

GK-2A AMI
Algorithm Theoretical Basis
Document

SD (Snow Depth)

정형섭 서울시립대학교

Version 1.0

2019. 04. 26.



국가기상위성센터
National Meteorological Satellite Center

<수정 이력>

문서 버전	수정내용	과학코드 버전	수정일	작성자
0.1	테스트 버전의 알고리즘 개발에 대한 설명	0.1.0.0	2016.01.30	정형섭 김대성
0.2	MODIS 영상 기반 적설깊이 탐지에 대한 설명 추가	0.2.0.0	2017.01.18	정형섭 김대성
0.3	Himawari-8 AHI 영상기반 적설깊이 탐지에 대한 설명 추가	0.3.0.0	2017.09.28	정형섭 김대성
0.4	검토위원회 수정사항 내용 반영	0.4.0.0	2018.01.19	정형섭 황정인
0.5	4차 검토위원회 수정사항 내용 반영	0.5.3.1	2019.04.15	정형섭 박승환
1.0	ATBD 오탈자 검수	0.5.3.1	2019.04.26	정형섭 박승환

<목차>

1. 개요.....	9
1.1 목적.....	9
1.2 사용자.....	9
1.3 내용.....	9
1.4 관련 문서.....	9
2. 알고리즘 소개.....	10
2.1 개요.....	10
2.2 알고리즘 흐름도.....	11
2.2.1 오프라인 모드 처리 과정.....	11
2.2.2 온라인 모드 처리 과정.....	12
2.3 입력자료.....	13
2.3.1 L1B.....	13
2.3.2 L2.....	14
2.3.3 보조 자료.....	14
2.4 이론적 배경.....	15
2.4.1 광학채널 기반의 적설깊이 추정 배경.....	15
2.4.2 적설면적과 눈지수.....	16
2.4.3 산림영역과 식생지수.....	17
2.4.4 단위면적당 적설 비율.....	18
2.4.5 적설비율과 적설깊이와의 관계.....	20
2.5 수학적 설명.....	21
2.5.1 상관계수 결정을 위한 테스트 화소 선정.....	21
2.5.2 적설비율 추정을 위한 상관계수 결정.....	21
2.5.3 적설깊이 추정을 위한 상관계수 결정.....	25
2.6. 산출물.....	27
3. 모의자료 및 검증.....	28

3.1	모의 입력자료 및 검증자료.....	28
3.1.1	모의 입력자료.....	28
3.1.2	검증자료.....	29
3.2	검증 방법.....	29
3.3	검증 결과.....	29
4.	현업운영 시 고려사항	32
4.1	수치계산 고려사항.....	32
4.2	프로그래밍 및 절차상의 고려사항.....	32
4.3	품질 평가 및 진단.....	32
4.4	예외사항 처리.....	32
4.5	검증 알고리즘.....	32
5.	가정 및 제한	33
5.1	성능.....	33
5.2	예상 센서 성능.....	33
5.3	개선을 위한 사전 계획.....	33
6.	참고문헌	34

<표 목차>

표 2.1 적설깊이 추정에 활용하는 L1B 채널자료 유무	5
표 2.2 적설깊이 추정에 활용하는 L1B 채널자료 설명	6
표 2.3 적설깊이 추정에 활용하는 L1B 채널자료 사용 목적	6
표 2.4 적설비율 추정 모델 상관계수 추정 결과	15
표 2.5 적설깊이 추정 모델 상관계수 추정 결과	16
표 2.6 적설깊이 추정 알고리즘 산출물 정보	17
표 3.1 모의자료로 사용한 Himawari-8 AHI 자료 설명	17

〈그림 목차〉

그림 2.1 적설깊이 추정 흐름도	3
그림 2.2 오프라인 모드 적설깊이 추정 상관계수 추출 흐름도	4
그림 2.3 온라인 모드 적설깊이 추정 흐름도	4
그림 2.4 위성영상 한 화소에서 나타나는 적설의 특성 모식도	7
그림 2.5 산림화소에서 적설의 깊이가 실제보다 얇게 추정되는 경우에 대한 모식도	8
그림 2.6 적설의 파장대역에 따른 반사율 특성	8
그림 2.7 산림영역의 파장대역에 따른 반사율 특성	9
그림 2.8 적설비율에 대한 모식도	10
그림 2.9 적설비율과 적설깊이와의 관계	11
그림 2.10 우리나라자동기상관측장비 분포도	12
그림 2.11 Landsat 기반 적설분류도와 적설비율도 제작 결과 예시	13
그림 2.12 Landsat 기반 적설비율도의 좌표를 변환한 결과 예시	13
그림 2.13 Himawari-8 AHI 영상자료로부터 Landsat 촬영영역에 대해 계산된 정규식생지수와 정규눈지수	14
그림 2.14 정규식생지수, 정규눈지수와 적설비율과의 관계	14
그림 2.15 적설깊이 추정을 위해 구성된 적설비율값 테이블	15
그림 2.16 적설깊이 추정 모델	16
그림 3.1 적설깊이 추정 결과	18
그림 3.2 실측 적설깊이와 추정된 적설깊이의 잔차	19

약어표

AMI	A dvanced M eteorological I mager
AHI	A dvanced H imawari I mager
CLD	C loud C over
GK2A	G eo K ompsat 2A
GOES	G eostationary O perational E nvironmental S atellite
LST	L and S urface T emperature
MODIS	M ODerate-resolution I maging S pectroradiometer
NIR	N ear B urn R atio
NDSI	N ormalized D ifference S now I ndex
NDVI	N ormalized D ifference V egetation I ndex
NMSC	N ational M eteorological S atellite C enter
RMSE	R oot M ean S quare E rror
SC	S now C over
SD	S now D epth
SWIR	S hort W avelength I nfra R ed
TOA	T op O f A tmosphere

1. 개요

1.1 목적

적설깊이 추정 기술분석서의 목적은 정지궤도 기상위성(GeoKompsat) 2A 호의 Advanced Meteorological Imager(AMI)로 획득한 영상자료를 이용하여, 적설깊이(snow depth)를 추정하는 방법에 대한 자세한 설명과 산출물에 대한 설명을 제공하는 데 그 목적이 있다.

1.2 사용자

사용자는 정지궤도 기상위성 2A를 활용하여 적설깊이를 추정하는 목적을 지닌 모든 사용자를 대상으로 한다.

1.3 내용

산불탐지 기술분석서의 주요 내용은 다음과 같다.

알고리즘 소개 부분에서는 알고리즘의 전체적인 흐름 및 배경, 수학적 설명과 입·출력자료에 대한 설명을 포함한다.

시험자료 및 출력물 부분에서는 모의자료로 활용한 Himawari-8 AHI 자료를 사용한 출력물에 대한 설명을 포함한다.

현업운영시 고려사항 부분에서는 알고리즘 사용 시 고려사항 및 예외사항 처리, 검증 결과에 대한 설명을 포함한다.

가정 및 제한 부분에서는 알고리즘을 활용하기 위한 가정과 제한점에 대한 설명을 포함한다.

1.4 관련 문서

- 국가기상위성센터, 2015, '영상 장면분석 표면분야 알고리즘 개발(1)' 최종보고서
- 국가기상위성센터, 2016, '영상 장면분석 표면분야 알고리즘 개발(2)' 최종보고서
- 국가기상위성센터, 2017, '영상 장면분석 표면분야 알고리즘 개발(3)' 최종보고서
- 국가기상위성센터, 2018, '영상 장면분석 표면분야 알고리즘 개발(4)' 최종보고서

2. 알고리즘 소개

2.1 개요

적설(snow cover)은 지면에 쌓여있는 눈을 의미하며 쌓여있는 눈의 총량을 적설량(snowpack)이라 한다. 만년설, 극지방에서의 적설량의 증감은 지구온난화를 연구할 수 있는 간접적인 지표로 활용가능하기 때문에 환경 분야에서는 이를 이용하여 지구온난화의 경향 및 지구온난화의 가속정도 등을 연구할 수 있다. 또한 지표에 쌓여있는 눈은 온도가 증가하면서 물로 변하기 때문에 많은 지역에서 수자원으로서의 역할을 수행하고 있다(Liang et al., 2015). 그렇기 때문에 수문학 분야에서는 이용 가능한 정확한 수자원의 양을 계산하기 위해서 적설량을 필요로 한다.

지표위로 쌓여 있는 적설의 깊이를 썬 값을 적설깊이(snow depth)라 하며 이는 적설량을 추정하는데 가장 중요한 값으로 적설이 분포하는 영역에 대해서 모든 지점의 깊이를 알 수 있다면 이를 이용하여 적설깊이를 추정할 수 있다. 지상에 존재하는 관측소에서의 값을 이용하는 경우 관측소의 분포가 불규칙적이고 그 수가 매우 적기 때문에 관측소 이외인 지역에 대해 정보를 제공할 수 없는 한계점이 있다. 그러나, 주기적으로 넓은 범위의 정보를 제공할 수 있는 위성영상을 활용할 경우, 영상촬영범위에 대해 깊이정보를 주기적으로 제공이 가능하기에 눈이 내리는 양과 적설의 영향을 받는 지역을 효과적으로 탐지할 수 있는 장점이 있다(Chang et al., 1987; Foster et al., 1997; Aschbacher, 1989; Davis et al., 1993; Goita et al., 2003; Tedesco et al., 2004; Zahir and Mahdi, 2015).

일반적으로 지표면의 정보만을 획득할 수 있는 위성영상 시스템에서 깊이와 관련된 정보를 제공하는 것에 한계점이 있다. 그러나 적설의 면적과 적설의 깊이는 분명한 상관성이 존재한다(Lin et al., 2012; Baker et al., 1991; Romanov and Tarpley, 2004). 적설의 면적이 넓다는 것은 눈이 많이 내렸다는 것을 의미하며 곧 적설의 깊이 또한 증가하기 때문이다. 따라서 적설의 면적과 적설의 깊이는 정비례의 상관성을 지니며, 상관성 분석을 통해 적설의 면적으로부터 적설의 깊이를 추정할 수 있다(Barton et al., 2000; Romanov et al., 2003; Salomonson et al., 2004; Lin et al., 2012). 따라서 본 기술분석서에서는 관측주기가 짧고 넓은 영역을 커버할 수 있는 정지궤도 기상위성 2A호 AMI 센서를 통해 획득된 이미지를 분석함으로써, 적설의 면적과 관련된 정보를 추출하고, 상관성 분석 결과로부터 적설의 깊이를 추정하는 이론적 배경 및 알고리즘에 대한 설명을 포함한다.

2.2 알고리즘 흐름도

그림 2.1은 적설깊이 추정 알고리즘의 개략적인 영상자료 처리 흐름도이다. 영상자료 처리는 적설의 면적과 적설의 깊이의 상관성을 분석하는 오프라인 모드와 상관성 결과로부터 적설의 깊이를 추정하는 온라인 모드로 구분된다. 일반적인 적설깊이 추정에서는 온라인 모드를 이용하여 적설의 깊이를 추정하며, 적설의 면적과 적설의 깊이의 상관성을 개선하거나 조정하기 위해서는 오프라인 모드를 활용한다.

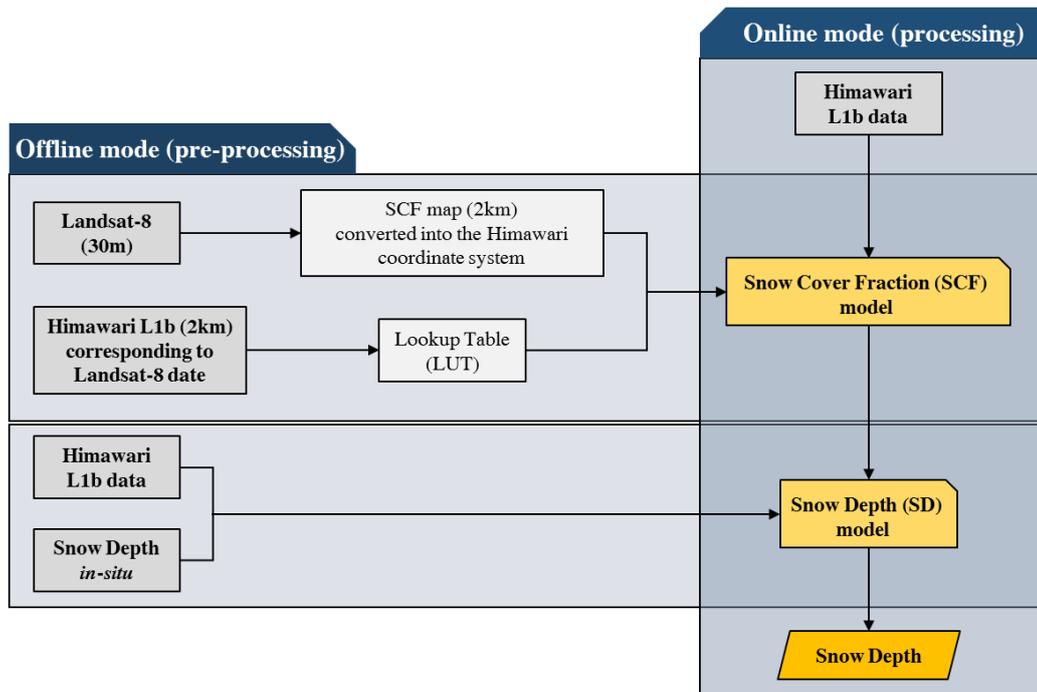


그림 2.1 적설깊이 추정 흐름도

2.2.1 오프라인 모드 처리 과정

그림 2.2는 적설의 면적과 깊이 간의 상관성 분석을 수행하기 위한 상세 오프라인 모드를 설명한다. 오프라인 모드는 총 네 단계로 구성이 된다. 첫 번째 단계에서는 30m 급의 공간해상도를 지닌 Landsat 영상으로부터 적설역을 추정한 후, 정지궤도 기상위성 2A호의 공간해상도인 2km×2km에서 적설이 차지하는 면적을 비율로 표현한 적설비율도(snow cover fraction, SCF)를 제작한다. 두 번째 단계에서는 정지궤도 기상위성 2A호로부터 정규식생지수(normalized difference vegetation index, NDVI)와 정규눈지수(normalized difference snow cover, NDSI)를 계산한 후, 동일 위치에 대응하는 Landsat 기반의 적설비율과 기상위성 기반의 정규식생지수 및 정규눈지수를 각각 데이터로 축적한다. 세 번째 단계에서는 기상위성에서 계산한 NDVI와 NDSI로부터 적설비율을 추정할 수 있는 적설비율 추정 모델과 함께, 상관계수를 도출한다. 마지막 네 번째 단계에서는 적설비율로부터 적설깊이를 추정할 수 있는 적설깊이 추정 모델과 함께, 실측 적설깊이 자료로부터 상관계수를 도출한다. 이로부터 도출된 상관계수는 온라인 모드에 활용되어 기상위성에서 촬영한 지표면 정보로부터 적설깊이를 추정하는 데 활용한다.

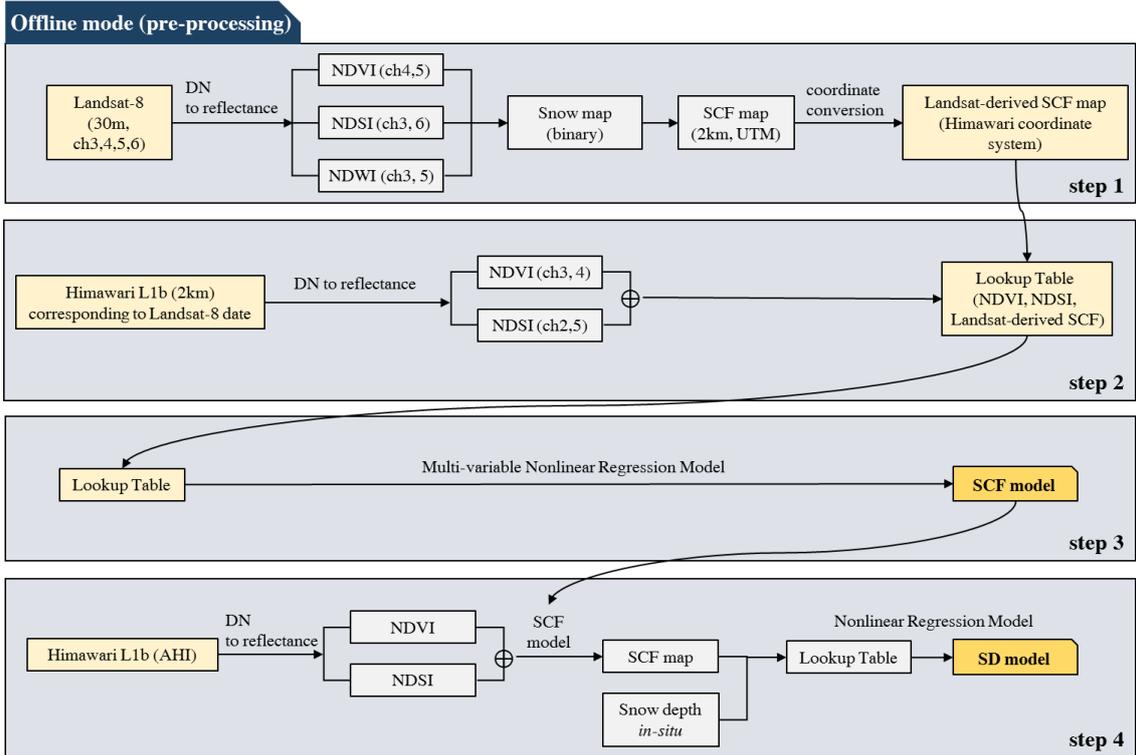


그림 2.2 오프라인 모드 적설깊이 추정 상관계수 추출 흐름도

2.2.2 온라인 모드 처리 과정

그림 2.3은 정지궤도 기상위성으로부터 실제 적설의 깊이를 추정하는 상계 좌정을 설명한다. 온라인 모드는 오프라인 모드에서 구한 상관계수를 활용한다. L1B 영상자료와 태양천정각 및 적설역 선행산출물을 활용하며, 정규식생지수와 정규눈지수를 계산하는 것으로 전처리 과정을 수행한다.

정규식생지수와 정규눈지수로부터 적설비율을 추정하며, 추정된 적설비율에 적설깊이를 추정하는 것으로 적설깊이 추정과정을 종료한다.

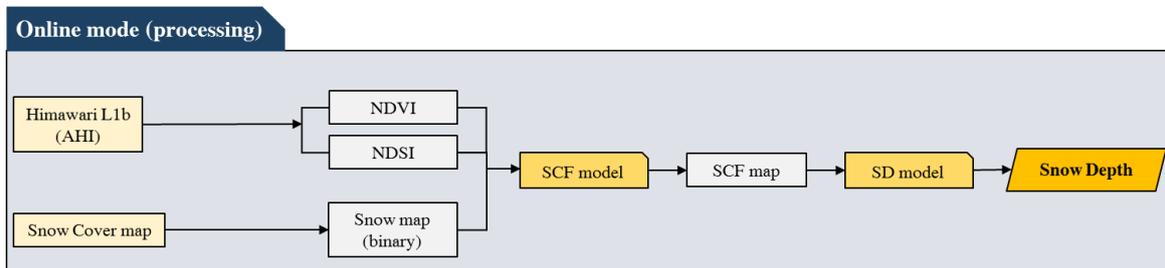


그림 2.3 온라인 모드 적설깊이 추정 흐름도

2.3 입력자료

2.3.1 L1B

산불탐지에 활용되는 L1B 채널자료는 표 2.1과 같다. 표 2.2는 각 채널에서 사용하는 자료를 설명하며, 표 2.3은 각 채널의 사용용도를 나타낸다.

표 2.1 적설깊이 추정에 활용하는 L1B 채널자료 유무

Band	Central Wavelength (μm)	Band Width (μm)	Spatial Resolution (km)	Usage
1	0.47	0.431-0.479	1	
2	0.51	0.5025-0.5175	1	O
3	0.64	0.625-0.660	0.5	O
4	0.86	0.8495-0.8705	1	O
5	1.38	1.373-1.383	2	
6	1.61	1.601-1.619	2	O
7	3.83	3.74-3.96	2	
8	6.241	6.061-6.425	2	
9	6.952	6.89-7.01	2	
10	7.344	7.258-7.433	2	
11	8.592	8.44-8.76	2	
12	9.625	9.543-9.717	2	
13	10.403	10.25-10.61	2	
14	11.212	11.08-11.32	2	
15	12.364	12.15-12.45	2	
16	13.31	13.21-13.39	2	

표 2.2 적설깊이 추정에 활용하는 L1B 채널자료 설명

Sensor	Data
AMI sensor	Ch 02 TOA Reflectance
	Ch 03 TOA Reflectance
	Ch 04 TOA Reflectance
	Ch 06 TOA Reflectance

표 2.3 적설깊이 추정에 활용하는 L1B 채널자료 사용 목적

Data	Description
Ch 02 TOA Reflectance	NDSI calculation
Ch 03 TOA Reflectance	NDVI calculation
Ch 04 TOA Reflectance	NDVI calculation
Ch 06 TOA Reflectance	NDSI calculation

2.3.2 L2

적설깊이 추정에 활용되는 L2B 채널자료는 기상위성센터에서 제공하는 적설탐지 산출물 (snow cover product, SC)에 해당하며, '적설'로 표현된 영역에 한정한다.

2.3.3 보조 자료

적설깊이 추정에는 별도의 보조자료를 활용하지 않는다.

2.4 이론적 배경

2.4.1 광학채널 기반의 적설깊이 추정 배경

기본적으로 위성센서에 기록되는 지표반사 복사에너지는 지표면(land surface)에 도달한 태양복사에너지가 반사되어 기록되는 정보이다, 따라서 지표면의 반사특성에 따라 지표면을 구분할 수 있으며, 식생지역, 적설지역 및 구름지역 등 피복에 대한 분류도 제작에 큰 활용점이 있다. 그림 2.4는 지표면에 적설이 적게 내렸을 때와 많이 내렸을 때를 설명하는 모식도를 나타낸다. 래스터형태로 제공되는 위성영상의 특성상 한 화소 범위에 모든 지표를 복사에너지가 혼합되어 하나의 값으로 제공한다. 따라서 적설이 적게 내렸을 때는 해당 화소가 적설의 특성보다 원 지표면의 특성이 더 강하게 나타나지만, 적설이 많이 내렸을 때에는 해당 화소에서 적설의 특성이 더욱 반영되어 나타나게 된다.

적설의 특성이 강하게 나타나는 것은 곧 적설이 해당 지표에 많이 내렸음을 의미한다. 이는 곧 적설의 두께가 두꺼워지는 것을 의미한다. 따라서, 화소가 적설의 특징을 강하게 나타낼수록 적설의 두께가 커지게 되며, 이러한 특성이 광학채널로부터 적설의 깊이를 추정할 수 있는 근거가 된다.

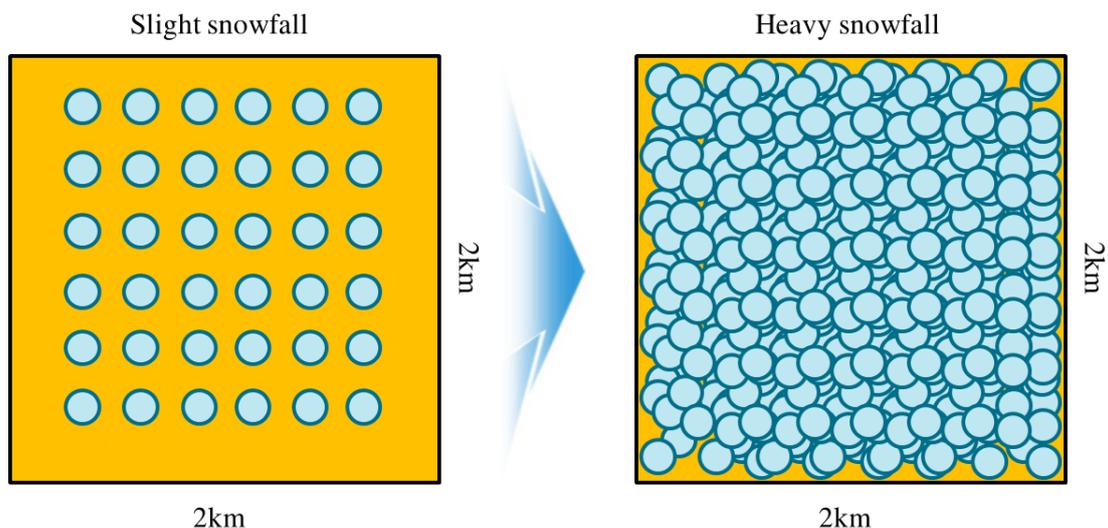


그림 2.4 위성영상 한 화소에서 나타나는 적설의 특성 모식도

이때, 동일한 적설양에서도 위성으로부터 추정할 수 있는 적설의 깊이는 지표의 피복에 따라 달라질 수 있다. 그림 2.5는 동일한 적설양일 때 일반적인 지표와 산림지역에서의 관측되는 한 화소의 특성을 설명한다. 표면의 정보만을 획득하는 위성영상의 특성상 일반적인 지표에서는 적설이 내린만큼 관측되지만, 산림지역에서는 실제보다 적설이 관측되는 양이 적게 나타나게 된다. 일반적인 산림지역은 초본층, 교목층 및 관목층까지

여러 개의 층으로 구성이되는데, 적설은 초본층부터 관목층까지 고루 분산되어 내리나 위성영상은 가장 상부에 위치한 관목층에 대한 정보만을 획득할 수 있기 때문이다. 따라서 산림지역에서 추정되는 적설깊이는 실제보다 얇게 추정되기 때문에 이를 고려하는 적설깊이 추정 알고리즘이 개발되어야 한다.

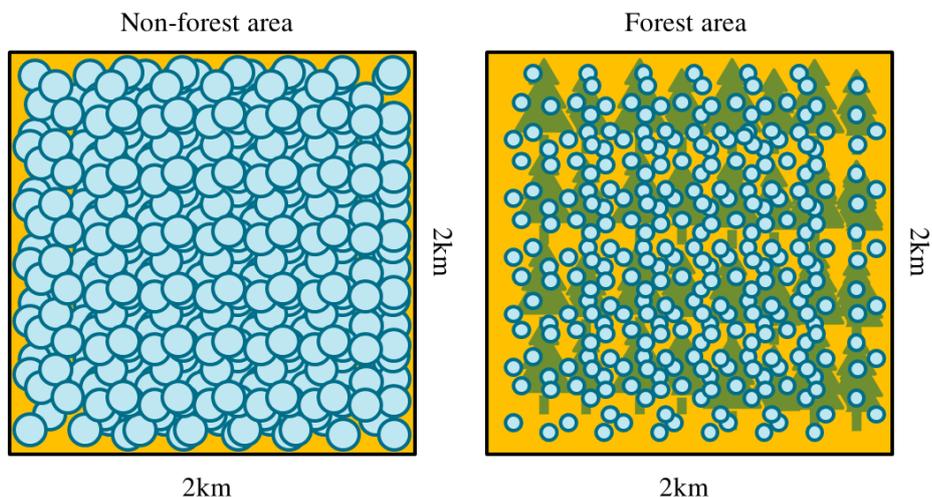


그림 2.5 산림화소에서 적설의 깊이가 실제보다 얇게 추정되는 경우에 대한 모식도

2.4.2 적설면적과 눈지수

눈지수란 눈의 반사특성을 이용하여 적설역을 다른 피복으로부터 분류해내기 용이하도록 설계된 지표이다. 눈지수는 근적외선(near infrared, NIR) 파장대역과 녹색 파장대역을 활용하여 계산한다. 그림 2.6은 적설영역에 대한 파장대역에 따른 반사특성을 나타낸다. 그림 2.6에서 확인할 수 있듯이, 적설은 녹색 파장대역($0.50-0.52 \mu\text{m}$)에서는 높은 반사율의 특성을 보이나, 근적외선 파장대역($1.60-1.62 \mu\text{m}$) 파장대역에서는 낮은 반사율의 특성을 보인다. 따라서 두 채널에서의 반사도 차이를 이용하여 눈지수를 계산하며, 이는 아래 수식 (1)과 같다.

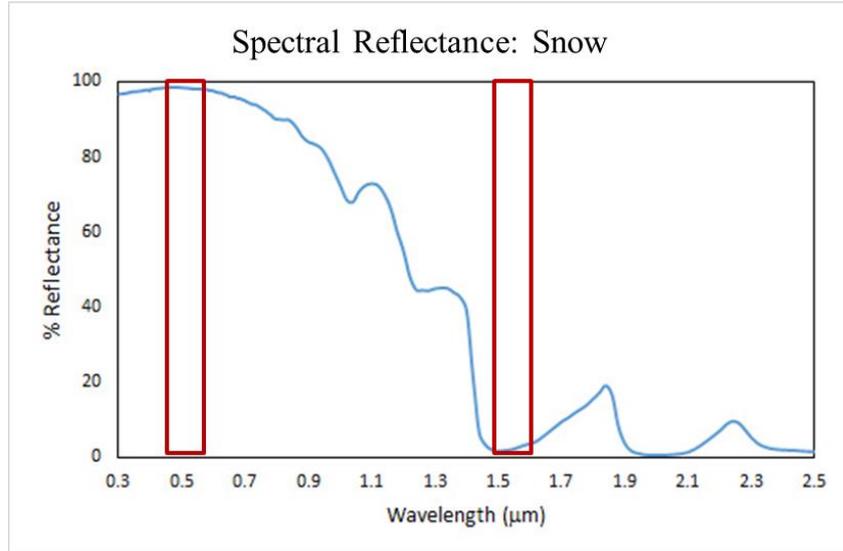


그림 2.6 적설의 파장대역에 따른 반사율 특성
(Stamnes et al., 1988; Nolin and Dozier, 2000)

$$NDSI = \frac{\rho_{0.50} - \rho_{1.61}}{\rho_{0.50} + \rho_{1.61}} \quad (1)$$

위 수식에서 $\rho_{0.50}$ 및 $\rho_{1.61}$ 은 각각 녹색 파장대역과 근적외선 파장대역에서의 반사율을 나타낸다.

눈지수는 -1에서 1사이의 값으로 표현되는데, 값이 1에 가까울수록 해당화소가 완전한 적설일 가능성이 높다는 것을 의미하며, 값이 -1에 가까울수록 해당화소가 적설일 가능성이 거의 없음을 의미한다. 여기서, 완전한 적설은 곧 해당화소에 충분한 적설이 내렸다는 것을 의미함과 동시에 적설의 깊이 또한 두껍다는 것을 의미한다.

2.4.3 산림영역과 식생지수

식생지수란 녹색 식물의 반사특성을 이용하여 식생지역을 다른 피복으로부터 분류해내기 용이하도록 설계된 지표이다. 식생지수는 근적외선(near infrared, NIR) 파장대역과 적색 파장대역을 활용하여 계산한다(Roesch et al., 2001). 그림 2.7은 산림영역에 대한 파장대역에 따른 반사특성을 나타낸다. 그림 2.7에서 확인할 수 있듯이, 산림지역은 근적외선 파장대역(0.85-0.7 μm)에서는 높은 반사율의 특성을 보이나, 적색 파장대역(0.64-0.66μm) 파장대역에서는 낮은 반사율의 특성을 보인다. 따라서 두 채널에서의 반사도 차이를 이용하여 식생지수를 계산하며, 이는 아래 수식 (2)과 같다.

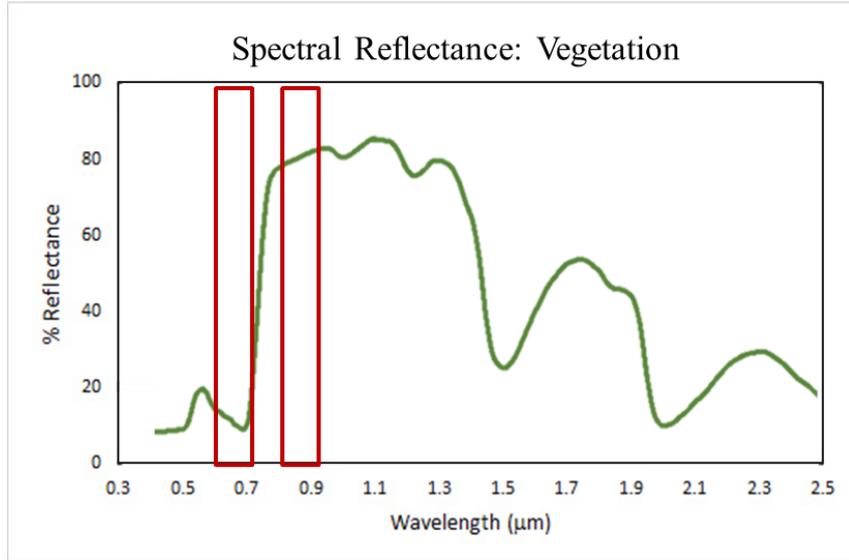


그림 2.7 산림영역의 파장대역에 따른 반사율 특성

$$NDVI = \frac{\rho_{0.86} - \rho_{0.64}}{\rho_{0.86} + \rho_{0.64}} \quad (2)$$

위 수식에서 $\rho_{0.86}$ 및 $\rho_{0.64}$ 은 각각 근적외선 파장대역과 녹색 파장대역에서의 반사율을 나타낸다.

2.4.4 단위면적당 적설 비율

적설비율이란 하나의 화소 내에서 눈으로 피복된 면적을 비율로서 나타내는 지표이다. 따라서 적설비율은 0에서 1사이의 값을 가진다. 그림 2.8은 적설비율을 계산하는 과정을 설명한다. 그림 2.8(a)는 Himawari-8 AHI 영상 중 일부로 한반도 영역을 표현한 그림이다. 그림 2.8(b)는 동일한 촬영시각에 대한 Landsat 영상을 나타낸다. 모의자료로 활용한 Himawari-8 AHI는 정지궤도 기상위성과 동일하게 한 화소를 $2\text{km} \times 2\text{km}$ 의 해상도로 표현할 수 있으며, Landsat의 경우 한 화소의 공간해상도는 $30\text{m} \times 30\text{m}$ 이기 때문에 정지궤도 기상위성의 한 화소가 표현하는 영역은 약 4,400개의 Landsat 화소가 표현하는 영역과 동일하다. 따라서 4,400개의 화소 중 눈으로 분류된 화소의 개수를 알면 수식 (3)에 의하여 $2\text{km} \times 2\text{km}$ 단위면적 당 적설이 차지하는 비율을 계산할 수 있다.

$$SCF = \frac{N_s}{4,400} \quad (3)$$

위 수식에서 SCF는 단위면적당 적설비율을 나타내며, N_s 는 기상위성의 한 화소로 표현되는 영역에서 Landsat 위성영상으로부터 구한 적설픽셀의 개수를 의미한다.

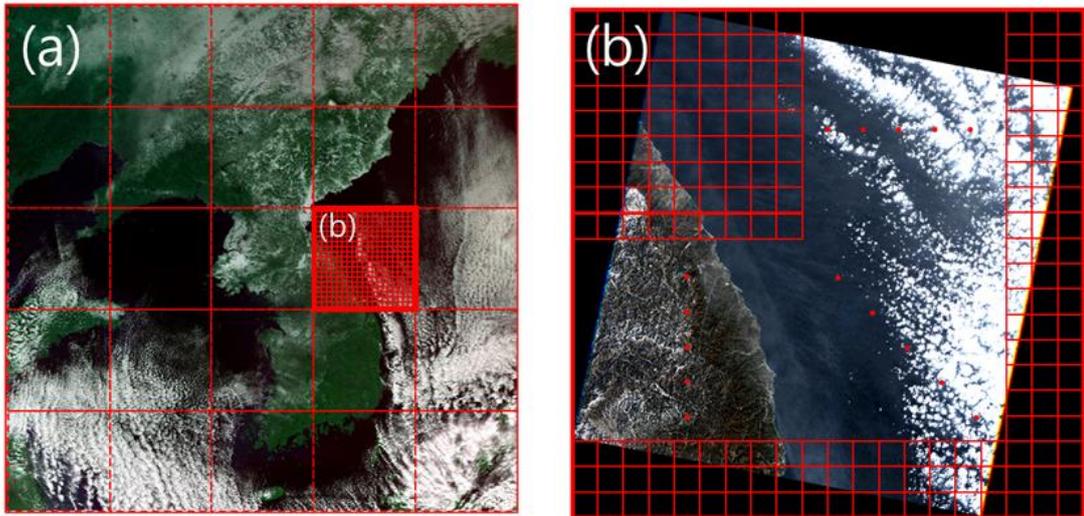


그림 2.8 적설비율에 대한 모식도

이 과정을 통해 상대적으로 고해상 광학영상으로부터 저해상 광학영상의 적설비율을 구할 수 있게된다. 그러나 동일한 시각에 동일 지역을 촬영한 고해상도 영상과 저해상도 영상을 동시에 구하는 것은 사실상 불가능하다. 따라서 저해상 영상을 기반으로 적설의 비율을 간접적으로 추정할 수 있어야 한다. 이때, 고려되어야 할 입력자료는 적설비율과 관련이 있어야 하며, 본 적설깊이 추정 알고리즘에서는 눈과 산림의 면적과 관련성이 높은 정규식생지수와 정규눈지수를 이용하여 적설비율을 추정할 수 있는 모델을 아래 수식 (4)와 같이 제시하고자 하였다.

$$SCF = a_1 * erf(a_2 * NDSI + a_3) - a_4 * erf(a_5 * NDVI + a_6) + a_7 \quad (4)$$

여기서, a_1 , a_2 , a_3 , a_4 , a_5 , a_6 및 a_7 은 정규식생지수와 정규눈지수로부터 적설비율을 추정하는 데 활용되는 상관계수를 나타낸다. $erf(x)$ 는 가우스 오차함수를 나타내며, 다음 수식 (5)와 같이 정의된다.

$$erf(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-t^2} dt \quad (5)$$

위 수식에서 x 는 오차함수의 입력변수를 의미하며, t^2 및 dt 는 다음 수식 (6)과 수식 (7)로부터 정의된다.

$$t^2 = \frac{x^2}{2\sigma^2} \quad (6)$$

$$dt = \frac{1}{\sqrt{2}\sigma} \quad (7)$$

위 수식에서 σ 는 표준편차를 의미한다.

2.4.5 적설비율과 적설깊이와의 관계

선행연구에서 제시된 바와 같이, 적설비율은 적설깊이와 연관성이 높다(Romanov and Tarpley, 2004). 그림 2.9는 선행연구에서 제시한 적설비율과 적설깊이의 상관성을 나타낸 그래프이다. 해당 그래프는 GOES-R 위성자료로부터 추정된 적설비율과 자동기상 관측장비(automates weather system, AWS)에서 실측한 적설깊이 자료의 관계를 설명하고 있다.

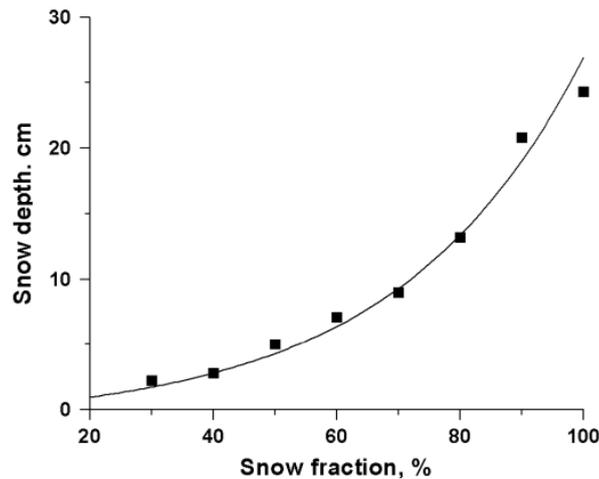


그림 2.9 적설비율과 적설깊이와의 관계(Romanov and Tarpley, 2004)

위 그림에서 확인할 수 있듯이, 적설비율과 적설깊이는 비례관계를 지니게 되며, 적설비율이 높게 추정될수록 적설의 두께 또한 깊게 표현되어 한 화소가 100% 적설일 때 30cm의 두께를 지니는 것을 확인할 수 있다. 본 적설깊이 추정 알고리즘 또한 위 연구를 바탕으로 적설비율로부터 적설깊이를 추정할 수 있는 모델을 활용하며, 정지궤도 기상위성에 적합한 상관계수를 추정하고자 하였다. 적설깊이 추정 모델은 아래 수식 (8)과 같다.

$$SD = \alpha(e^{\beta * SCF} - 1) \quad (8)$$

위 수식에서 α 및 β 는 적설비율과 적설깊이와의 상관계수를 의미한다.

2.5 수학적 설명

해당 부분에서는 본 적설깊이 추정 알고리즘에서 결정된 수치적 상관계수를 설명한다.

2.5.1 상관계수 결정을 위한 테스트 화소 선정

본 적설깊이 추정 알고리즘에서 적설비율을 추정하기 위한 상관계수는 2016년 11월 ~ 2017년 2월 동아시아 지역 대한 100장의 Landsat 영상과 동일한 촬영시각의 Himawari-8 AHI 영상자료로부터 추정하였다. 또한 적설깊이를 추정하기 위한 상관계수는 2016년 11월 ~ 2017년 2월 사이 우리나라와 일본 기상청에서 운영하는 자동기상 관측장비로부터 실측된 적설깊이 자료 약 3만 개를 활용하였다. 그림 2.10은 우리나라 기상청에서 운영하는 자동기상관측장비의 분포도이다.

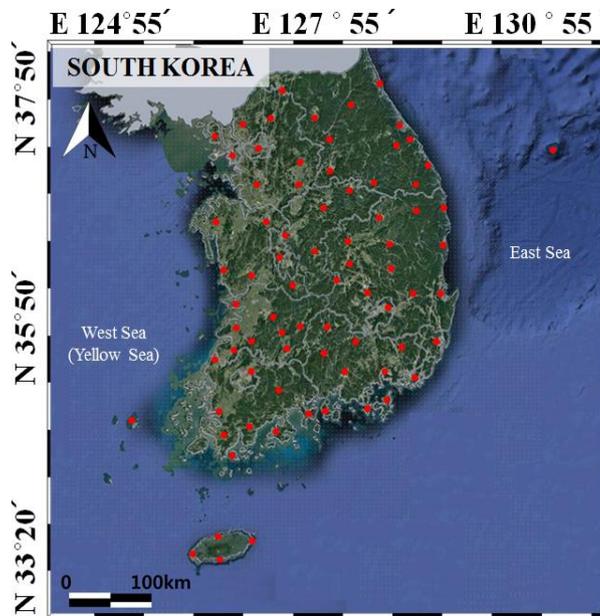


그림 2.10 우리나라 자동기상관측장비 분포도

2.5.2 적설비율 추정을 위한 상관계수 결정

그림 2.11은 Landsat 영상으로부터 적설비율을 추정하는 과정을 설명한다. 그림 2.11(a)에 표현된 광학영상은 눈이 내린 직후에 촬영되었으며, 그림에서 확인할 수 있듯이 시각적으로 하얗게 표현되고 있다. 그림 2.11(b)는 Landsat 영상으로부터 적설영역을 추정한 결과이다. 그림 2.11(b)에 표현된 붉은색 사각영역은 모의자료로 활용한 공간해상도 $2\text{km} \times 2\text{km}$ 로 표현되는 한 화소의 범위를 나타낸다. 그림에서 확인할 수 있듯이, 완전한 적설영역으로 설명되는 영역에서는 $2\text{km} \times 2\text{km}$ 영역 안에 모든 Landsat 화소가 적설로 분류되어 있다. 반면 적설영역과 비적설영역의 경계 부분에서는 $2\text{km} \times 2\text{km}$ 영역 안에 일부 Landsat 화소가 적설로 분류되어 있다. 그림 2.11(c)는 $2\text{km} \times 2\text{km}$ 영역에 대하여 Landsat 적설화소의 비율을 나타내는 적설비율도를 나타낸다. 그림에서 확인할

수 있듯이, 완전한 적설영역에서는 적설비율이 1에 가까운 높은 값을 가지나, 경계영역에서는 적설비율이 0.5정도의 낮은 값을 가지는 것을 확인할 수 있다.

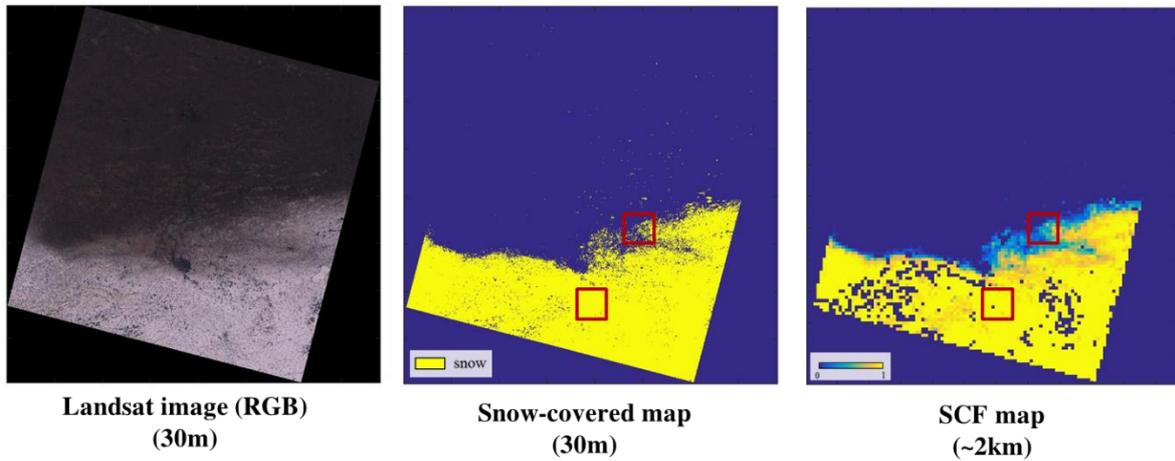


그림 2.11 Landsat 기반 적설분류도와 적설비율도 제작 결과 예시

그림 2.12는 Landsat으로부터 제작한 적설비율도를 Himawari-8 AHI 좌표체계에 맞게 좌표변환을 수행한 결과를 나타낸다. 그림에서 확인할 수 있듯이, Landsat의 영상촬영범위가 좁기 때문에 한반도 북부의 극히 일부분으로 표현되는 것을 확인할 수 있다.

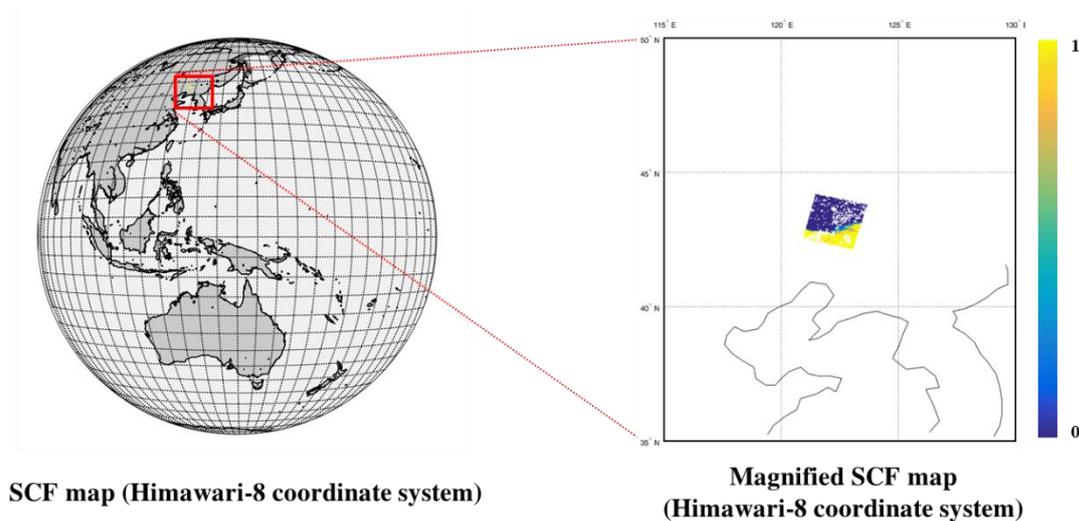


그림 2.12 Landsat 기반 적설비율도의 좌표를 변환한 결과 예시

그림 2.13은 모의자료로 활용한 Himawari-8 AHI 영상으로부터 정규식생지수와 정규눈지수를 계산하고, Landsat 촬영범위와 동일한 영역만을 표현한 것이다. 그림에서 확인할 수 있듯이, 정규눈지수는 Landsat으로부터 제작한 적설비율도와 시각적으로 유사한 것을 확인할 수 있다.

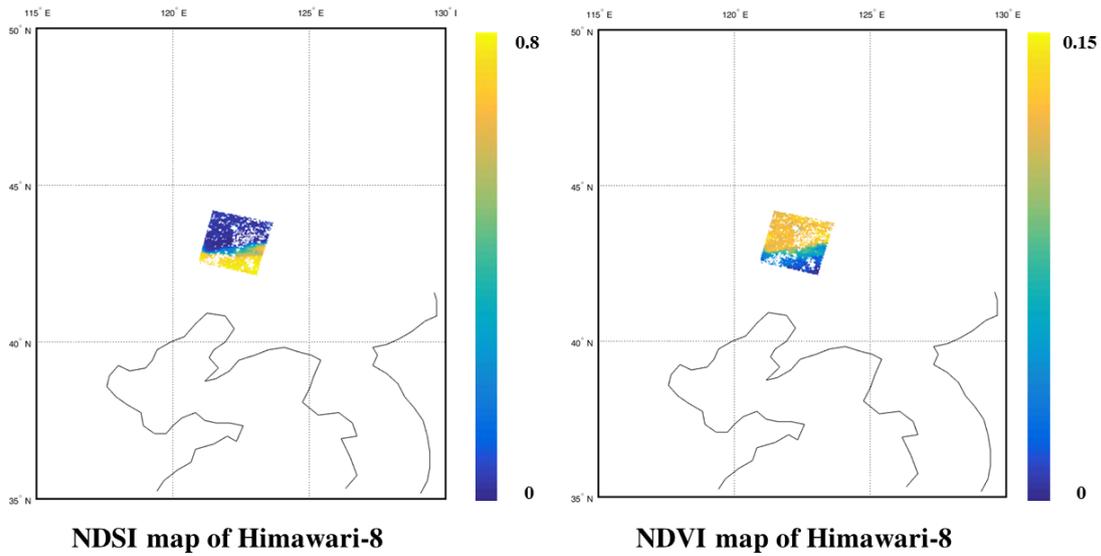


그림 2.13 Himawari-8 AHI 영상자료로부터 Landsat 촬영영역에 대해 계산된 정규식생지수와 정규눈지수

그림 2.14는 Himawari-8 AHI에서 계산한 정규눈지수 및 정규식생지수와 Landsat 기반으로 제작된 적설비율도와의 상관관계를 표현하고 있다. 그림에서 확인할 수 있듯이 정규눈지수와 적설비율도, 정규식생지수와 적설비율도는 비선형관계를 따르고 있다.

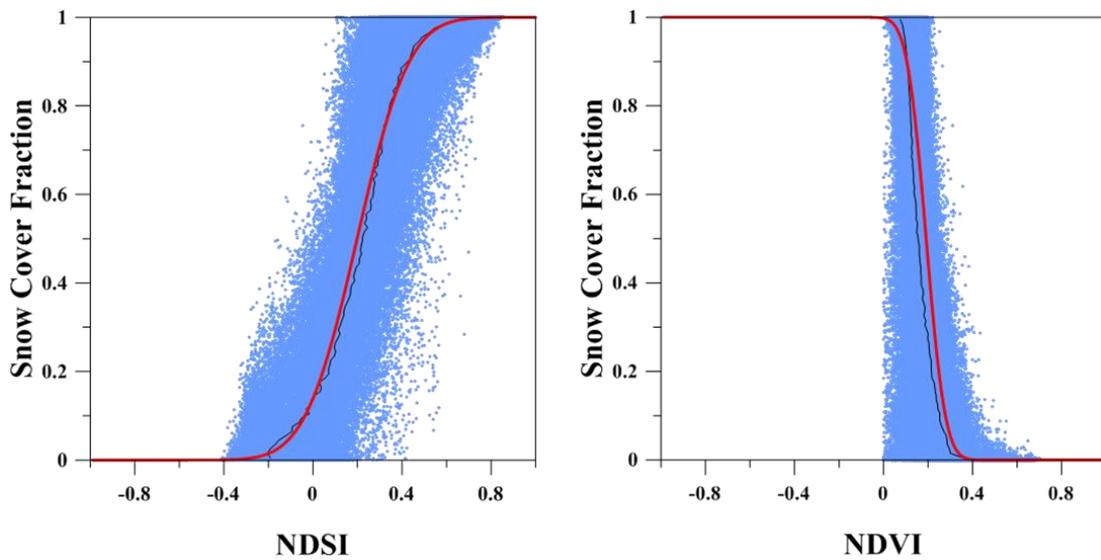


그림 2.14 정규식생지수, 정규눈지수와 적설비율과의 관계

본 적설깊이 추정 알고리즘에서는 정규눈지수와 정규식생지수로부터 적설비율을 추정

하기위하여 수식 (5)와 같은 모델을 활용하였으며, 획득된 자료들로부터 각 계수가 아래 표 2.4와 같이 추정되었다.

표 2.4 적설비율 추정 모델 상관계수 추정 결과

Coefficient	Estimated Value
a_1	0.3821
a_2	4.6947
a_3	-1.0337
a_4	0.1137
a_5	12.7297
a_6	-2.6217
a_7	0.4973

2.5.3 적설깊이 추정을 위한 상관계수 결정

그림 2.15는 적설깊이 추정을 위하여 구성된 자동기상관측장비로부터 실측한 적설깊이 자료와, 해당 화소에서의 적설비율 중 일부를 나타낸다. 구성된 테이블은 2016년 11월 ~ 2017년 2월 사이 약 3만 개의 자료로 구성된다.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Insitu_time	Insitu_lat	Insitu_lon	Insitu_SD	Him_time	Him_line	Him_pixel	Him_lat	Him_lon	Him_ndsi	Him_ndvi	Him_SCF
2.0161e+11	40.0600	141.2250	1	2.0161e+11	798	2772	40.0618	141.2350	0.3899	0.1441	0.8637
2.0161e+11	45.4033	141.8017	6	2.0161e+11	614	2791	45.4186	141.7997	0.5511	-0.2380	0.9824
2.0161e+11	45.3350	142.1700	7	2.0161e+11	617	2805	45.3265	142.1738	0.2307	0.1059	0.6241
2.0161e+11	45.2483	141.8517	1	2.0161e+11	619	2793	45.2632	141.8501	0.4722	0.1334	0.9353
2.0161e+11	44.9650	142.2800	1	2.0161e+11	629	2809	44.9555	142.2700	0.5093	0.0940	0.9672
2.0161e+11	44.7267	142.2650	29	2.0161e+11	636	2809	44.7406	142.2635	0.0652	0.0548	0.3441
2.0161e+11	44.4800	142.3417	11	2.0161e+11	645	2812	44.4663	142.3346	0.0666	0.0750	0.3445
2.0161e+11	44.3700	142.4567	12	2.0161e+11	648	2817	44.3758	142.4637	0.1017	0.0575	0.3929
2.0161e+11	44.2950	142.6367	3	2.0161e+11	651	2824	44.2858	142.6450	0.0438	0.0617	0.3200
2.0161e+11	44.0283	142.4100	1	2.0161e+11	659	2815	44.0433	142.4002	0.1933	0.0715	0.5550
2.0161e+11	44.2817	142.1617	19	2.0161e+11	651	2806	44.2837	142.1709	0.0267	0.0678	0.3034
2.0161e+11	44.0100	142.1600	3	2.0161e+11	660	2806	44.0123	142.1634	0.0649	0.0586	0.3436
2.0161e+11	43.7533	142.9300	7	2.0161e+11	669	2836	43.7465	142.9384	0.0755	0.0753	0.3554
2.0161e+11	40.6483	140.8483	7	2.0161e+11	777	2756	40.6391	140.8456	0.0257	0.1329	0.2825
2.0161e+11	45.4033	141.8017	5	2.0161e+11	614	2791	45.4186	141.7997	0.0361	-0.1010	0.3136
2.0161e+11	45.3350	142.1700	7	2.0161e+11	617	2805	45.3265	142.1738	0.6529	0.0559	0.9908
2.0161e+11	44.7267	142.2650	28	2.0161e+11	636	2809	44.7406	142.2635	0.0096	0.0677	0.2893
2.0161e+11	44.4800	142.3417	10	2.0161e+11	645	2812	44.4663	142.3346	-0.0126	0.0722	0.2737

그림 2.15 적설깊이 추정을 위해 구성된 적설비율값 테이블

그림 2.16은 적설비율과 실측된 적설깊이 간의 관계를 표현하는 그래프이다. 그림에서 확인할 수 있듯이, 적설비율과 적설깊이는 비선형 형태로 비례하는 것을 확인할 수 있다. 해당 그래프로부터 수식 (8)로부터 정의된 적설깊이 상관계수를 추정하였다. 추정된 상관계수는 표 2.5와 같으며, 모델 평가결과 평균제곱근오차(root mean square error, RMSE) 및 결정계수는 각각 ± 3.39 cm, 결정계수(r-square)는 0.458로 평가되었다.

표 2.5 적설깊이 추정 모델 상관계수 추정 결과

Coefficient	Estimated Value
α_1	5.45
β_2	1.24

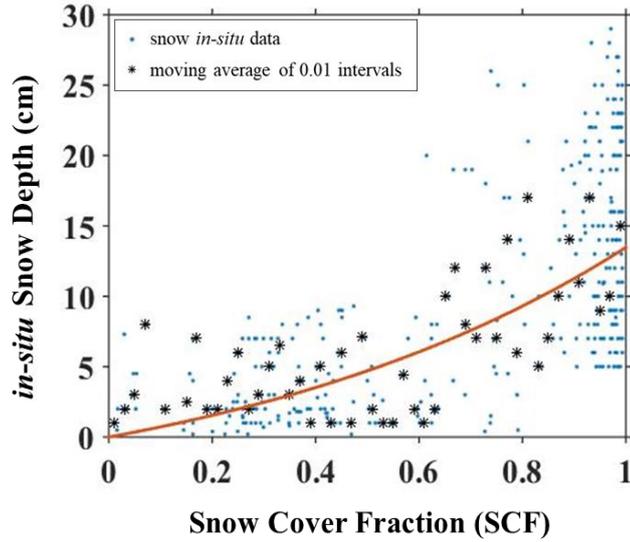


그림 2.16 적설깊이 추정 모델

2.6. 산출물

적설깊이 추정 알고리즘에서 출력자료는 적설깊이를 표현하는 영상과 적설깊이 추정결과에 대한 분류도(flag map)를 생성한다. 표 2.6은 적설깊이 출력영상에 대한 설명을 나타낸다.

표 2.6 적설깊이 추정 알고리즘 산출물 정보

Name of Output	Data Type	Classification	Value
Snow Depth	Float	Long name	Snow Depth of GK-2A
		Fill-value	-999
		Valid range	0 – 27 cm
		Units	cm

3. 모의자료 및 검증

3.1 모의 입력자료 및 검증자료

3.1.1 모의 입력자료

산불탐지를 위한 모의자료로는 Himawari-8 AHI 자료를 사용하였다. Himawari-8 AHI는 총 16개의 채널로 구성되어 있다. 표 3.1은 사용한 모의자료와 함께 정지궤도 기상위성 2A호의 관계를 설명한다.

표 3.1 모의자료로 사용한 Himawari-8 AHI 자료 설명

Band	Central Wavelength (μm)	Spatial Resolution (km)	Usage
1	0.47	1	
2	0.51	1	Alternative data of AMI band No. 2
3	0.64	0.5	Alternative data of AMI band No. 3
4	0.86	1	Alternative data of AMI band No. 4
5	1.6	2	Alternative data of AMI band No. 6
6	2.3	2	
7	3.9	2	
8	6.2	2	
9	6.9	2	
10	7.3	2	
11	8.6	2	
12	9.6	2	
13	10.4	2	
14	11.2	2	
15	12.4	2	
16	13.3	2	

3.1.2 검증자료

적설깊이 추정 검증자료는 적설깊이 실측자료가 존재하는 2016년 3월 한반도 및 일본의 적설지역을 대상으로 하였다.

3.2 검증 방법

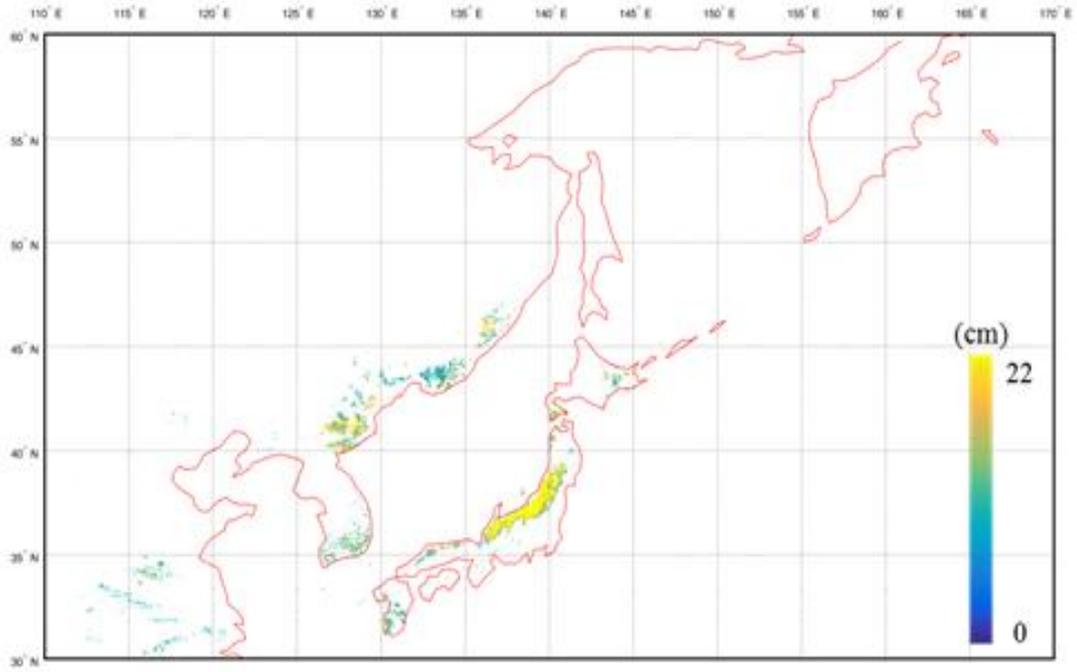
모의자료인 Himawari-8 AHI 를 이용하여 적설깊이를 추정한 후, 적설깊이를 실측한 위치에서의 평균제곱근 오차로부터 검증을 수행하였다.

3.3 검증 결과

그림 3.1 은 2016 년 3 월 17 일 03:00 에 촬영된 Himawari-8 AHI 로부터 제작한 적설깊이 추정도를 나타낸다. 적설깊이 추정도는 선행산출물인 적설영역에 대해서만 수행하기 때문에, 영상에 수치가 없는 지역은 적설로 탐지되지 않는 지역을 의미한다. 적설깊이는 0-22cm 의 분포를 나타낸다.

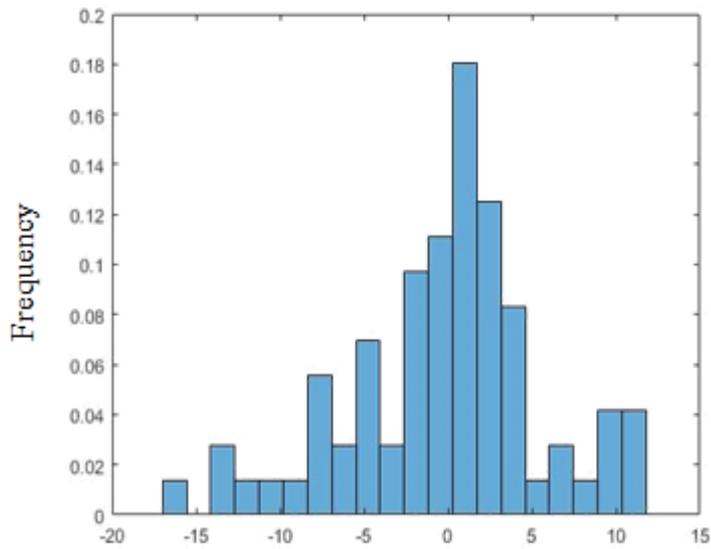
또한 그림 3.2 는 실측자료와 추정된 적설깊이 간의 차이를 히스토그램으로 표현한 것이다. 히스토그램 분석을 통해 평가된 평균제곱근오차는 ± 5.79 cm 로 목표정확도인 ± 9.00 cm 를 만족하였다.

2016-03-17-0300



AHI-derived SD map

그림 3.1 적설깊이 추정결과



Histogram of RMSE between SD value and *in-situ* data

그림 3.2 실측 적설깊이와 추정된 적설깊이의 잔차

4. 현업운영 시 고려사항

4.1 수치계산 고려사항

모의자료인 Himawari-8 AHI 영상을 기준으로 임계값이 결정되었기 때문에, 정지궤도 기상위성 2A 호에 임계값 적용시 동일지역을 대상으로 Himawari-8 AHI 와 정지궤도 기상위성 2A 호에서의 정규식생지수 및 정규눈지수의 비교가 요구된다.

4.2 프로그래밍 및 절차상의 고려사항

개발된 산불탐지 알고리즘은 선행산출물로 snow cover 를 활용하며, 산출물이 제공되지 않을시 적설깊이 추정 역시 수행하지 않도록 개발되었다.

4.3 품질 평가 및 진단

적설깊이 추정의 유효한 범위는 0-27 cm 로, 그 이상의 적설깊이 자료는 품질평가에 사용하지 않음을 주의해야 한다. 이는 적설깊이 27cm 이상부터 적설비율이 1 로 포화(saturation)되기 때문이다.

4.4 예외사항 처리

해당없음

4.5 검증 알고리즘

적설깊이 검증 알고리즘은 적설깊이 실측자료와 추정된 적설깊이와의 비교를 통해 수행된다. 적설깊이 실측자료는 적설역이 없더라도 적설깊이를 0 cm 로 표현하기 때문에 검증시 0 cm 인 적설깊이 자료는 제외하고 평가를 수행하여야 한다.

5. 가정 및 제한

5.1 성능

현 단계에서의 산불탐지 알고리즘은 ± 5.79 cm 의 평균제곱근오차를 보인다.

5.2 예상 센서 성능

임계값 조정 후 정지궤도 기상위성 2A 호에 적용시 위 정확도를 유지할 것으로 예상된다.

5.3 개선을 위한 사전 계획

산출물 개선을 위한 향후 계획은 다음과 같다.

- 정지궤도 기상위성 2A 호와 Himawari-8 AHI 정규눈지수 및 정규식생지수 비교 후 상관계수 조정

6. 참고문헌

- JMA (Japan Meteorological Agency), Accessed at September 27, 2017.
- Aschbacher, J. (1989). Land surface studies and atmospheric effects by satellite microwave radiometry, University of Insbruck.
- Appel, I. L., & Salomonson, V. V. (2002). Estimate of fractional snow cover using MODIS data. In *Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2002. IGARSS'02. 2002 IEEE International (Vol. 5, pp. 3044–3046)*. IEEE.
- Baker, D. G., Skaggs, R. H., & Ruschy, D. L. (1991). Snow depth required to mask the underlying surface. *Journal of Applied Meteorology*, 30(3), 387–392.
- Barton, J. S., Hall, D. K., & Riggs, G. A. (2000). Remote sensing of fractional snow cover using Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) data. In *Proceedings of the 57th Eastern Snow Conference*, pp. 171–183.
- Byun, Kyu Hyun, Choi, Min Ha, 2008, Factors Affecting Remotely Sensed Snow Depth, Korea Water Resources Association Proceedings 2008, 63–66.
- Callaghan, T. V., Johansson, M., Brown, R. D., Groisman, P. Y., Labba, N., Radionov, V., Bradley, R. S., Blangy, S., Bulygina, O. N., Christensen, T. R., Colman, J. E., Essery, R. L. H., Forbes, B. C., Forchhammer, M. C., Golubev, V. N., Honrath, R. E., Juday, G. P., Meshcherskaya, A. V., Phoenix, G. K., Pomeroy, J., Rautio, A., Robinson, D. A., Schmidt, N. M., Serreze, M. C., Shevchenko, V. P., Shiklomanov, A. I., Shmakin, A. B., Sköld, P., Sturm, M., Woo, M.-K., and Wood, E. F., (2011). Multiple effects of changes in arctic snow cover, *Ambio*, 40, 32–45.
- Chang, A. T. C., Foster, J. L., & Hall, D. K. (1987). Nimbus-7 SMMR derived global snow cover parameters. *Annals of glaciology*, 9, 39–44.
- Davis, D. T., Chen, Z., Tsang, L., Hwang, J. N., & Chang, A. T. (1993). Retrieval of snow parameters by iterative inversion of a neural network. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 31(4), 842–852.
- Foster, J. L., Chang, A. T. C., & Hall, D. K. (1997). Comparison of snow mass estimates from a prototype passive microwave snow algorithm, a revised algorithm and a snow depth climatology. *Remote sensing of environment*, 62(2), 132–142.
- Gao, B. C. (1996). NDWI—A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote sensing of environment*, 58(3), 257–266.
- Goita, K., Walker, A. E., & Goodison, B. E. (2003). Algorithm development for the estimation of snow water equivalent in the boreal forest using passive microwave data. *International Journal of Remote Sensing*, 24(5), 1097–1102.

Humboldt state university, (2017). Introduction to remote sensing: Vegetation Spectral Reflectance Curves. Humboldt state geospatial online.

Kang, Su Man, Lee, Mi Sun, Kwon, Hyung Joong, (2005), Extraction of Snow Cover Area and Depth Using NOAA AVHRR Images, KSCE 2005 Convention, 2403–2406.

Kim, Saet–Byul, Shin, Hyung–Jin, Lee, Ji–Wan, Yu, Young–Seok, Kim, Seong–Joon, (2011), Mapping Technique for Heavy Snowfall Distribution Using Terra MODIS Images and Ground Measured Snowfall Data, Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies, 14(4), 33–43.

Liang, J., Liu, X., Huang, K., Li, X., Shi, X., Chen, Y., and Li, J., (2015). Improved snow depth retrieval by integrating microwave brightness temperature and visible/infrared reflectance, Remote Sensing of Environment, 156, 500–509.

Lin, J., Feng, X., Xiao, P., Li, H., Wang, J., and Li, Y., (2012). Comparison of snow indexes in estimating snow cover fraction in a mountainous area in northwestern China. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters, 9(4), 725–729.

MODIS Cloud Mask Team, Ackerman, S., Strabala, K., Menzel, P., Frey, R., Moeller, C., Gumley, L., Baum, B., Seemann, S. W., and Zhang, H., (2006), Discrimination clear–sky from cloud with modis algorithm theoretical basis document (mod35), ATBD–Ref. ATBD–MOD–06, version5

Nolin, A. W., and Dozier, J. (2000). A hyperspectral method for remotely sensing the grain size of snow. Remote sensing of Environment, 74(2), 207–216.

Petitjean, F., Inglada, J., and Gançarski, P., (2012). Satellite image time series analysis under time warping. Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on, 50(8), 3081–3095.

Riggs, G.A., Hall, D. K., and Salomonson, V. V., (2006). MODIS Snow Products User Guide to Collection 5, NASA, USA.

Roesch, A., Wild, M., Gilgen, H., and Ohmura, A., (2001). A new snow cover fraction parametrization for the ECHAM4 GCM. Climate Dynamics, 17(12), 933–946.

Romanov, P., Tarpley, D., Gutman, G., & Carroll, T. (2003). Mapping and monitoring of the snow cover fraction over North America. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 108(D16).

Romanov, P., & Tarpley, D. (2004). Estimation of snow depth over open prairie environments using GOES imager observations. Hydrological processes, 18(6), 1073–1087.

Romanov, P., & Tarpley, D. (2007). Enhanced algorithm for estimating snow

depth from geostationary satellites. *Remote sensing of environment*, 108(1), 97–110.

Salomonson, V. V., and Appel, I., (2004). Estimating fractional snow cover from MODIS using the normalized difference snow index. *Remote sensing of environment*, 89(3), 351–360.

Salomonson, V. V., and Appel, I., (2006). Development of the Aqua MODIS NDSI fractional snow cover algorithm and validation results, *IEEE Transactions on geoscience and remote sensing*, 44(7), 1747–1756.

Stamnes, K., Tsay, S. C., Wiscombe, W., & Jayaweera, K. (1988). Numerically stable algorithm for discrete-ordinate-method radiative transfer in multiple scattering and emitting layered media. *Applied optics*, 27(12), 2502–2509.

Tedesco, M., Pulliainen, J., Takala, M., Hallikainen, M., & Pampaloni, P. (2004). Artificial neural network-based techniques for the retrieval of SWE and snow depth from SSM/I data. *Remote sensing of Environment*, 90(1), 76–85.

Yeom, Jong-Min, Han, Kyung-Soo, Lee, Ga-Lam, (2009). The Characteristics of Visible Reflectance and Infrared Band over Snow Cover Area, *Korean Journal of Remote Sensing*, 25(2), 193–203

Zahir, N., & Mahdi, H. (2015). Snow Depth Estimation Using Time Series Passive Microwave Imagery via Genetically Support Vector Regression (case Study Urmia Lake Basin). *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 40(1), 555.