creative commons
COMMONS DEED

저작자표시 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이차적 저작물을 작성할 수 있습니다.
- 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:

저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 이용허락규약(Legal Code)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

Disclaimer

dCollection

공 학 석 사 학 위 논 문

Wi-Fi와 IEEE 802.15.4를 지원하는 지능형 컨테이너용 네트워크 디바이스

2011년 2월

부 경 대 학 교 대 학 원

정 보 통 신 공 학 과

박 태 진

공 학 석 사 학 위 논 문

Wi-Fi와 IEEE 802.15.4를 지원하는 지능형 컨테이너용 네트워크 디바이스

지도교수 주 문 갑

이 논문을 공학석사 학위논문으로 제출함.

2011년 2월

부 경 대 학 교 대 학 원

정 보 통 신 공 학 과

박 태 진

박태진의 공학석사 학위논문을 인준함

2011년 2월 25일

주 심 공학박사 류 지 열 (印)

위 원 공학박사 이 원 창 (印)

위 원 공학박사 주 문 갑 (印)

목 차

Ⅰ. 서론 1

1.연구 동향 3
2.지능형 컨테이너 시스템 4
3.항만환경에서 네트워크 디바이스의 Wi-Fi 지원 필요성 8

Ⅱ. 네트워크 디바이스의 하드웨어 10

1.하드웨어 개요 10
2.실제 하드웨어 구현 12

Ⅲ. 네트워크 디바이스의 소프트웨어 16

1.소프트웨어 개요 16
2.TinyOS를 이용한 프로그램 구현 18
가.TinyOS의 특징 18
나.nesC 프로그래밍 20
다.네트워크 디바이스 프로그램 구현 22

Ⅳ. 실험결과 24

1.통신 변환 테스트 24
2.네트워크 디바이스의 Wi-Fi 거리 측정 29
3.네트워크 디바이스의 사용 전류 측정 33

Ⅴ. 결론 38

Ⅵ. 참고 문헌 40

Ⅶ. 부록 42

그 림 목 차

[그림 1-1] 지능형 컨테이너 시스템의 일반적 구성 4
[그림 1-2] 육송환경에서의 지능형 컨테이너 시스템 5
[그림 1-3] 항만환경에서의 지능형 컨테이너 시스템 6
[그림 1-4] 선박환경에서의 지능형 컨테이너 시스템 7
[그림 1-5] 제안한 항만환경의 지능형 컨테이너 시스템 9
[그림 2-1] 네트워크 디바이스의 블록 다이어그램 11
[그림 2-2] 실제 구현한 네트워크 디바이스 14
[그림 2-3] 네트워크 디바이스 목업 14
[그림 2-4] 네트워크 디바이스의 컨테이너 설치 15
[그림 3-1] 네트워크 디바이스의 동작 순서도 17
[그림 3-2] TinyOS의 커널 스케줄러 19
[그림 3-3] 컴포넌트와 인터페이스 연결 예 21
[그림 3-4] TinyOS 기반의 네트워크 디바이스 프로그램 23
[그림 4-1] 네트워크 디바이스의 전송 패킷 24
[그림 4-2] 지능형 컨테이너의 DCP(Data Consolidation Point) 26
[그림 4-3] 네트워크 디바이스 전송 패킷 확인 28
[그림 4-4] 항만환경의 Wi-Fi AP(Access Point) 29
[그림 4-5] Wi-Fi 거리 테스트 환경 31
[그림 4-6] Wi-Fi 거리 테스트 결과 32

[그림 4-7] 전류 측정 환경 33
[그림 4-8] Wi-Fi 상태에 따른 전류 변화 34
[그림 4-9] 전류 변화 측정 결과 35
[그림 4-10] 패킷 전송 주기에 따른 평균 전류 36

표 목 차

[표 2-1] 무선 센서 노드 10
[표 2-2] Telos 플랫폼의 동작 특성 12
[표 2-3] G2M5477 Wi-Fi 모듈의 동작 특성 13
[표 4-1] ipTIME N504의 사양 30
[표 4-2] 통신 모듈에 따른 전류 37

PUKYONG NATIONAL UNIVERSITY 부경대학교

Network Device for Intelligent Container Supporting Wi-Fi and IEEE 802.15.4

Tai-Jin Park

Department of Telecommunication Engineering, The Graduate School,
Pukyong National University

Abstract

Intelligent container system is the state-of-the-art container system which prevents danger beforehand by monitoring status of freight inside the container in real time, and warns the danger immediately when danger is detected. Network device installed in each container is composed of low-power MCU and RF chip, and delivers information of container in accordance with the IEEE 802.15.4. It has the advantage of operating on low-power, but there is a limit in transmitting data due to small transmission frame, and transmission rate falls down in case of being used in a Wi-Fi environment of port. In order to solve this problem, this paper suggests Network device which operates with low current by using TinyOS, and uses the communication method selected between Wi-Fi communication and IEEE 802.15.4 communication according to the environment of communication.

Ⅰ. 서 론

전 세계 상품의 수송은 세계 경제에 가장 중요한 상업적 활동이다. 대부분의 컨테이너는 크고 표준화된 사이즈로 정형화되어 있고 도로, 레일, 운하와 바다로 보내기 위해 다른 플랫폼으로 꾸준히 화물을 싣거나 내리게 된다.

과거의 항만물류는 효율적인 물류처리에만 주력하였으나 최근의 항만물류는 효율성뿐만 아니라, 화물의 안전한 처리에도 관심을 많이 기울이고 있다. 특히, 미국의 9.11 테러 이후, 세계 항만 보안이 갈수록 강화되는 추세이며, 항만 안전이 항만브랜드 가치를 결정하는 중요한 요인으로 부각되고 있다. 이러한 규제 강화에 따라 새로운 진입장벽이 만들어지고 있으며, 여기에 누가 빨리 적응하여 시장을 선점하는가가 중요한 문제로 인식되고있다 [1][2].

이러한 변화에 대응하기 위해, 항만물류는 운송과정에서의 화물 추적 및 안전성 보장, 적기 수송, 보안 유지 등의 서비스를 제공할 수 있는 항만 시스템을 필요로 하게 되었다 [3].

지능형 컨테이너 시스템은 이러한 서비스를 제공하기 위한 것으로, 기존의 단순한 포장용기인 컨테이너에 IT기술을 접목하여, 컨테이너의 상태를 실시간으로 모니터링하고 위험이 감지되면 즉시 알려주는 최첨단의 컨테이너를 말한다. 지능형 컨테이너 시스템은 컨테이너의 위치, 컨테이너 내부의 온도와 습도, 충격 여부 등의 정보를 화주에게 제공한다 [4][5].

지능형 컨테이너는 각 컨테이너에 장착된 네트워크 디바이스를 통해 컨테이너의 정보를 전달한다. 기존의 네트워크 디바이스는 IEEE 802.15.4 기반의 Ad-Hoc 통신을 이용하여 정보를 전달하게 되는데, 항만의 Wi-Fi 환경에서 함께 사용시 전송률 저하가 발생하고 데이터 전송량의 한계가 있다.

그리고 항만에 이미 구축되어 있는 Wi-Fi를 이용하기 위해서 통신 프로토콜을 변환하는 기능을 가진 장비인 코디네이션 포인트를 필요로 한다 [6].

본 논문에서는 작은 전류를 사용하면서, 통신 환경에 따라 Wi-Fi 와 IEEE 802.15.4를 선택하여 사용하도록 함으로써, 항만의 Wi-Fi 환경에서 IEEE 802.15.4를 통한 데이터 전송시 발생하는 전송률 저하를 막고, 별도의 코디네이션 포인트 없이 항만의 Wi-Fi를 이용하여 컨테이너 정보를 제공할 수 있는 네트워크 디바이스를 구현한다 [7].

PUKYONG NATIONAL UNIVERSITY
부경대학교

1. 연구 동향

독일의 Bremen 대학에서는 센서노드, RFID 리더 노드, smart agent, 외부통신(UMTS, WLAN, GPRS), GPS로 지능형 컨테이너를 구성하였다. 이 시스템은 적재상품 내용을 RFID 리더를 통해 인식하고, 주로 컨테이너가 독립적으로 운송되는 육상 운송에서 서비스를 제공하는 것이 목적이다 [8].

미국의 MATTS는 미 국토안보부가 2003년부터 글로벌 물류보안을 확보하기 위해 icontrol이라는 벤처 기업과 계약을 통해 컨테이너 화물의 장거리 추적을 위한 시스템으로 통신 능력의 검증 실험이 진행 중에 있다.

국내에서는 2007년부터 진행되고 있는 USN 시범사업의 일환으로 관세청이 주관하는 “수출입 업체 경쟁력 강화를 위한 통관 화물 보안 시스템 및 국가 간 자료 교환 시스템 구축사업”과 해양수산부에서 주관하는 “RFID/USN 기반 u-Port 구축사업”, 지식경제부에서 주관하는 “컨테이너화물 안전수송 기술개발사업” 등이 있다. 이들 사업은 IEEE 802.15.4 표준을 기반으로 한 센서네트워크와 외부통신 기술을 이용하여, 항만 및 육상 운송 환경에서의 정보제공서비스를 하는 것이 목적이다 [9].

2. 지능형 컨테이너 시스템의 구성

지능형 컨테이너 시스템은 일반적으로 [그림 1-1]과 같이 각각의 컨테이너에 장착되는 네트워크 디바이스와 네트워크 디바이스로부터 받은 컨테이너 정보를 확인하고 인터넷의 수요자에게 전달하는 코디네이션 포인트, 지능형 컨테이너 데이터 서버, 수요자로 구성된다.

네트워크 디바이스는 각 컨테이너에 설치되는 장치로서, 컨테이너 내부의 측정 장비인 컨트레이서에서 전달되는 컨테이너의 위치, 내부 온도 및 습도, 충격 여부, 개방 여부 등의 정보를 코디네이션 포인트로 전달하는 기능을 한다.

코디네이션 포인트는 네트워크 디바이스로부터 전달받은 컨테이너의 정보를 확인하고 이를 지능형 컨테이너 데이터 서버에 전송하고 수요자는 지능형 컨테이너 데이터 서버를 이용하여 컨테이너 정보를 제공 받는다.

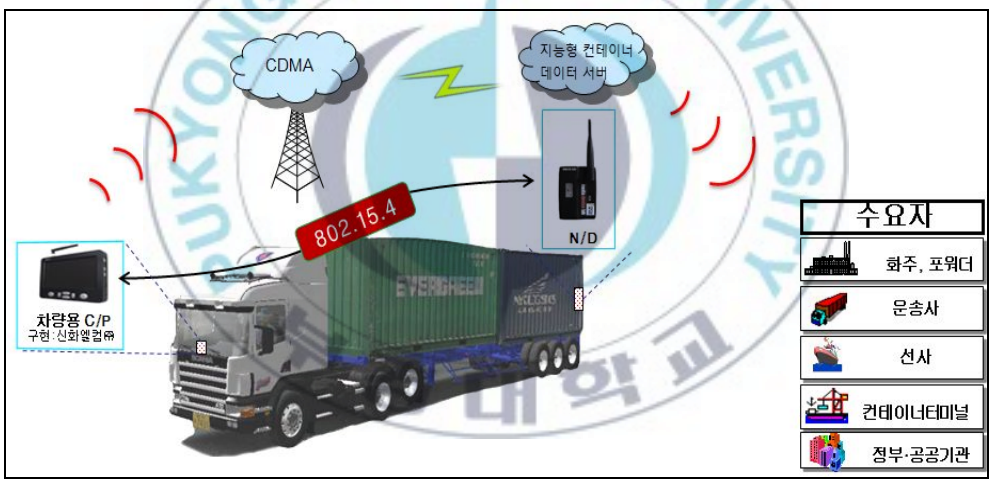
코디네이션 포인트는 컨테이너의 적치환경에 따라 통신방식의 차이가 있는데, 이 차이에 따라 크게 육송환경, 항만환경, 선박환경으로 나누어진다.

[그림 1-1] 지능형 컨테이너 시스템의 일반적 구성

육송환경에서 지능형 컨테이너 시스템은 [그림 1-2]와 같이 컨테이너에 장착되는 네트워크 디바이스와 차량에 장착되는 육송용 코디네이션 포인트로 구성된다.

육송용 코디네이션 포인트는 네트워크 디바이스로부터 전달받은 정보의 유효성을 검사하고, CDMA 통신을 이용하여 지능형 컨테이너 데이터 서버에 전송한다.

수요자는 지능형 컨테이너 데이터 서버를 이용하여 컨테이너의 정보를 확인한다.



[그림 1-2] 육송환경의 지능형 컨테이너 시스템

항만환경에서 지능형 시스템은 [그림 1-3]과 같이 네트워크 디바이스, 항만용 코디네이션 포인트, Wi-Fi AP(Access Point), 그리고 지능형 컨테이너 데이터 서버로 구성된다. 네트워크 디바이스는 ad-hoc 통신을 이용하여 각각의 컨테이너 정보를 코디네이션 포인트로 전달한다. 코디네이션 포인트는 전달 받은 정보의 유효성을 검사하고, Wi-Fi를

이용하여 지능형 컨테이너 데이터 서버에 전달하게 된다.

수요자는 지능형 컨테이너 데이터 서버를 이용하여 컨테이너의 정보를 확인한다.

[그림 1-3] 항만환경의 지능형 컨테이너 시스템

선박환경에서 지능형 시스템은 [그림 1-4]와 같이 네트워크 디바이스, 선박용 코디네이션 포인트로 구성된다. 선박용 코디네이션 포인트는 네트워크 디바이스로부터 전달 받은 정보의 유효성을 검사하고, 위성 통신를 통해 지능형 컨테이너 데이터 서버에 전송한다.

수요자는 지능형 컨테이너 데이터 서버를 이용하여 컨테이너의 정보를 확인한다.

[그림 1-4] 선박환경의 지능형 컨테이너 시스템

PUKYONG NATIONAL UNIVERSITY
부경대학교

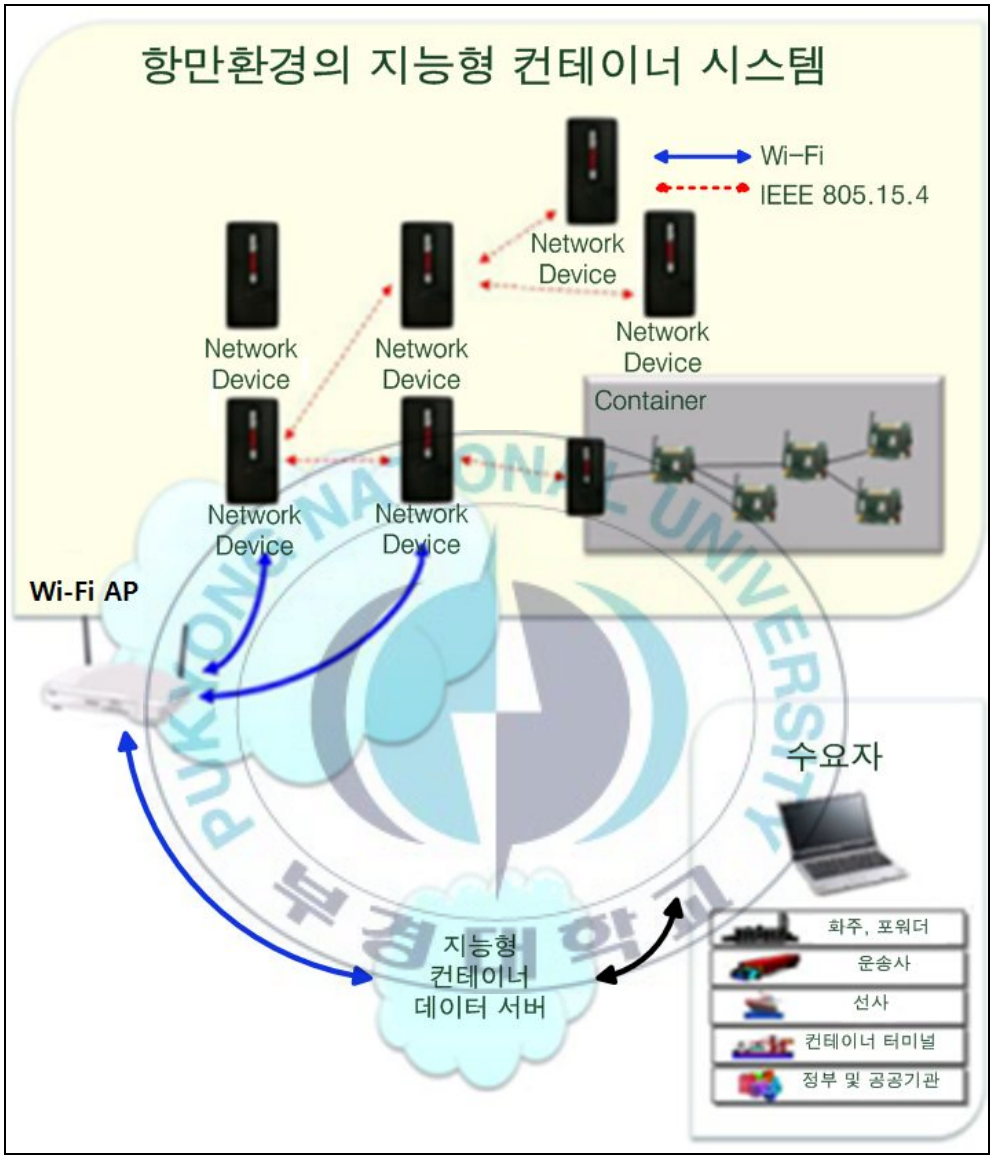
3. 항만환경에서 네트워크 디바이스의 Wi-Fi 지원 필요성

항만환경에서 네트워크 디바이스는 IEEE 802.15.4 기반의 Ad-hoc 통신을 이용하여 컨테이너 정보를 전달하게 된다.

네트워크 디바이스는 IEEE 802.15.4 기반으로 통신을 사용함으로써 작은 전류를 사용하고, ARQ(Automatic Repeat reQuest)를 통한 높은 신뢰성과 오류제어 능력을 가진다는 장점이 있으나, 최대 250Kbps의 낮은 전송속도와 작은 전송 프레임으로 인해 데이터 전송에 한계가 있고, 특히 항만의 Wi-Fi 환경에서 함께 사용시 전송률 저하가 발생하는 단점이 있다. 그리고 항만환경에 설치되어 있는 Wi-Fi를 이용하기 위해서 통신 프로토콜을 변환하는 별도의 코디네이션 포인트를 필요로 하게 된다 [10].

이러한 문제를 해결 해결하기 위해, 네트워크 디바이스가 통신 환경에 따라 Wi-Fi와 IEEE 802.15.4를 선택하여 사용함으로써, 항만환경의 Wi-Fi에 의한 IEEE 802.15.4의 전송률 저하를 막고, 별도의 코디네이션 포인트 없이 인터넷 기반의 수요자에게 컨테이너 정보를 제공할 수 있도록 한다. [그림 1-5]는 제안한 네트워크 디바이스를 사용하여 구성한 항만환경의 지능형 컨테이너 시스템이다.

네트워크 디바이스는 컨테이너 정보를 Wi-Fi 또는 IEEE 802.15.4를 통해 전송하게 되는데, 주위에 접속 가능한 Wi-Fi AP가 존재하는 경우 Wi-Fi AP에 직접 접속하여 전송을 하고, 접속 가능한 Wi-Fi AP가 존재하지 않는 경우에는 IEEE 802.15.4를 이용하여 컨테이너 정보를 전송하게 된다.



[그림 1-5] 제안한 항만 환경의 지능형 컨테이너 시스템

Ⅱ. 네트워크 디바이스 하드웨어 구성

1. 하드웨어 개요

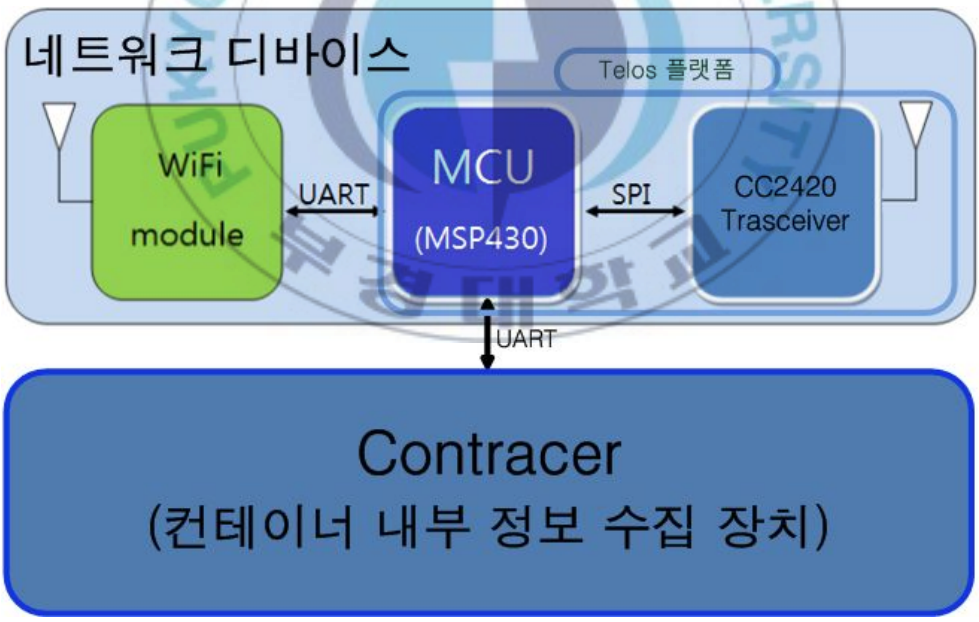
지능형 컨테이너 시스템의 네트워크 디바이스는 별도의 전원공급 없이 배터리만으로 오랜 시간 동작해야 하며, 낮게는 - 30 ℃ 에서 높게는 80 ℃ 에 이르는 혹독한 환경에서도 동작해야 한다. 그리고 무선 통신 기능을 가져야 한다. 이는 일반적으로 쓰이는 무선 센서노드의 특성과도 일치한다. [표 2-1]은 일반적으로 쓰이는 무선 센서 노드들을 나타낸 것이다 [11].

[표 2-1] 무선 센서 노드

Mote Type Year	*WeC* 1998	*René* 1999	*René 2* 2000	*Dot* 2000	*Mica* 2001	*Mica2Dot* 2002	*Mica 2* 2002	*Telos* 2004
Microcontroller								
Type	AT90LS8535		ATmega163		ATmega128			TI MSP430
Program memory (KB)	8		16		128			60
RAM (KB)	0.5		1		4			2
Active Power (mW)	15		15		8		33	3
Sleep Power (μW)	45		45		75		75	6
Wakeup Time (μs)	1000		36		180		180	6
Nonvolatile storage								
Chip	24LC256				AT45DB041B			ST M24M01S
Connection type	I^2C				SPI			I^2C
Size (KB)	32				512			128
Communication								
Radio	TR1000				TR1000	CC1000		CC2420
Data rate (kbps)	10				40	38.4		250
Modulation type	OOK				ASK	FSK		O-QPSK
Receive Power (mW)	9				12	29		38
Transmit Power at 0dBm (mW)	36				36	42		35
Power Consumption								
Minimum Operation (V)	2.7		2.7		2.7			1.8
Total Active Power (mW)	24				27	44	89	41
Programming and Sensor Interface								
Expansion	none	51-pin	51-pin	none	51-pin	19-pin	51-pin	10-pin
Communication	IEEE 1284 (programming) and RS232 (requires additional hardware)							USB
Integrated Sensors	no	no	no	yes	no	no	no	yes

[그림 2-1]은 네트워크 디바이스의 블록도를 나타낸 것이다. 네트워크 디바이스는 컨테이너의 적치 환경 특성상 다수의 네트워크 디바이스가 밀집하게 되므로 네트워크 디바이스 간의 채널 혼선이 적고, 정보 전송 주기가 1 시간 정도로 길므로, 절전 모드에서 전력을 최소한으로 사용하고, O-QPSK변조 방식을 사용하여 다른 무선 센서 노드와의 간섭 영향을 가장 적게 받는 Telos 플랫폼에 Wi-Fi 모듈을 추가하여 구성하였다.

네트워크 디바이스는 컨테이너 내부 정보 수집 장치인 컨트레이서로부터 전달되는 정보를 받아 IEEE 802.15.4 또는 Wi-Fi를 통해 컨테이너 정보를 전달한다 [12].



[그림 2-1] 네트워크 디바이스의 블록 다이어그램

2. 실제 하드웨어 구현

[표 2-2]는 CC2420 transceiver와 MSP430로 구성된 무선센서노드인 Telos 플랫폼의 동작 특성을 나타낸다. Telos 플랫폼의 동작온도는 - 40 °C ~ 85 °C 이며, 전류소모량이 트랜시버를 사용하지 않고 MCU만이 대기모드로 동작 중일 때의 5.1 μA 에서 모든 기능이 활성화 되었을 때의 23 mA 까지 매우 작아 네트워크 디바이스로서도 적합하다.

[표 2-2] Telos 플랫폼의 동작 특성

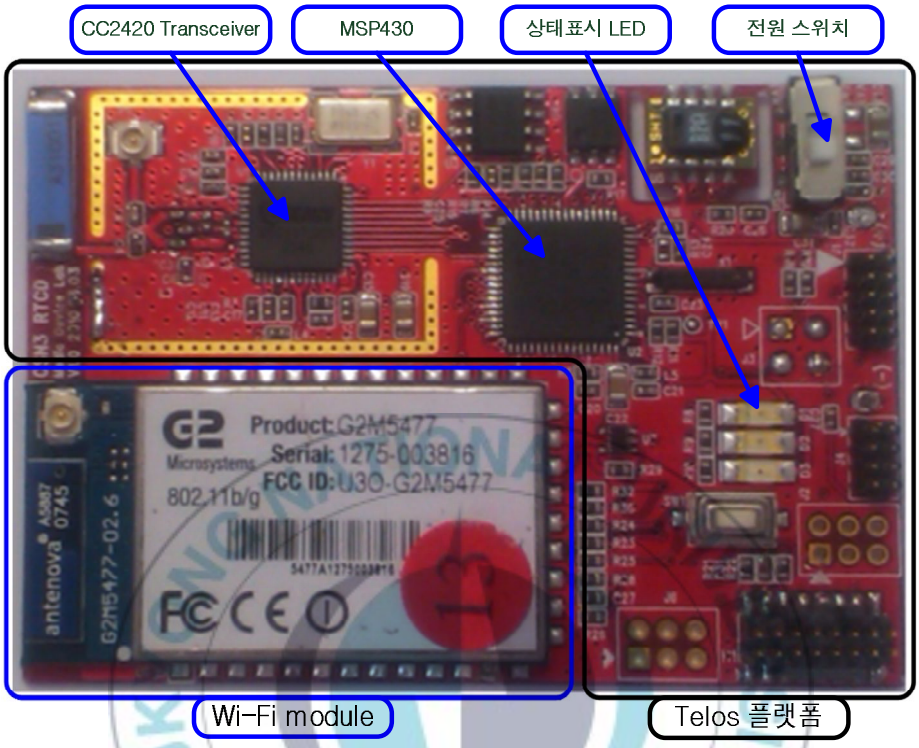
Telos mote (CC2420)	MIN	NOM	MAX	UNIT
Supply voltage	2.1		3.6	V
Supply voltage during flash memory programming	2.7		3.6	V
Operating free air temperature	-40		85	°C
Current Consumption: MCU on, Radio RX		21.8	23	mA
Current Consumption: MCU on, Radio TX		19.5	21	mA
Current Consumption: MCU on, Radio off		1800	2400	μA
Current Consumption: MCU idle, Radio off		54.5	1200	μA
Current Consumption: MCU standby		5.1	21.0	μA

[표 2-3]은 Wi-Fi 모듈로 사용한 G2 microsystems 사의 G2M5477의 동작 특성을 나타낸 것이다. G2M5477은 Wi-Fi 모듈로서는 드물게 - 30 °C ~ 85 °C 에서 동작하므로 혹독한 컨테이너 적치 환경에서도 사용이 가능하다. 그리고 전원 관리 기능을 지원하여, 다른 Wi-Fi 모듈에 비해 전류 소모량이 작아 배터리만으로 동작하는 네트워크 디바이스에 적합하다.

[표 2-3] G2M5477 Wi-Fi 모듈의 동작 특성

Environmental Conditions				
Parameter				
Temperature Range (Operating)	-30 °C ~ +85 °C			
Temperature Range (Storage)	-40°C ~ +85 °C			
Relative Humidity (Operating)	≤90%			
Relative Humidity (Storage)	≤90%			
Electrical Characteristics				
Supply Voltage	**Min**	**Typ.**	**Max.**	**Unit**
Supply Voltage VDD	3.0	3.3	3.7	VDC
Supply Voltage (VBATT option)	2.0	3.0	3.3	VDC
Pin 21 switched 3.3V output			150	ma
Digital Iinput				
Input logic HIGH VIH	2.3V			VDC
Input logic LOW VIL			1.0V	VDC
Digital Output drive				
PIO 4,5,6,7,8		24		ma
PIO 9,10,11,12,13		8		ma
Power consumption				
Standby (doze)	-	15	-	mA
Connected (idle, RX)		40		mA
Connected (TX)		140	212	mA

[그림 2-2]는 구현한 네트워크 디바이스를 나타내는 것으로, Wi-Fi 모듈인 G2M5477, IEEE802.15.4 트랜시버인 CC2420, 네트워크 디바이스의 통신 상태를 나타내는 상태표시 LED, 전원스위치 등으로 구성된다.



[그림 2-2] 실제 구현한 네트워크 디바이스

[그림 2-3]은 목업으로 후면에 자석을 이용하여 컨테이너에 부착하도록 구성하였다.

[그림 2-3] 네트워크 디바이스 목업

[그림 2-4]는 컨테이너에 설치된 네트워크 디바이스를 나타낸다. 네트워크 디바이스는 컨테이너 내부에 설치되며, 통신을 위한 안테나가 컨테이너의 경첩부를 통해 외부로 노출된다 [13].

[그림 2-4] 네트워크 디바이스의 컨테이너 설치

Ⅲ. 네트워크 디바이스의 소프트웨어

1. 소프트웨어 개요

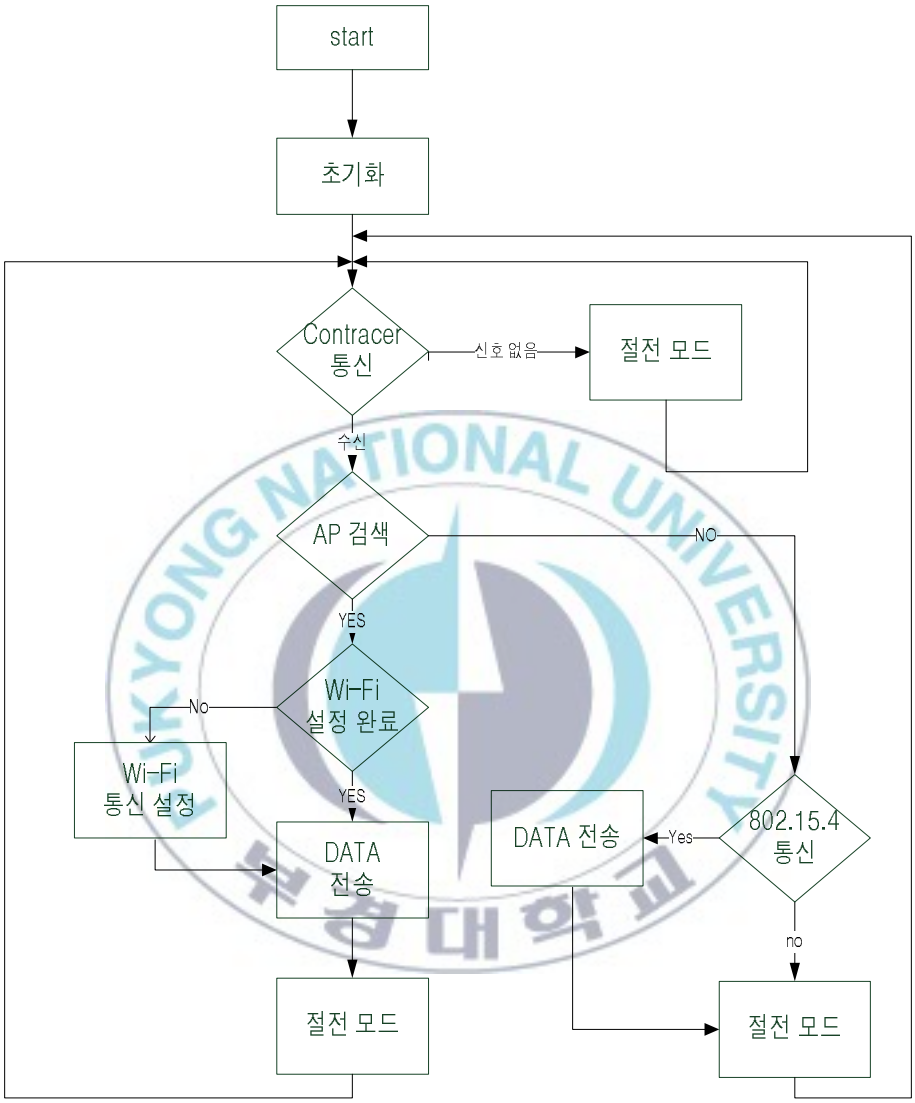
[그림 3-1]은 네트워크 디바이스의 동작 순서도를 나타낸 것으로, 네트워크 디바이스는 처음으로 전원이 인가되고 초기화가 이루어지면, 더 이상의 초기화 과정 없이, 동작 모드와 절전모드를 번갈아 가며 동작한다.

네트워크 디바이스는 일정 시간마다 컨트레이서를 호출하여 컨트레이서로부터 컨테이너 정보를 수신하고, 통신 방식을 선택하여 지능형 컨테이너 데이터 서버에 전달한다.

통신 방식의 선택은 접속 가능한 Wi-Fi AP의 유무를 통해 Wi-Fi의 가능 여부를 판단한다. Wi-Fi 사용이 가능한 경우 Wi-Fi를 통해 컨테이너 정보를 전송하고, Wi-Fi 사용이 불가능한 경우 IEEE 802.15.4 기반의 Ad-Hoc 통신을 통해 정보를 전송하게 된다.

네트워크 디바이스는 통신 방식을 선택하여 컨테이너 정보를 전송함으로써, Wi-Fi 환경에서 IEEE 802.15.4 기반의 Ad-Hoc 통신의 전송률이 저하되는 것을 피하고, 코디네이션 포인트 없이도 항만에 구축되어 있는 Wi-Fi를 사용할 수 있도록 하였다.

네트워크 디바이스의 소프트 웨어는 무선센서노드에서 일반적으로 사용하는 TinyOS를 이용하여 구현하였다.



[그림 3-1] 네트워크 디바이스의 동작 순서도

2. TinyOS 를 이용한 프로그램 구현

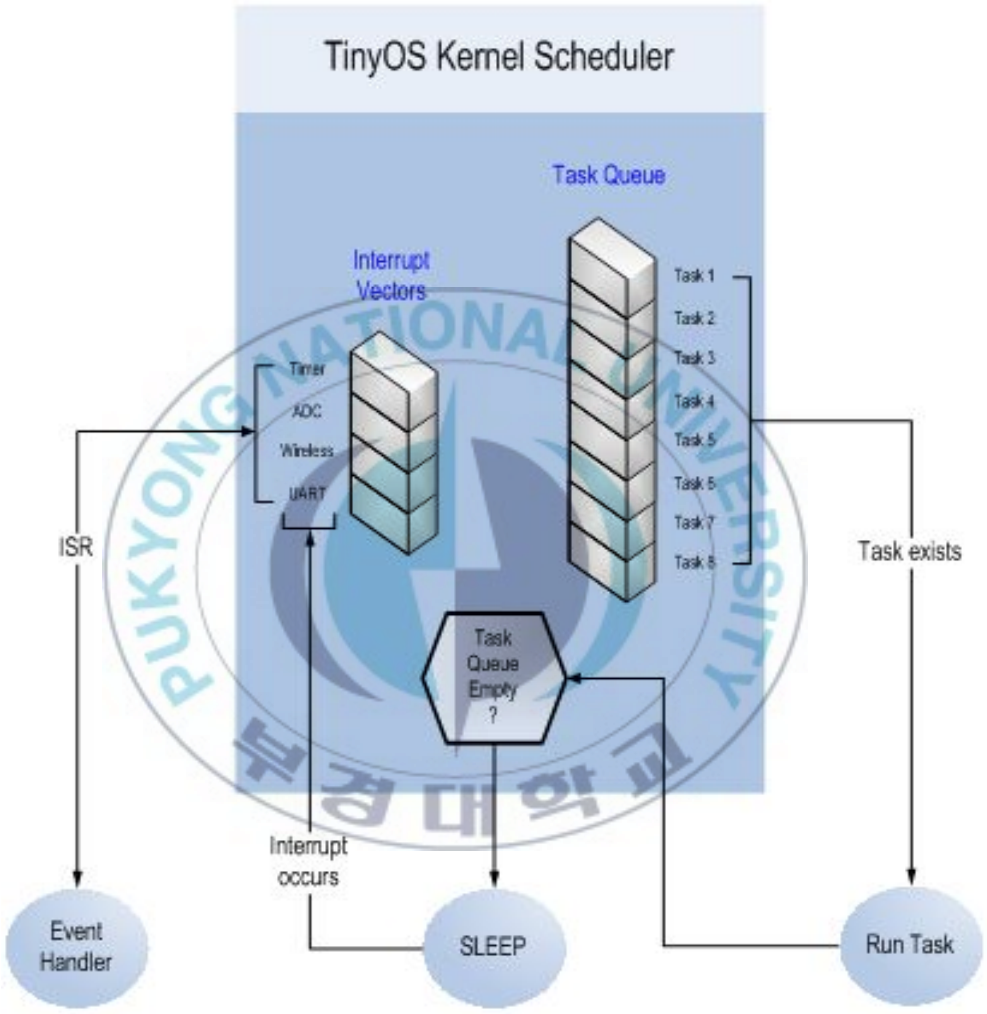
가. TinyOS 의 특징

TinyOS는 오픈 소스 운영체제로 컴포넌트 기반의 nesC 언어로 작성되어 있어, 코드 크기를 줄이면서 센서네트워크 하드웨어 제약에 효과적으로 대처하고, 컴포넌트의 재활용을 통해 개발과정을 단축시키는 이점을 갖는다. 그리고 컴파일 과정에서 하드웨어 동작 시에 발생할 수 있는 에러를 체크할 수 있도록 만들어져 있어, 무선 센서 노드와 같이 한정된 개수의 간단한 주변 디바이스를 갖는 경우, nesC로 만들어진 컴포넌트는 소프트웨어의 동작상태에서의 오류를 컴파일 단계에서 체크하고 이를 방지할 수 있는 장점이 있다.

TinyOS는 기존의 PC용이나 임베디드 시스템용 OS들과 다르게 한 번에 하나의 어플리케이션만을 실행한다. 기본적으로 TinyOS는 센서로부터 데이터를 취득하여 무선 네트워크로 전송하는 간단한 동작을 담당하기 때문에, TinyOS의 설계 단계에서 전원 소모와 메모리 소모가 많아지게 할 수 있는 여러 개의 어플리케이션이 동시에 동작되는 기능은 제외하였다. 다만, 여러 가지 기능을 동시에 동작시키고자 할 때에는 하나의 어플리케이션에 아주 작은 단위로 동작을 세분화하여 태스크 형태로 동작시킨다.

TinyOS의 동작은 커널 스케줄러에 의한 task 처리를 통해 이루어진다. [그림 3-2]는 TinyOS의 커널 스케줄러를 나타낸 것이다. 커널 스케줄러는 Task Queue와 Interrupt Vector를 가지고 있다. Task Queue에 처리 할 task가 있다면 task를 FIFO 방식으로 처리하며, task 실행이 모두 끝나 Task Queue가 비워지면 sleep 상태로 들어가고, Interrupt가 발생할

때까지 sleep 상태를 유지한다 [14].



[그림 3-2] TinyOS의 커널 스케줄러

나. nesC 프로그래밍

nesC는 C와 동일한 문법을 따르고 있고, nesC에 추가된 개념이 컴포넌트와 인터페이스이다.

컴포넌트는 소프트웨어를 개발할 때 사용되는 일종의 부품으로, 각각의 컴포넌트는 고유의 하드웨어의 기능을 포함한다. 예를 들어, LED를 제어하는 기능이 필요하다면 해당 컴포넌트인 LedsC를 사용하면 된다.

nesC 프로그래밍은 이러한 컴포넌트들을 연결하여 원하는 기능의 소프트웨어를 만들어가는 방식을 취하는데, 사용하는 컴포넌트들 간에는 인터페이스를 사용하여 연결한다.

컴포넌트는 *.nc 파일의 형태로 존재하며, Module과 Configuration으로 구분된다. Module은 실제 실행되는 코드인 함수가 존재하는 파일로 여러 개의 함수를 지원하며, 인터페이스를 통해 해당 함수들이 구현된다.

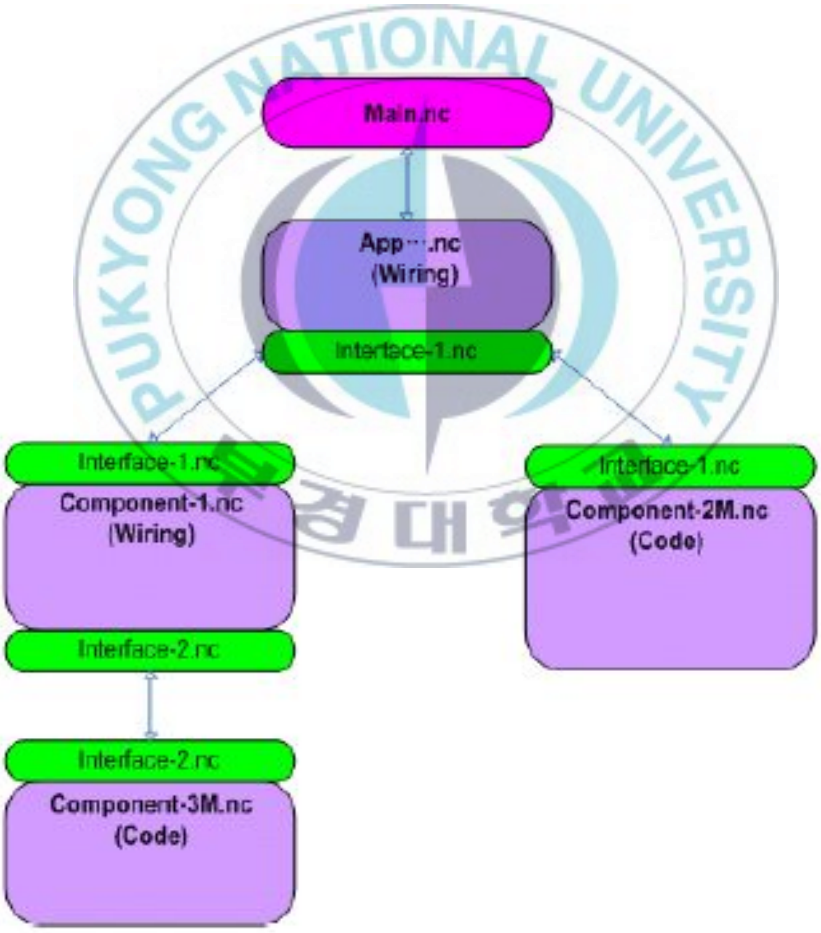
여기서 인터페이스를 통해 함수들이 제공되거나 사용되는데, 일반적으로 인터페이스는 각 컴포넌트들이 제공하는 기능인 Command와 Event를 정의하는데 사용된다.

Module은 「provides」 키워드로 제공할 Command 함수를 정할 수 있다. 제공되는 Command 함수는 다른 Module에서 호출하여 사용할 수 있다. 다른 Module은 「uses」 키워드로 다른 모듈에서 제공하는 Command 함수를 호출하여 사용한다.

「provides」와 「uses」 키워드의 사용 방법은 하나의 컴포넌트에서 「provides」 키워드로 인터페이스를 제공하고 다른 쪽 컴포넌트에서는 「uses」 키워드를 사용하여 해당 인터페이스에 정의된 Command를 호출하거나 Event를 구현한다.

[그림 3-3]에서, App.nc는 Component-1.nc와 인터페이스 Interface-1.nc로 연결되어 있다. Component-1.nc에서 Interface-1.nc을 「provides」 키워드로 상위 컴포넌트인 App.nc에 인터페이스를 제공하면, App.nc는 「uses」 키워드를 사용하여 해당 인터페이스를 사용하게 된다.

이를 통해서, App.nc에서는 Interface-1.nc에 정의되어 있는 Command함수를 호출할 수 있으며, Interface-1.nc에 정의되어 있는 Event를 구현한다 [15].



[그림 3-3] 컴포넌트와 인터페이스 연결 예

다. 네트워크 디바이스 프로그램 구현

[그림 3-4]는 실제 구현한 TinyOS기반의 네트워크 디바이스용 소프트웨어의 구조를 나타낸 것이다. NetDev 컴포넌트는 최상위 컴포넌트로서, WiFi 컴포넌트를 이용하여 통신 환경을 판단하고, 그에 따라 통신 방법을 선택하여 데이터를 전송하고 power saving mode로 변환하는 역할을 한다.

MainC 컴포넌트는 initialization에 해당하는 컴포넌트로서 하드웨어 및 컴포넌트 상태의 초기화와 스케쥴러의 초기화를 한다.

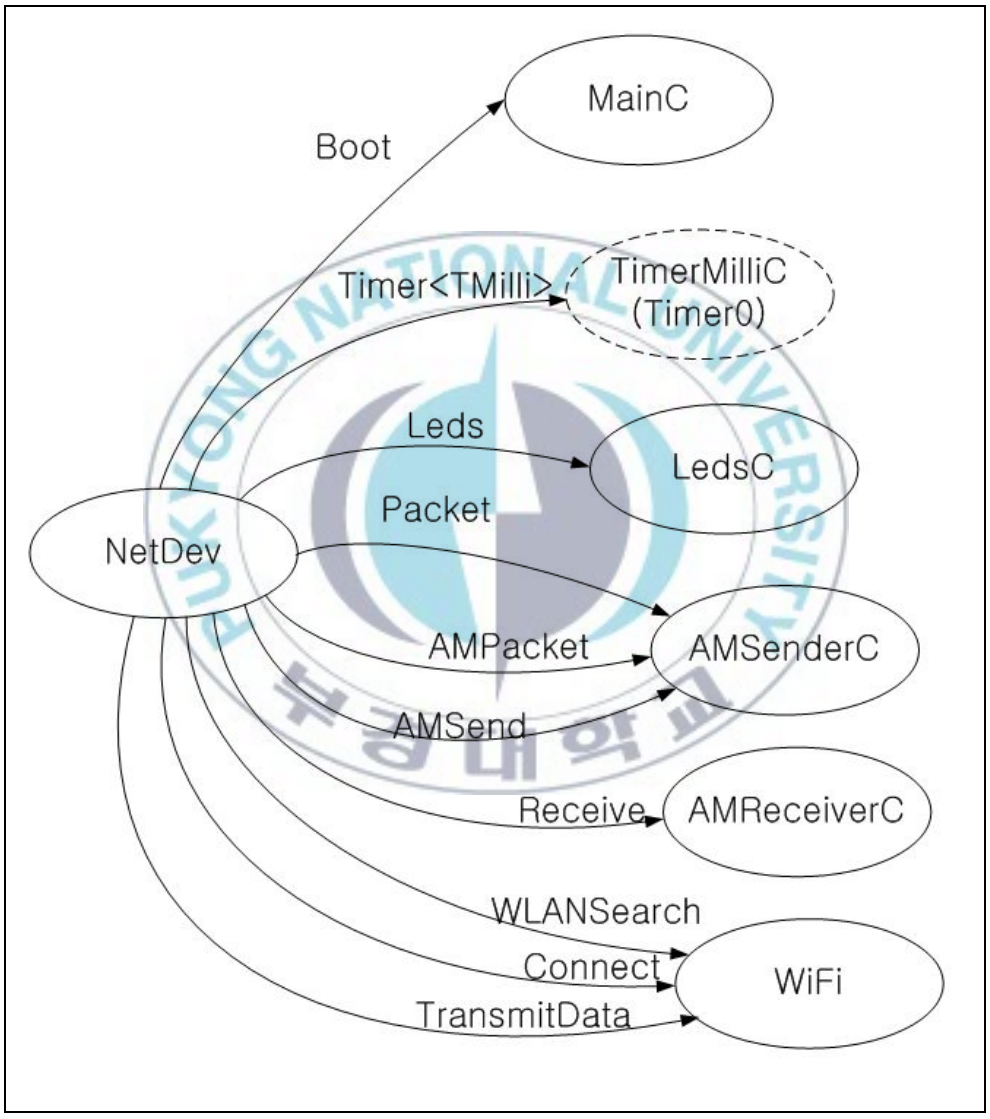
TimerMilliC 컴포넌트는 일정 주기마다 container data를 전송하도록 네트워크 디바이스를 power saving mode에서 active mode로 변환시켜 주는 역할을 한다.

WiFi 컴포넌트는 Wi-Fi 모듈(G2M5477)을 제어하는 컴포넌트로 WLANSearch, Connect, TransmitData 인터페이스를 통해 상위 컴포넌트인 NetDev와 연결된다. WLANSearch 인터페이스는 접속 가능한 Wi-Fi AP(Access Point)검색을 위한 인터페이스로서 검색결과를 NetDev 컴포넌트에게 알려준다. Connect 인터페이스와 TransmitData 인터페이스는 Wi-Fi가 사용가능한 경우 활성화된다. Connect 인터페이스는 목적지 서버와의 Wi-Fi 연결을 구성하고, TransmitData 인터페이스는 Wi-Fi를 이용하여 데이터를 송수신한다.

AMSenderC 컴포넌트와 AMReceiverC 컴포넌트는 TinyOS에서 기본적으로 지원되는 컴포넌트로서, IEEE 802.15.4 기반의 RF transceiver (CC2420)를 통해 데이터를 송수신하는 역할을 한다.

LedsC 컴포넌트는 네트워크 디바이스의 3가지 LED를 이용하여 사용중인 통신 프로토콜 및 현재 mode를 나타낸다. LED의 빨강은 전원 공급

상태를 나타내고 파랑은 현재 Wi-Fi 통신 중임을 나타내며, 노랑은 IEEE 802.15.4 통신 중임을 나타낸다.



[그림 3-4] TinyOS 기반의 네트워크 디바이스 제어프로그램

Ⅳ. 실험결과

1. 통신 변환 테스트

[그림 4-1]은 네트워크 디바이스의 패킷이다. ConTracer Data는 컨테이너의 내부 환경 정보 수집 장치인 컨트레이서로부터 네트워크 디바이스로 보내지는 정보이다. 컨트레이서 데이터는 컨트레이서의 고유 식별자인 ConTracer ID와 컨테이너의 위치 정보인 GPS Data, 온도를 나타내는 Temp, 습도를 나타내는 Humid, 컨테이너의 외부 충격여부를 나타내는 Shock, 도어의 개방 여부를 나타내는 Door로 구성된다.

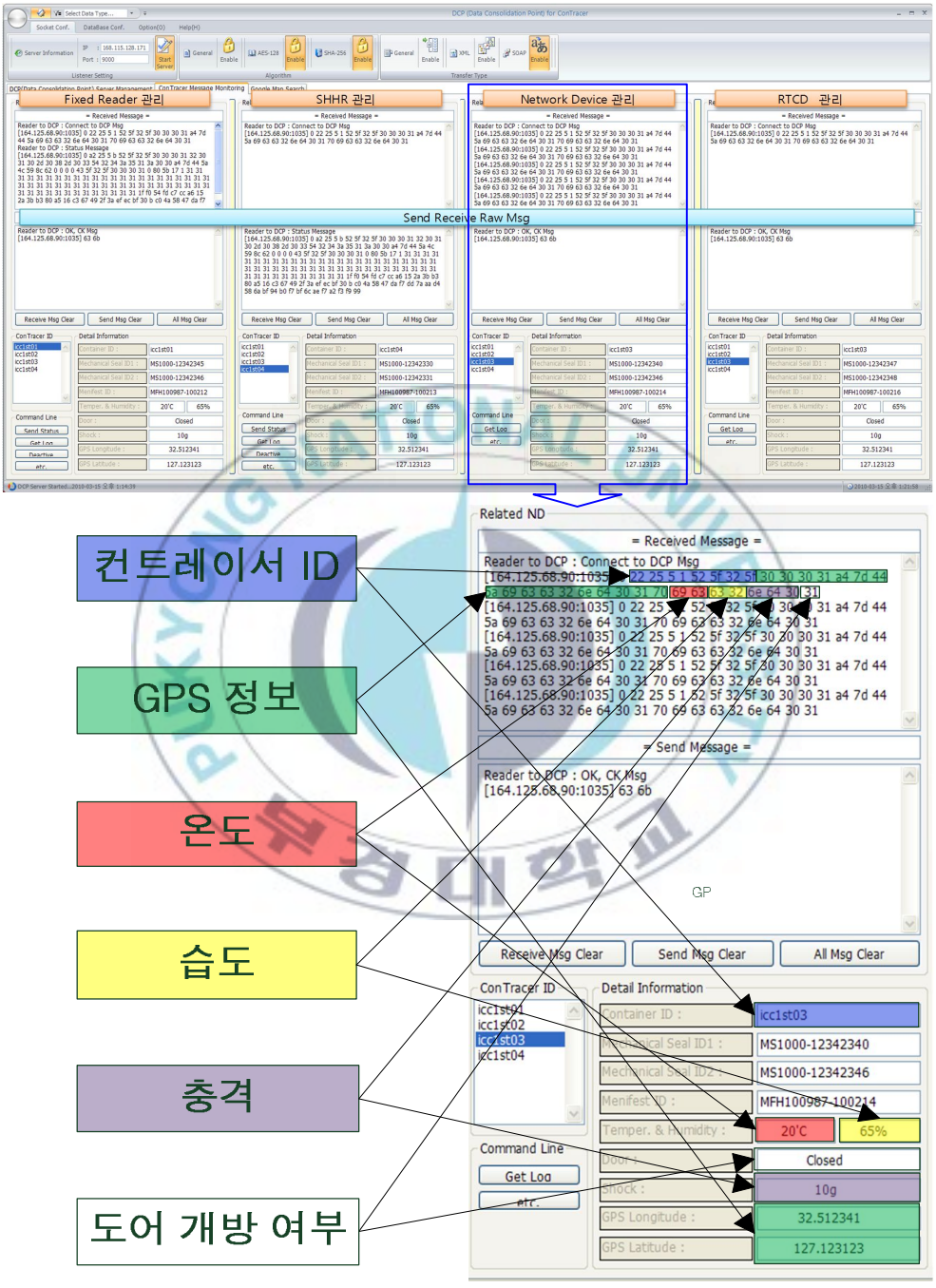
네트워크 디바이스는 컨트레이서로부터 받은 데이터에 Network device Data를 더해 패킷을 전송한다. Network device Data의 Entire Msg Length는 전체 패킷의 길이인 38 Byte를 나타낸다. Protocol number는 패킷의 전송 방식을 나타낸 것으로 Wi-Fi를 통한 전송시에는 0x30이 입력되고, IEEE 802.15.4를 통한 전송시에는 0x20이 입력된다. Device ID는 네트워크 디바이스의 고유 ID를 나타낸다.

Entire Msg Length	Protocol Number	Device ID	ConTracer ID	GPS Data	Temp	Humid	Shock	Door
0x0026	1 BYTE	2 BYTE	8 BYTE	17 BYTE38	2 BYTE	2 BYTE	3 BYTE	1 BYTE
[Network device Data]			[ConTracer Data(Payload)]					

[그림 4-1] 네트워크 디바이스의 전송 패킷

[그림 4-2]는 지능형 컨테이너 시스템의 데이터 서버에 해당하는 DCP(Data Consolidation Point)의 메인화면이다. DCP는 컨테이너의 정보를 저장하고 수요자에게 제공하는 기능을 한다. DCP에서 표시되는 정보는 네트워크 디바이스의 데이터를 제외한 컨트레이서 데이터인 컨테이너의 식별 번호, 위치 정보, 온도, 습도, 충격 여부, 도어 개방 여부 등의 컨테이너의 상태정보로, 컨트레이서 데이터만 표시된다. 따라서 통신 방식의 변화를 알아보기 위해 별도의 ezTerm 프로그램을 이용하여 테스트하였다.

PUKYONG NATIONAL UNIVERSITY
부경대학교

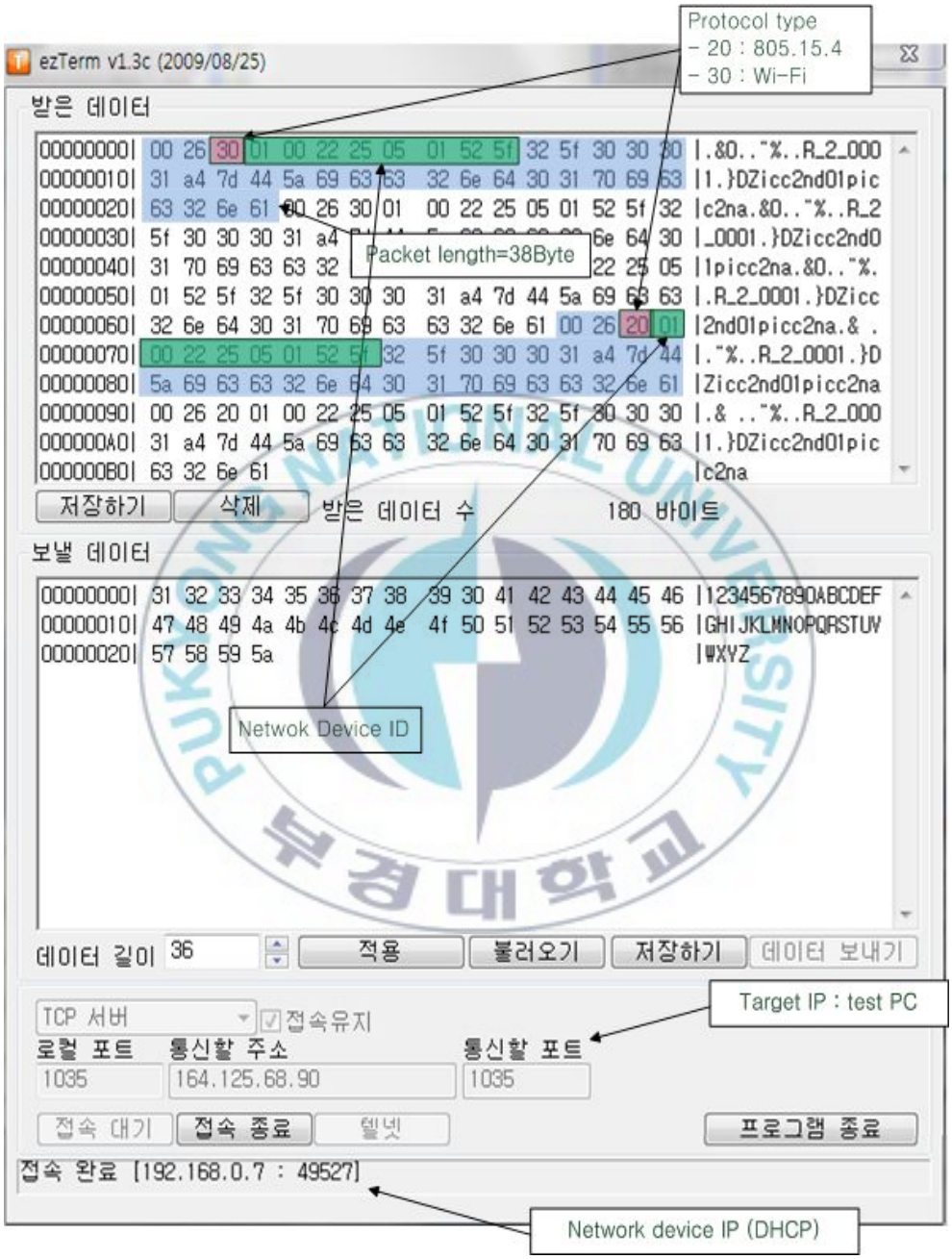


[그림 4-2] 지능형 컨테이너 데이터 서버

[그림 4-3]은 ezTerm 프로그램을 이용하여 네트워크 디바이스로부터 전송받은 패킷을 확인한 것이다. ezTerm 프로그램은 원격호스트나 장비와 TCP/IP 소켓 통신을 사용하여 데이터 통신을 하는 프로그램으로 TCP 클라이어언트, TCP 서버, UDP 통신 기능과 텔넷 클라이이언트의 기능을 할 수 있다.

테스트를 위해 ezTerm 프로그램을 TCP 서버로 동작 시킨 후 네트워크 디바이스로부터 패킷을 수신하였다. 수신된 패킷은 프로그램의 상단 대화창에 나타난다.

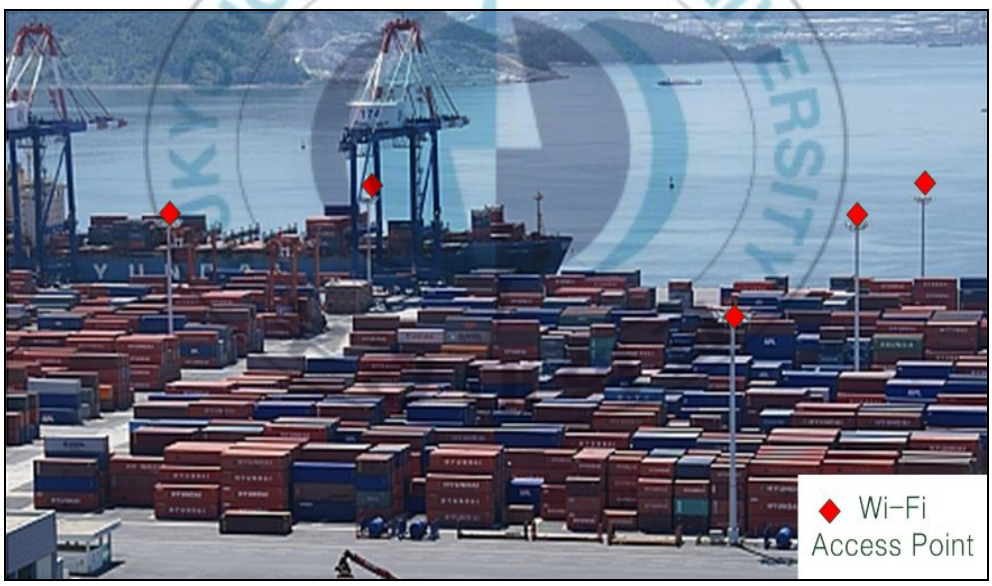
네트워크 디바이스가 Wi-Fi와 IEEE 802.15.4를 선택적으로 사용하는지를 확인하기 위해 Wi-Fi를 통한 패킷이 3회 수신되면 AP의 전원을 끄고, 다음으로 수신된 패킷이 IEEE 802.15.4를 통한 패킷인지 확인하였다. 이 과정을 30회 반복한 결과, 30회 모두 통신 방식이 전환되어 패킷이 수신되는 것을 확인할 수 있었다.



[그림 4-3] 네트워크 디바이스 전송 패킷 확인

2. 네트워크 디바이스의 Wi-Fi 거리 측정

항만의 Wi-Fi AP는 [그림 4-4]와 같이 조명탑에 설치된다. 조명탑은 야간 작업을 위한 조명등을 설치한 높이 20 ~ 30 m 에 이르는 구조물로 일반적으로 200m 간격으로 설치된다. 항만의 특성상 무선 통신을 위한 별도의 시설을 설치하거나 구축하는 것이 비용이나 공간적 제약으로 어려우며, 컨테이너들이 다단으로 높게 쌓여 있는 환경 특성을 고려할 때 높은 위치의 조명탑에 Wi-Fi AP를 설치함으로써 AP의 LOS (Line Of Sight)를 확보할 수 있는 범위가 늘어난다 [16].



[그림 4-4] 항만 환경의 Wi-Fi AP

네트워크 디바이스의 Wi-Fi 거리를 알아보기 위해 [그림 4-5]와 같이 Wi-Fi AP를 설치하고 네트워크 디바이스가 지정된 Wi-Fi AP에 접속하여 패킷을 전송하는지 확인하였다.

테스트에 쓰인 Wi-Fi AP는 ipTIME n504로 사양은 [표 4-1]과 같다

[표 4-1] ipTIME n504의 사양

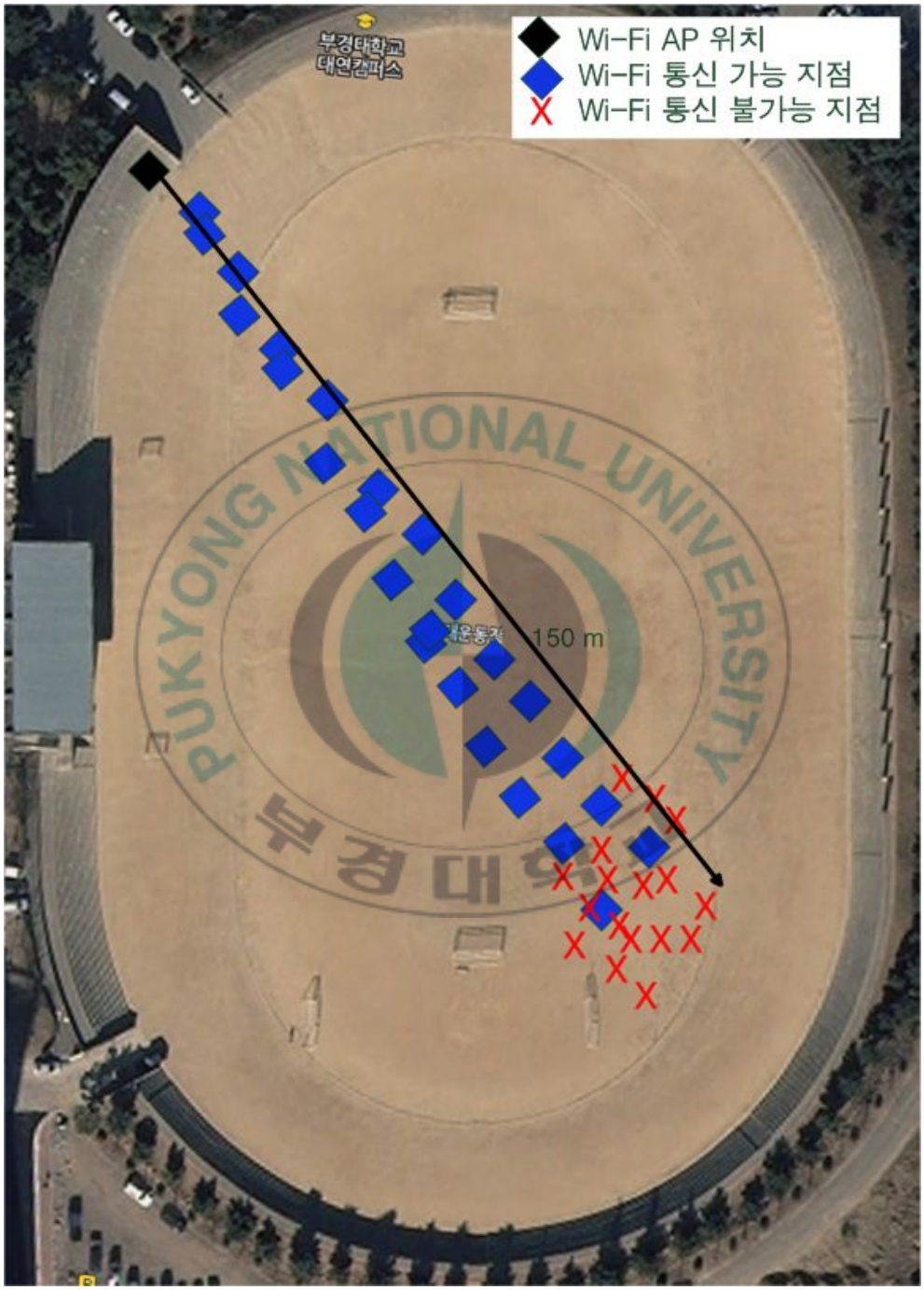
구 분	항 목	제 품 사 양
H/W 제품사양	CPU	266MHz MIIPS 32bit
	WAN Interface	1 x 10/100Mbps WAN - 케이블 자동 감지
	LAN Interface	5 x 10/100Mbps PC Port - 케이블 자동 감지
	Wireless Interface	802.11 b/g/n(Draft)
	Status LED	Power, CPU, Wireless, WAN, LAN X 4
	DRAM	16 Mbytes
	FLASH	2 Mbytes
	동작온도	섭씨 0- 50도
	전원	입력: 100~240V, 50~60Hz 출력: DC5V, 2A
S/W 제품사양	NAT	SNAT, DNAT, IP Masquerade
	Protocols	HTTP, DHCP, PPPOE
	Application Protocol	H323, MSN, BattleNet ...
	QoS	Rate limitting, Rate Grantee
무선사양	무선	IEEE 802.11b, IEEE 802.11g, IEEE 802. 11n
	주파수	2.4GHz
	수신감도	-65dBm at 130Mbps -74dBm at 54Mbps -84dBm at 11Mbps
	송신파워	15dBm ± 2dB
	변조방식	OFDM, CCK, BPSK, QPSK
	보안설정	64/128bit WEP WPA-PSK WPA2PSK WPAPSK/WPA2PSK

PUKYONG NATIONAL UNIVERSITY 부경대학교

테스트는 [그림 4-5]와 같이 Wi-Fi AP와 네트워크 디바이스로부터 수신된 패킷을 확인하는 PC로 구성하였으며, 장애물이 없는 공간에서 진행하였다.

[그림 4-5] Wi-Fi 거리 테스트 환경

[그림 4-6] 은 테스트 결과를 나타낸 것으로, 네트워크 디바이스가 IEEE 802.15.4 모드로 바뀌거나 패킷이 확인되지 않는 경우 통신이 불가능한 것으로 판단했다. 통신이 처음으로 불가능한 경우는 130 m 정도에서 처음 발생하였으며, 150 m 가 넘어가면 통신이 거의 불가능한 것으로 나타났다.



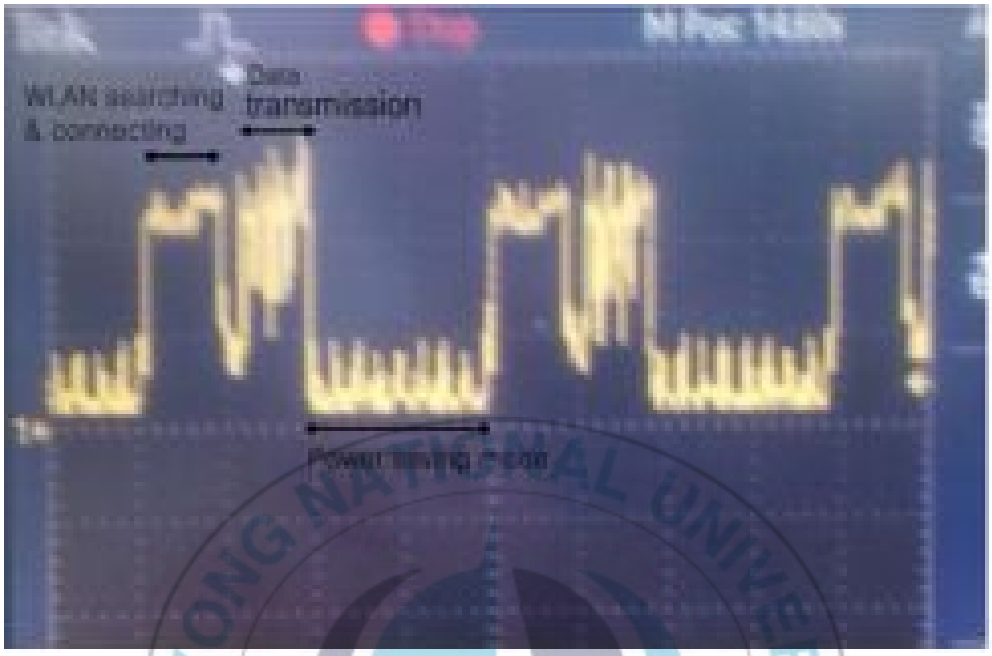
[그림 4-6] Wi-Fi 거리 테스트 결과

3. 네트워크 디바이스의 사용 전류 측정

[그림 4-7]은 네트워크 디바이스의 Wi-Fi 사용시 전류를 측정하기 위한 환경으로 오실로스코프를 이용하여 전류 변화량을 측정하였다.

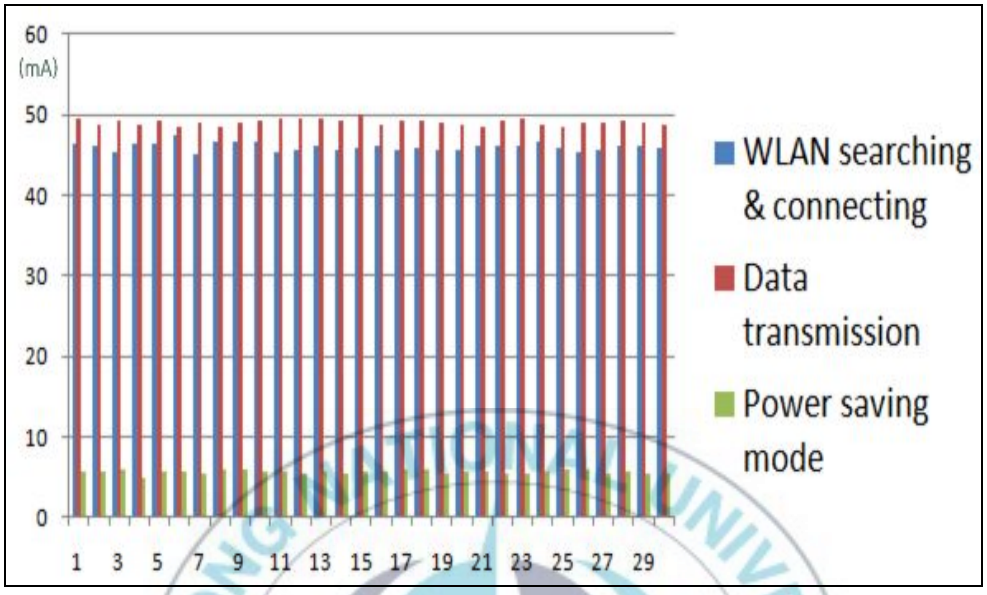
[그림 4-7] 전류 측정

[그림 4-8]은 Wi-Fi 사용 상태에 따른 전류 변화를 나타낸다. 전류는 크게 WLAN searching & connecting, Data transmission, Power saving mode의 세가지 경우로 나누어 측정했다. WLAN searching & connecting과 Data transmission은 평균 4 초 걸렸으며 Power saving mode는 패킷 전송주기에서 WLAN searching & connecting과 Data transmission에 걸리는 8 초를 뺀 나머지 시간이다.



[그림 4-8] Wi-Fi 상태에 따른 전류 변화

[그림 4-9]는 Wi-Fi 사용 상태에 따른 전류를 측정한 것으로 측정의 편의를 위해 30 초 주기로 과정을 30회 반복하며 측정하였다. 각각의 평균 전류는 WLAN Search & connecting 과정이 46 mA, Data transmission 과정이 49 mA, Power saving mode는 6 mA 로 나타났다.



[그림 4-9] 전류 변화 측정 결과

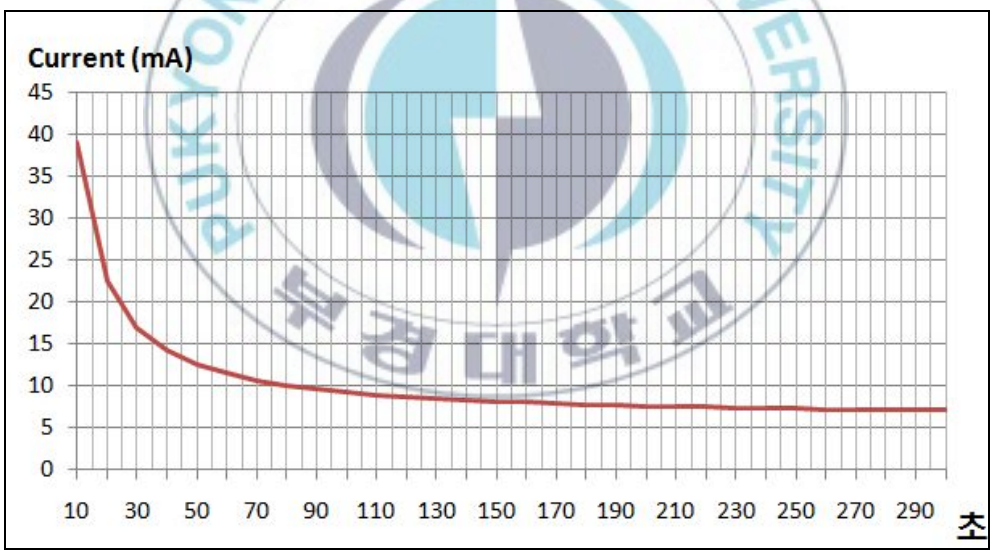
식 (1)은 네트워크 디바이스의 평균 전류를 계산하는 수식으로, 식에서 I_{WLAN}은 WLAN Search & connecting 과정의 전류를 나타내고, I_{data}는 Data transmission 과정의 전류를 나타내며, I_{saving}은 Power saving mode에서의 전류를 나타낸다. t_{WLAN}은 은 WLAN Search & connecting에 걸리는 시간을 나타내고, t_{data}는 Data transmission에 걸리는 시간을 나타내며, t_{saving}은 Power saving mode를 유지하는 시간을 나타낸다. t_{total}은 전체 과정을 한 번 반복하는 데 걸리는 시간으로 패킷 전송 주기와 동일하다. 패킷 전송 주기는 컨테이너 화물에 따라 수십 초에서 수 시간까지 다양하다. 네트워크 디바이스의 평균 전류는 패킷 전송 주기에 따라 변하게 된다.

$$\frac{(I_{WLAN} \times t_{WLAN}) + (I_{data} \times t_{data}) + (I_{saving} \times t_{saving})}{t_{total}}$$

$$= \frac{(46mA \times 4s) + (49mA \times 4s) + (6mA \times t_{saving})}{t_{total}}$$

$$= \frac{380 + (6mA \times t_{saving})}{t_{total}} \ (mA) \qquad (1)$$

[그림 4-10]은 패킷 전송 주기에 따른 평균 전류를 나타낸 것이다. 패킷 전송 주기가 80 초 이상이 되면 평균 전류는 10 mA이하가 되며, 패킷 전송주기가 클수록 평균 사용 전류는 줄어들게 된다.



[그림 4-10] 패킷 전송 주기에 따른 평균 전류

[표 4-2]는 네트워크 디바이스에 사용된 IEEE 802.15.4 용 트랜시버인 CC2420 과 절전형 Wi-Fi 모듈인 G2M5477, 그리고 일반적인 Wi-Fi 모듈의 하나인 WIZ610wi 의 특성을 나타낸 것이다. 전체 적인 전류

사용은 CC2420 이 우수하나 데이터 전송량 대비 전류 사용량은 Wi-Fi 모듈이 우수하며, Wi-Fi 모듈 중에서도 절전형 모듈인 G2M5477 이 다른 Wi-Fi 모듈보다 뛰어남을 알 수 있다.

[표 4-2] 통신 모듈에 따른 전류

구분		IEEE802.15.4	Wi-Fi	
		CC2420	G2M5477	WIZ610wi
전압(V)		2.1~3.6	2~3.6	3.3
최대 전송률 (bps)		250K	54M	54M
상태 별 전류소모량 (mA)	Power saving mode	0.426	6	-
	Receive mode	17.7	46	450
	Transmit mode (0dBm)	18.8	49	470

V. 결 론

본 논문에서는 네트워크 디바이스가 통신 환경에 따라 Wi-Fi와 IEEE 802.15.4를 선택하여 사용하도록 함으로써, IEEE 802.15.4를 Wi-Fi 환경에서 함께 사용할 때 발생하는 전송률 저하를 배제할 수 있었다.

항만에서 Wi-Fi AP가 설치되는 조명탑의 높이가 최대 30 m 이고 각 조명탑 거리가 200 m 이므로 Wi-Fi AP와의 거리는 105 m 이하가 된다. 네트워크 디바이스의 Wi-Fi가 130 m 이내에서 안정적으로 패킷을 전송하므로, 네트워크 디바이스만으로도 항만의 Wi-Fi를 이용하여 지능형 컨테이너 데이터 서버에 정보를 전송하는 것이 가능할 것으로 기대된다.

네트워크 디바이스는 작은 전류만으로 Wi-Fi를 사용할 수 있고, 패킷 전송 주기에 따라 평균 사용 전류를 효과적으로 줄일 수 있었다. 뿐만 아니라, 테스트에서는 주기적으로 WLAN searching, connecting, data transmission 과정을 반복하였으나, 네트워크 디바이스가 게이트웨이 역할을 하게되어 패킷 전송 주기가 짧아 네트워크 상의 타임아웃이 일어나지 않고, DHCP로 할당된 IP를 네트워크 디바이스가 계속 사용 가능한 경우, data transmission과 power saving mode간의 변환만 이뤄지도록 함으로써 추가적으로 전류를 아낄 수 있을 것으로 기대된다.

Wi-Fi 환경이 지원되지 않는 경우에는 IEEE 802.15.4로 전환 가능하므로 네트워크 디바이스의 전송 능력을 향상시킬 수 있다. 그리고, 일반적으로 사용하는 Wi-Fi 모듈의 전류의 10 % 정도만으로 Wi-Fi 사용이 가능하며, 최근 가장 활발히 구축되고 있는 Wi-Fi 환경을 이용하여 항만 외 지역에서도 서비스가 가능할 것으로 기대된다.

본 논문에서는 네트워크 디바이스는 Wi-Fi를 통해 개별적인 컨테이너 정보를 전달하는데 그쳤으나, IEEE 802.15.4에서 Wi-Fi로 데이터를 넘겨주는 게이트 웨이의 기능이 추가된다면 항만에서 네트워크 디바이스만으로 네트워크의 구성이 가능하고, IEEE 802.15.4를 적절히 사용하여 네트워크 디바이스의 전원 수명을 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다.

Ⅵ. 참고 문헌

[1] R J Craddock and E V Stansfiled, "Sensor fusion for smart containers," IEEE Signal Processing Solution, October 2005, pp.12-16.

[2] Rui Fukui, Masayuki Shodai, Taketoshi Mori, Tomomasa Sato, "Developmentofan intelligentcontainerprototype fora logistical support robot system in living space," IEEE/RSJ International Conferenceon, November 2007, pp.3397-340.

[3] 한국컨테이너부두공단, “1991~1995년 컨테이너화물 취급 및 유통 추이분석,” 1996.4.

[4] Intelligent Containers and Sensor Networks Approaches to apply Autonomous Cooperation on Systems with limited Resources; Reiner Jedermann, Christian Behrens, Rainer Laur, WalterLang; "Understanding Autonomous Coperation and Control in Logistics," pp.365.

[5] 노철우,김경민, “RFID를 이용한 항만 컨테이너 관리 시스템 설계 및 구현,” 한국컨텐츠학회논문지, 2006.1, vol.6, no.2, pp.1-7.

[6] 동아대학교ICC사업단3차년도 평가위원회 발표자료, ”3세부과제:컨테이너화물 안전수송을 위한 자율통신장치 개발,” 2010.07

[7] Jan D.Gehrke, Christian Behrens, Reiner Jedermann, and Ernesto Morales Kluge, "The Intelligent Container - Toward Autonomous Logistic Processes," 2006.

[8] Intelligent Container R&D Center(2007, July) Intelligent container project overview. Available:http://www.icc.re.kr

[9] Seung-Ho Baek, Eun-Chang Choi, Jae-Doo Huh, and Kwang-Roh Park, "Sensor Information Management Mechanism for Context-aware Service in

Ubiquitous Home," IEEE Trans. ConsumerElectronics, November 2007, vol53, no.4, pp.1393-1400.

[10] 소선섭, 은성배, "센서네트워크 하드웨어 플랫폼 및 운영체제 개발 동향," 전자공학회지, 제32권, 제7호, 2005.7, pp. 47-56.

[11] 하이버스, Wireless Sensor Network 응용과 실습TinyOS 2.x 기반 무선 센서네트워크실습, 2008, pp. 10-11.

[12] 최형림, 김재중, 강무홍, 신중조, 손정락, 문영식, 이은규, “능동형 RFID 기반 컨테이너 보안 장치(CSD)의 개발에 관한 연구,” 한국통신학회논문지, 제35권, 제 2호(네트워크 및 서비스), 2010.2, pp.244-251.

[13] 동아대학교 지능형통합항만관리연구센터, “ICC연차보고서(3세부과제),” 2010.

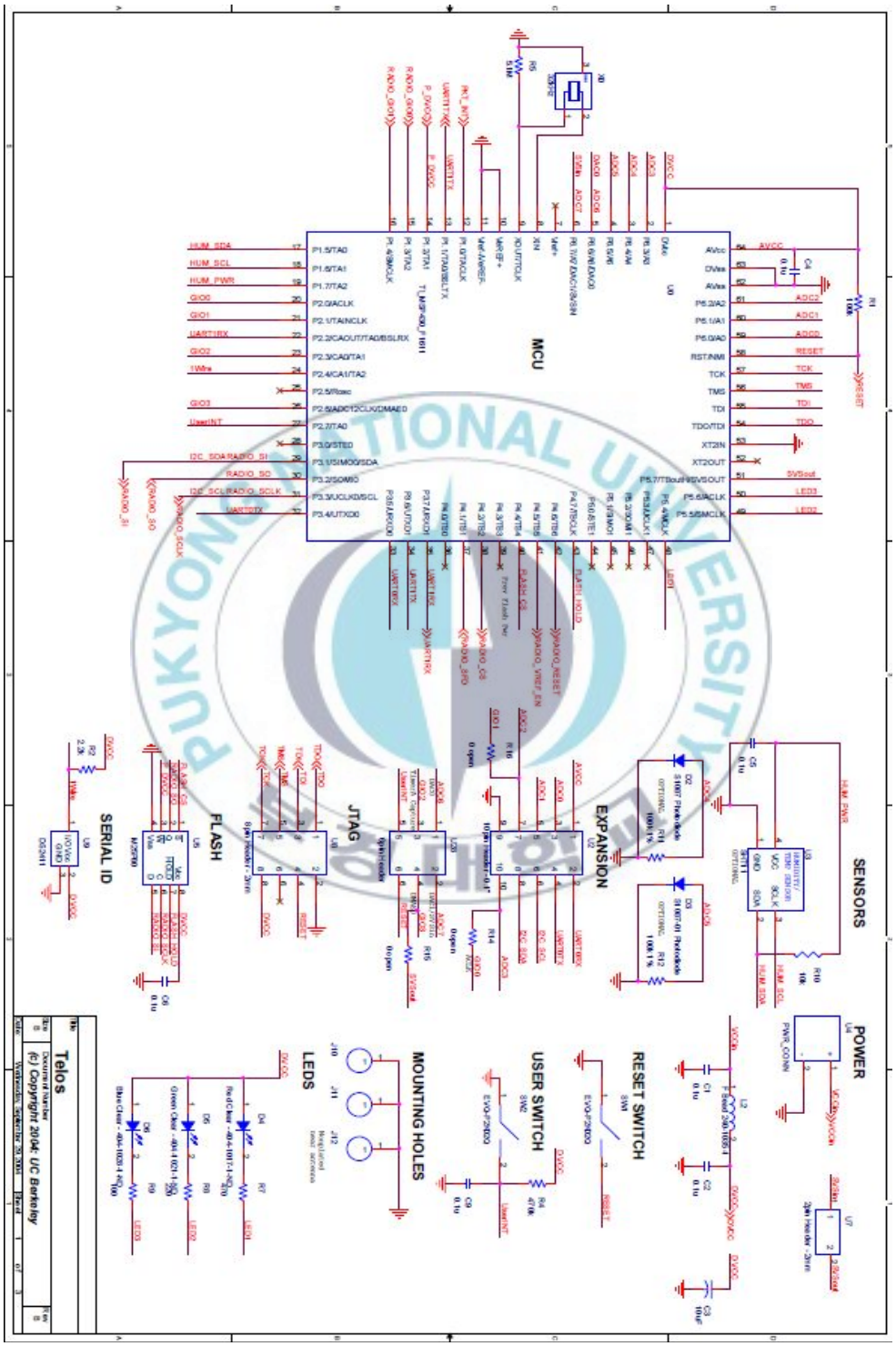
[14] 이윤석, 송태훈, TinyOS 2.x 기반 무선 센서네트워크실습, 홀릉과학출판사, 2009.6, pp. 3-6.

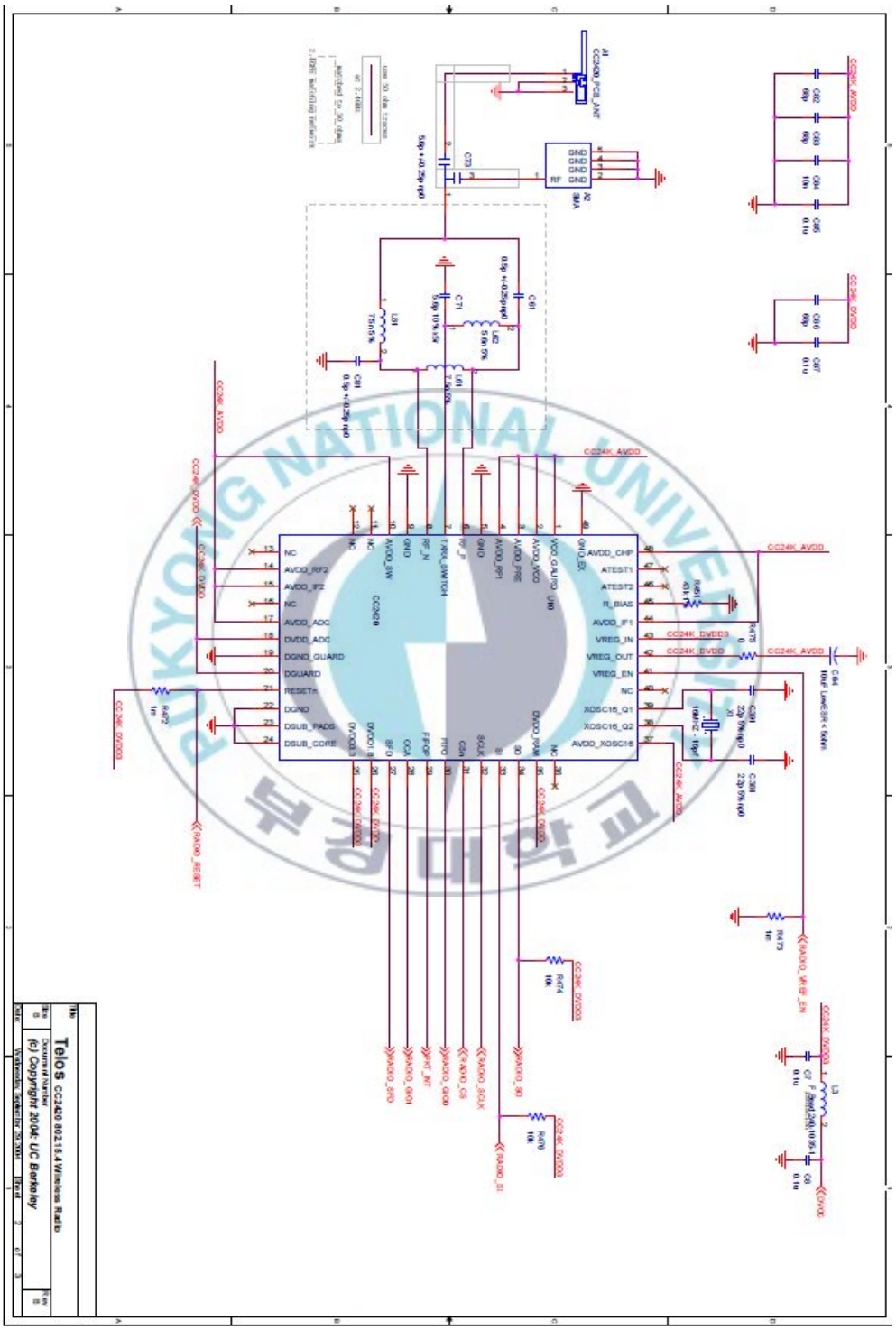
[15] 강정훈, 유준재, 윤명현, 이민구, 임호정, ”TinyOS 프로그래밍,” TinyOS Korea Forum, 2007, pp.5-9.

[16] 한승호, 박현성, 김종덕, 김용진, “컨테이너 터미널의 무선 네트워크 분석과 서비스 품질 향상 방안,” 한국통신학회논문지, 2009.3, vol. 34, no. .3

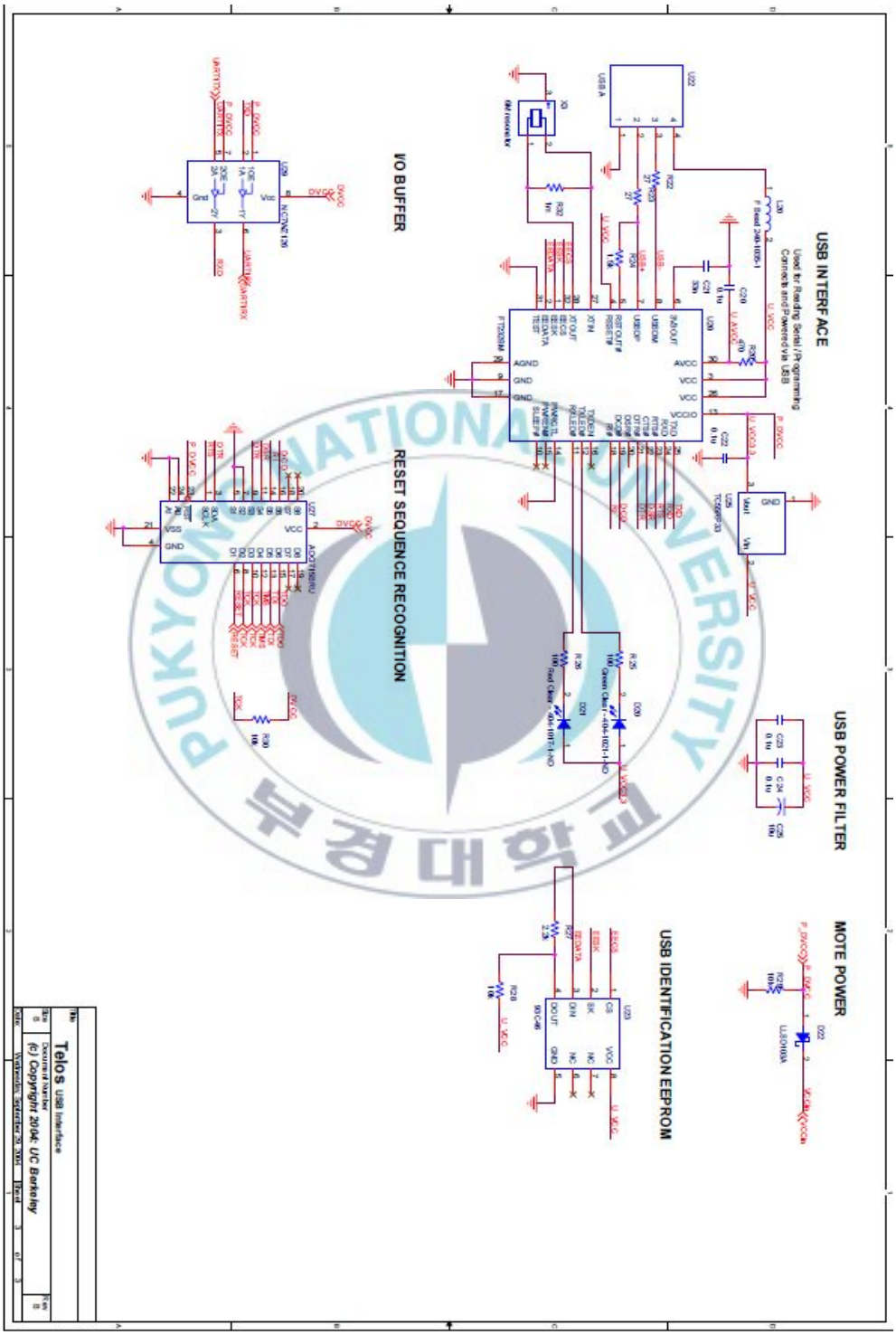
Ⅶ. 부 록

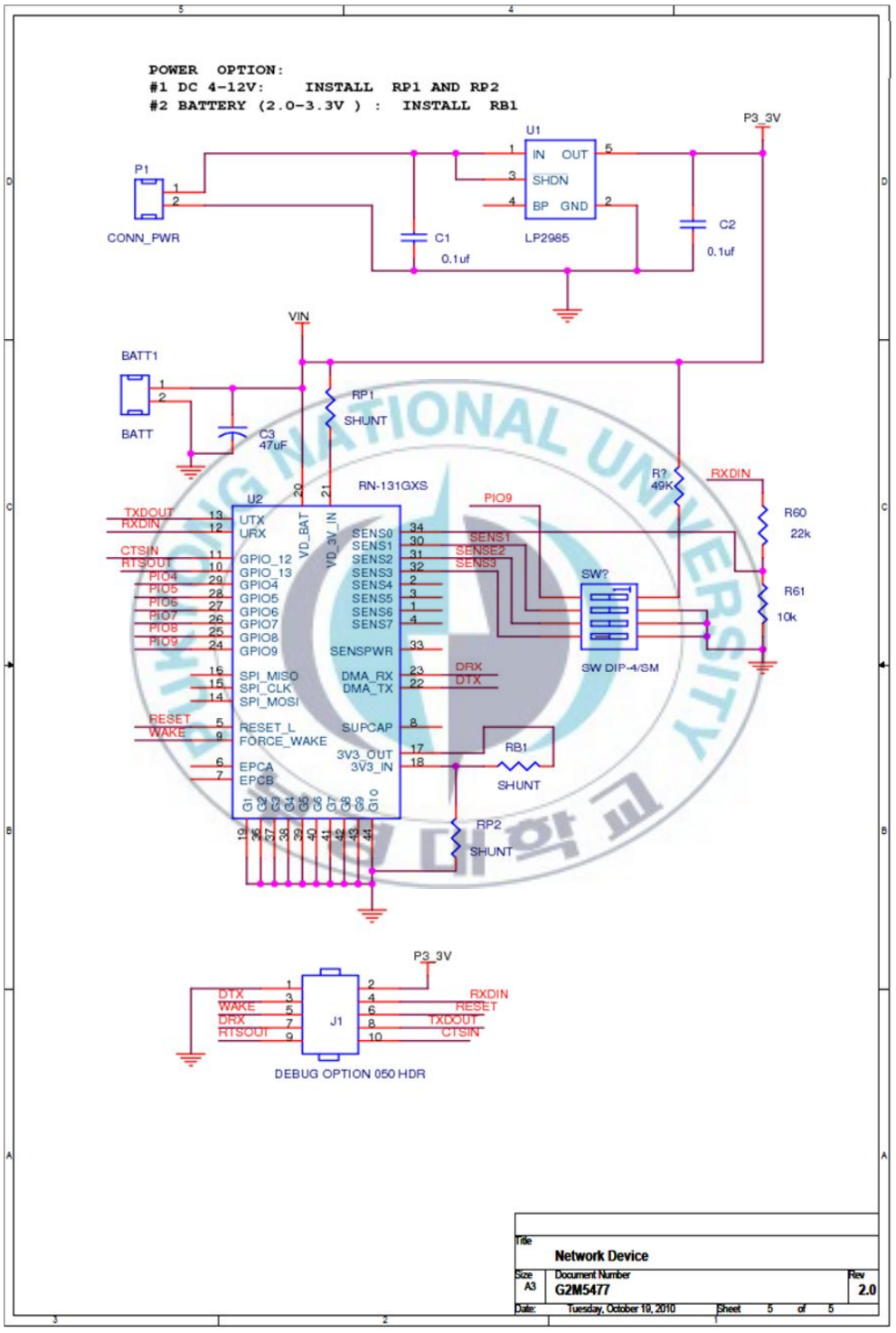
[1] 네트워크 디바이스 회로도.


MCU
SENSORS
POWER
EXPANSION
JTAG
FLASH
SERIAL ID
RESET SWITCH
USER SWITCH
MOUNTING HOLES
LEDS
Telos
(c) Copyright 2004: UC Berkeley



PUKYONG NATIONAL UNIVERSITY 부경대학교


USB INTERFACE
USB POWER FILTER
MOTE POWER
I/O BUFFER
RESET SEQUENCE RECOGNITION
USB IDENTIFICATION EEPROM
Telos USB Interface
(c) Copyright 2004: UC Berkeley


POWER OPTION:
#1 DC 4-12V: INSTALL RP1 AND RP2
#2 BATTERY (2.0-3.3V) : INSTALL RB1
P3_3V
U1
IN OUT
SHDN
BP GND
LP2985
P1
CONN_PWR
C1
0.1uf
C2
0.1uf
VIN
BATT1
BATT
C3
47uF
RP1
SHUNT
U2
RN-131GXS
R?
49K
RXDIN
R60
22k
R61
10k
PIO9
SW?
SW DIP-4/SM
TXDOUT
RXDIN
CTSIN
RTSOUT
UTX
URX
GPIO_12
GPIO_13
GPIO4
GPIO5
GPIO6
GPIO7
GPIO8
GPIO9
VD_BAT
VD_3V_IN
SENS0
SENS1
SENS2
SENS3
SENS4
SENS5
SENS6
SENS7
SENSPWR
SENSE1
SENSE2
SENSE3
SPI_MISO
SPI_CLK
SPI_MOSI
DMA_RX
DMA_TX
DRX
DTX
RESET
WAKE
RESET_L
FORCE_WAKE
SUPCAP
3V3_OUT
3V3_IN
EPCA
EPCB
RB1
SHUNT
RP2
SHUNT
P3_3V
J1
DTX
WAKE
DRX
RTSOUT
RXDIN
RESET
TXDOUT
CTSIN
DEBUG OPTION 050 HDR
Title
Network Device
Size
A3
Document Number
G2M5477
Rev
2.0
Date:
Tuesday, October 19, 2010
Sheet
5
of
5

감사의 글

연구실을 들어온게 어제같은데, 벌써 졸업이라고 하니 시간이 참 빠르게만 흐르는 것 같습니다. 부족한 저를 항상 곁에서 이끌어 주시고, 많은 가르침을 주신 저의 지도교수님이신 주문갑 교수님께 감사드립니다. 아울러 부족한 저의 논문을 심사해주신 이원창 교수님, 류지열 교수님께도 감사드립니다.

연구실의 큰일꾼이자 형 같은 동생 순태, 큰 일꾼으로 성장하고 있는 동협이, 부연이, 창무, 그리고 지금은 졸업했지만 동고동락했던 진수, 태용이, 난영이에게도 감사합니다.

대학 생활과 대학원 생활을 같이 보내면서 정든 동욱이 형, 찬효, 상필이, 재영이, 태형이, 부건이, 그리고 로보틱스 연구실의 준영이 형, 현종이 형, 기주, 상혁이, 그리고 동생들에게도 감사합니다.

어렸을 때부터 친한 친구로서 항상 곁에서 충고와 격려를 해줬던 규용이, 영권이, 영석이, 외석이, 종섭이, 준하, 동환이, 진규, 신의, 진일이에게도 감사합니다.

마지막으로, 부족한 동생을 항상 감싸주고 밀어주던, 이제는 하늘에 있는 형, 그리고 평생 자식들 뒷바라지에 몸과 마음을 아끼지 않으신 부모님, 항상 곁에서 힘이 되어준 누나에게 감사드립니다.

2010년 12월

박태진 올림

$\times 10^3$