

## 산불 방지를 위한 산악기상관측시스템 구축방안

이시영<sup>1</sup> · 정일웅<sup>2</sup> · 김상국<sup>3</sup>

<sup>1</sup>강원대학교 방재기술전문대학원, <sup>2</sup>강릉대학교 대기환경과학과,

<sup>3</sup>강원지방기상청 기후정보과

(2006년 2월 6일 접수; 2006년 3월 7일 수락)

## A Study on Establishment of the Optimum Mountain Meteorological Observation Network System for Forest Fire Prevention

Si Young Lee<sup>1</sup>, Il-Ung Chung<sup>2</sup> and Sang Kook Kim<sup>3</sup>

<sup>1</sup>The Professional Graduate School of Disasters Prevention Technology,  
Kangwon National University, Samcheok, Korea

<sup>2</sup>Department of Atmospheric & Environmental Sciences,  
Gangneung National University, Gangneung, Korea

<sup>3</sup>Climate Information Division, Gangwon Regional Meteorological Office Korea  
Meteorological Administration, Gangneung, Korea

(Received February 6, 2006; Accepted March 7, 2006)

### ABSTRACT

In this study, we constructed a forest fire danger map in the Yeongdong area of Gangwon-do and Northeastern area of Gyeongsangbuk-do using a forest fire rating model and geographical information system (GIS). We investigated the appropriate positions of the automatic weather station (AWS) and a comprehensive network solution (a system including measurement, communication and data processing) for the establishment of an optimum mountain meteorological observation network system (MMONS). Also, we suggested a possible plan for combining the MMONS with unmanned monitoring camera systems and wireless relay towers operated by local governments and the Korea Forest Service for prevention of forest fire.

**Key words :** Forest fire, Forest fire danger map, Mountain meteorological observation network system

### I. 서 론

산불은 한번 발생하면 수 일 동안 계속되는 경우도 있으며, 그로 인해 산림 및 생태계에 미치는 영향 또한 심각하다. 힘들게 조성해 왔던 산림자원을 한번의 잘못으로 그간의 노력이 하루아침에 사라지는 결과를 초래하게 된다. 따라서 산불이 발생하기 전 미연에 산불을 방지할 수 있는 철저한 예방이 무엇보다도 중요하고, 또한, 산불이 발생하였을 때 신속한 진화계획이

이루어진다면 그만큼 피해는 최소화될 수 있으며 이때 가장 필요한 자료 중의 하나가 산악기상이다.

산불은 일차적인 원인으로 다양한 인위적 요인에 의하여 시작되지만 이와 같은 실화가 산림에 피해를 줄 정도로 발화·연소·확산되기 위해서는 습도, 풍속, 기온 및 암내 가연성물질의 수분함량 등 연소 환경을 구성하는 기상적요인과 깊은 상관관계를 가지고 있다(이시영 등., 1997; Lee *et al.*, 2004).

산악기상은 평지에서 나타나는 기상과는 다른 양상

**Table 1.** Danger index of forest fire occurrence

Forest fire danger index	Probability vaule(%)	Area ratio(%)	Forest fire danger index	Probability vaule(%)	Area ratio (%)
1	0.494046 over	5	11	0.093179-0.113900	5
2	0.393599-0.494046	5	12	0.074446-0.093179	5
3	0.330510-0.393599	5	13	0.057154-0.074446	5
4	0.284670-0.330510	5	14	0.041886-0.057154	5
5	0.248060-0.284670	5	15	0.028696-0.041886	5
6	0.215709-0.248060	5	16	0.017992-0.028696	5
7	0.187068-0.215709	5	17	0.009701-0.017992	5
8	0.160904-0.187068	5	18	0.004076-0.009701	5
9	0.136610-0.160904	5	19	0.000962-0.004076	5
10	0.113900-0.136610	5	20	Less than 0.000962	5

을 띠게 되어 서로 가까운 지역일지라도 전혀 다르고 복잡한 기상현상을 나타낸다(강원지방기상청, 2003). 이에 산불이 발생하면, 지형 및 지세, 임상인자 등과 함께 복합적으로 작용하여 산불은 빠르게 확산되고 진화활동은 매우 어렵게 된다.

따라서 예측 곤란한 산악지형에서의 자동기상관측장비(AWS) 등을 통해 산악기상 변화를 측정하여 산불의 대형화 위험지역과 산불확산 방향을 사전에 파악하여 신속·정확한 산불예방 및 진화계획을 수립한다면 산불을 최소화시킬 수 있을 것이다. Warren and Vance(1981)은 미국 중서부 지방에 임내기상을 측정할 수 있는 무인기상관측소(Remote Automatic Weather Station)을 설치하여 산불위험도를 분석한 바 있고, Lim(2000)은 동해안 산불기상을 분석한 바 있다.

그러나, 우리나라의 경우 지역별 실시간 산불 상세 위험정보가 제공되고는 있으나, 산림 국지기상에 대한 정보가 아닌 일반기상에 의존하다 보니 위험정보에 대한 신뢰성이 떨어져 보다 체계적이고 정확한 기상정보의 수집이 요구되고 있는 실정이다.

따라서 본 연구는 현재 기상청에서 운영 중인 자동기상관측망의 운영 기술과 노하우를 기초로 산림청 및 지방자치단체에서 운영하고 있는 산불무인감시카메라 및 무선중계기를 최대한 활용하여 동해안(강원, 경북)지역의 산악기상관측시스템 구축방안을 제시하고자 한다.

## II. 재료 및 방법

### 2.1. 대상지역의 산불발생위험지역 구분

본 연구에서는 동해안(강원, 경북)지역을 대상으로 산불 방지를 위한 산악기상관측시스템 구축 방안을 제

시하기 위하여 우선 산불발생위험지역을 구분하였다. 이 지역의 산불발생위험지역 구분은 공간특성자료(100 × 100 m)를 이용하여 각 지점별 산불발생확률 모형을 개발한 기존연구(An et al., 2004)를 이용하였다. 이 연구에서 산불발생에 영향을 주는 공간특성 인자로는 농경지와의 거리, 관청과의 거리, 경급, 도로와의 거리, 산림지와의 거리, 사면향으로 이것을 이용하여 각 지점별 산불발생확률을 계산하는 산불발생확률 모형식은 다음과 같다(An et al., 2005).

$$\text{산발발생확률} = [1 + \exp\{-(-4.8081 - (0.00702 \cdot \text{농경지}) - (0.00011 \cdot \text{관청}) - (0.2453 \cdot \text{경급}) - (0.0018 \cdot \text{로}) - (0.0158 \cdot \text{산림지}) + (0.6608 \cdot \text{남동사면}) + (0.7943 \cdot \text{남사면}) + (0.507 \cdot \text{남서사면})\})] - 1$$

또한, 위 모형식을 이용하여 최종적으로 산출된 각 지점별 산불발생 확률을 Table 1과 같이 면적비율로 확률 값이 높은 순으로 1등을 부여하는 방식으로 20 등급화하여 산불발생위험지수를 산정하고, 각 산정된 지수를 적용하여 산불위험지수를 Table 2와 같이 4단계로 구분하였다(An et al., 2004). 또한, 구분된 지수를 이용하여 Fig. 1, 2와 같은 산불발생 위험지역을 작성하였다.

### 2.2. 산불감시 무인감시카메라와 무선중계탑을 활용한 산악기상관측시스템 구축

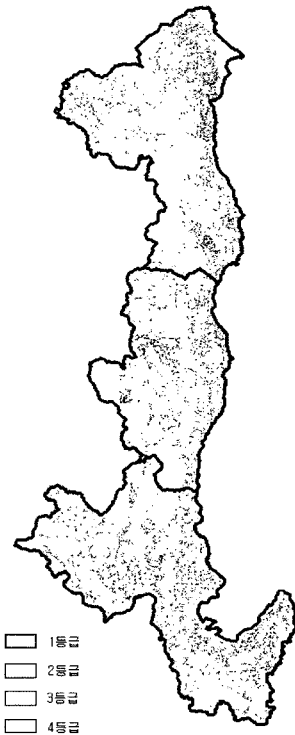
조사 자료는 강원지방기상청 관내에 설치된 자동기상관측장비의 일반적인 현황, 산지에 설치된 자동기상관측장비의 운영현황과 장비를 구성하고 있는 시스템의 하드웨어 및 통신방식 등을 기초로 시스템의 자료 처리 구조 및 통신방식별 차이점을 조사하였다.

**Table 2.** Classification of danger index for forest fire occurrence risk map

Grade	Very high	High	Normal	Low
Forest fire danger index	1~4	5~8	9~12	13~20
Area ratio(%)	20	20	20	40
Forest fire ratio(%)	58.4	22.6	11.1	7.9



**Fig. 1.** Forest fire danger map using Geographical Information System(Yeongdong area of Gangwon-do).



**Fig. 2.** Forest fire danger map using Geographical Information System (Northeastern area of Gyeongsangbuk-do).

또한, 기존에 산림청 및 지방자치단체에서 보유하고 있는 무선중계탑 및 무인감시시스템의 지점현황을 파악하여 산악기상 관측망과의 통합 활용성을 조사 분석하였다. 그리고 산악기상관측 지점 선정은 위의 2.1에서 분석된 위험지역을 중심으로 정량적인 기상관측망의 소요량 파악과 산악기상 관측 장비의 네트워크 구성 방안을 제시하였다.

### III. 결과 및 고찰

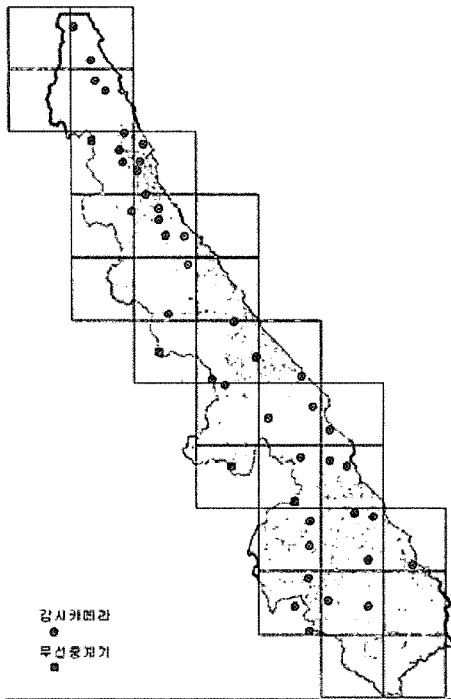
#### 3.1. 산불감시 무인감시카메라와 무선중계탑을 활용한 AWS 관측지점 선정

산악 AWS 관측지점 선정에서 산지는 미기상이 발달한 점을 감안하여 최소한 기상청에서 의 기상관측소 격자범위인 15 km 기준과 유사하게 구분하되 산불발

생위험지역을 고려하여 구분한 위험등급지에 설치하는 것이 타당할 것으로 판단된다. 또한, 산림청과 지자체에서 산불감시와 산불 통신망을 위하여 산지에 설치한 무인감시카메라와 무선중계탑을 적극적으로 활용할 필요가 있다.

Fig. 3은 Fig. 1의 산불발생 위험지도에 격자점 15 km내에 기존의 무인감시카메라와 무선중계탑을 표시한 것으로서 강원도 영동지역의 경우 이 위험지역 내에 무인감시카메라와 무선중계탑이 하나라도 포함된 셀은 강원 영동지역 29개 셀 중에서 21개가 위치하는 것으로 나타났다.

또한, 경북 동부지역의 경우도 Fig. 4는 Fig. 2의 산불발생 위험지도에 15 km 격자점에 포함된 무인감시카메라와 무선중계탑 위치를 표시한 것으로 전체



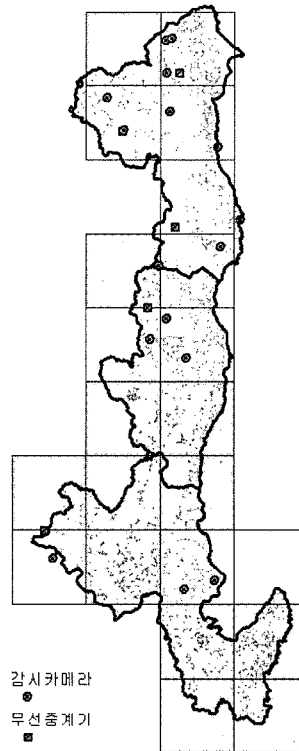
**Fig. 3.** The location of unmanned monitoring camera system and wireless relay tower on forest fire danger map (Yeongdong area of Gangwon-do).

개소수는 22개 셀 중에서 9개 셀이 무인감시카메라와 무선중계탑이 하나라도 포함되어 있는 것으로 나타났다.

따라서 동해안(강원, 경북)에 15 km 격자점 기준으로 산악기상관측 AWS를 설치할 경우 이 지역에 소요되는 AWS 총 개소수는 51개로서 이중 무인감시카메라와 무선중계탑 약 30개 정도를 활용할 수 있을 것으로 나타났다.

다만, 무인감시카메라의 설치위치가 강원도 속초시 금호동 영랑콘도 주변 70 m에 설치된 것이 있는 반면, 태백시 화전동 매봉산에 설치한 카메라는 설치 위치가 1,245 m로 산발발생 위험지역에서 벗어나거나 겨울철에 전원공급과 장비관리가 어려운 위치라는 점에서 기상센서 설치 활용 상에 문제가 있을 것으로 사료된다.

또한 무선중계탑도 인천시 남동 299 m의 소래산에 설치된 것이 있는 반면, 강원도 태백시 1,573 m지점의 함백산에 설치한 무인감시카메라가 있다. 이 또한 너무 높은 곳에 설치된 경우 무인감시카메라와 같은 활용 상에 문제가 발생할 수가 있다. 따라서 실제 설치



**Fig. 4.** The location of unmanned monitoring camera system and wireless relay tower on forest fire danger map (Northeastern area of Gyeongsangbuk-do).

시 이러한 문제점을 심층 검토 후 설치하여야 한다.

### 3.2. AWS 관측장비의 선정

산불의 연소 작용에 영향을 주는 주요 기상인자는 바람, 온도, 상대습도, 강수량 등이 있으며, 이 인자는 산불에 다음과 같은 영향을 미친다(Lee, 2004).

- 바람: 풍속은 연소속도를 좌우하면 풍향은 연소 방향을 좌우
- 온도: 연료의 건조도와 기류형성의 원인을 제공
- 습도: 임내 가연물의 건조도 및 산불의 연소진행 속도에 영향
- 강수량: 가연물의 연료습도를 좌우하는 직접적인 인자

따라서, 기상장비를 선정함에 있어 산불과 밀접한 관계가 있는 위의 요소를 측정하는 기상센서와 센서로부터 측정값을 추출하여 처리하기 위한 데이터로거(data logger) 사양과 각 센서의 방식 및 적용범위(기상청, 2004a)는 기상청에서 자동기상관측장비의 설치

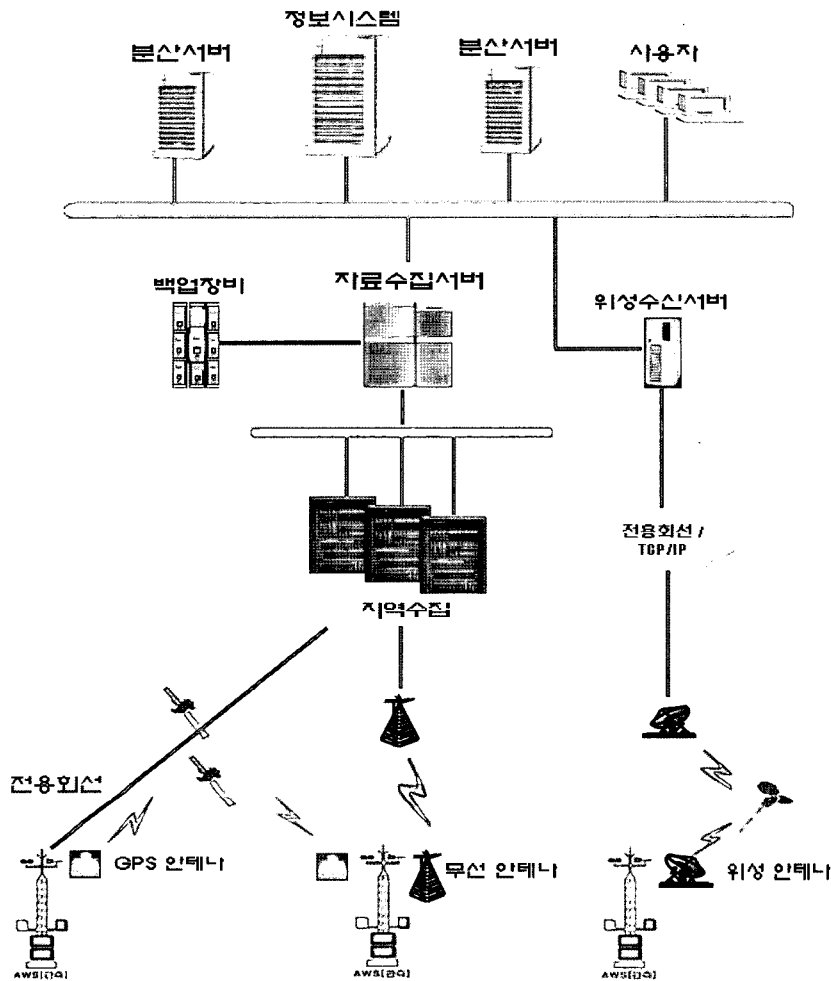


Fig. 5. Network system diagram.

시 제안규격이 될 「기상관측표준화법안 AWS 표준규격화(안)」을 기초로 하는 것이 타당할 것으로 판단된다. 왜냐하면 국가 기상관측표준화(기상청, 2004b)에 준한 기상장비를 선정할 경우 차후 유지관리가 수월할 뿐 아니라 최우선시 되어야 할 신뢰성 있는 기상관측 자료 확보가 가능하기 때문이다.

### 3.3. 네트워크 구성

#### 3.3.1 전체 구성도

Fig 5는 전체 네트워크 구성도를 나타낸 것으로 자료전송을 위한 통신방법, 관측자료 수집 및 자료수집 서버 망구성과 그 특징을 설명한 것이다.

- 통신: 설치지점의 지리적인 통신환경에 따라 전용 회선통신, 무선통신, 위성통신망 등 최적의 통신방

법을 선택하여 자료수집의 한계를 극복하여야 한다.

- 지역수집: 각 지역별로 인근 관측자료를 1차로 수집한다.
- 자료수집 서버: 지역별로 수집된 전국단위의 자료는 내부 인트라넷 망을 이용하여 종합적으로 수집하고, 이를 다시 정보시스템으로 전달한다.

#### 3.3.2 종합 정보 시스템

Fig 6의 종합정보시스템은 자료 처리 전산화의 핵심 시스템으로 자동 관측된 각종 기상자료가 전산망을 통하여 실시간으로 수집되고 양질의 기상 Data 생성을 위한 품질검사 후 DB로 구축되어 웹을 통하여 즉시 그 결과가 집계표, 시계열 또는 그래픽 분포도 등의 다양한 형태로 분석된 후 과거 및 현재의 모든 자료

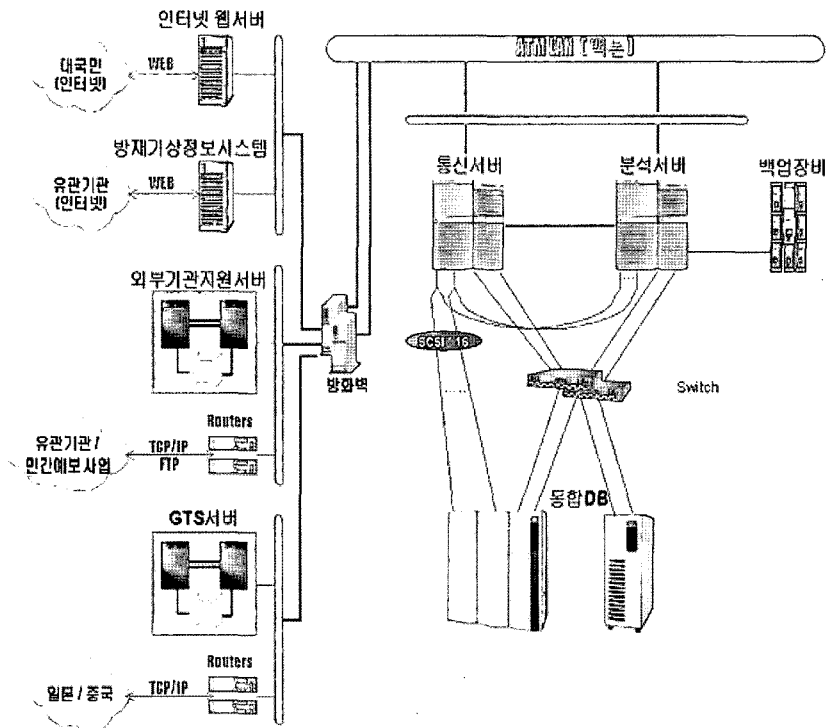


Fig. 6. Main information system diagram.

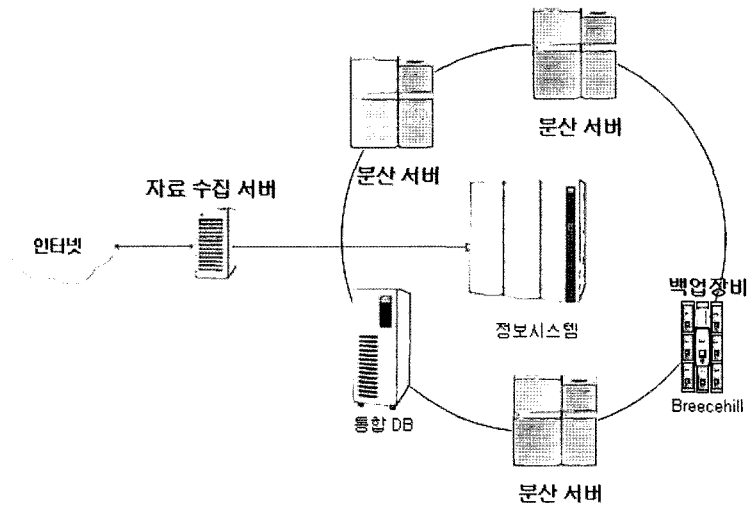


Fig. 7. Internal network diagram.

를 검색할 수 있는 종합시스템이다.

### 3.3.3 내부 구성도

메인 서버의 경우, 클러스터 환경지원을 위하여 오라클 OPS(Oracle Parallel Server)를 설치하여 두 대

의 서버가 모두 같은 DB자료를 사용할 수 있도록 하여야 하며, 두 대의 서버를 통신서버와 분석서버로 구분하여 평상시에 통신서버는 기상자료의 송수신 및 품질검사, DB 입력을 수행하고, 분석서버는 웹 서버로서 사용자가 각종 기상자료를 검색할 수 있도록 구성

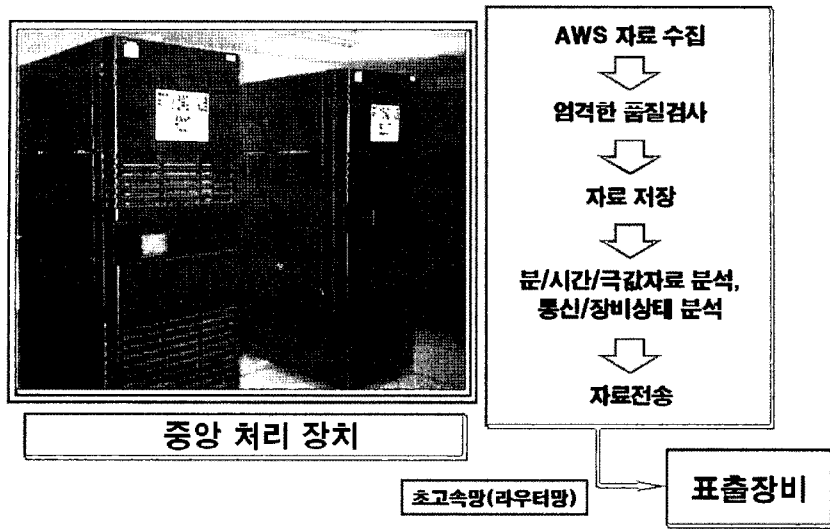


Fig. 8. AWS data processing diagram.

하며, 장애 시는 상대 서버의 업무를 같이 수행할 수 있도록 하여야 한다(Fig. 7). 다음은 구성요소의 특징을 나타낸 것이다.

- 정보 시스템 : 수집된 자료는 처리/재처리 과정을 통해 진행되며 웹으로 자료를 표출한다.
- 통합 DB 서버 : 자료의 평균/최저/최고값 처리 서버이다.
- 분산 서버 : 정보 시스템과 NFS(Network File System)를 통한 자료 저장 서버이며, 실시간으로 처리하기 위해서는 RAID(Redundant Array of Inexpensive Disk)구성을 권장한다.
- 백업 장비 : 자료의 보존을 위하여 권장한다.

**3.4. AWS 자료처리 과정 및 표출**

AWS의 자료처리 과정은 Fig. 8과 같이 자료수집 후 엄격한 품질검사와 함께 자료가 저장되고, 다시 이 자료는 문·숫자의 다양한 형태로 분석되어 초고속통신망을 통해 자료전송과 함께 표출된다.

특히, 종합정보시스템에 저장된 자료는 웹 방식으로 모두 검색, 그래픽 표출이 가능하다. 문자·숫자의 경우는 다양한 형태의 집계표, 극값분석, 정렬분석 및 그래픽 분포도 등을 제공한다. 또한, 원격지에서 이전 자료 등의 원시자료를 화면에 표출하여 직접 그래픽 처리를 할 수 있다.

개발도구는 많은 기능을 제공하면서도 배우기 쉬운 PHP(Professional Hypertext Processor)를 기반으로

하고, 그래픽 표출 등에서 속도가 필요한 경우에는 CGI(Common Gateway Interface)로의 개발을 권장한다.

**3.5. 산악기상관측망 구축 및 관리방안**

관측망은 표준 관측환경 조건에 부합하고, 전원·통신시설을 고려하여 기 설치되어 운영중인 산림청과 지방자치단체의 산불무인감시카메라 및 무선중계탑 지점을 이용·구성한다. 또한, 관측환경 조건에 위배되는 무선 중계탑 지점에 대해서는 자동기상관측장비를 주변 관측환경이 우수한 곳에 전면 신규 설치를 추진해야 하며, 무선중계탑은 기상자료 통신 중계기로 활용함으로써 철탑 건설의 중복투자를 없애야 한다. 또한, 관측망 구축에 필요한 기상요소와 구성내역(기상청, 2003)은 다음과 같다.

- 관측요소: 풍향, 풍속, 기온, 습도, 강수량, 강수유무
- 구성내역
  - 관측부 : 데이터 로거, 온도센서, 습도센서, 공기순환기, 풍향센서, 풍속센서, 강수량센서 등
  - 전원부 : 전원공급장치, 배터리, 배터리 함
  - 통신부 : 통신모뎀(무선, 위성, 전용회선), 송·수신안테나(전용회선 제외)
  - 접지부 : 접지망 및 접지자재

**적 요**

본 연구에서는 강원 영동 및 경북 동부지역의 산악기

상관측시스템 구축을 위한 AWS 위치선정, 네트워크 구성(관측시스템, 통신시스템, 자료처리시스템)과 특히, 산불방지를 위해 산림청과 지방자치단체가 기 설치한 산불무인감시카메라, 무선중계탑의 산악기상관측망과의 연계 구축방안과 산악기상관측망의 관리방안을 제시하였으며, 본 연구를 통해 얻어진 사항은 다음과 같다.

산지가 많은 강원도에서는 산악지형에 따른 악기상이 자주 발생하여 강원지방기상청에서는 관측망을 유지관리 하는데 고초를 겪고 있으며 강풍, 뇌전현상 등으로 장비피해를 많이 입어, 보다 피해를 최소화할 수 있는 여러 가지 방안들을 강구하여 왔다. 따라서 산악지형에 관측망을 구성하기 위해서는 장비의 견고성을 최우선적으로 반영해야 한다.

전원시설은 가능한 태양전원을 권장하지만 일조량이 적은 깊은 계곡과 같은 지역에 설치가 이루어질 경우 상용전원을 사용할 수밖에 없으며 대부분 산악에서의 전원시설은 열악하여 전원 백업시설 설치를 강구해야 한다. 전원 백업시설의 효율성을 유지하기 위해서는 소비전력이 적은 시스템을 선택하여 관측자료의 손실을 최대한 방지해야만 한다. 또한 태양전원을 이용할 경우 충전과 소모량을 사전에 면밀히 검토해야 한다.

산악은 뇌전현상이 근접하고 잦기 때문에 뇌전으로부터 장비 보호시설 설치를 강구하기 위해 피뢰접지 및 장비접지 시설에 투자를 아껴서도 안 될 것이다. 뇌전으로부터의 장비 보호시설을 강구하는 것도 중요하지만 써지에 강한 제품을 채택하는 것이 보다 중요하다고 하겠다.

자료수집에 있어서는 전원 및 통신환경을 감안하여야 하며 전체 통신망을 단일화하는 것도 간결하지만 단일 통신망만을 채택할 경우에는 한계성이 있으므로, 다양한 통신망을 이용하는 것이 자료수집의 한계를 극복할 수 있는 방법이다. 따라서 수집 통신망을 통한 기상 관측 자료를 인근 1차 수집기관을 거쳐 최종 메인 수집장치로 내부망을 따라 수집하는 것이 최선의 망 운영방법이다.

자동관측시스템(AWS) 설치 시 기존의 무인감시카메라와 무선중계탑을 최대한 활용하되 무인감시카메라 설치위치(70~1,245 m)와 무선중계탑의 설치위치(299~1,573 m)가 산불위험지역에 포함되어 있는지의 면밀한 검토가 요구된다.

산불 등 각종 산림재난 방지와 관련한 정보를 얻을 수 있는 자동기상관측시스템(AWS)의 설치 위치는 산

불발생확률모형에서 산정된 위험지역 내에 설치하는 것이 산불발생 위험지역을 판정하는데 매우 효과적인 것으로 판단된다.

기상청과 지자체가 보유하고 있는 기상관측 장비들은 대부분 도시를 중심으로 설치·운영되고 있어 산림 또는 산악에 설치된 기상관측 장비의 수는 적은 편이다. 따라서 산림과 산악에 기상관측 장비의 보강은 필수적이다.

관측망 구성은 기상청의 관측 표준(안)을 준수하며, 설치 지점의 특성에 따라 가장 경제적인 방법을 선택하는 것이 바람직하며, 특히 장비구매 설치 시 다양한 종류의 제품을 선택하는 것은 차후 장비 관리에 어려움을 겪을 소지가 있어 가능한 우수한 제품을 선택하되 동일 제품 사용을 권장한다. 따라서 위의 망구축이 이루어져 현재 기상청이 설치·운영하고 있는 측정 장비에 의해 취득한 기상자료를 공동 활용하여 표출하면 더욱 상세한 자료의 획득과 활용이 기대되어 진다.

또한, 금번 논문에서는 산불위험지역의 격자점(15 km)내에 최소한 1대의 AWS 설치방안을 제시하였지만, 금후에는 15 km내에서도 능선, 계곡 등 구체적인 위치확정을 위한 선행연구가 실시되어야할 것으로 판단된다.

## REFERENCES

- 강원지방기상청, 2003: 국가 산악기상센터의 역할과 발전에 관한 연구. 53pp.
- 기상청, 2003: 자동기상관측장비. 115pp.
- 기상청, 2004a: 자동기상관측시스템 백서. 109pp.
- 기상청, 2004b: 기상관측표준화의 적용을 위한 최적의 방안 연구. 381pp.
- 이시영(산불분야저자), 1997: 삼림환경보전학. 향문사, 34-70.
- An, S. H., S. Y. Lee, M. S. Won, M. B. Lee, and Y. C. Shin, 2004: Developing the Forest Fire Occurrence Probability Model Using GIS and Mapping Forest Fire Risks. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 7, 57-64.
- An, S. H., M. S. Won, D. H. KIM, Y. H. Kang, M. B. Lee, and S. Y. Lee, 2005: Classification of Forest Fire Risk and Hazard Regions in Uiseong-Gun, *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 8, 117-124.
- Lim, J. H., 2000: Forest Fire and Meteorology of Eastern Korea. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* 2, 62-67.
- Lee, S. Y., S. Y. Han, M. S. Won, S. H. An, and M. B. Lee,



- 2004: Developing of Forest Fire Occurrence Probability Model by Using the Meteorological Characteristics in Korea. *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology* 6, 242-249.
- Lee, C. B., 2004: Mountain Meteorology and Environment Symposium. *Kangwon National University Symposium Proceeding*, 67-71.
- Warren, J. R. and D. L.Vance. 1981: Remote automatic weather station for resource and fire management agencies. USDA Forest Service General Technical Report, INT 116, 1-11.