

위성활용 산불감시 시스템 구축

박범순¹, 조인제^{2*}, 임재환³, 김인배⁴

¹가톨릭관동대학교 항공정비학과 교수, ²가톨릭관동대학교 무인항공학과 교수, ³가톨릭관동대학교 항공경영물류학과 교수,
⁴방위사업청 공중지휘통제체계사업팀 전문관

Forest Fire Monitoring System Using Satellite

Beom-Sun Park¹, In-Je Cho^{2*}, Jae-Hwan Lim³, In-Bae Kim⁴

¹Professor, Department of Aviation Maintenance, Catholic Kwandong University,

²Professor, Department of Unmanned Aircraft System Engineering, Catholic Kwandong University,

³Professor, Department of Aviation Management Logistics, Catholic Kwandong University,

⁴Deputy Director, the Aerial C4i Program Team, the Defense Acquisition Program Administration

요약 산불감시를 위해 한반도 지역을 24시간 상시 감시하고 감시정보의 전파가 가능한 정지궤도위성 기반의 산불감시 위성체계 구축을 위한 내용을 소개하고, 산불감시 시스템의 구축과 다양한 활용 방안에 대해 기술한다. 위성 활용 산불감시 시스템을 구축하기 위해 문헌연구, 기술적 원리, 산불감시 수단, 위성 산불감시 시스템에 대해 기술하고, 결론을 도출하겠다. 위성 활용 산불감시 시스템은 적외선 탐지 광학센서를 탑재한 정지궤도 위성 1기와 위성에서 수신된 자료를 처리하여 감시정보를 전파하는 지상처리 소로 구성될 수 있다. 산불감시 위성은 우리나라 상공 정지궤도에 위치하며 하루 24시간 365일 상시 운용되어야 한다. 산불감시 기술은 적외선탐지 기술로서 산불 감시 등의 국가 공공 이익 분야와 국가 안보분야에 활용이 가능하다. 하루 24시간 상시 운용되어야 하며 이를 만족시키기 위해서는 정지궤도 위성 기반의 산불감시 위성 시스템의 구축이 효율적이라고 할 수 있겠다.

주제어 : 산불, 감시, 위성, 시스템, 탐지

Abstract It introduces the contents of establishing a geostationary satellite-based forest fire monitoring system that can monitor areas of the Korean Peninsula 24 hours a day for forest fire monitoring, and describes how to establish a forest fire monitoring system and use it in various ways. In order to establish a satellite-utilized forest fire monitoring system, we will describe and draw conclusions on literature research, technical principles, forest fire monitoring means, and satellite forest fire monitoring system. The satellite-utilized forest fire monitoring system can consist of one geostationary satellite equipped with infrared detection optical sensors and a ground processing station that processes data received from satellites to spread surveillance information. Forest fire monitoring satellites are located in the country's geostationary orbit and should be operated 24 hours a day, 365 days a day. Forest fire monitoring technology is an infrared detection technology that can be used in national public interests such as forest fire monitoring and national security. It should be operated 24 hours a day, and to satisfy this, it is efficient to establish a geostationary satellite-based forest fire monitoring satellite system.

Key Words : Forest fire, Surveillance, Satellite, System, Detection

*Corresponding Author : In-Je Cho(nall@cku.ac.kr)

Received August 26, 2021

Accepted November 20, 2021

Revised September 19, 2021

Published November 28, 2021

1. 서론

우리나라의 경우, 잦은 산불로 인하여 산림의 피해가 증가하고 있는 추세에 있다. 산불은 초기에 급속하게 확산되기 때문에 초기발견 및 진화가 지연되면 막대한 산림 손실을 입게 된다. 다목적 실용위성은 저궤도위성으로 하루에 3~4회 한반도를 통과하며, 한번 통과 시 약 8~12분 정도만 탐지가 가능하여 하루 중에 대부분은 탐지가 불가능하다. 따라서 24시간 상시 산불감시를 위해서는 24시간 탐지가 가능한 정지궤도위성 기반의 산불감시 체계의 필요성이 대두된다. 또한, 위성기반의 산불감시 체계의 큰 장점은 우주 공간에 위치하기 때문에 산불의 위험에 안전하다는 것인데 타 기반(지상, 항공)의 산불감시 체계가 산불에 의해 영향을 받더라도 안정적으로 24시간 산불 감시체계의 유지와 운용이 가능하게 된다. 24시간 상시 감시를 통하여 산불의 발생을 초기에 탐지하여 조기경보를 전달할 경우 초기 대응이 가능하여 산불에 보다 효과적으로 대처가 가능할 것이다.

본 논문에서는 산불감시를 위한 다양한 수단에 대해 알아보고, 한반도의 산불발생을 24시간 상시 감시하고 산불감시 전파가 가능한 정지궤도위성 기반의 산불감시 위성체계 구축을 위한 위성시스템에 대해 기술하겠다. 본 논문의 전개순서는 2장에서 국내외 논문 등의 각종 문헌연구를 기술하였으며, 3장에서 산불신호의 기술적 원리, 삼불발생시 발생하는 신호의 성분, 산불신호의 대기 특성, 배경잡음신호 등 기술적 원리에 대해 제시하고, 4장에서 지상 산불감시 수단, 항공 산불감시 수단, 우주 산불감시 수단 등 산불감시 수단에 대해 기술하고, 5장에서 시스템 구성과 운영개념, 시스템 활용 방안에 대해 제시하였고, 마지막으로 결론을 도출하였다.

2. 문헌연구

국내·외의 산불감시 관련 대다수의 연구를 살펴보면, 먼저 오해정(2014)의 연구에서는 폐쇄회로TV는 24시간 내내 산불을 감시할 수 있고, 드론은 산불의 탐지와, 진화 작업 후 피해정도 파악 할 수 있으며, 항공기는 적재적소의 영상을 촬영을 위한 궤도 설정할 수 있고, 인공위성센서 중 MODIS 위성 센서는 근적외선부터 가시광선까지 해당하는 영역에 해당하는 36개 채널을 다루고 있다고 소개하였다[1-3]

박승환 외2인(2005)의 연구에서는 산불탐지를 위한

MODIS TERRA & AQUA 위성 채널 설정 등 위성 산불 탐지를 위한 재료 및 방법을 연구하였다. 산불을 화염단계와 연기단계로 나누었고, 산불의 활력도, 온도, 방출입자 종류와 관련성을 보여주었고, 화염단계에서는 4 μ m, 11 μ m 채널을 사용하였다. 이에 관련된 열적외선 채널인 CH21, CH22, CH31에서 관측된 절대온도에 해당되는 산불영역을 탐지하고 있다고 소개하였다[2-4].

앞서 확인해본 관련 연구는 산불감시 관련 수단에 대해서 소개하였으나 CCTV를 활용시에는 산불탐지 거리의 제한, 감시수단의 보호의 제한, 드론을 활용시에는 감시수단의 고도 및 풍속에 따른 제한, 항공기를 활용시에는 감시수단의 산불온도 등에 대한 제한사항에 대한 기술적 장단점에 대한 제시가 미비하였고, 특히, 위성을 활용시 MODIS TERRA & AQUA 위성 채널의 산불탐지영역 등을 제시하고 있지만, MODIS TERRA & AQUA 위성은 705km 고도의 태양동기궤도 위성으로 지구전표면적을 관측하며, 하루에 한번 또는 두 번 같은 지점을 지나는 극궤도에 따른 태생적 한계가 있는 등의 기술적인 제시와 산불탐지 원리에 대한 기술적 연구가 제한되었다. 이에 본 연구에서는 정지궤도 위성을 활용한 산불탐지 위성의 기술적 연구와 위성 시스템 구축에 대해 연구하였다.

3. 기술적 원리

3.1. 산불신호의 기술적 원리

산불에 의한 적외선 대역의 복사(Radiation) 에너지는 Fig. 1과 같이 산불은 온도에 따라 스펙트럼이 달라진다. 산불은 온도에 비례하여 고온일수록 에너지를 복사하는 파장이 짧아진다. Fig. 1은 500K의 열원에 대하여 3.9 μ m 채널과 10.7 μ m 채널에 대하여 한 픽셀에 대한 산불 밝기 온도 비교를 나타낸다. (a)는 짧은 적외선 파장과 긴 적외선 파장에서의 플랑크 복사량 비교로 이 그림은 증가하는 열에 대한 짧은 파장의 반응이 더 빠르다는 것을 보여준다. (b)는 500K의 서브픽셀 열원을 포함하는 300K의 배경 온도 픽셀의 경우 3.9 μ m 대 10.7 μ m 채널의 밝기 온도 비교이다. Abscissa는 열원의 영향을 받는 픽셀의 백분율을 제공한다. 서수는 결과 평균 픽셀 밝기 온도(K)이다. 정지궤도상의 센서에 도달하는 산불에 의한 스펙트럼은 대기의 흡수(Absorption)에 의해 감쇄된다[5].

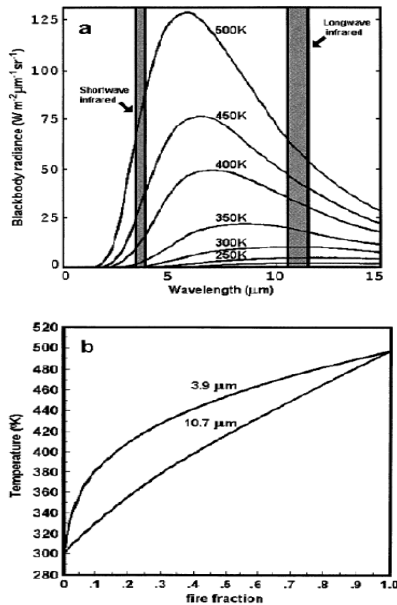


Fig. 1. WEATHER AND FORECASTING

산불신호 탐지는 산불에서 발생하는 전자기방사 (Electromagnetic Radiation) 신호를 주위배경으로부터 방출되는 전자기방사 신호와 구분하여 탐지 (Detection)하는 기술을 기반으로 한다. Fig. 2는 전자기파의 스펙트럼을 나타내며 산불 발생 시 자외선 대역에서 밀리미터파 대역까지의 전자기파를 방출한다. 이때 방출되는 전자기방사 신호는 대형 산불과 소형 산불 등 산불의 종류에 따라 구분할 수 있다. 또한, 산불의 종류에 따라 주위배경으로부터 방출되는 전자기방사 신호의 대역 특성이 달라진다. 이와 같이 산불의 종류에 따라 산불의 신호와 배경잡음신호(Background clutter)가 달라지므로, 산불 감시용 센서 개발에 있어서 감시하고자 하는 신호에 대한 정의가 선행되어야 한다[5,6].

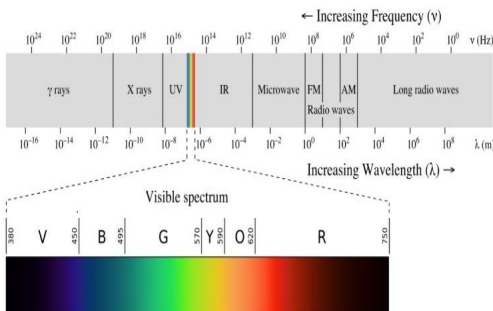


Fig. 2. Electromagnetic Waves Spectrum

3.2. 산불발생시 발생하는 신호의 성분

산불 발생 시 방출되는 적외선대역의 산불 신호의 발생 요인은 크게 산불 시 발생하는 가스(이산화탄소와 수증기) 및 불꽃(탄소 성분) 이다. 특정 파장 대역의 방사(Emission)는 산불발생시 발생하는 이산화탄소에 의한 것으로 알려져 있다. Table 1은 일반적으로 알려진 산불 화염 스펙트럼 라인을 보여 준다. 산불의 방사스펙트럼 라인은 산불 신호로 불린다. 실제 활용을 위한 스펙트럼 라인은 대기 특성, 센서 특성 및 배경잡음신호 특성에 따라 선택된다. 또한, 산불 탐지 센서 개발을 위해서는 산불의 정확한 복사(Radiation) 스펙트럼의 정보가 선행되어야 한다[5].

Table 1. Common Plume Spectrum Line

Wavelength(μm)	Origin	Comments
15	CO2	
6.3	H2O	Intense, heavy attenuation
4.9	CO2	
4.3	CO2	Intense, moderate attenuation
2.7	H2O	Intense, heavy attenuation
2.7	CO2	
2.0	CO2	
1.87	H2O	
1.38	H2O	
1.14	H2O	

산불 강도(Intensity)는 연소 속도에 비례하는 것으로 알려져 있다. 산불의 강도에 대한 근사식은 다음과 같다.

$$\text{산불의 강도} : I = H \times W \times R \text{ [kw/m]}$$

여기서 I는 산불의 강도, H는 소비된 연료의 열량, W는 면적당 소비된 연료의 무게, R 산불의 확산속도이다.[7]

3.3. 산불신호의 대기 특성

산불에서부터 방출된 산불 신호 스펙트럼은 대기 통과 후 탐지 센서에 도달하게 되며, 대기 중의 수증기에 의한 Scattering(산란)과 Absorption(흡수)에 의해 신호의 세기가 감쇄 한다. 이와 같은 감쇄특성은 스펙트럼 대역에 따라 다르기 때문에 산불 스펙트럼의 모양이 달라진다. Table 2는 LWIR (Long Wave Infra-Red,

8 μm ~12 μm) 대역의 기후조건에 따른 대기감쇄 특성을 보여준다. Heavy Fog, Heavy Rain, Heavy Snow에서 대기감쇄 특성이 크다는 것을 볼 수 있다. 산불 발생 초기부터 산불 탐지가 요구되며, 대기감쇄에 의한 약한 산불 신호(Signature)를 탐지해야 하므로 대기감쇄 영향이 작은 스펙트럼 대역과 이를 위한 검출기 등을 이용해야 한다. 대형 산불의 경우는 대기감쇄로 인한 설계상의 영향이 작음을 알 수 있다[5].

Table 2. Atmospheric Attenuation Characteristics According to Climate Conditions (8 μm ~ 12 μm)

Weather Condition	Extinction Coefficient(km ⁻¹)
Haze	0.105
Light Fog	1.9
Moderate Fog	3.5
Heavy Fog	9.2
Light Rain	0.36
Moderate Rain	0.69
Heavy Rain	1.39
Light Snow	0.51
Moderate Snow	2.8
Heavy Snow	9.2
Very Clear and Dry	0.05
Clear	0.08

3.4. 배경잡음신호 : 지표 잡신호(Terrain Clutter)

산불탐지에 있어서 산불(화염, 불꽃)의 복사신호(Radiation Signal) 뿐만 아니라 주위환경으로부터의 복사신호 또한 매우 중요한 요소이다. 약 4 μm 미만의 스펙트럼대역에서는 지표 온도에 의한 복사 에너지에 비해 지표에 의해 반사 혹은 산란된 태양빛이 지표 잡신호의 주요 원인으로 알려져 있다. Table 3은 다양한 지형에 대한 2 μm ~3 μm SWIR(Short Wave Infrared) 대역의 지표 반사율을 보여 준다. 대표적으로 산불에 해당하는 반사율은 Deciduous Woodland 18%, Coniferous Woodland 16%, Swamp Forest 12% 등이다[5].

Table 3. Short-Wavelength IR(2 μm ~3 μm) Background Reflectance

Material or Background Type	Hemispheric Reflectance(%)
Grass	24%
Wheat	26
Maize	22
Pineapple	15
Deciduous Woodland	18

Coniferous Woodland	16
Swamp Forest	12
Open Water	5
Dry Soil(light color)	32

3.5. 배경잡음신호 : 구름 및 하늘 잡음

맑은 하늘(Clear Sky)에 대한 적외선대역의 배경잡음신호는 대기를 이루고 있는 분자들의 산란(Scattering) 및 에너지 방출(Emission)에 의한 것이다. Fig 3.은 맑은 하늘에서 방출되는 에너지를 보여준다. 8 μm ~12 μm 에 이르는 스펙트럼 윈도우(Spectral Window) 영역의 경우에는 방출되는 에너지의 크기가 크다. Fig 3.은 맑은 하늘의 방출 에너지구름에 의한 배경잡음신호(Background Clutter)는 주로 구름에 의해 반사되는 태양에너지에 의해 발생한다[5].

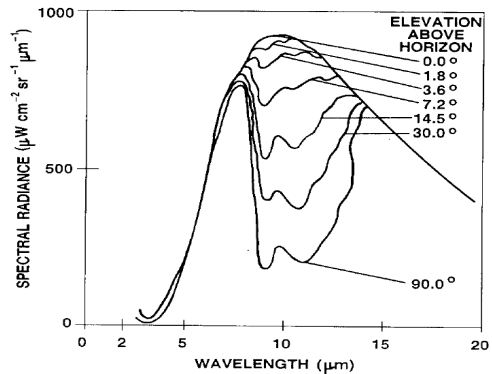


Fig. 3. Clear sky spectral background

Fig 4.는 가시광선과 적외선 대역에서의 구름의 반사율을 보여준다. MWIR(Mid Wave Infrared) 대역의 경우 가시광선 대역에 비해서 낮기는 하지만 약 10~20% 정도의 태양빛이 반사됨을 알 수 있다[5].

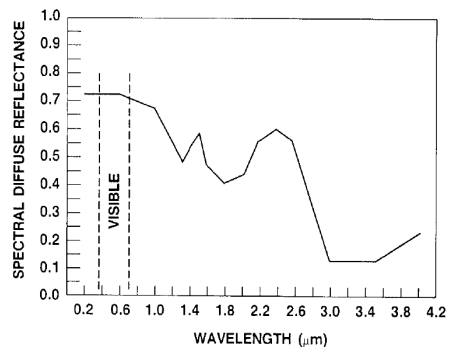


Fig. 4. Measured spectral cloud reflectance.

4. 산불감시 수단

4.1 산불감시 수단의 구분

최근의 산불 감시체계는 감시자의 시각에서 벗어나, 여러 가지 센서를 이용하여 근적외선에서 원적외선까지의 파장대역을 활용하고 있다. 복사 에너지를 방출하는 온도를 적외선 카메라를 이용하여 측정한다. 가시광선이 거의 없는 야간에도 다양한 파장대의 광원을 이용하여 산불을 감시할 수 있다. 각종 파장의 광원을 검출할 수 있는 수단은 지상, 공중, 우주의 세부분으로 나뉠 수 있는 검출기를 활용할 수 있다. 지상은 폐쇄회로TV를 이용한 감시 수단, 공중은 드론과 무인 또는 유인항공기를 이용한 감시수단, 우주는 궤도별 위성을 활용한 감시수단으로 구분할 수 있다.

4.1.1 지상 산불감시 수단

산불감시용 폐쇄회로TV는 온도감시용 적외선 센서와 광원의 세기를 감시하는 센서를 이용해 낮의 연기와 밤의 불꽃을 감시할 수 있다. 무인항공기나 드론과 달리 산불감시용 폐쇄회로TV는 하루 24시간 계속 산불을 감시할 수 있고, 해상도도 가장 높아 초기 산불 감시에 효과적이다. 산에 설치되는 폐쇄회로TV는 기상상태에 따라 화질이 떨어질 수 있고 고화질 영상처리에 어려움이 있다. 타 산불감시 수단과 비교하여 폐쇄회로TV는 약 5km까지만 산불 감시가 가능하다는 거리의 제약으로 확장성에 제한이 있다[1].

4.1.2 항공 산불감시 수단

최근에는 드론을 통한 산불감시 장비의 활용이 증대되고 있다. 드론은 가시광선에서 적외선, 레이더까지 다양한 목적과 형태로 활용되고 있다. 드론은 주·야간에 산불의 방향을 탐지하고, 잔여 산불탐지에서 산불진압 방재요원과 산불조난자의 동선을 파악할 수 있다. 산불진화 작업 후 피해 상태를 확인하는 등 다양하게 이용 중에 있다. 탐지한 관련 정보는 드론 관제센터로 실시간 전송되므로 산불의 진화 조치에 밀접하게 관련이 있다. 드론을 활용하여 소화탄을 투하하여 산불을 진화하는 연구도 진행되고 있다. 하지만 풍속·풍향에 따른 제한사항은 드론의 취약함을 알려준다. 산불 탐지용 드론의 허용 풍속은 약 20m/s로 과거 고성 산불 때 순간 최대풍속이 약 30m/s이었음을 고려하면 안전성 및 신

뢰성에 대한 검증이 더 필요한 상황이다[8].

산불 진화에 무인항공기를 이용한 첨단 과학기술이 적용되고 있다. 미국산림청과 NASA(미국항공우주국)는 열적외선 대역 탐지장비를 갖춘 무인항공기 이크하나를 개발하여 진화요원 등에 의해서는 접근이 불가능한 산림 지역의 산불탐지를 위해 활용되고 있다. 이크 하나는 화재현장 주위의 짙은 연기, 열점과 불길, 온도 차이 등의 정보를 실시간으로 진화 요원들에게 제공한다. 이크하나가 전송한 디지털 정보는 실시간 분석하므로 상황이 악화되기 전에 진화요원들을 투입 할 수 있게 되었다. 기존의 유인항공기에서는 이륙 후 화재 관련 사진 등의 촬영 후 관련 정보를 지상의 진화요원들에게 전달하는 방식을 사용하여 초동 대처가 늦다는 점이 단점으로 작용하였다[9].

무인항공기는 적재적소에 산불영상을 촬영하는 등 실시간으로 항로 설정이 가능한 점 등의 융통성을 발휘할 수 있으며, 약 10km 이하의 저고도에서 비행할 수 있어 더 선명한 촬영을 할 수 있다. 열적외선부터 근적외선, 가시광선까지 다양한 촬영 채널로 짙은 연기와 1000℃에 달하는 온도를 탐지할 수 있고 실시간으로 전송할 수 있다. 하지만 무인항공기의 적용을 위해서는 고온의 화염과 연기, 강한 바람에서 버틸 수 있는 튼튼한 동체를 갖추어야 하므로 막대한 비용과 각종 항공관련 규제 등으로 인한 제약요소를 가지고 있다.

4.1.3. 우주 산불감시 수단

우주감시 수단인 인공위성은 우주에서 지구를 바라보며 각각의 종류에 따라 여러 가지 센서를 탑재하고 있다. 산불 감시에 사용되는 MODIS 센서는 NASA EOC의 일환으로 발사된 AQUA 위성 및 TERRA 위성의 탑재센서로 0.4~3.0 μ m 대역에서 21개 채널, 3~14.5 μ m 대역에서 15개 채널 등 총 36개의 관측채널을 가지고 있으며, 관측 폭은 2,300km이고, 채널별 해상도(수평)는 250m(2채널), 500m(5채널), 1000m(29채널)을 가지고 있다. 적외선 채널을 통해 지표면의 온도와 주변의 온도를 비교하여 상대적으로 온도가 높은 영역을 산불 발생 가능 영역으로 설정한다. 넓은 지역을 동시에 촬영할 수 있으므로 인공위성을 이용한 산불 감시는 여러 측면에서도 효율적이다. 위성은 거리의 제약으로 해상도 저하의 근원적인 제약이 있고, 저궤도 또는 중궤도 위성은 재방문 주기에 따라 요구되는 지역을 적시적소에 지

속적으로 확인하기에 제약이 있다. MODIS 센서는 250m 이하의 수평 해상도로 인해 산불 발생 초기의 작은 화재 감시에는 제한이 따르며, 같은 위성이 동일 지역을 재방문하기 위해서는 수 시간이 소요되는 단점이 있다. 구름, 연기 등의 대기 상태는 인공위성을 통한 산불감시의 제한요소로 작용하고 있다. 일반적으로 산불의 단계는 1단계(화염단계), 2단계(연기단계) 등 2단계로 나누고 있으며, MODIS 센서의 1단계(화염단계)에서는 4 μ m 및 11 μ m 채널을 사용하여 열적외선 채널에서 관측된 절대온도를 기준으로 산불 영역을 탐지한다[10].

4.2 산불감시 수단의 진화

지상 감시 수단부터 위성 감시 수단까지 각종장비에 감시센서를 탑재하여 원격으로 산불을 감시하는 기술이 더욱 활용되고 있다. 다양한 탐지 기술과 다양한 파장의 센서를 이용하여 산불을 감시함으로써 우리는 산불을 빨리, 효과적으로 발견 및 진화가 가능하다. 한반도 상공 주변에 위치하는 정지궤도 기반 위성 산불감시 시스템은 하루 24시간 365일 상시 운영될 경우 시간적으로는 하루 수 회 같은 지점을 지나는 극궤도나 중저궤도위성의 단점을 극복할 수 있고 공간적으로는 지상 36,500km 상공에 위치한 위성의 특성으로 산불피해에 직접적인 영향이 없는 장점이 있다. 각 산불탐지 수단별 자체 기술이 가진 각각 장단점을 서로 보완하여 운영함으로써 산불발생 시 실시간으로 촬영된 영상의 활용을 통해 효과적으로 산불을 진화할 수 있고, 산불 피해자를 줄이고, 산불의 초동 조치를 통해 대형 산불로의 확산을 사전에 막을 수 있을 것이다.

5. 위성 산불감시 시스템 구성

5.1 시스템 구성과 운용개념

위성활용 산불감시 시스템 구성은 적외선 탐지 광학 센서를 탑재한 정지궤도 위성 1기와 위성에서 수신된 자료를 처리하여 산불감시 정보를 전파하는 지상처리 시스템으로 구성될 수 있다.

산불감시 위성 시스템의 운용개념은 다음과 같다. 위성 및 지상처리 시스템은 하루 24시간, 일주일 7일, 100% 운용이 가능하고, 위성 시스템에서는 이미지 자료를 실시간으로 지상처리 시스템으로 전송한다. 지상처리 시스템은 위성 시스템으로부터 받은 이미지 자료

를 수신하여 실시간으로 처리한다. 또한 지상처리 시스템은 자료 처리 결과를 실시간으로 산불경보 신호로 설정하여 관련부서에 전파하기 위해 위험표시를 실시간 실행한다. 산불감시 위성 시스템의 주요 임무는 산불 발생 후 최단 시간 내에 지상처리 시스템에서 처리하여 사용자의 요구사항에 만족하는 산불경보를 제공하는 것이다.

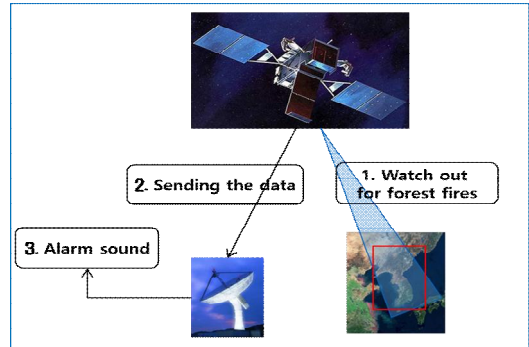


Fig. 5. Forest fire surveillance satellite system configuration diagram

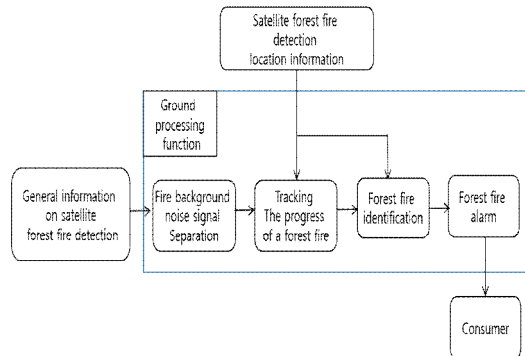


Fig. 6. Ground System Configuration Diagram

5.2 시스템 활용방안

산불감시 위성이 한반도 상공 주변에 위치하여 하루 24시간 365일 상시 운용될 경우 우리나라의 산불감시 등의 국가 공공 이익분야와 적외선 센서 기술을 이용한 국가 안보분야에 활용이 가능할 것이다. 위성활용 산불감시 시스템의 첫 번째 임무는 적외선탐지 기능을 이용하여 한반도의 산불감시 및 경보 임무가 주요 임무이고, 국가 안보분야는 기타 임무이다. 특히, 산악지역에 대한 24시간 산불감시가 가능하고, 산불범위를 추적함으로써, 한반도 전역의 24시간 국가안보 임무를 수행할 수 있다.

6. 결론

대부분의 기존연구는 산불감시 관련 수단에 대해서 소개 위주의 제시였다. 폐쇄회로TV 산불감시 수단은 산불 탐지거리의 제한과 감시수단 보호의 제한, 드론 활용 산불 감시수단은 고도 및 풍속에 따른 제한, 항공기를 활용 산불감시 수단은 감시수단 개발 등의 제한, 그리고 중/저궤도 위성의 경우 하루에 한번 또는 두 번 같은 지점을 지나는 궤도에 따른 태생적 한계와 산불 탐지 원리에 대한 기술적 연구가 제한되었다. 이에 본 연구에서는 하루 수 회 같은 지점을 지나는 궤도나 중-저궤도위성의 단점을 극복할 수 있는 정지궤도 산불감시 위성의 기술적 연구와 위성 시스템 구축을 위한 방법을 연구하였다. 지상 감시 수단부터 위성 감시 수단까지 각종장비에 감시센서를 탑재하여 원격으로 산불을 감시하는 기술이 더욱 활용되고 있다. 다양한 탐지 기술과 다양한 파장의 센서를 이용하여 산불을 감시함으로써 우리는 산불을 빨리, 효과적으로 발견 및 진화가 가능하다. 각 산불탐지 수단별 자체 기술이 가진 각각 장단점을 서로 보완하여 운영이 효율적이라 하겠다.

한반도 지역을 24시간 상시 감시가 가능한 정지궤도 위성 기반의 산불 감시 시스템 구축을 위한 위성시스템 기반기술을 소개하고, 시스템 구성 및 활용 방안을 기술하였다. 위성활용 산불감시 시스템은 적외선탐지 광학센서를 탑재한 정지궤도 위성 1기와 위성에서 수신된 자료를 처리하여 산불 정보를 전파하는 지상시스템으로 구성될 수 있다. 산불 신호를 분석하여 산불 발생 감시에 활용할 수 있는 적외선탐지 센서 스펙트럼 대역을 선정하여 시스템을 구성하는 것이 필요할 것이다. 현재 가용한 해외 산불감시 자료를 바탕으로 위성활용 산불감시 시스템은 천리안위성급의 중형 정지궤도 위성으로 구현 가능할 것이며, 위성 플랫폼은 천리안급의 위성 플랫폼을 기본으로 하여 탑재체 무게와 전력을 수용할 수 있을 것이다.

시스템의 적외선탐지 센서 탑재체는 새로 개발하여야 하는 품목으로 기술적 타당성을 검토하기 위해서는 관련분야 선진국의 기술적 검토에 대한 선행 연구가 구체화 되어야 할 것이다. 적외선탐지 센서 탑재체의 핵심기술은 적외선탐지 검출기 성능 및 검출기를 지원하는 열제어기 신뢰도이다. 하지만 우리나라에서는 아직 위성기반 센서 기술이 미비하기 때문에 현재 위성을 운용하고 있는 미국이나 운용을 계획 중인 국가들과 국제

협력을 통한 공동개발 형태를 취해 기술습득을 하여야 할 것이다. 위성은 자료를 획득하여 지상으로 전송하는 기능을 수행하지만 실제 자료를 처리하고 판단하여 산불감시 정보를 전파하는 주체는 지상시스템이므로 전체시스템에서 지상시스템이 차지하는 부분 또한 매우 중요하다. 특히 자료 처리 기술은 배경잡음신호를 제거하고 원하는 목표를 정확히 취득하여 산불감시 정보를 전파하는 것이며, 오경보율(False Alarm Rate)을 최대한 줄이는 기술이 핵심이다. 이와 같이 지상국 처리 소프트웨어 기술에 대해 해외기술 도입 또는 공동개발을 통한 기술습득을 하여야 할 것이다.

우리나라에서 정지궤도 위성을 활용한 산불감시 시스템을 구축할 경우 산불 감시라는 국가 공공이익 부분과 국가 안보적인 측면에 활용이 가능할 것이며, 우리나라에서 보유하고 있지 않은 위성기반의 적외선탐지 센서 기술 및 지상국 자료 처리 소프트웨어 개발 등의 첨단기술 습득 기회가 될 것이다. 다만 본 연구의 제한된 자료만으로 미처 생각하지 못한 센서 탑재체의 기술 및 지상시스템과의 연동, 관련 부서와의 협의 등은 향후 지속적인 연구를 통해 구체화하고, 보다 증진된 연구를 도모할 수 있도록 계속 노력해야 할 것이다.

REFERENCES

- [1] H. G. Oh. (2014. 3. 11). *Fireworks detection CCTV forest fire prevention utilization. UAV Injection*, MBC NEWS (Online). http://imnews.imbc.com/replay/2014/nwdesk/article/3428557_18451.html
- [2] Brandon Maccherone. (nd). Specifications.MODIS,(Online). <https://modis.gsfc.nasa.gov/about/specifications.php>
- [3] Y. Kaufman & C. Justice. (1998), Algorithm Technical Background Document, *MODIS ATBD : Fires, MODIS Science Team, 2*, 30-35.
- [4] S. H. Park, J. S. Park & H. H. Lee. (2005). Detection of forest fires on the Korean Peninsula by MODIS satellite images, *Korea Meteorological Society Conference, Proceeding of the Autumn Meeting of KMS, 2005*, 354-355
- [5] J. F. Weaver, D. Lindsey, D. Bikos, C. C. Schmidt & E. Prins. (2004). Fire Detection Using GOES Rapid Scan Imagine, *American Meteorological Society, 19(3)*, 486-510
- [6] D. H. Pollock. (1993). *The Infrared and*

Electro-Optical System Handbook, Volume 7. Counter measure Systems, Society of Photo Optical

- [7] Hyunmoo and Nini. (2016). *Electromagnetic waves, radio waves, microwaves*(Online). <https://dreamlog.tistory.com/537>
- [8] H. M. Chae & C. Y. Lee. (2003), Analysis of Forest Fire Spread Rate and Fire Intensity by a Wind Model, *Korean Journal of Agricultural and Forest Meteorology, 5(4)*, 213-217.
- [9] C. S Woo. (2016). A Study on the Utilization of Drones in the Forest Sector. *Forest Policy, 71*.
- [10] P. W. Merlin. (2009). Ikhana, Unmanned Aircraft System Western States Fire Missions. *National Aeronautics and Space Administration, Maongraphs In Aerospace History #44, NASA SP-2009-4544*, Work of the US Gov. Public Use Permitted, 1-123,

박 범 순(Beom-Sun Park)

[종신회원]



- 2021년 8월 : 아주대학교 우주전자정보공학과(박사수료)
- 2020년 3월 ~ 현재 : 가톨릭관동대학교 항공정비학과 조교수
- 관심분야 : 항공시스템, 위성, 우주시스템
- E-Mail : moon5bsp@cku.ac.kr

조 인 제(In-Je Cho)

[정회원]



- 2021년 3월 : 한국항공대학교 항공우주기계공학과(박사과정)
- 2020년 3월 ~ 현재 : 가톨릭관동대학교 무인항공학과 조교수
- 관심분야 : 비행제어시스템, 지상통제시스템
- E-Mail : nall@cku.ac.kr

임 재 환(Jae-Hwan Lim)

[정회원]



- 2020년 2월 : 경희대학교 경제학과(박사)
- 2020년 3월 ~ 현재 : 가톨릭관동대학교 항공경영물류학과 조교수
- 관심분야 : 항공산업, 항공교통
- E-Mail : atonio@cku.ac.kr

김 인 배(In-Bae Kim)

[정회원]



- 2002년 2월 : 충북대학교 전자공학과(석사)
- 2017년 3월 ~ 현재 : 방위사업청 공중지휘통제체계사업팀 사무관
- 관심분야 : 무선 및 위성통신, 레이더, C4I, 항행안전시설
- E-Mail : hiber67@korea.kr