



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 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](#)

碩士學位論文

송전선로의 뇌격 감지를 위한  
무선 원격 모니터링 시스템 구축

濟州大學校 産業大學院

電子電氣工學科

電氣工學 專攻

李 東 勳

2010

碩士學位論文

송전선로의 뇌격 감지를 위한  
무선 원격 모니터링 시스템 구축

指導教授 金一煥

濟州大學校 産業大學院

電子電氣工學科

李東勳

2010

# 송전선로의 뇌격 감지를 위한 무선 원격 모니터링 시스템 구축

指導教授 金一煥

이 論文을 工學 碩士學位 論文으로 提出함

2010 年 12 月

濟州大學校 産業大學院


電子電氣工學科 電氣工學 專攻

李東勳

李東勳의 工學 碩士學位 論文을 認准함

2010 年 12 月

委員長 金豪贊 

委員 金世鎬 

委員 金一煥 

# 목 차

그림목차 .....	iii
표목차 .....	v
SUMMARY .....	vi
<b>I. 서 론</b> .....	<b>1</b>
<b>II. 송전선로에서의 낙뢰특징</b> .....	<b>3</b>
1. 직격뇌 차폐실패 .....	3
2. 역섬락 .....	5
<b>III. 송전선로 고장 현황 및 현행 낙뢰감지 시스템의 문제점</b> .....	<b>6</b>
1. 최근 5년간 송전선로 고장현황 .....	6
2. 현행 낙뢰감지 시스템 구성 및 문제점 .....	8
<b>IV. 무선 모니터링 시스템 구축</b> .....	<b>11</b>
1. 무선 모니터링 시스템의 구성 개념 .....	11
2. 무선 낙뢰 모니터링 장치의 구성 .....	14
3. 무선 낙뢰 모니터링용 응용 프로그램 구성 .....	17
4. 무선 낙뢰 모니터링 장치 설계 및 구현 .....	21
5. 무선 낙뢰 모니터링 장치 펌웨어 설계 및 구현 .....	29
6. 모니터링용 컴퓨터 응용 프로그램 구현 .....	33

V. 현장 적용 및 결과 고찰 ..... 37

VI. 결 론 ..... 40

참 고 문 헌 ..... 42



## 그림 목 차

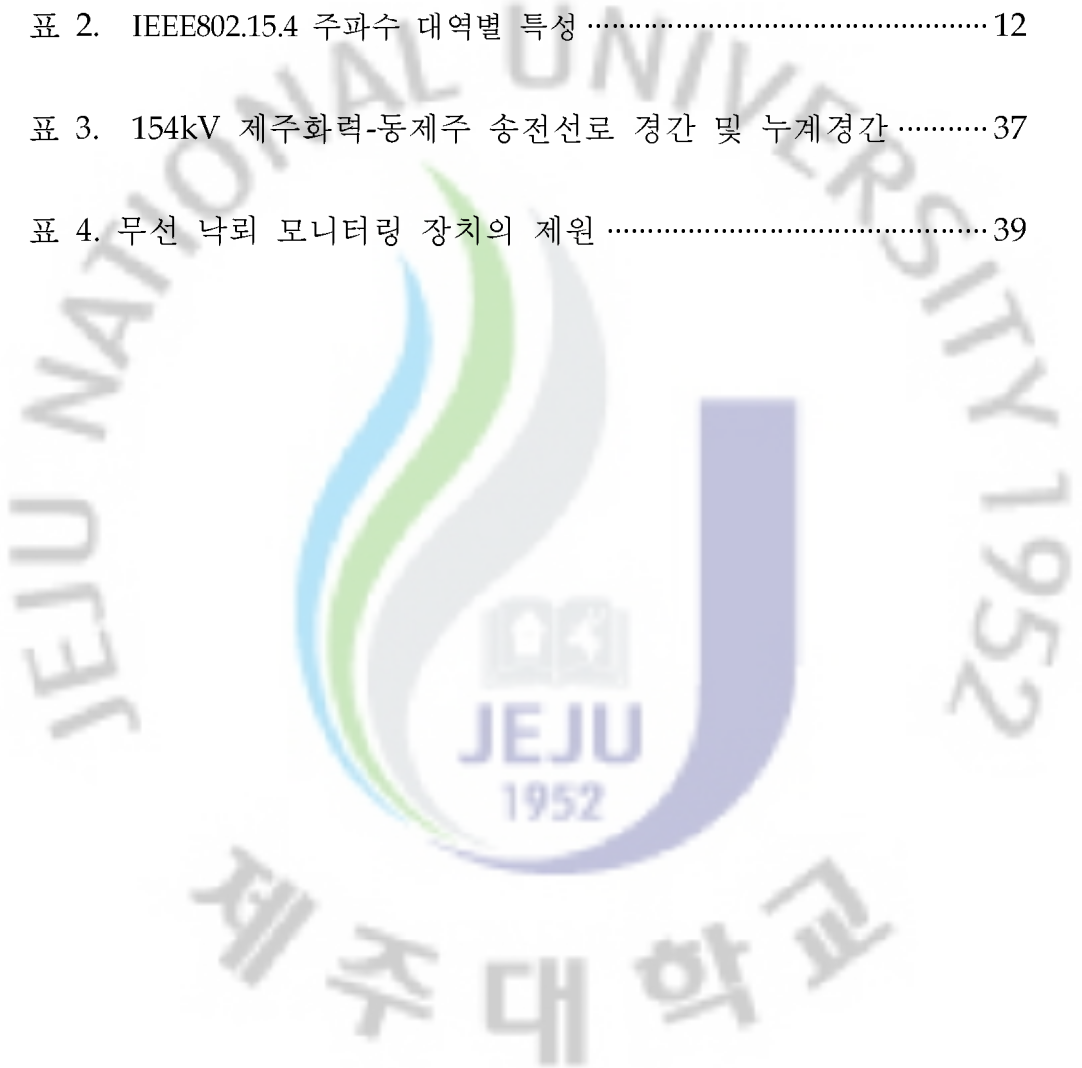
그림 1. 낙뢰차폐 실패 현상 .....	3
그림 2. 2008년 송전선로 고장원인 .....	7
그림 3. 2009년 송전선로 고장원인 .....	7
그림 4. 낙뢰에 의한 전력선 단선 고장 .....	8
그림 5. 낙뢰에 의한 가공지선 용융 및 탈락 .....	8
그림 6. 현행 낙뢰감지시스템 .....	9
그림 7. 현행 낙뢰감지 시스템 설치 .....	9
그림 8. 송전철탄낙뢰고장 무선 원격감지 모니터링 시스템 구성도 .....	11
그림 9. 무선 낙뢰 모니터링 장치 내부 구성 블록도 .....	14
그림 10. 무선 낙뢰 모니터링 장치 펌웨어 흐름도 .....	16
그림 11. 무선 낙뢰 모니터링 장치 인터럽트 처리 루틴 흐름도 .....	17
그림 12. 컴퓨터 응용프로그램 화면 구성 I .....	18
그림 13. 컴퓨터 응용프로그램 화면 구성 II .....	18
그림 14. 컴퓨터 응용프로그램 화면 구성 III .....	19
그림 15. 낙뢰 발생 이력 정보 관리 테이블 .....	20
그림 16. 송전철탄 식별 정보 관리 테이블 .....	20
그림 17. RF/MCU 부의 컨트롤러부 .....	21
그림 18. RF/MCU 부의 무선 통신부 .....	22
그림 19. 센서 노드 동작 사이클 측정 파형 .....	23
그림 20. 낙뢰전류 감지부 회로도 .....	24
그림 21. 송수신점간 거리에 따른 전력감쇠 특성 시뮬레이션결과 .....	25
그림 22. 무선 전력증폭기 회로도 .....	26

그림 23. RF 전력 증폭기 측정 결과 .....	26
그림 24. 무선 낙뢰감지 장치 소비전류 측정 결과 .....	27
그림 25. 인터페이스 베이스 보드 회로도 .....	28
그림 26. 무선 낙뢰 모니터링 장치 조립 .....	28
그림 27. 베이스 노드 .....	29
그림 28. 무선 낙뢰 모니터링 장치 펌웨어 컴포넌트 연결 관계도 .....	30
그림 29. 무선 낙뢰 모니터링 장치 동작 프로세스 .....	31
그림 30. 무선 낙뢰 모니터링 장치의 전송 메시지 구조 .....	32
그림 31. 수신된 전체 메시지 .....	33
그림 32. 모니터링 터미널 응용 프로그램 실행 화면 I .....	34
그림 33. 모니터링 터미널 응용 프로그램 실행 화면 II .....	35
그림 34. 모니터링 터미널 응용 프로그램 흐름도 .....	36
그림 35. 테스트를 위한 무선 낙뢰 모니터링 장치 설치 개요도 .....	37



## 표 목 차

표 1. 송전선로 최근 5년간 고장원인 현황 .....	6
표 2. IEEE802.15.4 주파수 대역별 특성 .....	12
표 3. 154kV 제주화력-동제주 송전선로 경간 및 누계경간 .....	37
표 4. 무선 낙뢰 모니터링 장치의 제원 .....	39



**Implementation of wireless remote monitoring  
system for lightning detecting on the electric  
power transmission line**

**Dong-Hoon Lee**

*Department of Electronic and Electrical Engineering  
Graduate School of Industry  
Jeju National University*

*Supervised by professor Eel-Hwan Kim*

***Summary***

This thesis proposes the implementation of wireless remote monitoring system for lightning detecting on the electric power transmission line. The lightning detecting system used in this research is composed of the transmitter and receiver set, respectively. The receiver set receives a signal of transmitter set within 2 kilometers. If lightning fault on the electric power transmission line occurs, a patrolman has to approach fault transmission tower within 2 kilometers. It causes the problem of time delay for discovering fault position of the lightning on the electric power transmission line. The proposed new system installed on the

transmission tower and conducted a performance test. It is possible to solve the problem of the existing system and a new system also prescreened the large electric equipment faults.



# I. 서론

현대사회에서 송전선로의 사고는 장시간의 전력공급중단에 직접 연결되어 사회적으로도 중대한 영향을 미치게 된다. 지상에 설치되는 송전선로는 전력공급을 위하여 발전소에서 생산되는 전력을 변전소를 통하여 각 지역으로 공급하기 위한 전력설비로서 일정 거리마다 설치된 송전철탑 등에 의하여 지지되며, 이 송전선로는 평지, 산악지 등 전 지역에 걸쳐 광범위하게 시설되므로 바람, 눈, 비, 낙뢰 등에 의한 위험에 노출되어 있다.

최근 5년간 송전선로 고장패턴을 살펴보면 낙뢰에 의한 고장이 전체 송전선로 고장의 약 70%를 점유하고 있는 실정이다[1]. 여기서 송전선로의 고장은 송전철탑에 낙뢰가 직격됨에 따라 송전선로가 손상되는 지락고장이 대부분을 차지하고 있다. 낙뢰에 의한 지락고장 발생 시 신속한 조치가 필요하게 되고 송전선로 고장이 발생되지 않도록 하기 위하여 철탑의 접지보강 및 불량애자검출 등을 통한 설비점검 및 보강이 지속적으로 시행하고 있으나 직격뢰에 의한 송전선로 고장은 피할 수 없는 상황이다.

또한, 상기한 낙뢰고장에 의해 송전선이 단락된 경우 송전선에는 부하전류의 수배에서 수십 배에 달하는 고장전류가 흐르게 되고, 이는 송전선로를 보호하기 위한 송전애자 등 전기기기의 항장력을 약화시켜 해당 전기기기의 이상동작을 초래된다. 따라서 송전철탑에 낙뢰고장이 발생된 경우 이를 신속히 검출하여 고장구간의 전기공급을 중단시키는 등 적절한 조치를 취할 필요가 있으며, 이를 위하여 순시원은 육안 또는 낙뢰표시장치를 이용하여 낙뢰고장 발생사실을 확인하여 송전선로에 대한 지속적인 보수점검 작업을 수행하게 된다.

여기서 현행 낙뢰감지 시스템은 수신기와 송신기(낙뢰감지기)로 이루어져 있으며 송신기로 부터의 무선 정보를 적절하게 수신하기 위해서는 수

신기가 송신기로부터 반경 1~2km 이내로 접근하여야 한다. 송전선로 낙뢰고장이 발생시 송전순시원이 수신기를 착용하여 낙뢰고장 송전철탑까지 접근(최대 2km 이내)해야 하므로 현장순시를 수행해야 함으로 사고 인지에서 조치까지의 시간 소요가 크며, 고장개소 철탑을 찾기 위해서 낙뢰고장 1건당 송전순시원이 승탑을 수행해야 하는 철탑의 수는 평균 10기 정도 이이다. 154kV 송전철탑 사이의 평균 이격 거리가 약 300m 정도임을 감안하면 송전철탑 고장개소의 확인을 위하여 이동하게 되는 거리는 최대 3km 에 달하며, 다수 회의 승탑에 따르는 송전순시원이 안전사고도 매우 우려되는 문제가 있으며 특히, 야간 및 악천후 시 접근이 어려워 낙뢰고장이 발생한 철탑의 확인 및 이에 대한 조치가 현실적으로 불가능한 문제가 있다.

따라서 본 논문에서는 기존의 시스템에 내재하는 문제를 정보통신 기술과의 접목을 통하여 해결하고자 한다. 기존에도 전력분야에 정보통신 기술을 접목하기 위한 시도는 여러 사례를 통하여 확인할 수 있다. 기존의 접목 사례에서는 주로 전력 자체의 품질에 초점이 맞추어져 있었다 [2][3][4]. 그렇지만 여기서는 전기 자체의 품질보다는 전기의 품질에 영향을 미치는 외부 요인 중 송전철탑에 발생하는 낙뢰사고에 대한 모니터링 및 낙뢰사고 발생 시의 전기의 품질 저하를 최소화시키기 위하여 정보통신 기술과의 접목을 시도한다. 접목 기술로서는 저속, 저전력 무선 통신 표준인 IEEE 802.15.4 을 따르는 무선 센서 네트워크 기술을 활용한다[5]. 무선 센서 네트워크 기술은 각각의 무선 통신 장치에 의한 자체 네트워크 구성이 가능하기 때문에 부가적인 통신망의 구축 없이도 신규 시스템 도입이 용이한 특징을 가지는 기술을 이용하여 송전선로의 낙뢰감지 무선 원격 모니터링 시스템 구축을 제안하고 실제 현장 응용을 통하여 그 효과를 검증하고자 한다.

## II. 송전선로에서의 낙뢰 특징

### 1. 직격뇌 차폐실패

뇌격이 가공지선에 의해 차폐되지 않고 전력선에 직격되는 경우, 뇌에 의한 과전압이 선로 양측으로 진행하여 애자련에 도달하게 되며, 애자련의 내전압보다 높을 경우 섬락을 일으키게 된다[6].

그림 1은 차폐실패의 현상을 나타낸 것으로서 이 그림에서 ①은 뇌격이 가공지선으로 유도되는 것이며, ②는 전력선에 직격되는 것이고 ③은 뇌격이 대지로 떨어지는 것을 나타낸다.

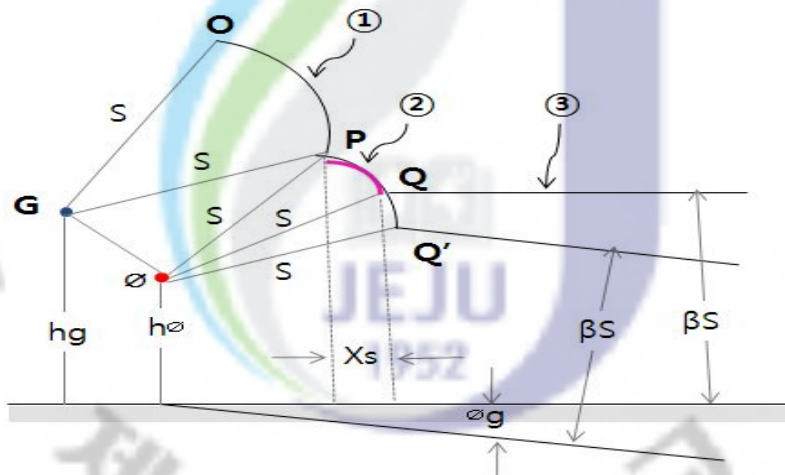


그림 1. 차폐실패현상

이때 각각의 범위를 결정하는 호(弧)의 반경을 뇌격거리  $S$ (Strike Distance)[m]라 하며, 뇌격전류의 크기( $I$ )는 식(1)과 같은 관계를 나타낼 수 있다.

$$S = 8 \cdot I^{0.65} \quad (1)$$

여기서,  $S$  : 뇌격거리 [m]

$I$  : 뇌격전류 크기 [A]

대지에 대한 뇌격거리는 상공의 도체에 대한 뇌격거리  $S$ 에 대하여  $\beta S$ 로 표시되며, 이 때의  $\beta$ 의 값은 0.67(Extra High Voltage) 또는 0.8(Ultra High Voltage)의 값을 사용한다.

$S$ 에 의한 호 중에서 호PQ는 뇌격에 대한 전력선의 노출범위가 되며, 대지경사각  $\theta_g$ 를 고려하면 이 범위는 호PQ'로 늘어나게 된다. 뇌격의 각도가 단지 수직뇌라면 실제 뇌격에 대한 전력선의 노출범위는 호 PQ의 투영길이  $X_s$ 가 되며, 대지경사각이 있는 경우는 호PQ'의 투영길이인  $X_{s'}$ 가 된다. 차폐각이  $0^\circ$ 보다 작을 경우 수직뇌에 대하여는 차폐실패가 일어나지 않으며, 경사뇌에 대하여는 뇌격각도 증가에 따라 다소 차폐실패가 발생하나, 뇌격각도가 증가되면 그 발생확률은 감소하고 노출면도 적어지므로 차폐실패는 아주 적은 양이 된다.

전력선에 대한 직격뢰가 있었더라도 애자련에 걸리는 뇌격전압이 애자련의 내전압 이하이면 섬락은 일어나지 않는다. 섬락을 일으키는 최소전류는 식(2)와 같이 구해진다.

$$I_{\min} = \frac{2 \cdot V_C}{Z_\phi} \quad (2)$$

여기서,  $V_C$  : 애자련 또는 아킹혼의 내전압 [V]

$Z_\phi$  : 전력선의 서지 임피던스 [ $\Omega$ ]

$I_{\min}$  으로부터 식(2)를 이용하면 최소뇌격거리( $S_{\min}$ )가 구해지며, 이를 이용하여 최소노출거리( $X_{S_{\min}}$ )를 구한다. 뇌격전류의 크기가 증가하면 노출거리  $X_S$ 는 감소되어 결국 없어지게 된다. 이때의 뇌격전류의 크기를  $I_{\max}$ 라 하면  $I_{\min} < I < I_{\max}$  의  $I$ 를 갖는 뇌격만이 차폐실패를 일으켜 섬락에 이르게 된다. 또한 선로가 2회선일 경우에는 좌우측 경사각이 같을 경우 차폐실패 섬락횟수는 2배에 달한다.

## 2. 역섬락

가공지선에 뇌격이 있을 경우 뇌격에 의해 애자련의 걸리는 전압은 철탑 Arm의 전압과 전력선에 유도되는 전압과의 차이이며 전력선에 유도되는 전압은 결합계수에 의해 산출된다[6]. 또한 이들 전압은 가공지선의 뇌격진행과로 인접철탑 등에서 반사되는 부전압파에 의해 변화한다. 이 모든 요소들은 철탑의 서지 임피던스, 가공지선의 서지 임피던스 등을 사용하여 진행과 이론으로 해석할 수 있다. 가공지선의 뇌격에 의한 철탑의 전위상승과 전력선에 유도되는 전위와의 차가 애자련의 내전압보다 크면 섬락이 발생하고, 작으면 섬락이 일어나지 않는다.



### Ⅲ. 송전선로 고장현황 및 현행 낙뢰감지 시스템의 문제점

#### 1. 최근 5년간 송전선로 고장현황

송전선로는 낙뢰고장에 대한 절연으로 가공지선 설치 및 접지저항치를 낮추어 시공하고 있지만, 송전선로는 평지나 산악지등 전 지역에 걸쳐 광범위하게 시설되므로 바람, 눈, 비, 낙뢰 등에 의한 위험에 노출되어 있다 [7]. 송전철탑이 자연환경에 완전히 노출되어 송전선로 고장은 자연환경에 의해 좌우된다고 해도 과언이 아니다. 표 1은 최근 5년간 전국과 제주지역 송전선로 고장현황을 나타내고 있다.

표 1. 송전선로 최근 5년간 고장원인 현황

구 분	2005		2006		2007		2008		2009		합계	
	전국	제주	전국	제주	전국	제주	전국	제주	전국	제주	전국	제주
낙뢰	706	3	434	36	506	13	345	21	313	12	2304	85
빙설해	45	2	21	-	20	-	10	-	24	-	120	2
외물접촉	72	1	43	-	53	1	47	-	50	1	265	3
산불	13	-	6	-	7	-	2	-	6	-	34	-
기타	55	1	129	2	37	8	37	-	48	1	306	12
합계	891	7	633	38	623	22	441	21	441	14	3029	102

그림 2는 송전선로 전체고장(2008년)중 발생원인을 도표로 나타낸 것으로 여기서 낙뢰고장은 78.2% 점유하고 있다. 또한 그림 3은 송전선로 전체고장(2009년)중 발생원인을 도표로 나타낸 것으로 송전선로 전체고장중 낙뢰고장이 71.1% 점유하고 있는 점을 감안하면 낙뢰고장에 대한 빠른 고장복구가 안정적인 전력공급에 중요한 키워드라 할 수 있다.

송전선로 고장원인(2008년)

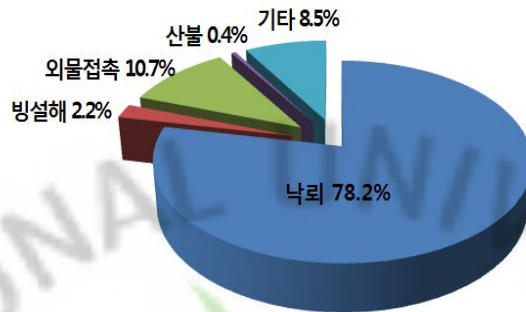


그림 2. 2008년 송전선로 고장원인

송전선로 고장원인(2009년)

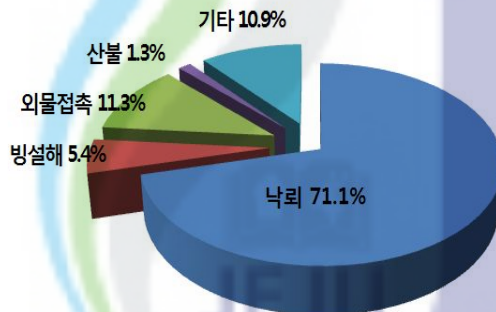


그림 3. 2009년 송전선로 고장원인

그림 4는 송전선로가 낙뢰에 의해 현수애자 파괴 및 전력선 단선을 일으킨 고장이며, 또한 그림 5는 낙뢰에 의해 가공지선이 용융되면서 탈락된 고장이다.



그림 4. 낙뢰에 의한 전력선 단선고장



그림 5. 낙뢰에 의한 가공지선 용융 및 탈락

## 2. 현행 낙뢰감지 시스템 구성 및 문제점

그림 6은 현행 낙뢰감지시스템의 수신기와 송신기(낙뢰감지기)를 나타

낸 것이다[8]. 그리고 그림 7은 현행 낙뢰감지 시스템 설치 환경을 나타낸다. 현행 낙뢰 감지 시스템에서 송신기(낙뢰감지기)는 송전철탑의 하단암 아래 부분에 설치되며, 송전철탑에 낙뢰고장이 발생하였을 경우 송신기(낙뢰감지기)가 동작하여 낙뢰 사고 발생 정보를 무선 신호로 전송한다.

이러한 상황에서 수신기를 통하여 송신기로부터의 낙뢰 사고 발생 정보를 수신함으로써 낙뢰 사고가 발생한 송전철탑의 위치 확인이 이루어진다. 하지만 현행 낙뢰 감지 시스템에서는 송신기로부터의 무선 정보를 적절하게 수신하기 위해서는 수신기가 송신기로부터 반경 1~2km 이내로 접근하여야만 한다.



그림 6. 현행 낙뢰감지시스템

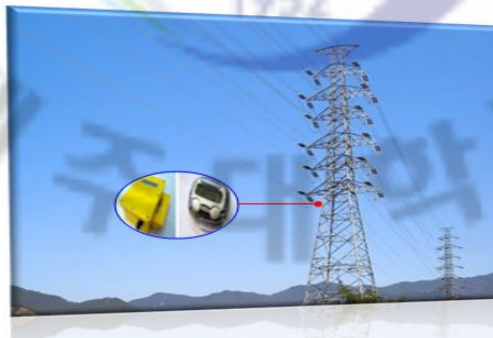


그림 7. 현행 낙뢰감지 시스템 설치

현행 낙뢰감지 시스템은 낙뢰고장 발생 시 송전선로 낙뢰고장개소를 확인하기 위해서는 송전순시원이 수신기를 착용하여 차량 또는 도보로 낙뢰고장철탑 부근 1~2km까지 현장순시를 수행해야하는 불편함은 물론 야간 및 악천후 시는 대부분 산악지에 형성되어 있는 송전철탑에 대한 고장순시가 불가하여 대부분 익일 순시를 통해 낙뢰고장개소를 파악해야 한다. 그러므로 현행 낙뢰 감지 시스템에서는 낙뢰고장개소의 확인 및 조치의 지연이 필연적으로 발생할 수밖에 없으며, 이러한 지연은 송전선로를 통한 안정적인 전력공급에 불안정을 초래하는 요인으로 작용한다.

또한 송전철탑 고장개소의 확인은 송전순시원의 철탑 승탑에 따른 낙뢰피격 사실의 육안 확인을 통하여 이루어진다. 그리고 고장개소 철탑을 찾기 위해서 낙뢰고장 1건당 송전순시원이 승탑을 수행해야 하는 철탑의 수는 평균 10기 정도가 된다. 154kV 송전철탑 사이의 평균 이격 거리가 약 300m 정도임을 감안하면 송전철탑 고장개소의 확인을 위하여 이동하게 되는 거리는 최대 3km 에 달하며, 다수 회의 승탑에 따르는 송전순시원이 안전사고도 매우 우려되는 문제이다. 그리고 송전철탑의 하단암 아래 부분에 설치되어 있는 송신기(낙뢰감지기)의 정상동작여부를 판단하기 위해 송전순시원이 매년 1회 송신기(낙뢰감지기)가 설치되어 있는 철탑에 승탑하여 휴대용 서지 발생기를 이용한 현장점검을 반드시 해야 한다. 따라서 송전순시원이 매년 다수의 승탑으로 인한 안전사고가 우려되며, 또한 송신기(낙뢰감지기)의 정상동작 상태를 상시 확인할 수 없는 문제가 있다.

## IV. 무선 모니터링 시스템 구축

본 장에서는 낙뢰고장 원격감지를 위하여 제안된 무선 모니터링 시스템의 설계 개념과 시스템 구축에 대하여 다룬다. 설계에서는 낙뢰감지를 위한 감지장치의 설치 환경을 고려하여 동작 전력이 작도록 하고 효과적인 네트워크를 구축하기 위한 방법을 주로 고려한다. 그리고 모니터링을 위한 컴퓨터 응용 프로그램에서는 사용자의 접근 편의성과 데이터 관리 효율성을 고려하여 설계한다. 제안된 시스템 구축에서는 다양한 형태의 하드웨어 장치와 이를 구동하는 응용프로그램에 대해서 다룬다.

### 1. 무선 모니터링 시스템의 구성 개념

송전철탑의 낙뢰고장을 원격으로 감지하기 위한 무선 모니터링 시스템은 송전철탑에 낙뢰에 의한 지락사고가 발생된 경우 이를 검출하여 원격지의 관제센터에 설치되는 모니터링용 컴퓨터로 무선 통신 수단을 통하여 전송할 수 있도록 구성되어 있다. 이와 같은 무선 모니터링 시스템의 구성도를 그림 8에 나타내었다.

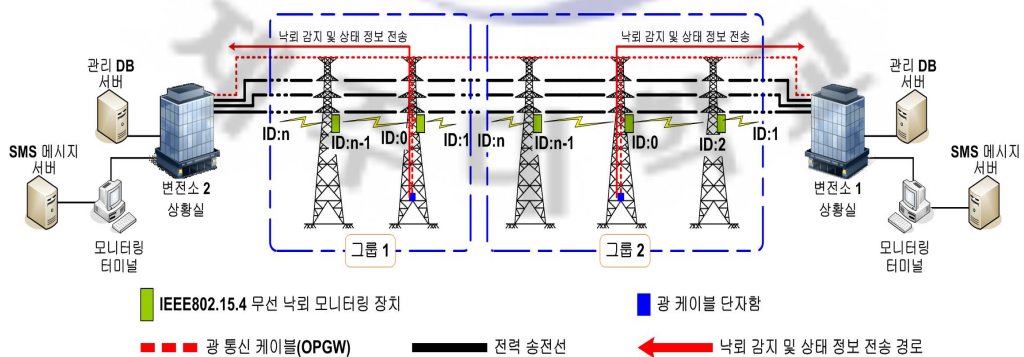


그림 8. 송전철탑 낙뢰고장 원격감지를 위한 무선 모니터링 시스템의 구성도



그림 8과 같은 무선 모니터링 시스템은 IEEE802.15.4 무선 낙뢰 모니터링 장치(이하 무선 낙뢰 모니터링 장치), 모니터링 터미널, 관리 데이터베이스 서버, 그리고 SMS(Short Message Service) 메시지 서버로 구성된다.

표 2는 IEEE802.15.4 표준에서 제안하는 주파수 대역, 데이터 전송률 및 채널수에 대한 내용을 요약하여 놓았다.

표 2. IEEE802.15.4 주파수 대역별 특성

주파수 대역(MHz)	데이터 전송률(kbps)	채널수
868 ~ 868.6	20	1
902 ~ 928	40	10
2400 ~ 2483.5	250	16

무선 낙뢰 모니터링 장치는 송전철탐에 설치되어 송전철탐의 고장전류를 검출하고 그 이상상태를 무선데이터로 송출한다. 그리고 이웃하는 송전철탐에 설치되는 무선 낙뢰 모니터링 장치로부터 데이터를 수신하고 다시 이웃하는 또 다른 송전철탐에 설치되는 무선 낙뢰모니터링 장치로 해당 무선 정보를 중계함으로써 전체적인 무선 통신 네트워크의 구성을 가능하게 한다.

모니터링 터미널은 그림 8에 나타낸 바와 같이 변전소의 상황실에 설치되며, 송전철탐에 설치되는 무선 낙뢰 모니터링 장치와의 무선 통신을 위한 무선 송수신장치가 이와 접속된다. 또한 모니터링 터미널에서는 낙뢰 사고 발생 정보의 실시간 조회를 위한 응용 프로그램이 구동된다. 데이터베이스 서버와 SMS 메시지 서버는 모니터링 터미널에서 구동되는 응용 프로그램과 연동된다. 데이터베이스 서버는 송전철탐에 설치되는 무선 낙뢰 모니터

링 장치와 송전철탑과의 대응관계, 해당 송전철탑에 발생하는 낙뢰사고 발생 이력 정보를 관리하는 기능을 담당한다. 그리고 SMS 메시지 서버는 낙뢰사고가 발생하였을 경우, 낙뢰사고 발생에 따른 즉각적인 조치를 위하여 기 등록된 관련자에게 SMS 메시지를 전송하는 기능을 담당한다.

본 논문에서 제안하는 낙뢰고장 원격감지를 위한 무선 모니터링 시스템의 전체적인 동작을 설명하면 다음과 같다. 송전철탑에 낙뢰사고가 발생하였을 경우, 낙뢰사고가 발생한 송전철탑에 설치된 무선 낙뢰 모니터링 장치는 사고 발생 정보를 원격지의 관제센터로 무선으로 전송한다. 관제센터의 모니터링 터미널에 접속된 무선 송수신장치가 이를 수신하여 응용 프로그램으로 해당 정보를 전송한다. 이를 전달받은 응용 프로그램은 수신된 낙뢰 사고 발생 정보를 관제센터의 관리자가 시각적으로 즉각적인 인지가 가능하도록 그래픽과 텍스트 기반의 화면을 출력하여 표현한다. 그리고 낙뢰 사고 발생 사실을 사고 처리 관련자에게 SMS 메시지를 통하여 전송함으로써 낙뢰 사고 발생 사실을 장소에 구애받지 않고 인지하고 처리할 수 있도록 한다. 또한 모니터링용 컴퓨터의 응용 프로그램은 데이터베이스 서버와 연동하여 낙뢰 사고 발생 사실을 데이터베이스 서버 상의 관리 테이블에 기록함으로써 해당 송전철탑에서 발생하게 되는 낙뢰 사고에 대한 이력 정보를 실시간으로 파악할 수 있도록 하므로 전체적인 관리상의 편의를 도모할 수 있게 한다.

또한, 각각의 송전철탑에 설치되는 무선 낙뢰 모니터링 장치 간의 무선 네트워크만을 이용하여 구성되는 형태이나, 송전철탑과 함께 포설되는 가공지선(OPGW : OPTical Ground Wire 이하 OPGW)의 광섬유 케이블을 관제센터와의 접속 수단으로 이용하여 보다 운용 효율을 높일 수 있는 시스템의 구성도 가능하다.



## 2. 무선 낙뢰 모니터링 장치의 구성

그림 8에 나타낸 그림에서 송전철탐에 설치되는 무선 낙뢰 모니터링 장치는 그림 9에 나타낸 바와 같이, 크게 낙뢰 감지 회로부와 디지털 신호 처리 및 무선 데이터 송수신부로 구성된다.

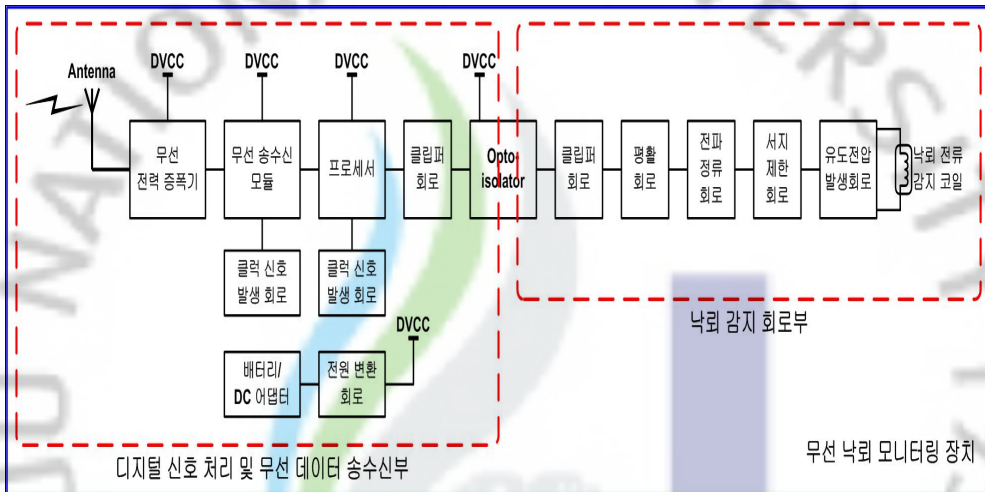


그림 9. 무선 낙뢰 모니터링 장치의 내부 구성 블록도

낙뢰 감지 회로부는 그림 9에 나타낸 바와 같이 낙뢰 전류 감지 코일, 서지 제한 회로, 전파 정류 회로, 평활회로, 클립퍼 회로로 구성되며, 클립퍼 회로의 출력 신호는 종속 연결된 광분리기(Optoisolator) 입력 단자로 인가된다. 그리고 디지털 신호 처리 및 무선 데이터 송수신부는 클립퍼 회로, 프로세서, 클럭 발생 회로, 전원회로, 무선 송수신 모듈, 그리고 무선 전력 증폭기로 구성된다.

낙뢰 사고가 발생한 경우, 낙뢰로 인한 고장전류가 송전철탐으로 유입되면 낙뢰 전류 감지 코일에서는 낙뢰로 인한 고장전류에 의한 2차 전류가 유도되고, 낙뢰 전류 감지 코일에 유도된 2차 전류에 비례하는 크기의

전위차가 유도 전압 발생회로에서 발생된다. 유도 전압 발생 회로의 다음 단에 위치하는 서지 제한 회로는 다음 단으로 전압 신호가 전달될 때, 회로 각 부의 소자를 보호하기 위하여 일정 크기 이상의 전압 신호를 제거하는 역할을 수행한다. 낙뢰로 인한 유도 전압 신호는 서지 제한 회로를 통과한 후 전파 정류 회로와 평활 회로를 거친 후 일정한 크기를 가지는 직류 신호로 변환된다. 클립퍼 회로는 이렇게 변환된 직류 전압을 일정한 레벨이 되도록 제한하며, 이렇게 변환된 직류 전압 신호는 디지털 신호 처리 및 무선 데이터 송수신부로의 신호 전달을 위한 광분리기의 입력 단자로 인가된다. 광분리기로 인가된 신호는 광분리기 내부의 LED를 점등시켜 디지털 신호 처리 및 무선 데이터 송수신부로의 신호 스위칭을 유발시키며, 이러한 스위칭은 디지털 신호 처리 및 무선 데이터 송수신부의 프로세서의 외부 입력 단자와 연결되어 프로세서에 외부 인터럽트를 발생시킨다. 광분리기의 출력 단자와 프로세서의 입력 단자 사이에 위치하는 클립퍼 회로는 이러한 신호 스위칭에 의한 과도 전압을 제한하여 프로세서의 입력 단자를 보호하는 역할을 수행한다.

송전철탑에 유입되는 낙뢰 전류로 인한 2차유도 전압이 프로세서의 입력 단자로 인가되어 외부 인터럽트를 유발시키면, 정상 상태로 동작하던 낙뢰 모니터링 장치의 동작 프로세스는 외부 인터럽트 처리 루틴으로 분기하여 낙뢰 발생과 관련된 플래그를 변경시킨 후 주 프로그램으로 복귀하게 된다. 주프로그램에서는 인터럽트 처리 루틴에서 변경된 상태 메시지 및 낙뢰 발생 카운터 값을 무선 데이터 패킷을 통하여 현재의 배터리 전압값과 함께 관계센터의 모니터링용 컴퓨터로 전송한다. 그림 10은 이러한 무선 낙뢰 모니터링의 장치 펌웨어 흐름도를 나타낸 것이다.

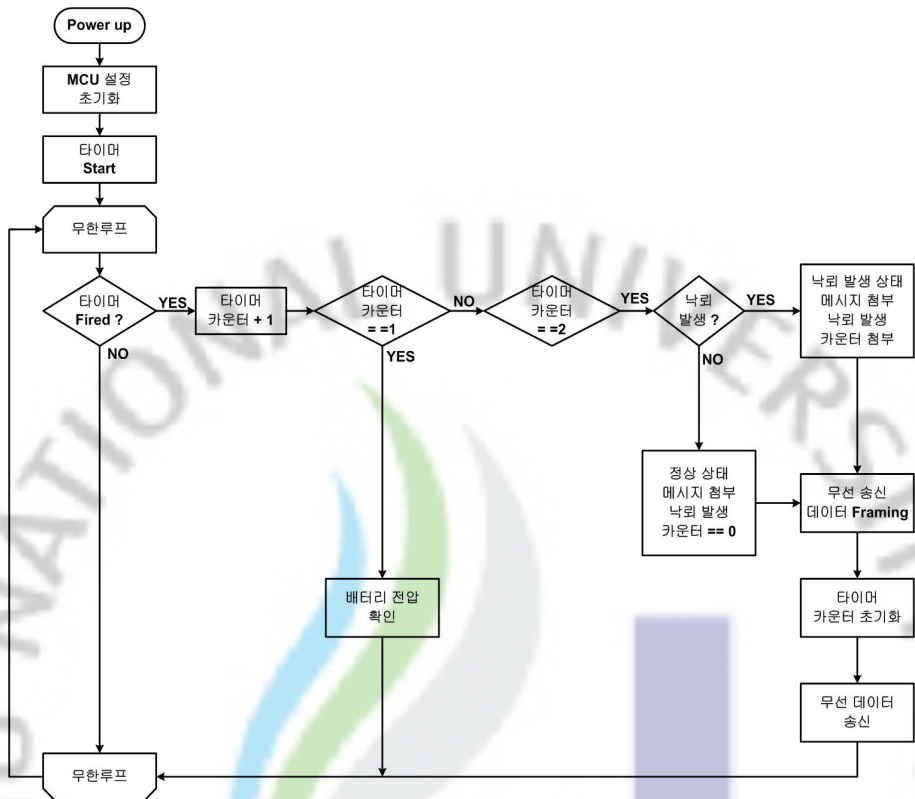


그림 10. 무선 낙뢰 모니터링 장치 펌웨어 흐름도

그림 11은 무선 낙뢰 모니터링 장치의 마이크로컨트롤러에서 수행되는 외부 인터럽트 처리 루틴의 흐름도를 나타낸 것이다. 무선 낙뢰 모니터링 장치는 낙뢰 발생에 의한 외부 인터럽트가 발생하게 되면, 우선 잔류하는 과도 신호에 의한 추가적인 인터럽트의 발생을 방지하기 위하여 외부 인터럽트를 디스에이블 시킨다. 그 이후 이전의 낙뢰 발생 여부를 관련된 카운터 정보를 조회함으로써 확인한 후 조회된 카운터 정보의 결과를 증가시키고, 낙뢰 발생 상태 메시지 변경시킨 후 주프로그램으로 복귀한다.

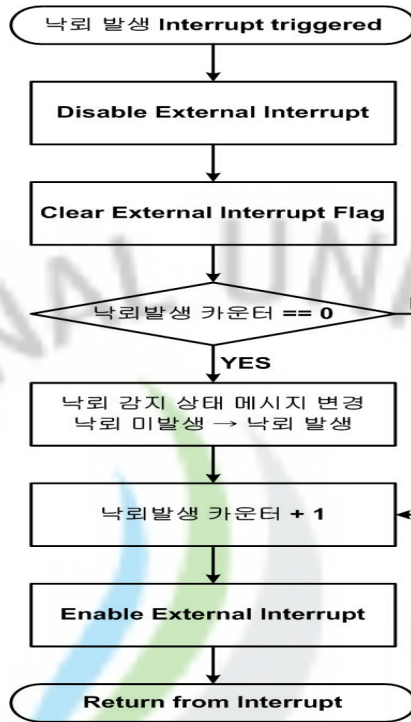


그림 11. 무선 낙뢰 모니터링 장치의 인터럽트 처리 루틴 흐름도

### 3. 무선 낙뢰 모니터링용 응용 프로그램 구성

낙뢰 사고가 발생하지 않은 정상적인 경우, 각각의 송전철탑에 설치되어 있는 무선 낙뢰 모니터링 장치는 현재의 구동 배터리의 전압과 낙뢰가 발생하지 않은 정상 상태 메시지를 무선 데이터 패킷을 통하여 관제센터의 모니터링용 컴퓨터로 전송한다. 그리고 이를 수신한 관제센터의 모니터링 터미널의 응용 프로그램에서는 그림 12와 그림 13에 나타낸 바와 같이 무선 메시지를 송신한 송전철탑의 무선 낙뢰 모니터링 장치로부터의 무선 메시지 수신여부를 그래픽 기반의 표시 수단과 텍스트 기반의 테이블의 두 가지 수단을 통하여 용이하게 확인할 수 있도록 구성한다.

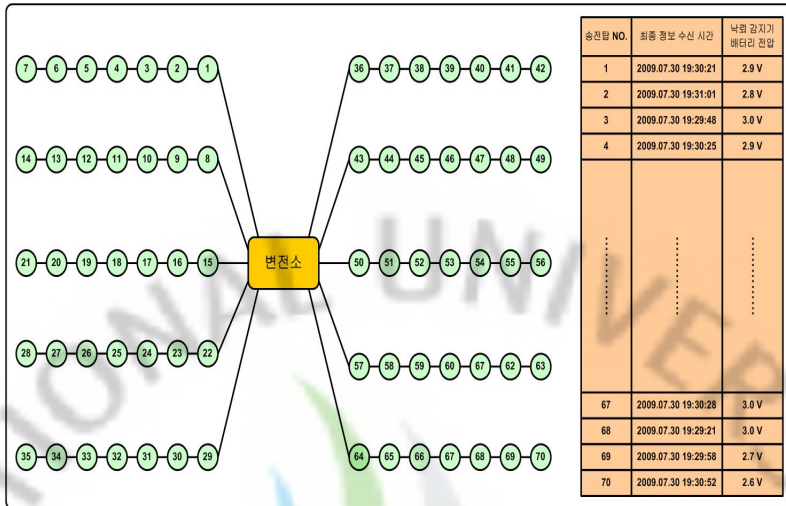


그림 12. 컴퓨터 응용프로그램의 화면 구성의 예 I

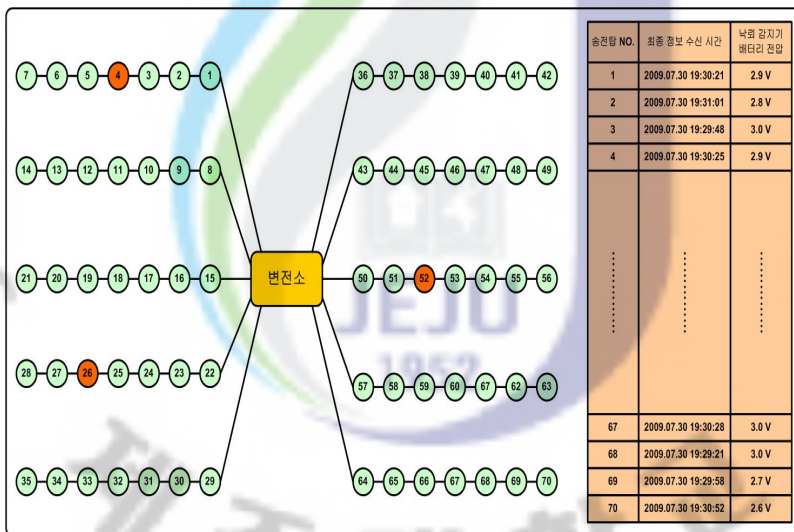


그림 13. 컴퓨터 응용프로그램의 화면 구성의 예 II

그래픽 기반의 표시 방법은 해당 노드를 서로 다른 두 가지 색을 이용하여 점멸 처리시킴으로써 해당 송전철탑에 설치되어 있는 무선 낙뢰 모니터링 장치의 상태를 손쉽게 확인할 수 있도록 하는 것이다. 그리고 텍

스트 기반의 표시 방법은 응용 프로그램의 화면 우측 테이블에 무선 패킷을 통하여 수신되는 내용을 텍스트의 형태로 표시함으로써 관리자는 그래픽 기반의 정보 표현 수단과 텍스트 기반의 조회 테이블을 활용함으로써 상세한 상태 정보를 즉각적으로 파악할 수 있게 한다.

낙뢰 발생 상태 정보를 수신한 모니터링 터미널의 응용 프로그램은 그림 14에 나타난 바와 같이 해당 송전철탑에서의 낙뢰 사고 발생 정보를 화면상에 별도의 메시지 창을 출력함으로써 관리자가 낙뢰 사고 발생 사실을 즉각적으로 인지할 수 있도록 구성한다.

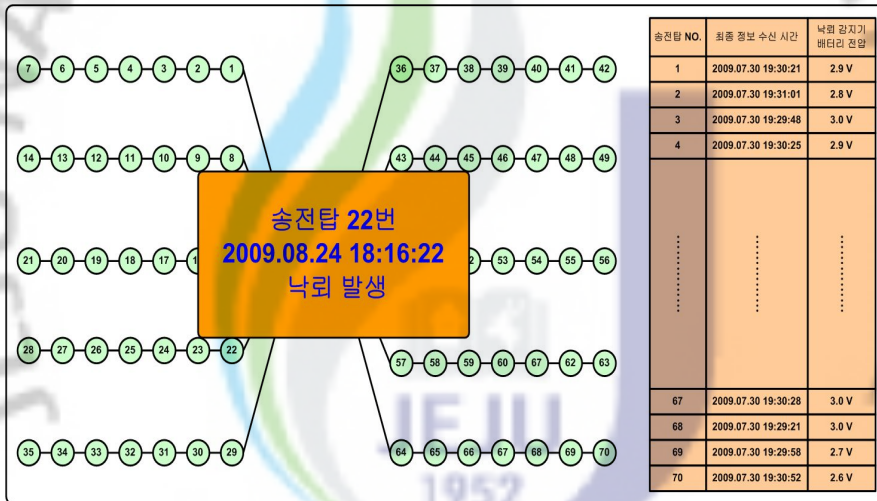


그림 14. 컴퓨터 응용프로그램의 화면 구성의 예 III

그리고 낙뢰 사고 발생 사실을 사고 처리 관련자에게 SMS 문자 서비스를 통하여 해당 정보를 송신함으로써 장소에 구애 받지 않고 낙뢰 사고에 대한 대응조치를 수행할 수 있도록 한다. 또한 모니터링용 컴퓨터의 응용 프로그램은 데이터베이스 시스템과 연동하여 낙뢰 사고 발생 이력 정보를 관리 테이블에 기록하도록 한다. 낙뢰 발생 이력 정보 관리 테이블을 그림 15에 나타내었다.



낙뢰 발생 이력 정보 관리 테이블

송전탑 NO.	낙뢰 발생일	낙뢰 발생 시간
1	2009.08.15	21:00
1	2010.07.25	20:49
10	2010.07.26	11:00
⋮	⋮	⋮
N	2011.06.02	03:00

그림 15. 낙뢰 발생 이력 정보 관리 테이블

그림 16은 제안하는 낙뢰고장 원격 감지를 위한 무선 모니터링 시스템에서 각각의 송전철탑에 설치되는 낙뢰 모니터링 장치와 낙뢰 모니터링 장치가 설치되는 송전철탑과의 대응 관계를 관리하기 위한 테이블 구성의 예를 설명하기 위한 그림이다. 제안하는 시스템은 그림 16에 나타난 관리 테이블의 정보를 기초로 응용 프로그램을 통하여 사용자에게 낙뢰고장 발생 정보를 전달하게 된다.

송전탑 식별 정보 관리 테이블

송전탑 NO.	낙뢰감지기 그룹 ID	낙뢰감지기 노드 ID
1	0	0
2	0	1
3	0	2
⋮	⋮	⋮
N	255	n

그림 16. 송전철탑 식별 정보 관리 테이블

#### 4. 무선 낙뢰 모니터링 장치 설계 및 구현

무선 낙뢰 모니터링 장치는 본 논문에서 제안하는 낙뢰고장 원격감지를 위한 무선 모니터링 시스템의 가장 핵심이 되는 부분으로서 RF/MCU(Radio Frequency/Micro Control Unit)부, 낙뢰 전류 감지부, 무선 전력 증폭부로 구성된다. 무선 낙뢰 감지 장치의 각 구성 요소들은 인터페이스 보드와의 커넥터 접속을 통하여 서로 연결되는 구조이다.

무선 낙뢰 감지 장치에서 RF/MCU 부는 장치 간의 무선 네트워크 구축, 무선 낙뢰 모니터링 장치 전체의 동작 프로세스 제어를 담당한다. 그림 17은 RF/MCU 부의 컨트롤러 부분에 대한 회로도를 나타내었다. RF/MCU 부에는 TI(Texas Instruments) 사의 MSP430 계열의 마이크로컨트롤러를 사용하였다. MSP430 계열의 마이크로컨트롤러는 5가지의 절전 모드를 제공하며 최대 소모 전류가  $0.2\mu\text{A}$  인 동작 모드를 운용할 수 있어 제안하는 시스템과 같이 전지를 사용하는 응용의 경우에 장치의 동작 수명 연장에 효과적이다[9].

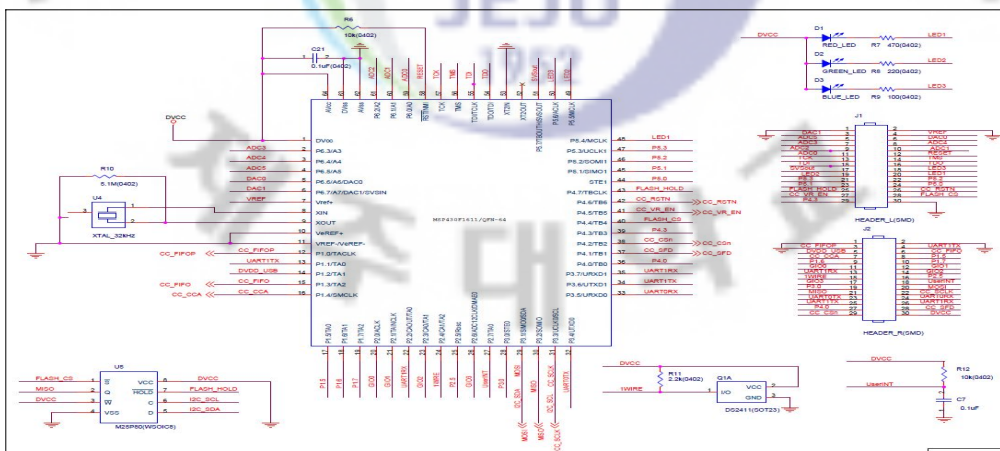


그림 17. RF/MCU 부의 컨트롤러부



그림 18은 RF/MCU 부에서 무선 통신을 담당하는 부분의 회로도를 나타낸 것이다. 무선 통신용 트랜시버는 TI사의 CC2420을 사용하였다. CC2420은 동작 주파수가 2.4GHz 대역이고 IEEE802.15.4 표준과 호환되는 단일 칩 무선 통신 트랜시버이다. CC2420은 동작 전압 범위가 2.1V ~ 3.6V 이이며, 최대 소모 전류는 수신 시 19.7mA이고 송신 시 17.4mA이다. CC2420은 외부에 소수의 수동 소자 연결을 통하여 무선 통신 기능을 구현할 수 있으므로 장치를 소형화하는 경우에 유리하다[10]. 위에서 언급되었듯이 CC2420의 동작 시의 소모전류는 무선 출력 전력이 1mW인 경우, 수신 시 최대 19.7mA로서 제안하는 시스템의 구성요소 중 가장 큰 전력을 소모하는 부분이다. 제안하는 시스템에서는 무선 통신용 트랜시버인 CC2420의 송수신 기능을 일정한 주기로 On/Off 시킴으로써 무선 통신용 트랜시버인 CC2420의 동작에 따르는 소모 전력이 최소가 될 수 있도록 펌웨어를 설계한다.

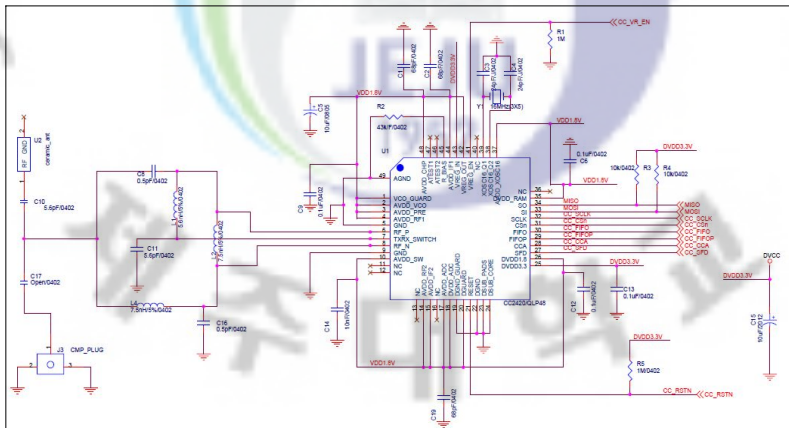


그림 18. RF/MCU 부의 무선 통신부

RF/MCU 부는 하나의 보드에 통합되도록 설계하였으며 통신을 위한

안테나는 보드에 실장되는 칩 형태의 세라믹 안테나와 접속 커넥터를 통한 외부 안테나를 선택적으로 사용할 수 있도록 설계하였다.

그림 19는 제작된 RF/MCU 보드의 동작 사이클을 측정한 것이다. 제작된 RF/MCU 보드는 동작에 따르는 전력 소비를 감소시키기 위하여 주기적으로 동기를 위한 무선 신호의 송수신을 수행하여 이웃하는 무선 낙뢰 모니터링 장치와의 동기를 유지한다. 상태 메시지 전송의 필요하지 않은 경우에는 주기적인 동기 신호의 전송만을 수행하며 상태 메시지 전송이 필요한 경우에는 해당 무선 낙뢰 모니터링 장치의 wake-up 주기 동안 자신의 상위 노드를 통하여 베이스 노드로 메시지를 전송한다. 제작된 무선 낙뢰 모니터링 장치의 RF/MCU 보드는 이웃하는 무선 낙뢰 모니터링 장치와의 동기 유지를 위하여 2초 주기로 동기 메시지 송수신을 수행하며, 동기 메시지 및 상태 메시지의 전송을 위하여 무선 낙뢰 모니터링 장치의 무선 송수신 장치가 활성화되는 시간은 동작 주기의 약 1%(20ms)이다. 무선 송수신 장치의 활성화 시간이 길어질수록 동기 유지에는 유리하나, 소비 전류는 그에 따라 증가하므로 전송되는 데이터량을 고려하여 무선 송수신 장치의 활성화 시간이 결정되어야 한다.

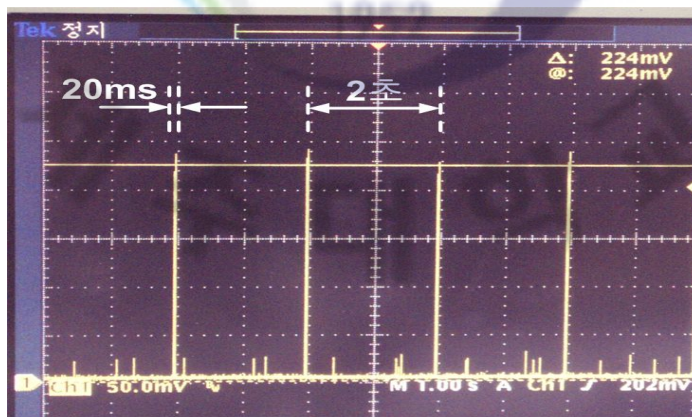


그림 19. 센서 노드 동작 사이클 측정 파형

낙뢰 전류 감지부는 낙뢰 전류 감지 코일, 서지 제한 회로, 전파 정류 회로, 평활회로, 클립퍼 회로로 구성된다. 낙뢰가 발생하는 경우, 낙뢰에 의한 2차유도 전압 신호가 낙뢰 전류 감지부로부터 RF/MCU 부로 인가 됨으로써 낙뢰 사고 처리를 위한 프로세스가 RF/MCU 부에서 개시된다. 낙뢰 전류 감지부의 회로도들 그림 20에 나타내었다.

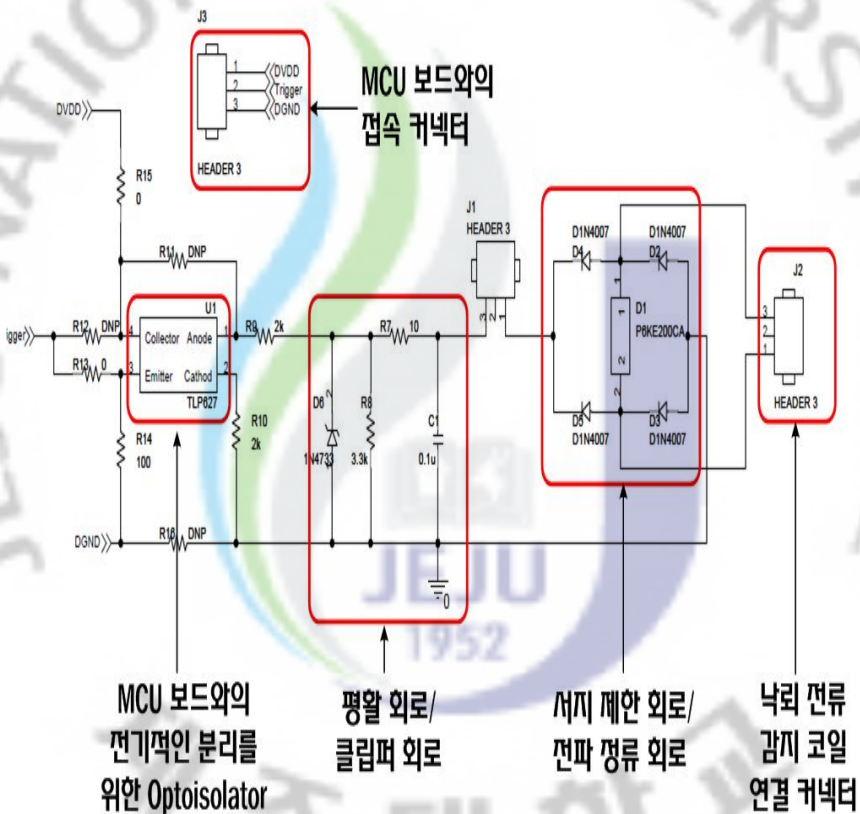


그림 20. 낙뢰 전류 감지부 회로도

무선 전력 증폭기는 RF/MCU 부에 사용된 무선 통신 트랜시버인 CC2420의 무선 출력 전력을 증폭시키는 역할을 수행한다. CC2420은 칩 자체의 출력 전력이 최대 1mW이다. 1mW의 출력 신호를 이용하여 약

200m ~ 300m 이격된 송전철탑 사이에서 원활한 무선 통신을 수행하기에는 다소 무리가 따른다. 그림 21은 무선 출력 전력에 따른 전파 거리의 시뮬레이션 결과를 나타내는 그림이다. 여기서 (가)는 출력 전력이 1mW인 경우의 거리에 따른 전력 감쇠 특성을 나타낸 것으로서 통신거리가 200m 이상이 되면 최대 수신 감도보다 낮은 전력이 수신되므로 원활한 통신이 이루어지지 않게 된다. 반면에 (나)는 출력 전력이 10mW인 경우의 거리에 따른 전력 감쇠 특성을 나타낸 것으로서 통신거리가 200m 이상인 경우에도 최대 수신 감도보다 높은 전력이 수신되므로 원활한 통신이 이루어지게 됨을 확인할 수 있다.

(가) 출력 1mW

(나) 출력 10mW

그림 21. 송수신점간 거리에 따른 전력 감쇠 특성 시뮬레이션 결과

무선 출력 전력의 증폭을 통하여 무선 통신 신호의 전파 거리를 향상시켜야 본 논문에서 제안하는 시스템의 원활한 구성이 가능하게 된다. 그림 22는 무선 전력 증폭기의 회로도를 나타내었다.

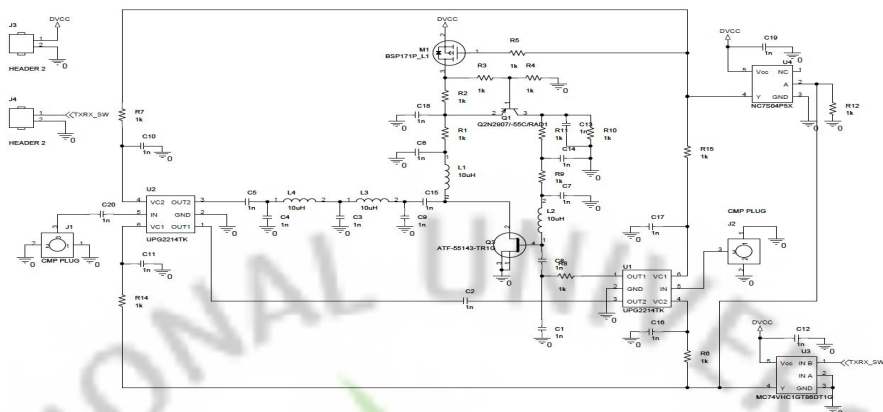
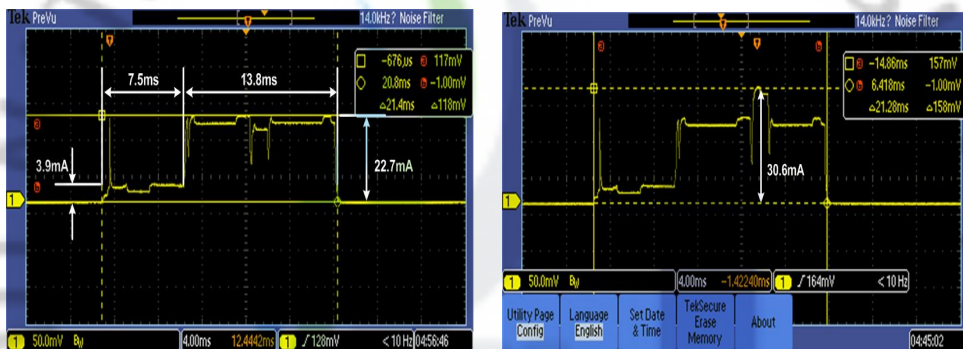


그림 22. 무선 전력 증폭기 회로도

그림 23은 제작된 무선 전력 증폭기의 증폭특성과 반사특성의 측정 결과를 나타낸 그림이다. 특성의 측정은 총 10개의 제작 표본에 대하여 이루어졌으며, 측정 결과 IEEE802.15.4 표준과 부합하는 대역인 2.4~2.4835 GHz 대역에서 10dB 이상의 증폭특성을 나타내고 있다. 그리고 반사특성은 -10dB 이하의 양호한 반사 특성을 나타내고 있다.

그림 23. RF 전력 증폭기 측정 결과

그림 24는 제작된 무선 전력 증폭기를 사용했을 경우와 사용하지 않았을 경우의 전체 소비전류를 측정된 그림이다. 전류의 소비가 이루어지는 시간은 약 21ms 정도로서 2초의 동작 주기 중 1%의 시간 동안만 무선 송수신 장치의 활성화가 이루어지고 있음을 그림을 통하여 확인할 수 있다. 또한 메시지의 송신이 이루어지는 구간의 점유 시간은 약 2ms 정도에 해당하는데 무선 전력 증폭기의 의한 전류의 소비는 이 시간동안만 이루어지게 된다. 이러한 전류 소비는 전체 전력 소모에 큰 영향을 미치지 않는다.



(가) 무선 전력 증폭기 미사용

(나) 무선 전력 증폭기 사용

그림 24. 무선 낙뢰 감지 장치의 소비전류 측정 결과

이상에서 설계되고 구현된 RF/MCU 보드, 낙뢰 전류 감지 보드 그리고 무선 전력 증폭기 보드는 인터페이스 베이스 보드와의 커넥터 접속을 통하여 서로 연결이 이루어진다. 인터페이스 베이스 보드는 커넥터 접속을 통한 각 부분의 연결 관리 기능과 더불어 외부에서 접속되는 배터리로부터 각 부의 동작에 필요한 전력을 분배/공급하는 역할을 수행한다. 그림 25에 인터페이스 베이스 보드의 회로도를 나타내었다.



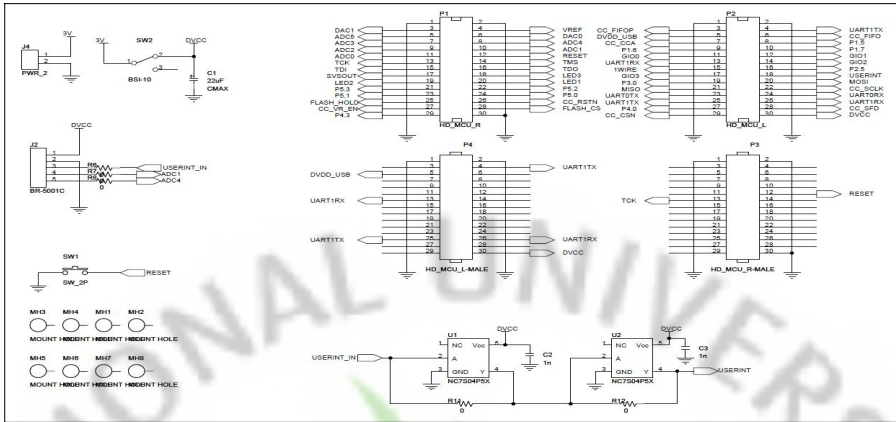
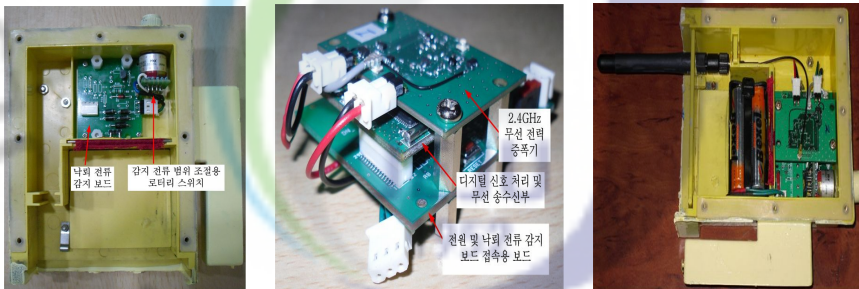


그림 25. 인터페이스 베이스 보드의 회로도

그림 26은 설계 및 제작된 각 부분을 통합하여 조립한 무선 낙뢰 모니터링 장치를 나타낸 그림이다. 무선 낙뢰 모니터링 장치에서 각각의 보드는 협소한 공간에 조립될 수 있도록 적층되어 조립된다.



(가) 낙뢰전류 감지회로부

(나) 신호처리 및 무선 통신부

(다) 테스트용 무선 낙뢰 감지 장치

그림 26. 무선낙뢰 모니터링 장치 조립 사진

무선 낙뢰 모니터링 장치의 최하위에는 낙뢰 전류 감지 보드가 위치하며, 그 상위에 인터페이스 베이스 보드, RF/MCU 부 그리고 최상위에 무선 전력 증폭기가 적층되어 조립되는 구조이다. 이러한 구성에 동작 전원 공급을 위한 배터리와 원활한 무선 통신을 위한 안테나가 추가됨으로써 전체적인

무선 낙뢰 모니터링 장치를 구성하게 된다.

그림 27은 모니터링 터미널과 접속되어 무선 낙뢰 모니터링 장치의 전체적인 네트워크 동기를 관장하는 베이스 노드를 나타낸 그림이다. 베이스 노드는 무선 낙뢰 모니터링 장치와의 무선 통신을 위한 기능과 모니터링 터미널에서 구동되는 응용 프로그램과의 통신 접속을 위한 기능을 수행한다.

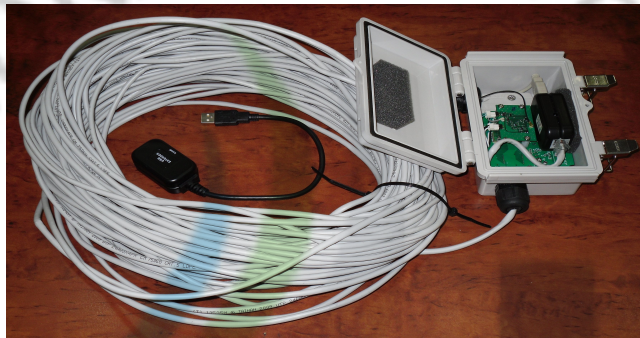


그림 27. 베이스 노드

#### 5. 무선 낙뢰 모니터링 장치 펌웨어 설계 및 구현

설계된 무선 낙뢰 모니터링 장치의 펌웨어는 그림 28에 나타난 것과 같이 9개의 컴포넌트를 이용하여 구현되었다. 사용된 컴포넌트는 Main, LightningM, InternalVoltageC, MultiHop, ADCC, LedsC, MSP430GeneralIOC, MSP430InterruptC, TimerC 이다.

각각의 컴포넌트를 구체적으로 살펴보면, TinyOS의 시작인 Main 컴포넌트에서 시작하여, 낙뢰 감지를 위한 기본적인 동작 제어를 수행하는 Module 부분인 LightningM 컴포넌트, 마이크로컨트롤러의 동작 전압을 모니터링하기 위한 InternalVoltageC 컴포넌트, 무선 데이터 전송을 위한 라우팅 기능을 담당하는 MultiHop 컴포넌트, 연결되는 센서들의 데이터



취득 기능을 담당하는 ADCC 컴포넌트, 디버깅 등을 위해 LED를 제어하는 기능을 담당하는 LedsC 컴포넌트, MCU(MSP430)에 의한 전원 공급 등의 상세 제어를 위한 일반 포트 제어 기능을 갖는 MSP430GeneralIOC 컴포넌트, MCU(MSP430)의 외부 인터럽트 포트인 Port 1과 Port 2에 의한 외부 인터럽트 제어를 담당하는 MSP430InterruptC 컴포넌트, 센싱 인터벌 제어 및 주기적인 데이터 전송 프로세스 구현을 위한 TimerC 컴포넌트 등 총 9개의 컴포넌트로 구성된다.

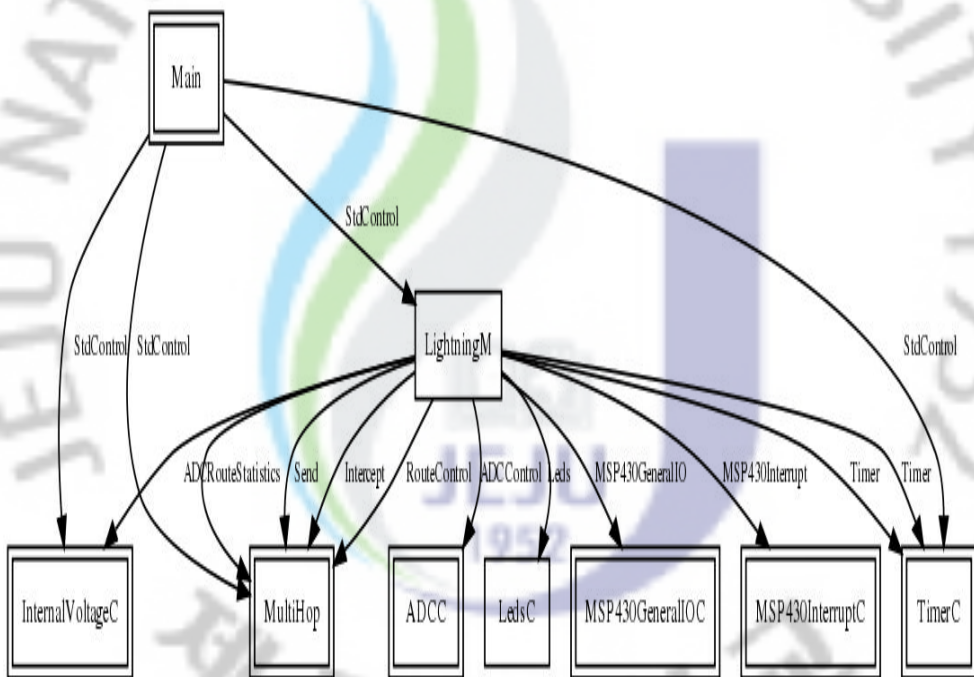


그림 28. 무선 낙뢰 모니터링 장치 펌웨어 컴포넌트 연결 관계도

제안된 낙뢰고장 원격감지를 위한 무선 모니터링 시스템의 무선 낙뢰 모니터링 장치를 위한 펌웨어는 Timer 이벤트에 의하여 주기적인 동작을 수행하는 프로세스의 구조를 취하고 있다. 즉, 1분 주기로 Timer의 fired

이벤트가 반복적으로 발생하도록 단순한 구조로 설계되었다. 그림 29는 이러한 내용을 나타내는 것이다.

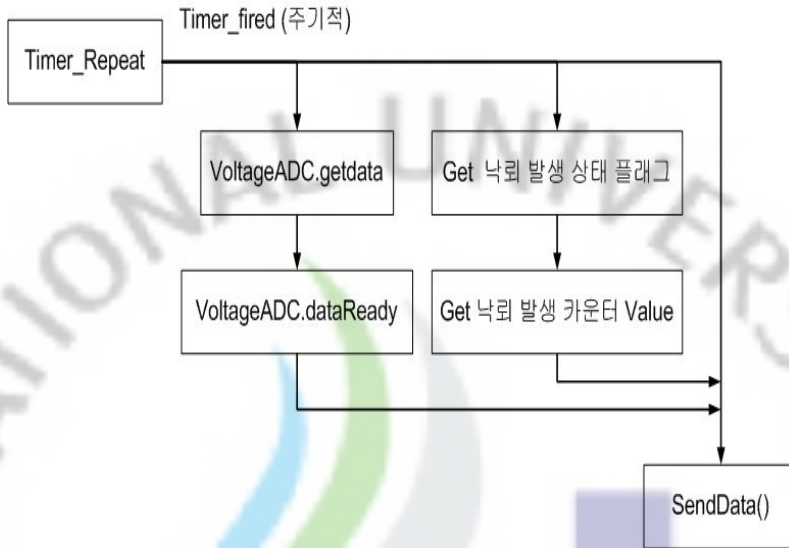
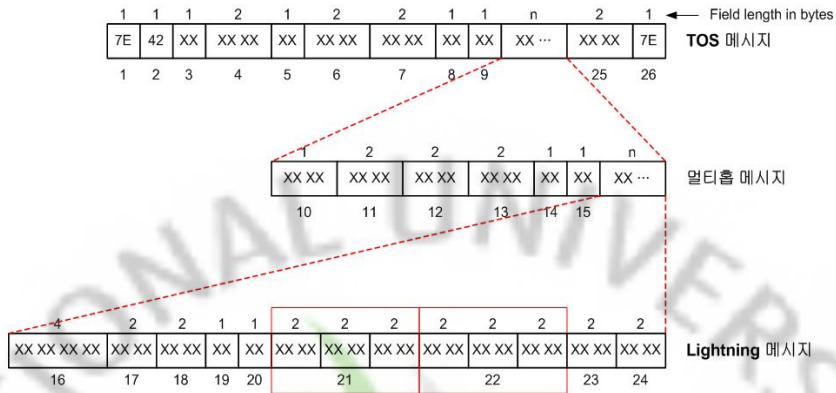


그림 29. 무선 낙뢰 모니터링 장치의 동작 프로세스

이벤트 처리기에서는 Timer\_ticks를 카운트하고 Timer\_ticks가 1(1분 경과 시점)인 경우 마이크로컨트롤러의 동작 전압을 취득한 후 메시지 버퍼에 저장하고, Timer\_ticks가 2(2분 경과 시점)인 경우 낙뢰 발생 여부를 지시하는 상태 플래그와 낙뢰 발생 카운터의 값을 취득한 후 메시지 버퍼에 저장하고 메시지 버퍼에 저장된 센서 취득 데이터를 무선 전송 메시지의 페이로드(payload)에 삽입하여 전송하게 된다. 설계된 무선 낙뢰 모니터링 장치의 펌웨어 프로그램은 이와 같은 프로세스를 지속적으로 반복 수행한다.

그림 30은 무선 낙뢰 모니터링 장치로부터 전송되는 메시지 구조를 나타낸 그림이다. 여기서 TOS 메시지가 전송되는 전체 메시지 프레임을 나타내며 TOS 메시지의 데이터 페이로드(Data Payload) 부분에 멀티홉 메시지와 Lightning 메시지가 첨부되어 자신의 부모노드(베이스 노드인 경

우 모니터링 터미널의 직렬 포트)로 전송된다.



1	Start of Frame	14	TTL : Time To Live
2	Frame Type : 0x42 - No ACK Active Message	15	Application Type ID : 0x22(Lightning Application)
3	Size of Data	16	Sequence Number
4	FCF(Frame Control Field) : CC2420	17	Reading
5	DSN(Data Sequence Number) : CC2420	18	Parent Address
6	Destination PAN(Personal Area Network) : CC2420	19	Neighbor Size
7	Destination Address : ex) 0xFFFF - Broadcast, 0x007E - UART	20	Retransmission
8	Message Type	21	Neighbors
9	Group ID : ex.) 0x7D - Default group ID	22	Quality
10	Source Address : Node that forwarded packet	23	배터리 전압 : 2 Bytes
11	Origin Address : 전송한 센서 노드 ID	24	낙뢰 상태 : 2 Bytes(정상 : 0x0055, 낙뢰발생 : 0x0077)
12	Sequence Number :	25	CRC(Cyclic Redundancy Check)
13	Origin Sequence Number :	26	End of Frame

그림 30. 무선 낙뢰 모니터링 장치의 전송 메시지 구조

그림 31은 무선 낙뢰 모니터링 장치로부터 수신되는 전체 메시지 프레임 나타낸 그림이다. 그림에서 적색의 상자로 표시된 부분이 무선 낙뢰 모니터링 장치로부터 수신되는 메시지 프레임을 나타내며, 황색의 상자로 표시된 부분은 모니터링 터미널과 접속되는 베이스 노드가 모니터링 터미널과 통신 접속을 유지하면서 주기적으로 모니터링 터미널로 전송하는 메시지이다.

이 메시지는 통신 접속 유지를 위하여 필요한 부분으로서 낙뢰사고 발생과 관련해서는 처리가 이루어지지 않는 부분이다.

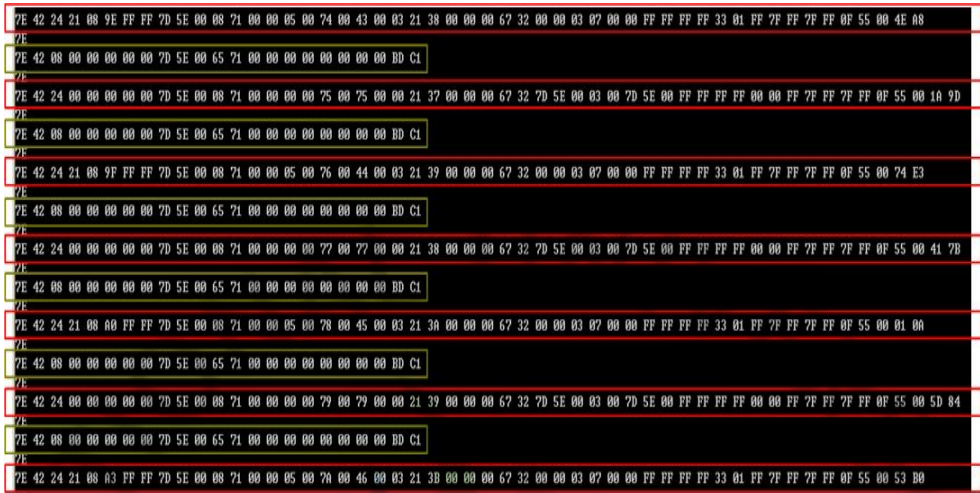


그림 31. 수신된 전체 메시지

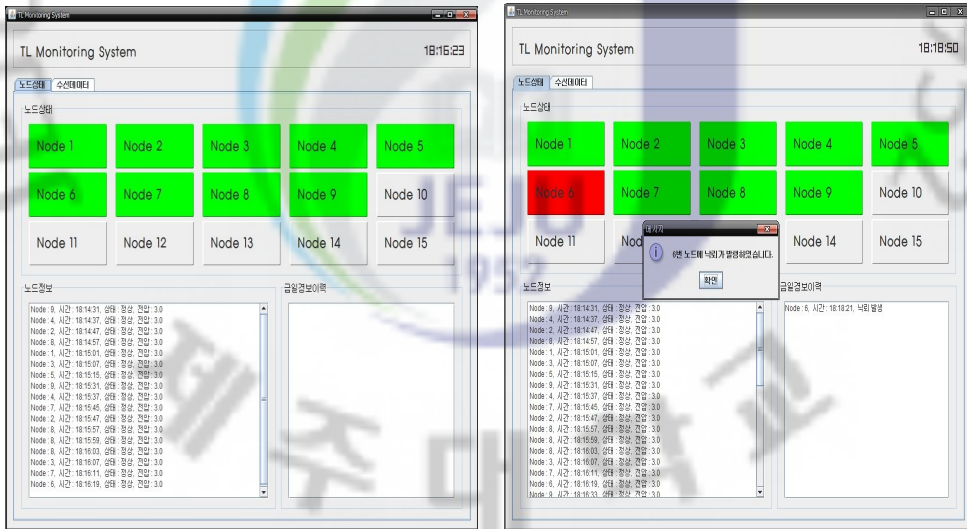
## 6. 모니터링 컴퓨터 응용 프로그램 구현

낙뢰고장 원격감지를 위한 무선 모니터링 시스템에서 모니터링을 위한 응용 프로그램은 원격지의 관제센터에 설치되는 모니터링 터미널 상에서 구동된다. 모니터링을 위한 응용 프로그램은 각각의 송전철탐에 설치되어 있는 무선 낙뢰 모니터링 장치로부터의 데이터 수신을 위하여 모니터링 터미널과 접속되는 베이스 노드와 시리얼 접속을 유지하는 기능, 수신된 데이터를 데이터베이스 서버로 전송하기 위한 TCP/IP 접속 유지하는 기능, 그리고 수신된 데이터를 데이터베이스 서버로 전송하기 위하여 데이터의 구분 및 가공을 수행하는 기능을 담당한다. 또한 낙뢰 사고 발생에 따른 SMS 전송을 위한 SMS 메시지 프레임링과 SMS 메시지 전송 트리거 기능을 수행하게 된다.

그림 32는 모니터링 터미널에서 구동되는 응용 프로그램의 메인화면을 나타낸 것이다. 메인화면에는 노드상태 탭과 수신데이터 탭이 각각 구성되어 있다. 노드상태 탭을 선택하면 그림 32에서 보이는 것과 같이 각 송

전철탑의 상태 정보를 그래픽과 텍스트 기반의 수단을 통하여 확인할 수 있는 화면이 실행된다. 그리고 수신데이터 탭을 선택하면 현재 수신되고 있는 무선 데이터 프레임이 가공되지 않은 상태로 출력되는 화면이 실행된다.

그림 32의 (가)에 나타난 것과 같이 모니터링을 위한 응용 프로그램의 실행 화면에서 낙뢰사고가 발생하지 않은 정상적인 상태 메시지가 송전철탑에 설치되어 있는 무선 낙뢰 모니터링 장치로부터 수신되는 경우에는 연두색으로 해당 노드 블록을 음영 처리하여 표시하도록 하였다. 그리고 낙뢰사고가 발생하여 낙뢰 발생 상태 메시지가 수신되면 해당 노드 블록을 적색으로 음영 처리하여 표현하고, 또한 별도의 메시지 창을 출력하여 관리자가 용이하게 낙뢰사고 발생 사실을 인지할 수 있도록 구성하였다. 이 내용은 그림 32의 (나)에 나타내었다.



(가) 정상 상태

(나) 낙뢰사고 발생 상태

그림 32. 모니터링 터미널 응용 프로그램 실행 화면 I

그림 33은 무선 낙뢰 모니터링 장치의 동작 전압이 최소 동작 전압에



근접하는 수준으로 낮아져 배터리의 교체가 필요한 경우의 화면 구성을 나타낸 그림이다. 배터리의 교체가 필요한 경우에도 별도의 메시지 창을 출력하도록 구성하여 시스템 관리의 효율이 높아질 수 있도록 하였다. 배터리 교체 정보는 낙뢰사고 발생과는 성격이 다르나 이상 상황으로 간주되므로 이의 발생 사실은 데이터베이스의 관리 테이블에 기록하기 위하여 데이터베이스로 이 정보가 전송되도록 하였다.

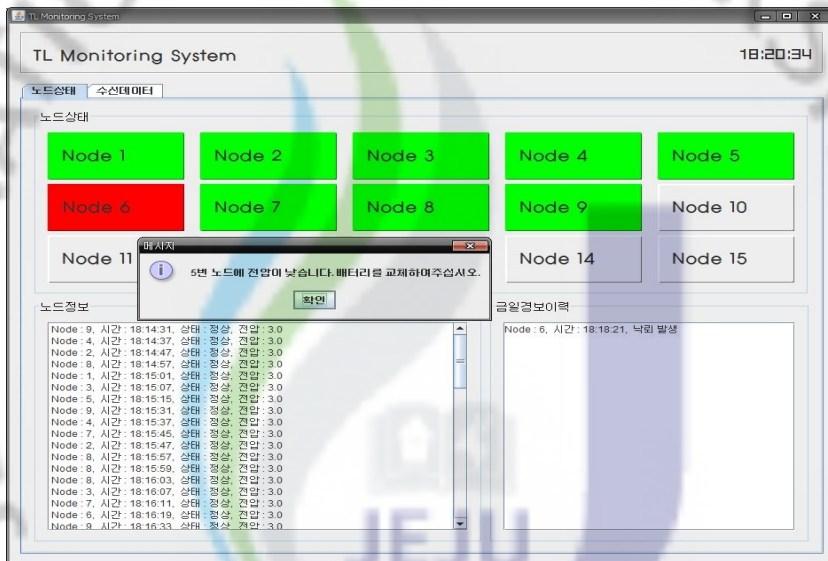


그림 33. 모니터링 터미널 응용 프로그램 실행 화면 II

그리고 데이터베이스로의 데이터 전송 이벤트와 SMS 메시지 전송을 위한 이벤트는 송전철탐에 낙뢰사고가 발생한 경우와 배터리 잔량이 부족하여 배터리 교체가 필요한 경우에만 발생하도록 하여 불필요한 데이터의 송수신이 최소화될 수 있도록 구현하였다. 그림 34은 모니터링 터미널에서 구동되는 응용 프로그램의 흐름도를 나타내었다.

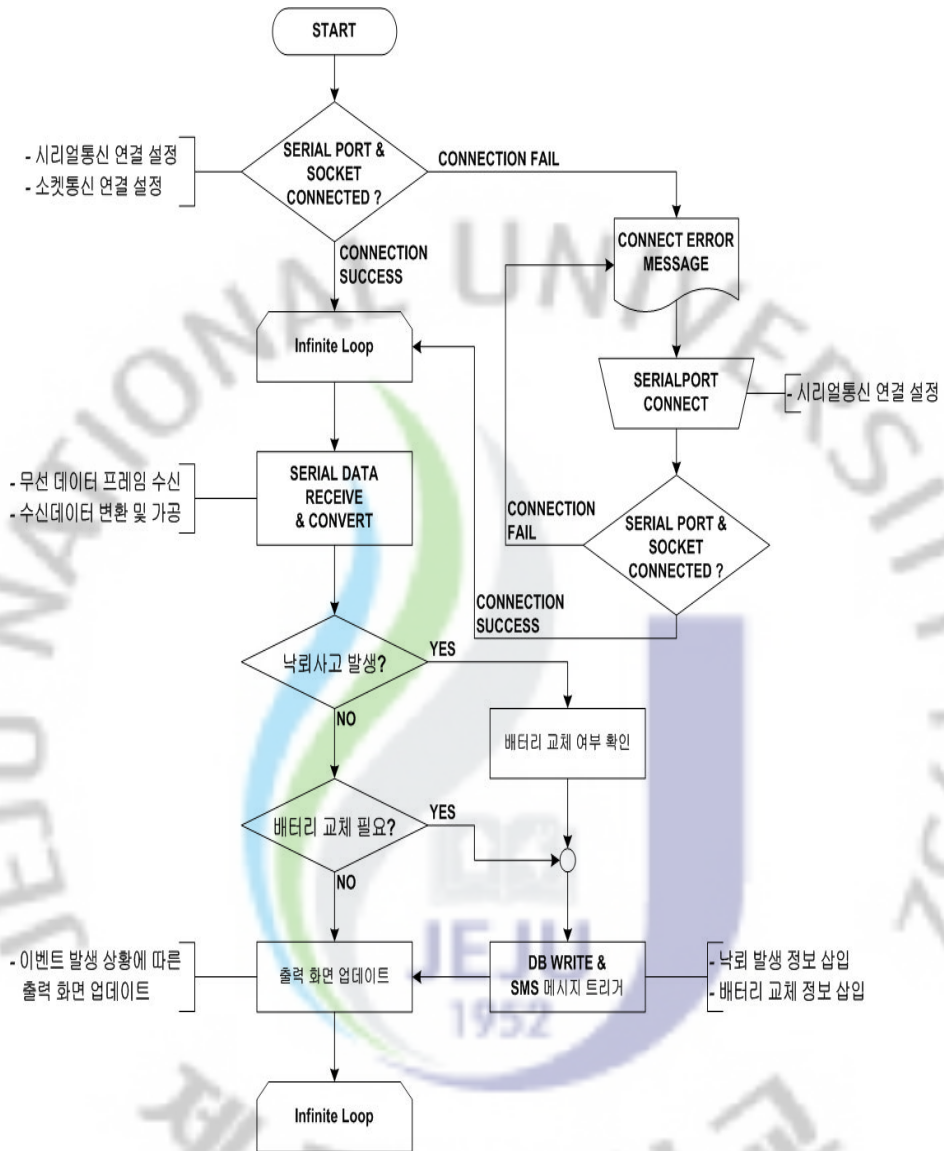


그림 34. 모니터링 터미널 응용 프로그램 흐름도



## V. 현장적용 및 결과 고찰

그림 35는 본 논문에서 제안한 낙뢰고장 원격감지를 위한 무선 모니터링 시스템의 테스트를 위한 구축 개요도를 나타낸 그림이다. 테스트를 위한 무선 낙뢰 모니터링 장치는 총 10기의 첩탑에 설치가 이루어졌으며, 테스트는 약 2.5km의 구간에서 이루어졌다. 표 3에 무선 낙뢰 모니터링 장치의 설치가 이루어진 첩탑 간의 경간 및 누계 경간을 나타내었다. 여기서 확인할 수 있듯이 무선 낙뢰 모니터링 장치의 설치가 이루어진 첩탑 간의 최소 경간은 61m이고 최대 경간은 344m가 되고 있다. 그리고 무선 낙뢰 모니터링 장치는 지상에서 약 20m의 고도에 위치하는 하단암의 아래 부분에 설치를 하였다.

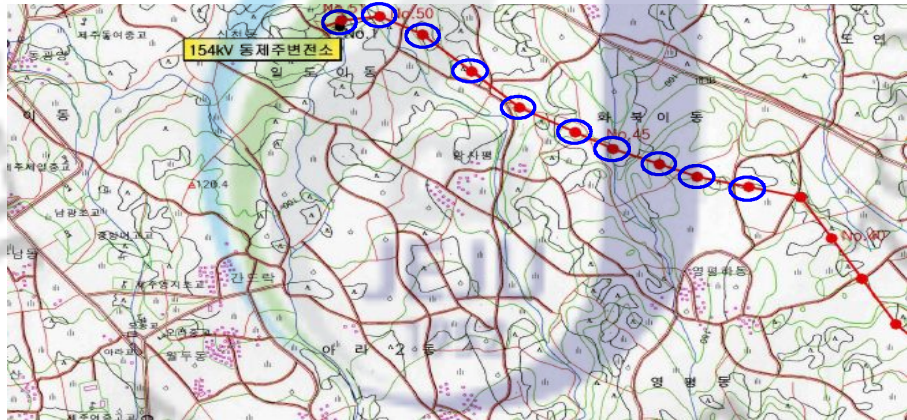


그림 35. 테스트를 위한 무선 낙뢰 모니터링 장치 설치 개요도

표 3. 154kV 제주화력-동제주 송전선로 경간 및 누계경간  
(단위 : m)

첩탑번호	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
경간	61	213	249	344	324	322	218	256	208	273
누계경간	61	274	523	867	1,191	1,513	1,731	1,987	2,195	2,468

본 논문에서는 낙뢰고장 원격 감지를 위한 무선 모니터링 시스템을 제안하고 구현하였으며 특성의 측정 및 구축 테스트를 통하여 그 결과를 확인하였다. 특성의 측정을 통하여 제안한 시스템의 적절한 구성을 위하여 요구되는 수준에 적합한 설계가 이루어졌는지의 여부 분석하고 구축 테스트 결과를 통하여 제안한 시스템의 효과 및 개선 방안에 대하여 고찰한다.

제안된 시스템은 현행 낙뢰 감지 시스템을 사용함에 있어서의 인지 및 조치의 지연에 따르는 송전 품질 저하를 해결하고, 원격지에서 송전철탑에 발생하는 낙뢰사고의 발생사실을 용이하게 인지하여 그에 따르는 적절한 조치를 수행할 수 있도록 하기 위한 것이다. 원격지에서 송전철탑에 발생하는 낙뢰사고 발생사실을 인지하기 위해서는 사고 발생 사실의 전달을 위한 통신망이 필요하게 되는데, 이러한 문제의 해결 수단으로써 무선 통신 장치 상호 간의 네트워크 구성이 가능한 IEEE802.15.4 무선 통신 표준에 부합하는 무선 통신 장치를 채용하였다. 또한 제안한 시스템의 구동을 위한 전원 공급 수단으로서는 배터리를 활용하도록 하여 시스템 도입과 관련하여 요구되는 부가시설이 최소가 될 수 있도록 하였다. 배터리를 전원 공급 수단으로 활용하기 때문에 설계에서는 시스템을 구성하는 무선 낙뢰 모니터링 장치의 동작 전원이 최소가 되도록 각각의 부품을 선정하였다. 특히 무선 통신 트랜시버의 경우는 선정된 부품 자체의 무선 출력 전력이 제안한 시스템의 구축 및 운용에 적합한 수준을 만족시키지 못했기 때문에 이의 해결을 위해서는 무선 전력 증폭기를 별도로 설계/제작하여 전체 시스템을 구성하였다.

전체적인 시스템을 설계하고 제작하여 측정한 결과 소모 전류에 있어서는 펌웨어의 설계에서 동작 주기 2초를 기준으로 1%의 시간동안만 무선 통신을 활성화시키는 방법을 이용함으로써 1초당 평균  $335\mu A$ 의 전류가 소

모되도록 하여 AA 전지(1.5V, 2500mAh)를 사용하는 약 10개월 정도 사용할 수 있는 수준이 되도록 하였다. 전지의 사용 기간이 보다 큰 용량 전지를 사용하면 보다 더 연장시킬 수 있는 부분이다. 또한 무선 네트워크의 구축과 관련해서는 설계/제작에 채용된 무선 통신 트랜시버의 자체 출력 전력 1mW를 무선 전력 증폭기를 사용하여 10mW의 출력이 이루어지도록 증폭시켜 전파의 통달거리를 연장시킴으로써 전체 시스템 구성을 위한 무선 네트워크가 원활하게 구성될 수 있도록 하였다.

또한 제작된 시스템을 154kV의 송전선로를 지지하고 있는 송전철탑 10기에 설치하고 실제 운용 테스트를 수행하여 제안한 시스템의 정상동작의 여부 및 운용 효과를 확인하였다. 구축된 시스템의 동작 확인은 변전소 상황실에 설치된 모니터링 터미널 상에서 구동되는 응용 프로그램을 통하여 수행하였다. 낙뢰사고 발생 상황은 휴대용 서지 발생기를 이용하여 설치된 무선 낙뢰 모니터링에 인위적으로 낙뢰사고가 발생한 상황을 유발시켜 모니터링 터미널의 응용 프로그램을 통하여 낙뢰사고 발생 정보가 정상적으로 처리되는지의 여부를 확인하는 방법을 이용하였다. 표 4는 무선 낙뢰 모니터링 장치의 제원을 요약하여 놓았다.

표 4 무선 낙뢰 모니터링 장치의 제원

구 분	제안시스템
전원 전압(V)	3
동작 주파수(GHz)	2.4~2.4835
출력 전력(dBm)	10
무선 전송 속도(kbps)	Max. 250
사용 안테나 이득(dBi)	2.2
인식거리(m)	500 max.
전체크기(가로×세로)	105mm × 130mm

## VI. 결 론

본 논문에서는 송전시스템의 주된 고장 요인이 되고 있는 낙뢰 사고 발생과 관련된 문제점을 해결하고 보다 안정적인 송전시스템의 운용을 가능하게 하기 위하여 저속, 저전력 무선 통신 표준인 IEEE 802.15.4 기반의 낙뢰감지 무선 원격 모니터링 시스템을 제안하고, 제작, 설치 및 운용 테스트를 통하여 그 효과를 검증하였다.

시스템 설계에 있어서의 주된 고려사항은 시스템의 운용을 위하여 특별한 설비를 추가하지 않고 현재의 기반 시설을 그대로 활용하면서 기존의 문제를 해소하고 제안한 시스템의 효과 및 활용도를 높일 수 있는 방안을 찾고자 하는 것 이었다.

IEEE 802.15.4 무선 통신 표준에서는 저속, 저전력 및 싱글홉, 멀티홉을 지원하는 통신 방식을 제안하고 있으므로, 추가적인 통신 기반 시설을 필요로 하지 않으면서 통신 네트워크의 구성이 가능하였다. 이러한 무선 통신 네트워크의 기반 하에서 낙뢰 사고 감지를 하기 위하여 낙뢰 전류 감지부 및 이의 처리 프로세서를 통합한 장치를 설치하여 시스템의 실효성 및 효율성을 모의실험을 통하여 검증하였다.

그 결과 낙뢰사고의 발생 여부 및 발생 위치를 즉각적으로 인지할 수 있어서 기존 시스템에서 발생하던 시간, 장소, 환경에 따른 사고 발생 위치 확인의 문제점이 해소됨을 확인할 수 있었다.

또한 제안한 시스템은 송전철탑에 낙뢰사고가 발생된 경우 낙뢰 모니터링 시스템간 무선 네트워크를 이용하여 원격지 관제센터 컴퓨터로 전송되도록 시스템을 구현하였기 때문에 추가적인 망구축이 필요하지 않아 시스템 도입이 용이하였다.

시스템 관리자는 원격지인 관제센터에서 해당 송전철탑의 낙뢰사고 발생 사실을 실시간으로 확인할 수 있고, 사고 조치를 담당하는 관련자에게 SMS 메시지를 이용하여 낙뢰 발생 사실을 통보하므로 관련자들의 위치에 구애받음 없이 사고 발생 사실을 인지할 수 있도록 하였다. 이를 통해 낙뢰 사고의 발생 인지에서 사고조치까지의 시간을 단축시키는 것이 가능하며, 시스템 자체의 동작전원 상태도 전송되므로 시스템의 이상 유무를 실시간으로 파악되어 관리의 편의를 제공함으로써 전체적인 관리 비용의 감소를 가져오는 효과를 가질 수 있을 것으로 본다.

이상과 같은 결과들을 종합해 보면 제안한 시스템을 낙뢰사고 원격 감지용으로 현장에 적용하면 기존 시스템에 쉽게 적용이 가능하고 경제적인 면에서도 유리하여 앞으로 현장응용이 많을 것으로 사료된다.

## 참 고 문 헌

- [1] KEPCO, 송전설비 고장 분석 및 대책(2005~2009), 2009.
- [2] 김지영 외, “멀티에이전트 기반의 지능형 전력 정보시스템 구축 기술”, 한국정보과학회 종합학술대회 논문집, 제35권, 제1호(D), pp.307-312, 2008.6.
- [3] 정준홍 외, “배전용 변압기의 무선 부하감시 시스템 개발”, 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp.414-415, 2008.7.
- [4] 고준호, 박철원, 김유상, “국내 전력 감시시스템의 유무선 통신 기술 사례 연구”, 2009년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp. 14-17, 2009.7.
- [5] IEEE Standard 802.15.4 : Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs), 2003.
- [6] KEPCO Academy 신입송변전기초 2008.
- [7] KEPCO, 2010 송변전설계기준, 2010.
- [8] (주) 엔컴, 대한민국특허 10-0388361, “송전탑용 낙뢰통보 시스템”, 2003.
- [9] MSP430 MIXED SIGNAL MICROCONTROLLER Datasheet, [www.ti.com](http://www.ti.com).
- [10] CC2420 24GHZ IEEE 802.15.4 / ZigBee RF Transceiver Datasheet, [www.ti.com](http://www.ti.com)