x H)
<b>Data Rate</b>	9,600 ~ 230,400bps
<b>Operation Temperature</b>	-30℃ ~ 80℃(Max)
<b>Antenna</b>	Chip Antenna
<b>Interface</b>	UART, ADC, KEY, GPIO
<b>Certifications</b>	KCC(KOR), FCC(USA), CE(Europe), RoHS

2. 무선 센서 네트워크의 구조 설계

가. 전체 센서 네트워크의 구조

Target Field에 배치될 무선 센서 네트워크의 전체구조는 싱크노드를 기준으로 기본 10개의 Branch가 연결된다. Branch는 센서노드를 효율적으로 관리하기 위한 군집(Cluster)과 같은 개념이며 싱크노드와 직접 통신하여 내부 센서노드의 데이터를 송신 한다. Branch는 통상 거리를 기반으로 구축된다. 본 논문에서 단일 Branch는 25개의 센서노드로 이루어지며 전체 구조는 싱크노드(Sink Node)를 기준으로 Star형의 토폴로지를 가지는 그림 5와 같다. 전체 시스템의 센서노드의 개수는 25EA x 10Branch로 총 250개가 연결 가능하다. 하지만 본 네트워크의 데이터 프레임에 센서노드의 ID와 관련된 비트가 8비트 이므로 이론상 256대가 연결 가능하다.

본 논문에서는 다음과 같은 전체 네트워크 구조를 설명하고 동작확인을 위해 단일 Branch의 세부 구조와 라우팅을 제안하고 이를 성능을 평가한다.

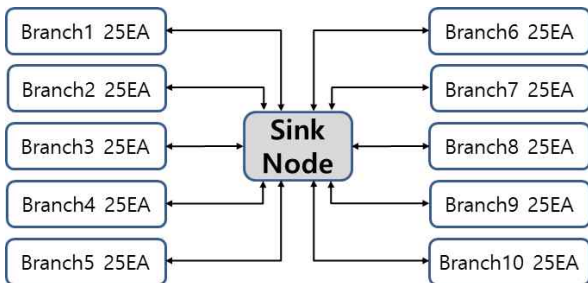


Fig. 5. whole structure of wireless sensor network.  
그림 5. 무선 센서 네트워크의 전체 구조

나. 단일 Branch 내부의 센서 네트워크의 구조

단일 Branch 내부의 센서노드는 각각의 공작기에 배되며 하나의 Branch  $n$ 에 대한 센서노드의 배치 및 데이터의 전달은 다음 그림 6과 같다. Target Field의 각 Branch 내부의 무선 센서 네트워크는 라인(Line)형태의 토폴로지를 가진다. 또한 노드1을 시작으로 패킷의 전송이 시작되며 중간노드들을 차례로 거쳐 노드25가 Branch 내의 모든 센서노드의 패킷을 조합하여 싱크노드로 전달한다.

각 Branch는 서로 다른 네트워크 채널을 설정하여 다른 Branch내의 센서노드와 간섭 없이 개

별적으로 내부의 센서 네트워크가 운용된다. Branch 내부에서 센서노드간의 패킷을 전달하는 순서는 노드1에서 시작하여 중간노드들을 거쳐 노드25가 최종적으로 싱크노드에 Branch 내부의 전체 센서노드의 데이터를 송신한다. 패킷전달을 시작하는 노드1은 시작노드로 정의 하고 싱크노드를 제외한 나머지 노드는 중간노드라 한다. 이때 센서노드간의 통신에서 CSMA/CD 알고리즘의 Back off에 의한 네트워크 지연시간 없이 EtherCAT의 데이터 전송 방식을 응용하여 통신한다. EtherCAT 통신방식의 장점인 센서노드에서 Serial 데이터를 입출력할 때 발생하는 최소한의 지연시간으로 실시간성을 보장할 수 있다. 최소한의 지연시간은 센서노드가 전송받은 데이터를 읽고 자신의 데이터 추가하여 다음 노드로 송신하는 시간으로 이러한 과정을 처리하는 Micro Processor Unit의 성능에 영향을 받는다.

추가적으로 채널의 Traffic을 감소시키기 위하여 1 홉 이전 노드로부터 패킷을 받아야만 자신의 패킷을 송신하는 방식을 사용했다. 이러한 방식은 규칙성 없고 채널의 부하가 높은 Flooding 방식과 비교하여 다음과 같은 장점이 있다. 자신의 순서에만 패킷을 다음 노드로 송신하므로 Broadcasting 기반의 플러딩 방식에 비해 재방송 횟수를 제한하여 에너지효율성을 높일 수 있으며 전송 규칙을 결정하여 채널에서의 다른 노드와의 패킷 충돌을 방지할 수 있어 신뢰성 또한 확보할 수 있다.

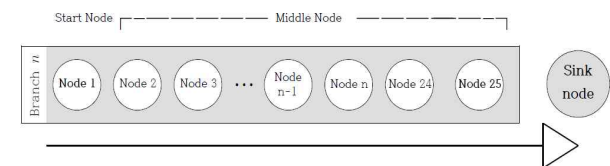


Fig. 6. Sensor node structure and data transfer direction in a single branch  
그림 6. 단일 Branch내부의 센서노드 구조 및 데이터의 전달방향

3. 무선 센서 네트워크의 라우팅방식 제안

무선 센서 네트워크 디바이스 FZ760BC의 전송 프레임 중 데이터 Payload의 크기는 100Byte이다. 이를 한 Branch내부의 모든 노드가 공유를 하고 EtherCAT의 Telegram을 Datagram이 나눠가지듯 데이터 프레임 100Byte를 Branch내부의 센서노드들이 100Byte/노드 수만큼 나눠가진다.

이러한 EtherCAT의 방식처럼 데이터 프레임을 나눠가지는 일괄의 행위가 전체 네트워크 부분에서 볼 경우 데이터가 분산 처리되는 하나의 과정이며 Branch의 네트워크 부하를 줄여 지연시간 감소 및 신뢰성을 보장할 수 있다. 따라서 Branch 내부에서의 라우팅에 있어 지연시간 감소와 신뢰성 증가를 위한 방법으로는 3가지 방식을 제안한다.

첫 번째 방식은 라우팅은 전체 데이터 Payload 100Byte중 각 센서노드가 진동, 전류, 절삭력, ID 4Byte씩 할당받아 분산처리 하는 방식이다. 두 번째 방식은 라인형 토폴로지에서 이전 1홉 이전 노드로부터 패킷을 송신 받아야만 자신의 전송순서를 가지는 라우팅 방식이다. 이 방식은 토큰 버스(Token Bus) 프로토콜 방식과 유사하며 토큰링 방식의 토큰의 역할은 제안한 방식에서의 이전 노드에서 수신한 패킷이 토큰과 같은 역할을 한다. 마지막 세 번째 방식으로는 무선통신 디바이스로부터 받은 패킷을 읽은 즉시 수신한 패킷에 자신의 데이터를 추가하여 다시 다음 노드로 송신한다. 이러한 3가지 방식 모두가 Branch 내부의 라우팅에서 발생하며 이러한 방식이 라우팅에 있어서 지연시간을 감소시키고 신뢰성을 증가시킨다. 다음은 실질적인 라우팅에 있어서의 규칙과 동작을 설명한다.

모든 Branch 내부의 센서노드간의 라우팅에 있어서 모든 센서노드는 다음규칙과 동작을 따른다.

**규칙 1.** 패킷의 전송방향은 그림 6의 화살표와 같으며 각 센서노드에서 생성된 패킷은 노드25가 화살표 끝의 싱크노드로 송신한다.

**규칙 2.** 패킷 송신의 시작은 노드1로부터 시작되며 일정한 네트워크 주기를 결정하고 이에 따라 패킷을 송신한다.

**규칙 3.** 모든 센서노드는 송신규칙에 의한 순서를 가지며 그 규칙은 자신을 기준으로 1 홉(Hop) 이전의 노드의 패킷이 도착했을 때 전송받은 패킷에 자신의 패킷을 합쳐 다음순서의 노드로 송신한다.

**동작 1.** 노드1은 자신의 네트워크 송신 주기마다 노드2로 패킷을 송신한다.

**동작 2.** 노드2는 규칙 3에 의거하여 1 홉 이전 노드(노드1)의 패킷이 도착했으므로 노드1 패킷+노드2 패킷(자신)을 하나의 프레임화 하여 노드3으로 송신한다.

**동작 3.** 노드3은 규칙 3에 의거하여 1 홉 이전 노드(노드2)의 패킷이 도착했으므로 노드1 패킷+노드2 패킷+노드3 패킷(자신)을 하나의 프레임화 하여 노드4로 송신한다.

**동작 4.** 노드4는 규칙 3에 의거하여 1 홉 이전 노드(노드3)의 패킷이 도착했으므로 노드1 패킷+노드2 패킷+노드3 패킷+노드4 패킷(자신)을 하나의 프레임화 하여 노드5로 송신한다.

⋮

**동작 5.** 노드n은 규칙 3에 의거하여 한 홉 이전(노드n-1)의 패킷이 도착했으므로 노드1 패킷+노드2 패킷+노드3 패킷+...+노드n-1 패킷+노드n 패킷(자신)을 하나의 프레임화 하여 노드n+1로 송신한다.

**동작 6.** 마지막 노드25는 노드24로부터 패킷을 수신하면 수신 받은 패킷+자신의 패킷을 하나의 프레임화 하여 싱크노드의 전송요청신호를 기다린다.

**동작 7.** 노드25는 싱크노드의 전송요청신호를 수신할 경우 저장하고 있던 Branch 내부의 모든 데이터 패킷을 싱크노드로 송신한다. 이로서 Branch 내부의 센서노드의 한 주기에 해당하는 전송이 끝난다.

그림 7은 EtherCAT 통신방식의 EtherCAT Telegram을 나눠가지는 특징을 응용하여 Data



Payload 100Byte를 25개의 센서노드가 나눠 가지는 방식을 설명한 그림이다. 각 노드는 전류 진동 절삭력 ID의 각 1Byte씩 총 4Byte를 생성하여 다음 노드로 전송한다. 따라서 최종적으로 25번 센서노드에서는 1~24번 센서노드의 정보가 최종적으로 모이게 된다.

그림 8은 위에서 제안한 라우팅 동작 1~7을 나타낸 그림이다.

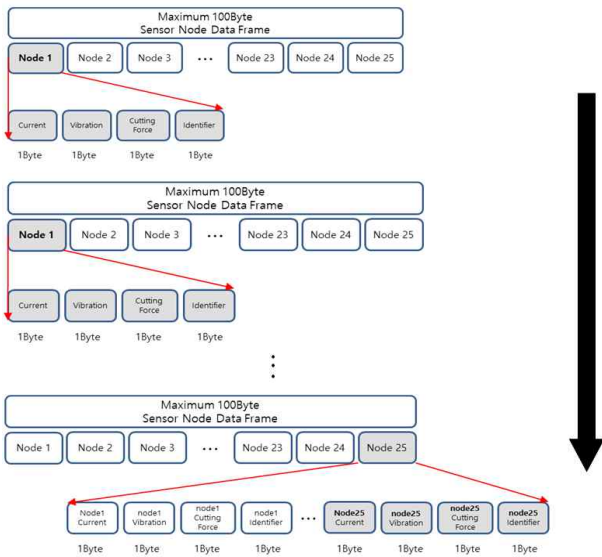


Fig. 7. Internal data frame transmission process of sensor node

그림 7. 센서노드의 내부 데이터 프레임전송 과정

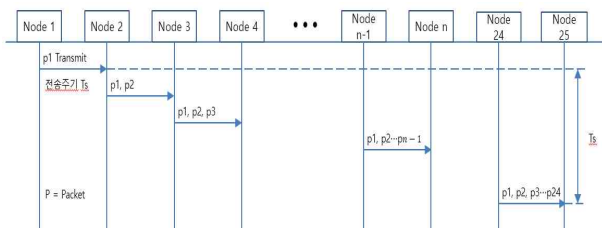


Fig. 8. Proposed wireless sensor network routing.

그림 8. 제안한 무선 센서 네트워크 라우팅

4. 센서 네트워크 임베디드 시스템 구현

센서노드의 신뢰성 있는 라우팅 관리 및 동작기 계로부터 상태정보를 수집하기 위한 임베디드 시스템(Embedded System)전용 보드를 설계하고 제작했다. 임베디드 시스템의 메인 프로세서는(Main Processor) STMicroelectronics사의 ARM Cotex-M3의 STM32F207GT6를 사용했다. 다음 그림 9와 표 3에서는 임베디드 시스템의 실제

보드에 무선통신 디바이스를 장착한 그림이며 임베디드 보드의 사양은 다음 표와 같다.

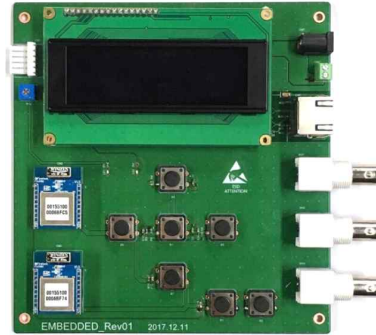


Fig. 9. Embedded board for wireless sensor network. 그림 9. 무선 센서 네트워크를 위한 임베디드 보드

Table 3. System Specification of Embedded Board.

표 3. 임베디드 보드의 시스템 사양

<b>Core</b>	ARM 32-bit Cortex-M3 STM32F207GT6, LQFP144
<b>Debugger/Programmer</b>	ST-LINK/V2-1
<b>Input Voltage</b>	LD1117S50TR, Max. 15V
<b>ADC Input</b>	3 BNC Connector(13.1/50Ω)
<b>Ethernet</b>	10/100 Ethernet RJ45
<b>WSN Device</b>	Firmtech, FZ760BZ Embedded Module
<b>Wireless standard</b>	IEEE 802.15.4 MAC
<b>Wireless device</b>	FZ760BC, Firmtech Co., Ltd.
<b>Communication distance</b>	>120m
<b>Frequency Range</b>	2.4GHz ISM Band

IV. 성능평가

1. 실험절차 및 조건

가. 실험절차

본 절에서는 제안한 네트워크 EtherCAT 통신방식을 응용한 무선 센서 네트워크의 라우팅 방식의 성능평가를 위한 실험절차를 설명한다. 전체 실험절차는 다음과 같다.



단일 Branch를 구성하고 본 논문에서 제안하는 EtherCAT 통신방식을 응용한 네트워크 라우팅 방식을 적용하여 네트워크 성능에 대해 검증한다. 제한된 네트워크 라우팅 방식의 성능검증을 위해 비교 대상으로 동일한 조건의 단일 Branch에서 Ad-Hoc 무선 센서 네트워크에서 많이 사용되는 플러딩 방식과 비교한다. 성능검증은 싱크노드에서의 수신율을 신뢰성의 척도로 하며 전송지연시간에 따른 수신율을 확인한다. 두 가지 방법에 대해 측정하여 비교하며 다음과 같다.

먼저 Ad-Hoc 무선 네트워크에서 많이 사용되는 플러딩 방식을 이용하여 모든 센서노드에서 일정한 주기로 싱크노드로 송신한다. 다음으로 본 논문에서 제안한 방식을 사용하여 전송프레임을 공유하여 싱크노드로 송신한다. 이때 두 가지 방식에 따른 싱크노드에서 수신되는 전체 센서노드의 패킷을 확인하여 수신율을 측정한다. 또한 센서노드의 전송주기별로 수신율을 측정하여 전송주기에 따른 두 방식의 차이를 확인한다. 위 실험을 통해 측정된 수신율을 바탕으로 두 가지 라우팅 방식의 신뢰성에 대한 결과를 분석 한다. 만일 전송 중 지연시간 및 패킷의 충돌 등의 요인으로 인하여 싱크노드에서 각 센서노드의 패킷을 수신하지 못한다면 수신율은 감소할 것으로 예상된다.

다음으로 무선 네트워크 라우팅 방식의 성능평가를 위해 무선 센서노드로 구성된 Test Field를 구현하여 동일한 Test Field에서 두 가지 라우팅 방식을 실험한다.

나. 실험조건

본 실험은 동일한 센서노드의 개수와 배치로 구성된 Test Field에서 플러딩 방식과 본 논문에서 제안하는 라우팅 방식에 대해 신뢰성을 분석하는 것이 목적이다. 따라서 순수하게 라우팅 방식에 따른 패킷의 수신율을 바탕으로 네트워크 라우팅 방식의 신뢰성을 확인해야 한다. 그러므로 두 네트워크 라우팅 방식의 실험조건은 Test Filed의 구성 및 사용되는 센서노드의 개수, 전송주기 등 라우팅 방식을 제외한 모든 조건이 동일해야 한다.

두 실험 모두 무선 센서네트워크 디바이스는 FZ760BC를 사용하며 그림 9의 임베디드 보드를 이용하여 네트워크를 구축했다. 센서노드의 개수

는 15개로 설정했으며 이는 그림 4의 생산라인의 Network Field의 CNC장비의 수를 기준으로 하였다. 또한 라우팅에 있어서 패킷의 전송주기를 다르게 설정하여 전송주기별 특성을 그래프로 확인했다.

다음 표 4는 플러딩 방식과 본 연구에서 제안한 방식의 공통 실험조건이다.

Table 4. Wireless network routing experiment condition

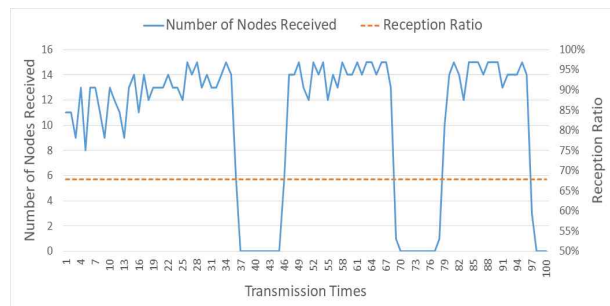
표 4. 무선네트워크 라우팅 실험조건

<b>WSN Device</b>	FZ760BC
<b>Baud Rate (bps)</b>	38400
<b>Number of Sensor Nodes</b>	15
<b>Transmission Period (ms)</b>	50, 75, 100, 150, 200, 250, 300, 400, 500
<b>Test Field Size (m x m)</b>	10m x 10m
<b>Distance between sensor nodes</b>	1.5m

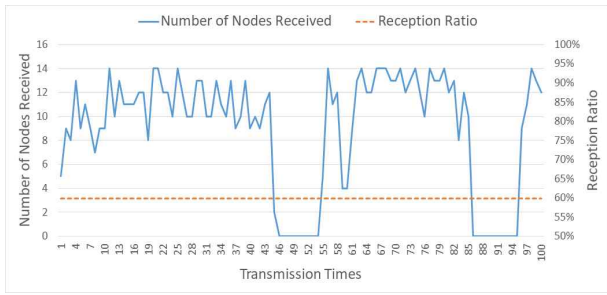
2. 실험결과

가. 플러딩 방식의 실험결과

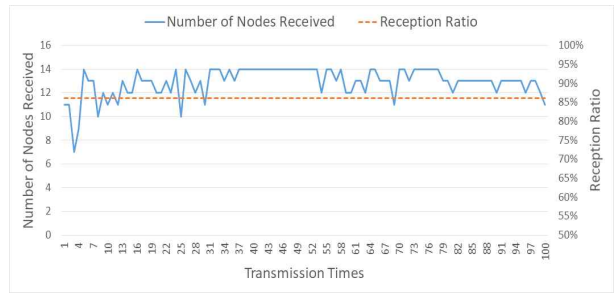
Test Field에서의 플러딩을 이용한 라우팅은 결과는 다음 그림 10과 같다. 전송주기 75, 100, 150, 200, 250, 300, 400에 따라 싱크노드를 제외한 나머지 센서노드들이 일정한 크기의 패킷을 싱크노드로 100회 송신한다. 즉, 전송주기 x 100회 의 패킷의 시간만큼 통신을 하며 이에 따른 전체 수신율 평균을 나타낸 것이다. 또한 그림 11는 플러딩 방식에서 전송주기에 따른 수신율을 나타낸다.



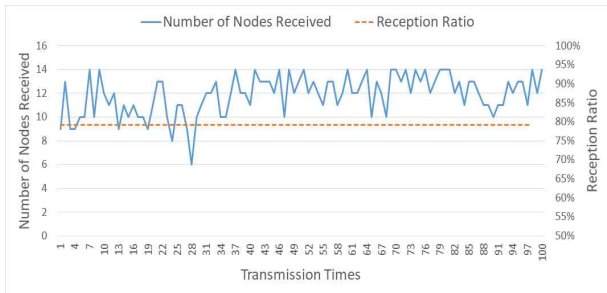
a) Flooding 75ms #1, 63%



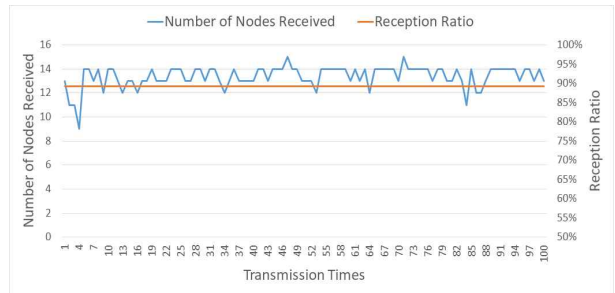
b) Flooding 75ms #2, 60%



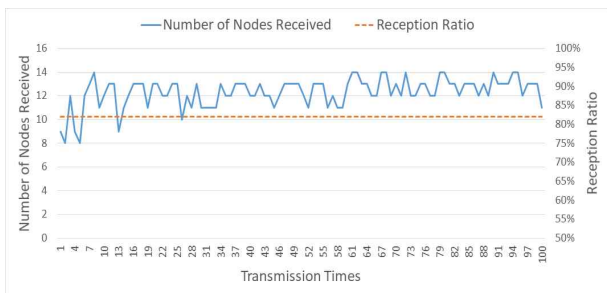
g) Flooding 300ms, 86%



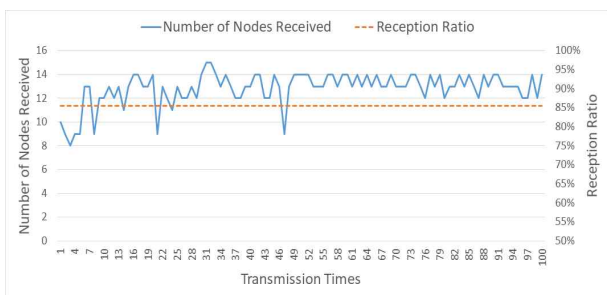
c) Flooding 100ms, 79%



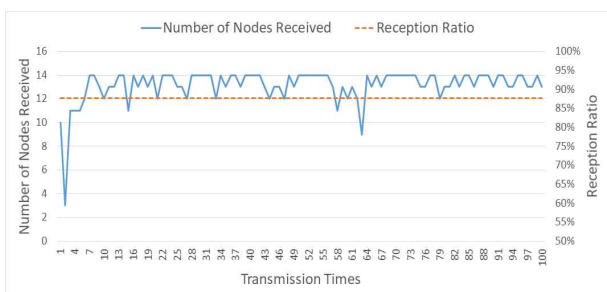
h) Flooding 400ms, 89%



d) Flooding 150ms, 82%



e) Flooding 200ms, 86%



f) Flooding 250ms, 88%

Fig. 10. reception ratio and the number of received nodes according to the number of transmissions in the flooding method.

그림 10. Flooding 방식에서의 전송횟수에 따른 수신율 및 수신 노드의 수

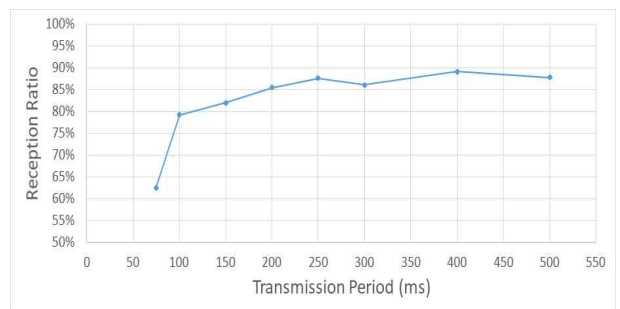


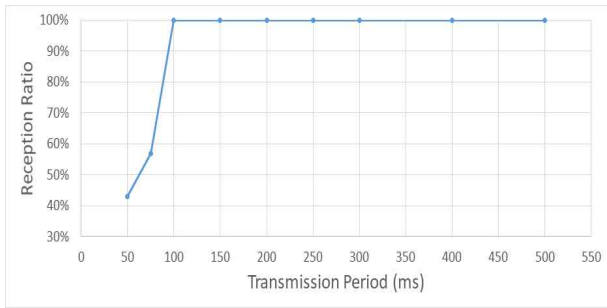
Fig. 11. Reception rate according to transmission period in flooding method.

그림 11. 플러딩 방식에서 전송주기에 따른 수신율

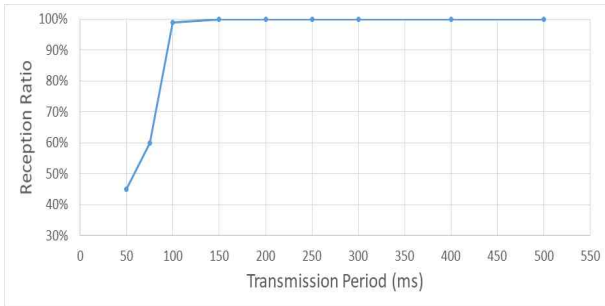
나. EtherCAT 통신방식을 응용한 라우팅 방식의 실험결과

Test Field에서의 EtherCAT 통신방식을 응용한 라우팅은 결과는 다음과 같다.

전송주기 50 ,75, 100, 150, 200, 250, 300, 400에 따라 EtherCAT Mater에 해당하는 본 실험에서의 시작노드(노드 1)가 위와 같은 전송주기별로 다음 노드로 패킷을 송신한다. 이에 모든 노드는 라우팅 규칙을 따라 차례로 싱크노드로 통신이 연결되며 전송주기별 수신율은 다음 그림 12과 같다.



a) Test #1



b) Test #2

Fig. 12. Receive rate of routing applying EtherCAT communication method

그림 12. EtherCAT 통신방식을 응용한 라우팅의 수신율

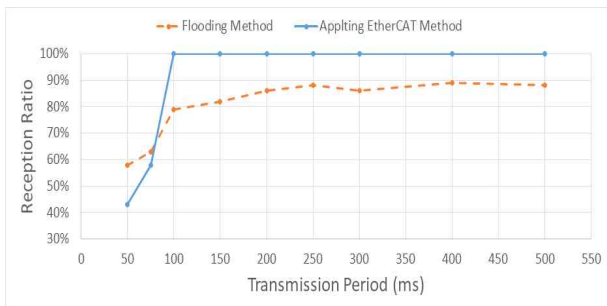


Fig. 13. Comparison of the reception ratio of routing applying the flooding method and the EtherCAT communication method.

그림 13. 플러딩 방식과 EtherCAT 통신방식을 응용한 라우팅의 수신율 비교

다. 라우팅 특징 분석

위의 2가지 라우팅 방식에 대한 실험 결과의 분석은 다음과 같다.

먼저 Flooding 방식의 경우 전반적으로 전송주기에 따라 수신율이 증가한다. 이는 전송주기가 커지면서 충돌을 회피할 시간적 여유가 증가하여 나타나는 결과이다.

또한 15개의 센서노드의 패킷 전송의 시작은 동기화가 되어있다. 따라서 Transmission Times의

초기 단계에서는 모든 센서노드가 싱크노드로 패킷을 송신하기 때문에 채널에서의 센서노드의 충돌이 많이 발생하여 수신율이 낮음을 확인할 수 있다. 하지만 자체적인 CSMA/CA 알고리즘에 의한 Random Backoff time에 의해 시간이 지날수록 어느 정도의 안정성을 찾아감을 확인할 수 있다. 또한 전송주기 75ms의 실험에서는 모든 센서노드의 패킷이 규칙적으로 싱크노드에서 수신되지 못함을 확인할 수 있다. 이는 센서노드 수 대비 전송주기가 짧아 과도한 충돌로 인하여 음영손실(Shadow Fading)이 발생되었다가 회복되었다가 하는 주기적인 형태를 보인다. 전체적인 주기에 따른 특성그래프를 확인한 결과 250ms이후로 수신율 86% 정도에 수렴함을 확인할 수 있다. 이는 다수의 센서노드에서 하나의 싱크노드로의 전송하기 때문에 어쩔 수 없이 발생하는 손실이다. 이는 센서노드를 많이 증가시킬수록 더욱더 크게 발생한다.

다음은 EtherCAT 통신방식을 응용한 라우팅 방식은 Flooding 방식과 비교하여 전송주기에 상관없이 높은 수신율을 확인할 수 있다. 100ms를 기준으로 두 번의 실험 모두 100%의 수신율을 가진다. 이는 라우팅 방식의 특성상 노드간의 전송주기와 순서를 결정하므로 전송간 패킷의 충돌이 발생하지 않는다. 반면 전송주기가 낮아지면 Flooding 방식에 비해 수신율이 더욱 낮아짐을 확인할 수 있다. 이는 크기가 작은 패킷을 주기에 따라 송신하는 Flooding 방식에 비해 큰 데이터 Payload 프레임의 크기를 송신을 하므로 센서노드간의 RF, 즉 물리적인 전송시간이 증가한다. 이에 있어 낮은 전송주기에 민감함을 확인할 수 있다. 이러한 물리적인 전송시간만 보장이 된다면 본 논문에서 제안한 방식은 높은 수신율을 보장할 수 있다.

V. 결론 및 추후과제

본 논문에서는 다수의 동작기계가 배치되어 있는 생산라인과 같은 산업현장에서 모니터링을 위하여 사용되는 Ethernet 및 RS-485등 유선네트워크를 무선네트워크로 대체하기 위한 무선 라우팅 방식을 연구했다. 따라서 넓은 통신 범위와 무선 센서 네트워크(WSN)망을 구축하기 위해 IEEE

802.15.4표준을 기반으로 하는 네트워크 디바이스를 이용하여 Ad-Hoc 무선통신망을 구축했다. 하지만 본 연구의 목표인 유선네트워크를 무선으로 대체하기 위해서는 많은 제약이 존재한다. 그 중 무선네트워크의 데이터 통신 속도는 유선네트워크에 비해 현저하게 떨어지며 신뢰성 또한 결여되는 문제가 존재한다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 Ethernet에 실시간성과 신뢰성을 추가한 EtherCAT 통신방식을 무선네트워크 라우팅 방식에 응용하여 위와 같은 문제점을 해결했다. EtherCAT 통신방식은 EtherCAT Master가 생성한 데이터 프레임이 출발하여 네트워크에 연결되어 있는 모든 Slave 노드를 차례로 지나면서 패킷의 교환이 이루어진다. 이로 인해 모든 모드는 패킷의 전송에 있어 순서와 규칙을 가지게 된다. 이러한 EtherCAT의 통신방식을 Ad-Hoc 무선 네트워크 라우팅 방식에 적용하여 기존의 Ad-Hoc 무선네트워크에서 많이 사용되는 Flooding 방식과 비교 및 특징 분석을 하여 실험을 통해 신뢰성의 차이를 확인했다.

두 방식 모두 싱크노드 포함 16개의 센서노드로 실험을 했으며 전송주기의 차이를 두어 싱크노드로 전송되는 센서노드의 패킷을 확인했다. 그 결과 두 방식 모두 전송주기를 높일수록 싱크노드에서의 수신율을 올라감을 확인할 수 있었다.

Flooding 방식의 경우 전송주기 75ms를 기준으로 수신율이 약 60%에서 전송주기의 증가에 따라 수신율 또한 증가함을 보였으나 250ms 기준으로 약 86%정도에 수렴함을 확인할 수 있었다. 하지만 EtherCAT 통신방식을 응용하여 제안한 라우팅 방식의 경우 전송주기 100ms를 기준으로 전송주기의 증가에 관계없이 수신율이 약 100%에 도달함을 확인할 수 있다. 즉 100ms 이상의 전송주기에서는 100%의 신뢰성을 확인할 수 있다.

따라서 본 연구에서의 제안한 EtherCAT 통신방식을 응용한 라우팅 방식의 수신율을 통한 신뢰성을 Flooding 방식과 비교하여 신뢰성 측면에서 우수함을 확인할 수 있다. 또한 중 소형의 무선네트워크 망에서의 라우팅 방식의 적용을 기대할 수 있다.

추후 연구에는 센서노드의 수를 증가시켜 다수의 네트워크에서 신뢰성을 검증해야 할 것이며 센서노드들 간의 거리 또한 증가시켜야 할 것이다.

추가적으로 하나의 싱크노드에 이와 같은 동작을 하는 네트워크를 Branch로 묶어 하나의 생산라인에 적용시키며 다수의 Branch를 다수의 생산라인에 적용하여 정보를 수집하는 연구가 진행되어야 할 것으로 생각한다. 라우팅 경로가 단일이므로 단일 전송 경로중 하나의 센서노드가 이상이 발생하여 통신에 참여를 하지 못할 경우 시스템이 끊어지는 경우가 발생할 수 있어 센서노드 관리가 중요하다 따라서 이러한 경우를 방지하기 위하여 전송경로를 복수로 설정하여 센서노드의 이상으로 전송경로를 유지하는 추가적인 방법이 보완되어야 할 것이다.

## References

- [1] J.H. Jeon, J.S. Cheol, "Efficient Packet Transmission Mechanism for Multi-hop Wireless Sensor Networks," *j.inst.Korea Multimedia Society*, vol. 18, no. 4, pp. 492-498, 2015. DOI : 10.9717/kmms.2015.18.4.492
- [2] H.Y. Kim, S.C. Kim, J.H. Jeon et al, "Traffic Adaptive Wakeup Control Mechanism in Wireless Sensor Networks," *j.inst.Korea multimedia society*, vol. 17, no. 6, pp. 681-686, 2014. DOI : 10.9717/kmms.2014.17.6.681
- [3] H. Y. Kim, S. C. Kim, J.H. Jeon et al, "Industrial Internet of Things Market Forecast and Technology Trend," *j. inst. Korea multimedia society*, vol. 17, no. 6, pp. 681-686, 2014.
- [4] *Dictionary of Defense Scientific and Technical Terms*, Defense Agency of Technology and Quality, 2011.
- [5] S.Y. NI, Y.C. Tseng, Y.S. Chen, et al, "The Broadcast Stoem problem in a mobile ad hoc network," in *Proc. of the 1999 Fifth Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking*, 2002, pp. 151-162. DOI:10.1145/313451.313525
- [6] IEEE, Part 15.4: *Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specification for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (WPANs)*, IEEE std 802.15.4a, 2007.

- [7] S.H. Han, C.S. No, S.J. Park, "Ubiquitous-based Information Technology and Wireless Network Technology Trend," *j.inst.Korean society of machine tool engineers*, vol. 14, bo. 2, pp. 27-33 2005.
- [8] N.I. Kim, Y.S. Hwang, E.B. Kim, "Enhanced CSMA/CA Protocol for multi-hop wireless Ad-hoc networks," *j.inst.Institute of electronics engineers of korea*, vol. 26 no. 2, pp. 231-234, 2003.
- [9] K.W. Kim, S.H. Bae, D.I. Kim, "An Improved Message Broadcast Scheme over Wireless Sensor Networks," "*j.inst.Korean Institute of Communications and Information Sciences*," Vol. 5, No. 6, pp. 588-594, 2010.
- [10] S.Y. Choi, J.S. Kim, K.Y. Jung, et al. "Dynamic Single Path Routing Mechanism for Reliability and Energy-Efficiency in a Multi Hop Sensor Network," *j.inst.Korea contents association*, vol. 9, no. 9, pp. 31-40, 2009.  
DOI: 10.5392/JKCA.2009.9.9.031
- [11] G.C. Wang, T.Y. Kim, G.H. Cho, "An Efficient Flooding Scheme using Clusters in Mobile Ad - Hoc Networks," *j.inst. KISS : Information Networking*, vol. 32, no. 6, pp. 696-705, 2005.
- [12] C. Jaegal and C.W. Lee, "An Efficient Flooding Algorithm for Position-based Wireless Ad hoc Networks," *j.inst.Electronics engineers of korea - telecommunications*, vol. 45, no. 10, pp. 17-28, 2008. DOI: 10.1109/ICCIT.2008.220
- [13] C.J. An, H.C. Yi, H.W. Kim et al. "Improving Packet Loss Rate of EtherCAT Master Dependent on Hardware Performance," *j.inst.Korean institute of information technology*, vol. 13, no. 4, pp. 77-83, 2015.  
DOI :10.14801/jkiit.2015.13.4.77
- [14] D.G. Kim, Y.H. Jo, D.I. Lee, "Analysis of Transmission Delay and Fault Recovery Performance with EtherCAT for In-Vehicle Network," *The Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences*, vol. 37, no. 11, pp. 1036-1044, 2012.  
DOI : 10.7840/kics.2012.37C.11.1036

## BIOGRAPHY

### Jeong-Hyeon Park (Member)



2016 : BS degree in Electrical Engineering, Inje University.  
2016~present : MS degree in Electronic & Telecommunication Engineering, Inje University

### Chang-Jun Seo (Member)



1989 : BS degree in Electrical Engineering, Kyungpook University.  
1991 : MS degree in Electrical and Electronic Engineering, KAIST.

1996 : PhD degree in Electrical and Electronic Engineering, KAIST.  
1996~present : Professor, Dept. of Electronic & Telecommunication Engineering, High Safety Vehicle Core Technology Research Center, Inje University.