

GEO-KOMPSAT-2A AMI
ATMOSPHERE MOTION VECTOR
ALGORITHM THEORETICAL BASIS
DOCUMENT

Version 4.0



국 가 기 상 위 성 센 터
차 세 대 위 성 개 발 팀

<목 차>

<제 목 차 례>

1. 개요	7
1.1. 목적	7
1.2. 사용자	7
1.3. 내용	7
1.4. 관련문서	8
1.5. 수정이력	8
1.6. 산출물 요구사항	8
2. 산출과정	9
2.1. 입력자료	9
2.2. 보조자료	10
2.3. 단계도	10
3. 알고리즘	11
3.1. 알고리즘 개요	11
3.2. 이론적 배경	11
3.3. 산출 방법	12
3.3.1. 표적선정	12
3.3.2. 벡터 추적	14
3.3.3. 고도할당	15
3.3.3.1. 구름표적	15
3.3.3.2. 청천표적	20
3.3.4. 품질 정보	22
3.3.4.1. 품질지수(QI)	22
3.3.4.1.1. 풍향 일관성 검사	23
3.3.4.1.2. 풍속 일관성 검사	23
3.3.4.1.3. 벡터 일관성 검사	23
3.3.4.1.4. 모델 예측장과의 일관성 검사	23
3.3.4.1.5. 공간일관성 검사	23
3.3.4.2. 기대오차(EE)	24
3.3.4.3. QI, EE를 활용한 품질 검사 효과	25
4. 시험자료 및 출력물	27

4.1. 모의/보조 자료	27
4.2. 산출 결과	27
5. 검증	33
5.1. 검증 방법	33
5.1.1. 검증 지수	33
5.1.2. 시공간 일치 방법	34
5.2. 검증 결과	35
6. 문제점 및 고려사항	40
6.1. 고도할당 알고리즘의 한계	40
6.2. 구름 화소 선정에 따른 한계	40
7. 향후 계획	40
8. 참고문헌	41

<표 차례>

표 1. 산출 범위 및 목표 정확도	8
표 2. 대기운동벡터 알고리즘의 GK-2A/AMI 채널 활용 현황	9
표 3. 표적선정 품질검사 수행 항목	13
표 4. GK-2A AMV QI 계수	22
표 5. GK-2A AMV EE 예측 인자	24
표 6. 2014년 관측자료를 이용해 얻어진 천리안 위성 채널에 대한 기대오차(EE) 계수와 예측인자.	25
표 7. GK-2A 대기운동벡터 구름표적 품질관리 방법별 검증 결과.	26
표 8. GK-2A 대기운동벡터 청천표적 품질관리 방법별 검증 결과.	26
표 9. GK-2A 구름표적 대기운동벡터 검증 결과($QI \geq 0.85$).	36
표 10. GK-2A 청천표적 대기운동벡터 검증 결과($QI \geq 0.85$).	37
표 11. 2016년 7월 1~7일 기간의 GK-2A AMV 고도할당 방법별 통계검증결과 ($QI \geq 0.85$).	38

<그림 차례>

그림 1. GK-2A 대기운동벡터 흐름도.	10
그림 2. 2015년 6월 12일 0500UTC (A) Himawari-8 11 μm 채널 밝기온도, (B) 표적의 밝기온도 표준편차, (C) 표적 내 표준편차 최댓값.	13
그림 3. 2015년 7월 8일 1800UTC COMS IR1 영상의 (A) 표적 내 밝기온도, (B) 추적영역 내 밝기온도, (C) 표적과 추적영역간의 상관계수.	14
그림 4. 적외채널 구름 표적영역 내에서의 교차상관도(CCij)와 밝기온도(BT)의 관계. 빨간색 가로선은 평균 밝기온도 값이고, 파란색 세로선은 평균 교차상관도이다.	16
그림 5. EBBT 방법 개념도. 관측 IR 밝기온도(초록색 화살표)와 RTM 모의 IR 밝기온도(붉은색 실선)가 일치할 때의 모의 고도로 구름의 고도를 할당하는 방법이다.	17
그림 6. IR/WV Intercept 방법 개념도. 검은색 실선은 온도가 높은 픽셀(사각형)들과 온도가 낮은 픽셀(십자)들로 회귀된 직선이며, 검은색 곡선은 특정 고도에 구름이 있다고 가정한 뒤 RTM으로 모의된 밝기온도를 이은 곡선이다. IR/WV 방법은 두 직선과 곡선이 만나는 두개의 점 중에서 고도가 높은 지점(속이 빈 동그라미)으로 고도를 할당하는 방법이다.	18
그림 7. CO2 slicing 방법 개념도. 검은색 실 곡선은 RTM 으로 모의된 식 9의 우변에 해당하는 값들이며, 압력고도에 의존한다. 화살표는 위성에 의해 실 관측된 식 9의 좌변에 해당하는 값이다. 두 값이 일치할 때의 고도가 최종 고도로 선택된다.	19
그림 8. 수증기 채널 8번(6.241 μm), 9번(6.952 μm), 10번(7.344 μm)에 대한 고도별 투과율 분포이다. 각 채널별 투과율은 각각 특정 고도 이하에서 거의 0에 가까워지며, 이것은 그 고도 아래에서 방출되는 복사량이 거의 관측되지 않음을 의미한다.	21
그림 9. 층별 수증기 투과율(파란 선), 층별 수증기 누적 투과율(붉은 선)(KMA, 2012).	21
그림 10. GK-2A 가시채널(0.645 μm) 대기운동벡터.	28
그림 11. GK-2A 단파적외채널(3.85 μm) 대기운동벡터.	28
그림 12. GK-2A 수증기채널(6.25 μm) 구름표적 대기운동벡터.	29
그림 13. GK-2A 수증기채널(6.95 μm) 구름표적 대기운동벡터.	29
그림 14. GK-2A 수증기채널(7.35 μm) 구름표적 대기운동벡터.	30
그림 15. GK-2A 수증기채널(6.25 μm) 청천표적 대기운동벡터.	30
그림 16. GK-2A 수증기채널(6.95 μm) 청천표적 대기운동벡터.	31
그림 17. GK-2A 수증기채널(7.35 μm) 청천표적 대기운동벡터.	31
그림 18. GK-2A 적외채널(10.45 μm) 대기운동벡터.	32

그림 19. GK-2A 적외채널($11.2\ \mu\text{m}$) 대기운동벡터.	32
그림 20. GK-2A AMV 검증을 위한 (a) 라디오존데 위치정보 및 (b) 수치예보모델(GDPAS N768) 바람장 예($478.54\ \text{hPa}$ 고도).	34
그림 21. GK-2A AMV 검증을 위한 (a) 라디오존데 자료 및 (b) 수치예보모델자료의 시공간	
그림 22. 고도할당 방법에 따른 $11.2\ \mu\text{m}$ 채널 대기운동벡터 QI 분포도(2016. 07. 19.)	38
그림 23. $11.2\ \mu\text{m}$ 채널 대기운동벡터($QI \geq 0.00$)의 고도할당 방법에 따른 고도별 편의(bias) (2016. 07. 19.).	39
그림 24. $11.2\ \mu\text{m}$ 채널 대기운동벡터($QI \geq 0.00$)의 고도할당 방법에 따른 고도별, 위도별 편의(bias) 분포(2016. 07. 19.).	39

약어

<i>Abbreviation</i>	<i>Full Name</i>
AMV	Atmospheric Motion Vector
AMI	Advanced Meterological Imager
AHI	Advanced Himawari Imager
ATBD	Algorithm Theoretical Basic Document
BT	Brightness Temperature
CC	Cross-Correlation
CCC	Cross-Correlation Contribution
CLD	Cloud Detection
CMDPS	COMS Meteorological Data Processing System
COMS	Communication, Ocean, and Meteorological Satellite
CSR	Clear Sky Radiance
CTP	Cloud Top Pressure
EBBT	Equivalent Back-Body Temperature
EE	Expected Error
FOV	Field of View
GK-2A	Geo-KOMPSAT 2A
HA	Height Assignment
IR	Infrared
IWWG	International Winds Working Group
JMA	Japan Meteorological Administration
KMA	Korea Meteorological Administration
MI	Meteorological Imager
MSG	Meteosat Second Generation
MTG	Meteosat Third Generation
MVD	Mean Vector Difference
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
NTC	Normalized Total Contribution
NTCC	Normalized Total Cumulative Contribution
NWC/SAF	EUMETSAT Network of Satellite Application Facilities
NWP	Numerical Weather Prediction
QI	Quality Indicator
RMSE	Root Mean Square Error
RMSVD	Root Mean Square Vector Difference
RTM	Radiative Transfer Model
RTTOV	Radiative Transfer for TOVS
SWIR	Short-Wave Infrared
SZA	Solar Zenith Angle
UM	Unified Model
VIS	Visible
WV	Water Vapor

1. 개요

대기운동벡터(Atmospheric Motions Vector; AMV)는 수치예보모델 자료동화의 주요 입력 자료로서 수치예보모델 예측성능 향상에 기여하며, 대류 셀의 추적, 태풍 주변 바람장 분석 등 위험기상 실황분석에 활용되고 있다. 본 알고리즘은 2018년 발사를 목표로 개발하고 있는 천리안위성 2A호(Geo-KOMPSAT-2A, 이하 GK-2A) 지상국 개발의 일환으로 개발되는 52종 기상산출물 중의 하나이다.

대기운동벡터는 동일한 공간에서 시간적으로 연속된 위성 영상을 이용하여 구름 및 수증기의 이동을 통해 산출되는 바람 자료이다. 본 알고리즘의 산출과정은 표적 선정, 고도할당, 벡터추적 그리고 품질정보 산출로 크게 4단계로 나눌 수 있다. 2장에서는 대기운동벡터 산출에 필요한 입력자료, 보조자료, 산출 흐름도 등에 대하여 기술하였고, 3장에서는 표적 선정, 고도할당, 벡터 추적 및 품질검사 등 알고리즘에 대하여 상세히 기술하였으며, 4장에서는 시험자료에 대한 시험 출력물을 간략히 보여주고 5장에서는 검증방법 및 결과를 기술 하였다.

1.1. 목적

대기운동벡터는 위성에서 관측되는 구름 또는 수증기 영상의 이동을 추정하여 산출되는 바람자료이다. 본 기술문서는 대기운동벡터 알고리즘의 이론적 배경부터 알고리즘 산출과정 등에 대한 자세한 설명과 물리적 의미를 제공하는데 그 목적이 있다.

1.2. 사용자

본 문서는 대기운동벡터 산출 알고리즘의 개선, 활용 및 유지·보수를 목적으로 하는 사용자를 대상으로 한다.

1.3. 내용

본 기술 분석서의 주요내용은 아래와 같다.

- **개요:** 알고리즘의 목적 및 사용자, 수정이력 등
- **산출과정:** 입력 및 보조 자료를 포함한 알고리즘 흐름도 등
- **알고리즘:** 알고리즘 개요 및 이론적 배경, 산출방법 등
- **검증:** 알고리즘 검증 방법 및 결과
- **문제점 및 고려사항:** 알고리즘 개발 과정에 발행되는 문제점 및 고려사항

1.4. 관련문서

- CMDPS AMV ATBD v1.0(2012)

1.5. 수정이력

날짜	파일명	작성자
2016. 03. 10.	AMV ATBD version 1.0	김태명, 이병일, 정성래
2016. 10. 14.	AMV ATBD version 1.1	김태명, 이병일, 정성래
2016. 11. 30.	AMV ATBD version 2.0	오수민, 김태명, 박형민, 이병일, 정성래
2018. 03. 21.	AMV ATBD version 3.0	오수민, 이병일, 정성래, 박형민
2018. 05. 18.	AMV ATBD version 4.0	오수민, 이병일, 정성래, 박형민

1.6. 산출물 요구사항

대기운동벡터 산출물의 목표 정확도는 GOES-R DMW (Derived Motion Wind) 목표정확도를 참고하여(MVD 7.5 m/s, RMSVD 8.5 m/s, Bias 1 m/s, RMSE 5 m/s로 정하였다. 또한 벡터의 속도 범위가 0~100 m/s 가 되도록 표적 영역에 따른 추적영역을 결정하였고, 대류권의 표준 범위인 100~1000 hPa를 산출 고도범위로 정하였다. 위성 천정각이 크면 시차가 크므로 산출물의 정확도를 위하여 위성 천정각 범위는 70° 이하로 제한하였다. 가시채널(Ch3)의 경우 태양 천정각 80° 미만의 주간으로, 근적외채널(Ch07)의 경우 주간에는 태양의 영향을 받으므로 태양 천정각 90° 이상, 200° 이하의 야간으로 산출 범위를 제한하였다.

표 1. 산출 범위 및 목표 정확도

속도 범위	0 ~ 100 m/s			
고도 범위	100~1000 hPa			
목표정확도	MVD	RMSVD	Bias	RMSE
	7.5 m/s	8.5 m/s	1 m/s	5 m/s
위성 천정각	70 ° 이하			
태양 천정각	VIS	SWIR	IR-Window, IR-WV	
	80 ° 미만	90 ° ~ 200 °	제한 없음	

2. 산출과정

2.1. 입력자료

대기운동벡터를 산출하기 위해서는 시간적으로 연속된 세장의 정지궤도 기상위성의 영상이 필요하다. 본 알고리즘에서는 GK-2A 위성에 탑재된 AMI(Advanced Meteorological Imager)로 관측된 영상을 사용하였다. 적외와 가시채널의 경우는 구름영상을 이용하여 벡터를 산출하기 때문에 구름영상을 구분할 구름탐지 자료와 고도할당을 위한 구름고도 정보가 필요하다. 구름 정보 자료는 GK-2A의 산출물을 활용하였다. 표 2는 본 알고리즘에서 사용된 채널들의 정보이며, 가시채널($0.64\ \mu\text{m}$) 1개와 8개의 적외채널(3.83, 6.24, 6.95, 7.34, 10.4, 11.21, and $13.3\ \mu\text{m}$)을 사용하였다.

표 2. 대기운동벡터 알고리즘의 GK-2A/AMI 채널 활용 현황

Channel Number	Central Wavelength (μm)	FOV(km)	Used in the algorithm
1	0.470	1.0	
2	0.511	1.0	
3	0.640	0.5	✓
4	0.856	1.0	
5	1.380	2.0	
6	1.610	2.0	
7	3.830	2.0	✓
8	6.241	2.0	✓
9	6.952	2.0	✓
10	7.344	2.0	✓
11	8.592	2.0	
12	9.625	2.0	
13	10.403	2.0	✓
14	11.212	2.0	✓
15	12.364	2.0	✓
16	13.310	2.0	✓

2.2. 보조자료

다음은 품질 검사 및 고도할당을 위한 자료이다.

- 육지/해양 구분 자료(Land/Sea Mask): 표적의 품질검사(QI)를 수행할 때, 품질이 낮을 수 있는 해안선 주변의 벡터를 선별하기 위하여 사용한다.
- 수치예보모델(NWP Model) 자료: 최종 벡터의 품질 계수를 평가할 때와 역전층 보정을 위해 기상청 GDAPS N768 모델 예측자료 자료를 사용한다.
- 복사전달모델(RTM) 자료: 표적의 고도할당을 위해 수치예보모델자료를 입력자료로 하여 모의 복사휘도를 계산하며, RTTOV v11.2를 사용한다.

2.3. 단계도

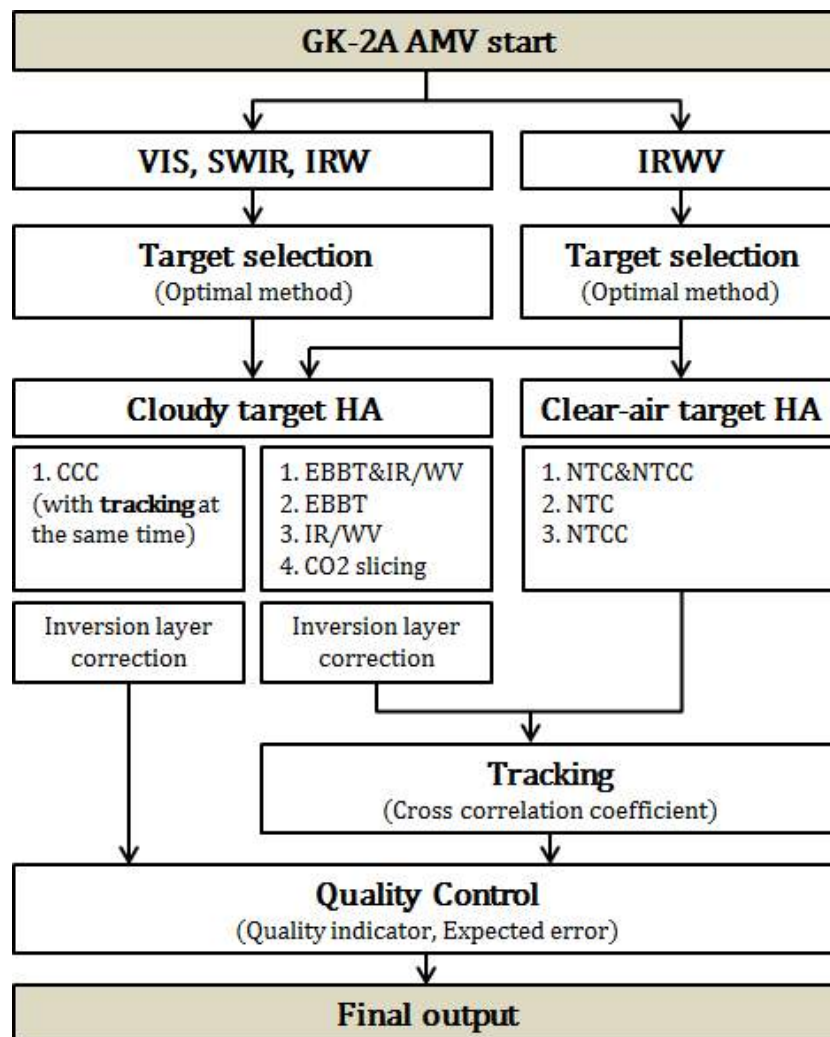


그림 1. GK-2A 대기운동벡터 흐름도.

3. 알고리즘

3.1. 알고리즘 개요

본 알고리즘은 GK-2A/AMI 센서의 관측 정보를 이용하여 대기의 바람을 산출하는 알고리즘이다. 대기운동벡터를 산출하기 위해 시간적으로 연속된 세 개의 영상을 이용한다. 이때 기준이 되는 영상은 두 번째의 영상이며, 첫 번째 영상과 두 번째 영상을 이용하여 산출된 벡터1과 두 번째 영상과 세 번째 영상을 이용하여 산출된 벡터2를 평균하여 최종 벡터를 산출한다.

대기운동벡터를 산출하는 과정을 조금 더 세분화하면 다음과 같이 네 단계로 나눌 수 있다. 첫 번째 단계는 표적을 선정하는 것이다. 본 알고리즘에서는 EUMETSAT 대기운동벡터 알고리즘에서 사용한 ‘Optimal 방법’을 사용하였다 (EUM/MSG/SPE/022). Optimal 방법은 표적 내에서 기준 픽셀을 중심으로 3 by 3 픽셀들의 밝기온도 편차를 모두 계산하고, 그 중에서 편차 값이 가장 큰 기준 픽셀을 중심 픽셀로 정하는 방법이다. 두 번째는 추적영역 내에서 표적과의 교차상관기여도(CCC)값이 가장 큰 위치를 찾아, 표적내의 구름 혹은 수증기의 이동 변위를 계산하는 추적 단계이다. 세 번째는 고도할당 과정으로 해당표적의 구름 또는 수증기의 고도를 계산하는 단계이다. 이때 구름을 표적으로 하는 경우에는 GK-2A의 구름고도 정보를 사용하는 방법(CCC)과 복사전달모델 연직 밝기온도를 사용하는 방법(EBBT, IR/WV intercept, CO2 slicing)이 있고, 청천 표적일 경우는 복사모델의 연직 투과율 자료를 이용하여 고도를 할당하는 방법(NTC, NTCC)이 있다. 그리고 마지막 단계는 품질정보를 생산하는 과정으로 다섯 가지 검사를 통해 산출된 벡터의 품질을 부여한다. 이 과정은 벡터 각각의 공간 및 시간 일관성 분석뿐만 아니라 벡터 계산에 사용된 표적의 고도와 온도, 주변벡터, 그리고 예보장과의 일치성으로 이루어진다.

3.2. 이론적 배경

대기운동벡터는 위성영상으로부터 구름 및 수증기의 이동 방향과 속도를 통해 산출되는 바람자료이다. 표적을 선정한 후, 시간적으로 연속된 위성 영상으로부터 얻은 구름 및 수증기 표적의 변위는 교차상관식을 이용하여 산출한다. 영상 내 표적들의 변위가 결정되면, 이를 위성 영상들 간의 관측 시각차이로 나누어 풍향 및 풍속이 계산된다. 이러한 방법은 미국의 NOAA, 유럽의 EUMETSAT & NWC/SAF, 일본의 JMA 그리고 한국의 KMA 등에서 일반적으로 사용된다.

특히, 고도할당 방법은 표적의 상태가 구름표적인지 청천표적인지에 따라 나뉘

고 각 기관마다 다양한 방법을 사용한다. 먼저, 구름표적에 대한 고도할당 방법은 다음과 같다. 첫 번째는 교차상관기여도(CCC) 방법이다. 이는 추적과정에서 산출되는 상관계수를 표적내 각 화소의 기여도로 계산하여 위성의 구름고도 정보를 적용시키는 방법으로 최근 개발 중에 있는 EUMETSAT의 MTG AMV는 물론 NWC/SAF의 HRW 알고리즘에서 사용되고 있다. 두 번째 방법은 과거에 개발된 COMS, GOES series 그리고 MSG 센서의 대기운동벡터 고도할당 알고리즘에서 사용된 것으로, 복사전달모델을 이용하여 모든 구름이 흑체(Black-Body)라 가정한 온도 값을 이용하는 상당흑체온도(EBBT) 방법을 이용하였으며, 반투명한 구름인 경우는 IR/WV Intercept 방법으로 고도를 보정하였다. 또한 기존의 COMS 위성의 MI 센서에는 존재하지 않았던 CO₂ 채널 자료를 이용하는 CO₂ slicing 방법을 적용하여 구름표적 고도할당 방법에 새롭게 추가하였다. 전 구름표적 산출물에 대하여, 산출된 벡터의 고도가 600 hPa 이상의 하층일 경우에는 역전층 보정 방법을 이용하여 구름의 하층 고도를 보정하였다. 다음으로, 청천 표적인 경우 복사전달모델로부터 계산된 대기 층별 투과율을 이용하여 고도를 결정하는 정규화된 총 기여도(NTC) 방법과 정규화된 총 누적기여도(NTCC) 방법을 사용하였다.

3.3. 산출 방법

3.3.1. 표적선정

표적은 세 개의 영상 중 두 번째 영상을 이용하여 산출하여 일정한 크기를 갖는 표적의 이동을 탐지한다. 이때, 가시채널 벡터의 경우 표적영역크기(추적영역크기)를 $32 \times 32 (185 \times 185)$ 화소로 설정하였고, 적외채널 벡터의 경우 IWWG에서 제시된 공통 표적영역크기(추적영역크기)인 $16 \times 16 (54 \times 54)$ 화소로 설정하였다. 현재는 민감도 검사를 통하여 가시 및 적외채널의 최종 표적영역크기를 결정하는 연구를 진행 중에 있다.

표적을 선정하기 위하여 1차적으로 일정한 간격의 표적크기를 선정한다. 1차적으로 선정된 표적내부 각각 화소의 3×3 표준편차를 계산한 후, 표적 내에서 표준편차가 가장 큰 화소로 표적의 중심을 이용하는 방법(Optimal 방법)을 사용한다. 그림 2는 Himawari-8의 $11 \mu\text{m}$ 채널 영상을 이용하여 표적선정 과정을 나타낸 것으로, (A)는 $11 \mu\text{m}$ 의 밝기온도이고, (B)는 표적 내부 화소의 3×3 표준편차를 계산한 것이며, (C)는 표적 내에서 표준편차가 가장 큰 화소를 나타낸 것이다.

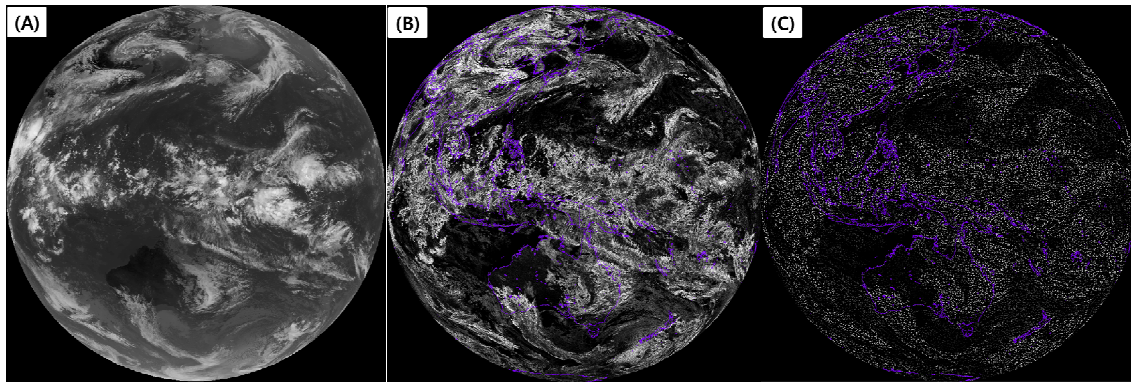


그림 2. 2015년 6월 12일 0500UTC (A) Himawari-8 11 μ m 채널 밝기온도, (B) 표적의 밝기온도 표준편차, (C) 표적 내 표준편차 최댓값.

• 표적 선정 품질 검사

앞에서 선정된 표적의 품질검사를 수행하는 과정으로, 본 알고리즘의 품질 검사 수행과정은 표 3과 같이 5단계로 이루어진다(NOAA, 2012).

표 3. 표적선정 품질검사 수행 항목

QC Number	Definition
1	Maximum standard deviation below acceptable threshold
2	Target located on earth edge or coastline
3	Bad or missing brightness temperature in target scene
4	Cloud amount failure
5	Target scene too close to day/night terminator(visible and SWIR only)

1. 표적 내 표준편차가 큰 화소를 선정할 때 임계값을 설정하는 것이다.
2. 표적 내부에 지구 가장자리 또는 해안선이 포함되는 경우를 제외하는 것이다.
3. 표적 내 밝기온도나 반사도 값이 비 이상적이거나 결측 되었을 경우를 제거하는 것이다.
4. 수증기 채널의 구름표적일 경우 표적 내 구름화소가 20% 이하이거나 평균 운정 고도가 수증기 채널의 임계고도 이하일 때, 수증기 채널의 청천표적일 경우 표적 내 구름화소가 0%가 아니면서 평균 운정 고도가 수증기 채널의 임계고도 이상일 때, 그 외 채널의 구름표적일 경우 표적 내 구름화소가 20% 이하일 때 백터를 산출하지 않는 것이다.
5. 마지막으로 가시채널과 근적외 채널인 경우 태양 천정각에 따라 산출 유/무를 결정한다.

3.3.2. 벡터 추적

대기운동벡터는 시간적으로 연속된 위성영상에서 표적의 변위와 위성 관측 시간 차이를 이용하여 벡터를 산출한다. 표적의 변위는 표적(t)을 기준으로 이전(t-1)과 이후(t+1) 시각 영상에서의 교차상관계수가 상대적으로 높은 위치를 계산하여 이전시간 영상에서의 변위1과 이후 영상에서의 변위2를 구한다. 이전과 이후 시간의 영상 영역을 추적 영역이라 하며 NWP 모델의 u, v 벡터 예측장을 이용하여 예상되는 표적의 이동위치를 중심으로 54x54(가시채널은 185x185)화소의 크기를 갖는다. 이렇게 정의된 추적 영역에서 표적과 가장 유사한 모양을 갖는 위치를 찾는 것이며, 그 척도는 교차상관계수이다(식 1).

$$CC(m,n) = \frac{1}{MN} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N \frac{a_{i+m,j+n} - \bar{a}(m,n)}{\sigma_a(m,n)} \frac{b_{ij} - \bar{b}}{\sigma_b} \quad (1)$$

여기서 M, N은 표적의 크기이고, a는 추적에 대한 변수이고 b는 표적에 대한 변수이다. 그림 3은 COMS IR_{10.8}영상의 교차상관계수를 구한 예시를 나타낸다. (A)는 t시간 영상의 표적이고, (B)는 t+1시간의 추적영역이며 (C)는 표적과 추적영역의 상관성을 나타낸 것으로 붉은색일수록 상관성이 높고 파란색일수록 상관성이 낮은 화소이다. t+1 시간에서의 추적영역 화소 중 CC(m,n) 값이 가장 높은 화소를 찾으면, t시간에서의 표적이 t+1영상에서 어느 곳으로 이동하였는지를 찾아내어 두 지점의 변위를 계산할 수 있다.

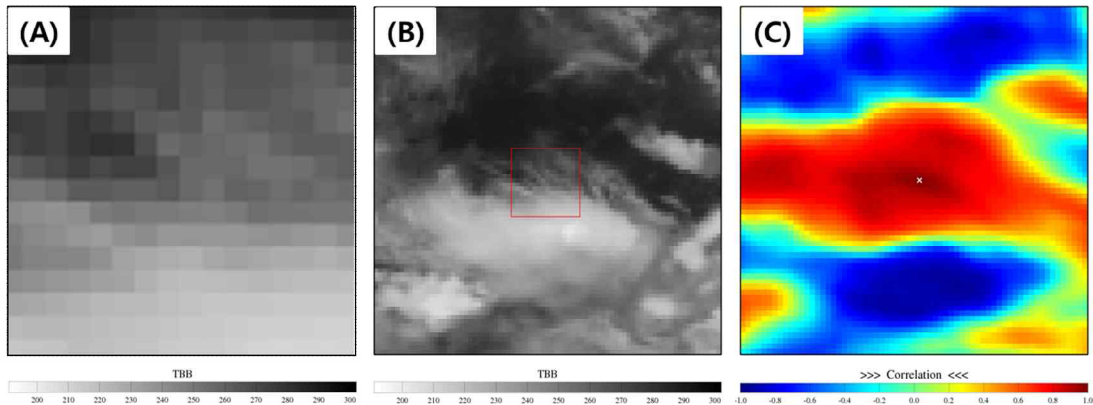


그림 3. 2015년 7월 8일 1800UTC COMS IR1 영상의 (A) 표적 내 밝기온도, (B) 추적영역 내 밝기온도, (C) 표적과 추적영역간의 상관관계수.

t-1, t 시간 사이에서 구한 변위1과 t, t+1 시간 사이에서 구한 변위2는 위성 관측 화소의 위/경도 정보를 통해 물리적인 거리로 전환되는데, 구면좌표계를 가정하여 식 2와 3에 의해 변위가 계산된다.

$$\Delta x = R_E(\theta_1 - \theta_2) \cos\left(\frac{\Phi_1 + \Phi_2}{2}\right) \quad (2)$$

$$\Delta y = R_E(\Phi_1 - \Phi_2) \quad (3)$$

여기서 상수 R_E 는 6.37, Φ_1 와 θ_1 는 표적 중심의 위도와 경도 이고 Φ_2 와 θ_2 는 추적된 위치의 중심 위/경도이다. 이렇게 계산된 변위1과 2를 이용하여 벡터 1과 2를 산출하여 두 벡터의 평균을 구한다. 이러한 방법을 통해 비교적 안정적인 벡터 산출이 가능해진다.

3.3.3. 고도할당

고도할당 방법은 표적이 구름인지 청천인지에 따라 나누어진다. 표적내의 구름이 단일 층일 경우는 비교적 추적이 용이하지만, 다층 구름일 경우는 추적에 어려움이 따른다. 따라서 표적을 추적할 때 기여한 화소를 선별해야한다. 이 과정을 ‘고도할당 화소 선정’이라 하며, 이 과정에서 선별된 화소를 이용하여 위성의 구름 고도 정보를 이용하거나 복사모델의 연직 온도 값을 이용하여 고도를 할당한다. 청천 표적일 경우는 온도가 낮은 화소를 선택하여 복사전달모델 값을 적용한다.

3.3.3.1. 구름표적

AMI 6개 채널($0.64 \mu\text{m}$, $3.83 \mu\text{m}$, $6.241 \mu\text{m}$, $6.952 \mu\text{m}$, $7.344 \mu\text{m}$, $11.212 \mu\text{m}$)을 대상으로 하며, AMI의 구름탐지 자료를 이용하여 구름 영역을 판별한다. 이때 3.3.1.1절과 같이 수증기 채널의 경우 표적 내 구름 영역이 20%이상 존재하고 동시에 표적 내 평균 운정 고도가 수증기 채널의 임계 고도보다 높을 경우, 그 외 채널에서는 표적 내 구름 영역이 20%이상 존재할 때 구름 표적이라 정의한다.

구름 표적의 고도할당은 위성의 구름정보를 이용하는 방법과 복사모델을 이용 하는 방법 등이 있다. 본 알고리즘에서 사용하는 구름표적 고도할당 옵션은 타 산출물인 구름고도(Cloud Top Pressure)를 이용하는 CCC 방법과 구름 고도 정보를 이용하는 방법을 사용하되 구름 고도 정보 자료의 부재 시 복사모델을 이용한 EBBT, IR/WV 방법, 그리고 GK-2A/AMI 센서에 새롭게 추가된 $13.3 \mu\text{m}$ 채널과 $12.3 \mu\text{m}$ 채널을 이용하는 CO2 slicing 방법이 있다.

i) CCC 방법

구름 표적의 고도를 할당하기 이전에 구름화소를 선정해야 한다. 중/상층 구름의 대부분은 구름 상부의 바람에 의해 이동한다는 이론적 근거에 의하여 COMS를 비롯한 과거에 개발된 알고리즘은 표적 내 밝기온도가 낮은 15% 화소들의 평균을

이용하여 고도할당을 하였다. 그러나 이는 고도를 상층으로 과대 모의하는 경향이 있으며, 추적과 고도할당의 연관성이 없어지므로 최근의 연구 동향은 추적에 기여한 화소를 이용하여 고도를 할당한다. GK-2A 알고리즘은 최근 연구 동향을 반영하여, EUMETSAT MTG 대기운동벡터 알고리즘의 고도할당방법인 CCC 방법을 적용하였다(Regis Borde and Ryo Oyama, 2008).

CCC 방법은 추적 과정에서 계산되는 상관계수 값을 이용하여 고도 할당 화소를 선정하는 방법으로, 상관계수 산출시 표적 내 각 화소의 기여도에 따라 고도정보를 적용하는 방법이다.

3.3.2절의 식(1)을 표적의 i, j 성분으로 나타내면 다음과 같다.

$$CC(m,n) = \sum_{i,j}^{M,N} CC_{i,j}(m,n) \quad (4)$$

그림 4는 COMS 10.8 μm 채널의 연속된 두 장의 영상을 이용하여 산출한 표적의 CC_{ij} 와 밝기온도의 관계를 나타낸 것이다. 여기서 CC_{ij} 가 0보다 작은 값은 구름의 생성 또는 소멸에 해당되는 화소로 고도할당을 하지 않는다. 구름 화소를 선정할 때 채널 정보에 따라 임계값이 다르다. IR와 WV 채널의 경우는 상층의 바람관측에 용이하기 때문에 밝기온도(BT)가 평균값(붉은색 선) 이하이고 교차상관도(CC_{ij})가 평균값(파란색 선) 이상인 화소만을 이용하며, VIS 채널은 알베도가 평균값 이하이고 상관도가 평균값 이상인 화소만을 이용하여 고도할당을 한다.

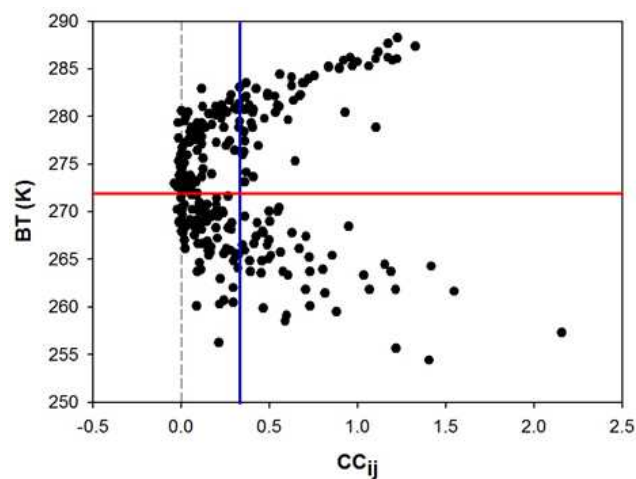


그림 4. 적외채널 구름 표적영역 내에서의 교차상관도(CC_{ij})와 밝기온도(BT)의 관계. 빨간색 가로선은 평균 밝기온도 값이고, 파란색 세로선은 평균 교차상관도이다.

이와 같이 선정된 화소에 대해 GK-2A 구름고도 정보를 이용하여 고도할당을 수행하게 된다. 표적 추적에서 계산된 $CC(m,n)$ 값이 가장 높을 때, 식 5와 같이 선별된 CC_{ij} 값에 따라 운정 고도에 가중치를 두어 평균한다.

$$P = \frac{\sum_{cc_{i,j} > cc_{i,j}thres} CC_{i,j} CTP_{i,j}}{\sum_{cc_{i,j} > cc_{i,j}thres} CC_{i,j}} \quad (5)$$

ii) EBBT 방법

수치모델의 연직 온/습도 자료를 입력하여 복사전달모델을 수행할 때 구름의 투과도에 따라 고도할당 방법이 달라진다. 불투명한 구름인 경우 모델 각 층에 불투명한 구름이 존재한다고 가정하여 복사전달모델을 수행하는 EBBT 방법을 사용한다. 이는 표적의 대푯값과 복사전달모델을 이용하여 모의한 고도별 밝기온도(BT) 값을 비교하여 고도를 할당하는 방법이다. 이때 구름 화소를 선정하는 방법은 3.3.1.1절에서 설명한 방법과 유사하다. 임계값 이상의 CC_{ij} 값에 밝기온도 가중치를 두어 표적의 대표온도를 계산한다(식 (6)). 본 알고리즘에서는 EBBT 방법을 위하여 14번 채널의 관측 밝기온도를 이용한다. 단 수증기 채널 구름표적의 경우 해당 수증기 채널의 관측 밝기온도를 이용한다.

$$Target BT = \frac{\sum_{cc_{i,j} > cc_{i,j}thres} CC_{i,j} BT_{i,j}}{\sum_{cc_{i,j} > cc_{i,j}thres} CC_{i,j}} \quad (6)$$

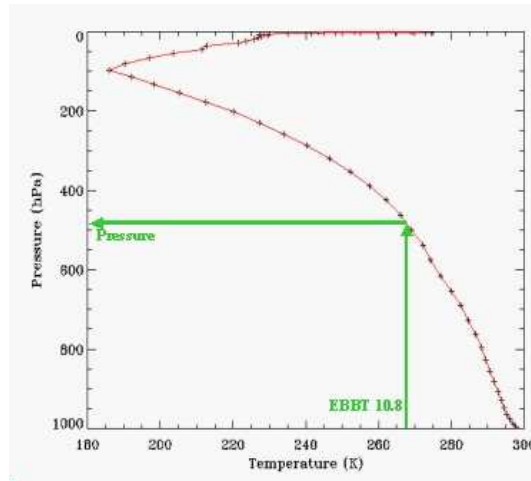


그림 5. EBBT 방법 개념도. 관측 IR 밝기온도(초록색 화살표)와 RTM 모의 IR 밝기온도(붉은색 실선)가 일치할 때의 모의 고도로 구름의 고도를 할당하는 방법이다.

iii) IR/WV intercept 방법

반투명한 구름인 경우 지표의 복사 효과를 보정해 주기위해 IR/WV Intercept 방법을 사용한다. 이 방법은 운량에 따라 수증기와 적외창 채널의 밝기온도가 선형적인 관계를 가진다는 이론에 근거하여 구름 고도를 보정하는 방법이다(식 (7)). 이 방법에서는 9번(6.9 μm) 채널과 14번(11.2 μm) 채널을 사용한다.

$$\frac{R(WV) - R_{cl}(WV)}{R(IR) - R_{cl}(IR)} = \frac{N_e(WV)[R_{op}(WV, P_c) - R_{cl}(WV)]}{N_e(IR)[R_{op}(IR, P_c) - R_{cl}(IR)]} \quad (7)$$

여기서 $R(WV)$ 와 $R(IR)$ 은 표적 내 수증기와 적외 창 채널의 밝기온도이며, 아래 첨자 op 와 cl 은 불투명 구름과 청천의 경우를 의미한다. 이때 투과율 $N_e(WV)$ 와 $N_e(IR)$ 가 유사하다고 가정하면 식 (7)은 식 (8)과 같이 쓸 수 있다.

$$\frac{R(WV) - R_{cl}(WV)}{R(IR) - R_{cl}(IR)} = \frac{R_{op}(WV, P_c) - R_{cl}(WV)}{R_{op}(IR, P_c) - R_{cl}(IR)} \quad (8)$$

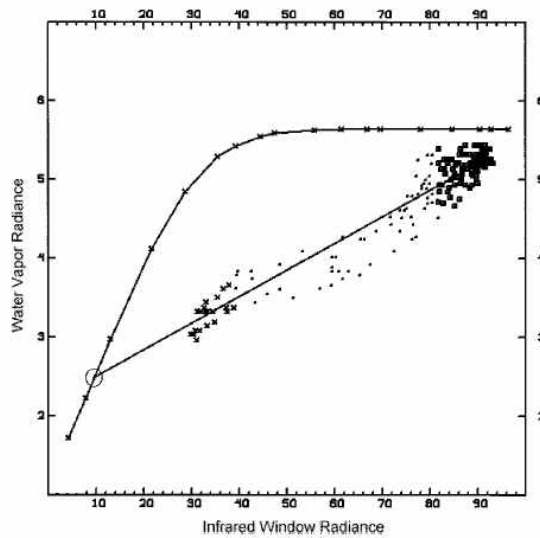


그림 6. IR/WV Intercept 방법 개념도. 검은색 실선은 온도가 높은 픽셀(사각형)들과 온도가 낮은 픽셀(십자)들로 회귀된 직선이며, 검은색 곡선은 특정 고도에 구름이 있다고 가정한 뒤 RTM으로 모의된 밝기온도를 이은 곡선이다. IR/WV 방법은 두 직선과 곡선이 만나는 두개의 점 중에서 고도가 높은 지점(속이 빈 동그라미)으로 고도를 할당하는 방법이다.

iv) CO2 slicing 방법

CO₂ slicing 방법은 식 (9)와 같이 표현할 수 있다. 이 방법에서는 16번(13.3 μm) 채널과 15번(12.3 μm) 채널을 사용한다.

$$\frac{R(CO_2) - R_{cl}(CO_2)}{R(IR) - R_{cl}(IR)} = \frac{N_e(CO_2)[R_{op}(CO_2, P_c) - R_{cl}(CO_2)]}{N_e(IR)[R_{op}(IR, P_c) - R_{cl}(IR)]} \quad (9)$$

IR/WV intercept 방법에서와 마찬가지로, 투과율 $N_e(CO_2)$ 과 $N_e(IR)$ 가 유사하다고 가정하면 식 (9)은 식(10)과 같이 쓸 수 있다.

$$\frac{R(CO_2) - R_{cl}(CO_2)}{R(IR) - R_{cl}(IR)} = \frac{R_{op}(CO_2, P_c) - R_{cl}(CO_2)}{R_{op}(IR, P_c) - R_{cl}(IR)} \quad (10)$$

CO₂ slicing 고도할당 방법은 COMS/MI에 존재 하지 않던 CO₂(13.3 μm) 채널을 사용한다는 점에서 차별성이 있으며, 모든 고도에 대하여 산출이 가능한 장점이 있다.

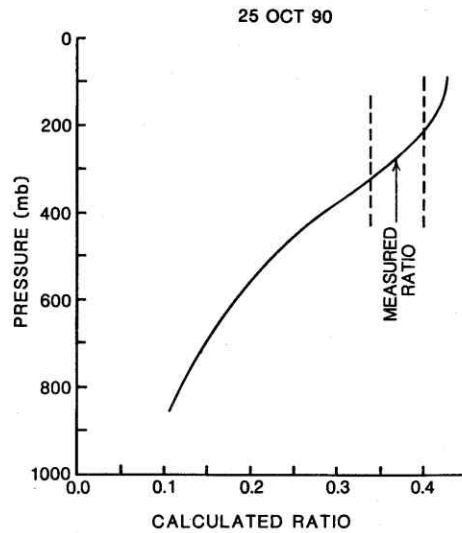


그림 7. CO₂ slicing 방법 개념도. 검은색 실 곡선은 RTM 으로 모의된 식 9의 우변에 해당하는 값들이며, 압력고도에 의존한다. 화살표는 위성에 의해 실 관측된 식 9의 좌변에 해당하는 값이다. 두 값이 일치할 때의 고도가 최종 고도로 선택된다.

v) 역전층 및 운저고도 보정

모든 구름 표적 벡터 중 사용된 고도할당 방법에 관계없이 최종 산출 고도가 600 hPa 이하인 벡터들에 한하여 역전층 보정 과정을 실시한다. 수치모델 온도 연직 정보로부터, 역전층의 최하층 P_b 과 최상층 P_t 을 찾아낸 뒤, 다음의 식을 이용하여 최종 고도 P_{Inv} 를 계산한다.

$$P_{Inv} = \frac{C_b P_b + C_t P_t}{C_b + C_t} + C \quad (11)$$

현재는 EUMETSAT 대기운동벡터 개발자의 연구결과를 토대로, 역전층 보정에 사용하는 계수 값을 $C_b = 2$, $C_t = 1$, $C = 0$ 으로 정하였다(EUMETSAT (2011), “MTG-FCI: ATBD for Atmospheric Motion Vector Product,”). EBBT 방법의 경우, 역전층 보정이 실패했을 경우에 한하여 산출된 최종 고도가 800hPa 이하일 때 위성에서 관측한 운정 고도와 수치모델에서 산출된 운저 고도의 관계식을 이용하여 고도를 보정한다(Le Marshall et al. (1994), Tokuno (1998)). 이 방법은 표적 내의 모든 구름픽셀에 대한 평균 관측 밝기온도가 T_{EBBT} , 표준편차가 σ 일 때, 보정된 밝기온도 $T_{cloud\ base} = T_{EBBT} + \sqrt{2}\sigma$ 로 고도를 재산출하는 방법이다.

3.3.3.2. 청천표적

본 과정은 천리안위성 대기운동벡터 알고리즘과 유사하다. 수증기 채널($6.241\mu m$, $6.952\mu m$, $7.344\mu m$) 영상을 이용하여 청천 표적 대기운동벡터를 산출한다. 이 때, 표적 내부에 구름화소가 없거나 평균 운정 고도가 그림 8와 같이 각 수증기 채널별 ($6.241\mu m$, $6.952\mu m$, $7.344\mu m$)로 명시된 임계 고도보다 낮은 표적을 청천표적이라 정의한다.

고도할당을 위해서는 수치모델의 연직 온·습도 자료를 복사모델에 입력하여 각 층마다 불투명한 구름이 있다고 가정하여 운정 고도에서 대기 상층까지의 수증기 투과율을 계산한다. 이렇게 계산된 각 층의 수증기 투과율을 이용하여 대푯값을 결정하는데, 그 방법으로는 NTC와 NTCC가 있다. NTC 방법은 각 대기 층에서 수증기 투과율이 가장 큰 층의 고도를 할당하는 것이고, NTCC는 최하층부터 최상층까지 누적된 수증기 방출율이 0.5가 되는 고도를 청천 수증기 채널의 표적 고도로 할당하는 방법이다. 그림 9에서 가로축은 운정 고도에 해당하는 수치 모델의 층수를 나타내고 세로축은 수증기층의 누적 투과율을 나타낸다. 붉은 선은 각 층을

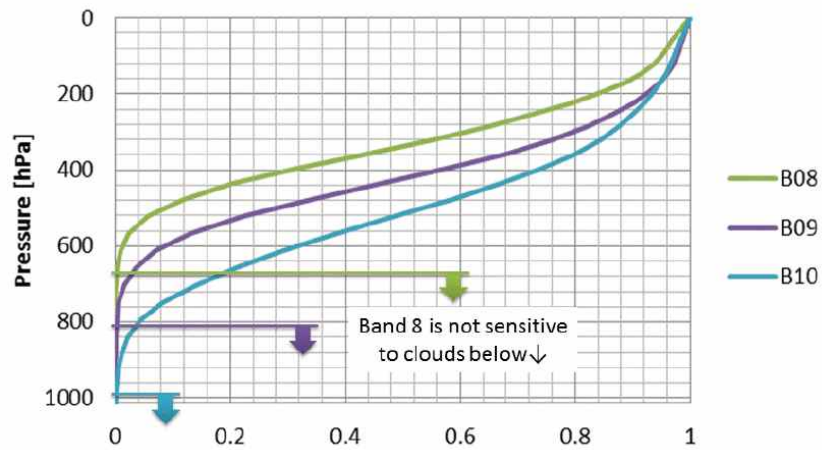


그림 8. 수증기 채널 8번($6.241 \mu\text{m}$), 9번($6.952 \mu\text{m}$), 10번($7.344 \mu\text{m}$)에 대한 고도별 투과율 분포이다. 각 채널별 투과율은 각각 특정 고도 이하에서 거의 0에 가까워지며, 이것은 그 고도 아래에서 방출되는 복사량이 거의 관측되지 않음을 의미한다.

운정 고도로 했을 때 운정에서 대기 최상층까지의 누적 투과율을 나타낸다. 붉은 선의 누적 투과율 값을 가로축에 대해 단순 미분하면 대기 각 층의 투과율을 계산할 수 있다(푸른 선).

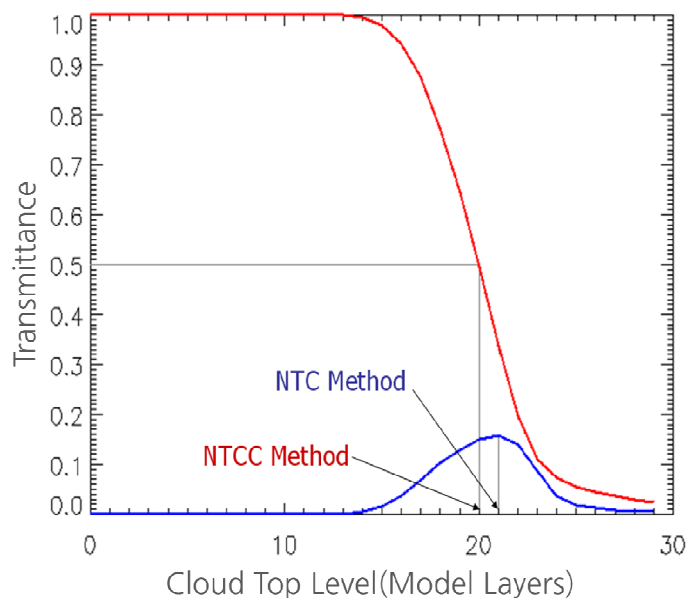


그림 9. 층별 수증기 투과율(파란 선), 층별 수증기 누적 투과율(붉은 선) (KMA, 2012).

3.3.4. 품질 정보

3.3.4.1. 품질지수(QI)

유럽의 EUMETSAT에서 개발된 QI는 통계에 기반한 각각의 AMV에 대해 다섯 가지 일치성 검사로 구성된다(Holmlund, 1998, Holmlund et. al 2001). 이 다섯 가지 검사는 벡터 각각의 공간 및 시간 일관성 분석뿐만 아니라 벡터 계산에 사용된 표적의 고도와 온도, 주변벡터, 그리고 예보장과의 일치성으로 이루어진다. 총 5가지의 개별 항목은 0에서 1사이의 값으로 나타나며 높을수록 양질의 벡터를 의미한다. 최종적인 QI는 이들의 가중 평균으로 결정되며, 이 때 공간 균질성에 대한 가중값은 2, 나머지 요소들에 대한 가중값은 1로 부여된다. 아래 식은 쌍곡 탄젠트(hyperbolic tangent)에 기반한 QI 계산식이다.

$$QI_i = 1 - \{\tanh[f_i(A_i, B_i, C_i)]\}^{D_i} \quad (12)$$

$QI_i(x)$ 는 최종 QI를 계산하기 위한 QI요소이며, 함수 f_i 는 계수 A_i, B_i, C_i 에 의존한다. QI는 총 다섯 가지 검사를 통해 결정된다. QI 산출을 위해 연속된 3개의 위성 영상에서 산출된 두 개의 벡터 간의 풍향 일관성(temporal direction consistency; QI_{DIR}), 풍속 일관성(temporal speed consistency; QI_{SPD}), 벡터 일관성(temporal vector consistency; QI_{VEC})을 검사한다. 그리고 두 벡터의 단순 평균으로 계산되는 최종 벡터의 공간 균질성(spatial vector consistency; QI_{LC}) 및 수치 모델 바람 자료와의 일관성(temporal forecast consistency; QI_{FC})을 검사한다. 각 검사에서 사용되는 계수는 표 4에 기재되어있다. 각각의 검사는 0에서 1 사이의 값을 가지며, 이들 값들의 가중 평균이 최종 QI가 된다. 각 검사에 대한 가중값은 공간 균질성 검사가 2, 나머지 요소들에 대해서는 1이 부여된다.

표 4. GK-2A AMV QI 계수

A_{SPD}	B_{SPD}	C_{SPD}	D_{SPD}
0.2	0.01	1.0	3.0
A_{DIR}	B_{DIR}	C_{DIR}	D_{DIR}
20.0	10.0	10.0	4.0
A_{VEC}	B_{VEC}	C_{VEC}	D_{VEC}
0.2	0.01	1.0	3.0
A_{FC}	B_{FC}	C_{FC}	D_{FC}
0.4	0.01	1.0	2.0
A_{LC}	B_{LC}	C_{LC}	D_{LC}
0.2	0.01	1.0	3.0

3.3.4.1.1. 풍향 일관성 검사

풍향 일관성 검사는 시간에 따른 대기운동벡터 풍향의 일관성을 0 ~ 1로 나타낸다. 일관성 지수가 1에 가까울수록 해당 벡터의 품질이 좋은 것으로, 0에 가까울수록 품질이 좋지 않은 것을 의미한다.

$$QI_{DIR} = 1 - \left[\tanh \left(\frac{|DIR_{t-\Delta t} - DIR_{t+\Delta t}|}{(A_{DIR} \cdot \exp(-avg.spd/B_{DIR}) + C_{DIR})} \right) \right]^{D_{DIR}} \quad (13)$$

$$avg.spd = 0.5 \cdot (WS_{t-\Delta t} + WS_{t+\Delta t})$$

3.3.4.1.2. 풍속 일관성 검사

풍속 일관성 검사는 시간에 따른 대기운동벡터 풍속의 일관성을 0 ~ 1로 나타낸다.

$$QI_{SPD} = 1 - \left[\tanh \left(\frac{|WS_{t-\Delta t} - WS_{t+\Delta t}|}{(MAX(A \cdot SPD \cdot avg.spd, B_{SPD}) + C_{SPD})} \right) \right]^{D_{SPD}} \quad (14)$$

$$avg.spd = 0.5 \cdot (WS_{t-\Delta t} + WS_{t+\Delta t})$$

3.3.4.1.3. 벡터 일관성 검사

벡터 일관성 검사는 시간에 따른 벡터의 일관성을 0 ~ 1로 나타낸다.

$$QI_{VEC} = 1 - \left[\tanh \left(\frac{|\overrightarrow{V_{t-\Delta t}} - \overrightarrow{V_{t+\Delta t}}|}{(MAX(A_{VEC} \cdot |\overrightarrow{V_{t-\Delta t}} + \overrightarrow{V_{t+\Delta t}}|, B_{VEC}) + C_{VEC})} \right) \right]^{D_{VEC}} \quad (15)$$

3.3.4.1.4. 모델 예측장과의 일관성 검사

모델 예측자료와의 일관성 검사는 최종 산출된 대기운동벡터와 같은 시간, 같은 지점의 모델 예측 자료의 일관성을 0 ~ 1로 나타낸다.

$$QI_{FC} = 1 - \left[\tanh \left(\frac{|\overrightarrow{V_{amv}} - \overrightarrow{V_{forecast}}|}{(MAX(A_{FC} \cdot |\overrightarrow{V_{amv}} + \overrightarrow{V_{forecast}}|, B_{FC}) + C_{FC})} \right) \right]^{D_{FC}} \quad (16)$$

3.3.4.1.5. 공간일관성 검사

주변 벡터와의 일관성 검사는 최종 산출된 대기운동벡터와 가장 가까운 벡터의 일관성을 0 ~ 1로 나타낸다.

$$QI_{LC} = 1 - \left[\tanh \left(\frac{|\overrightarrow{V_{amv}} - \overrightarrow{V_{buddy}}|}{(MAX(A_{LC} \cdot |\overrightarrow{V_{amv}} + \overrightarrow{V_{buddy}}|, B_{LC}) + C_{LC})} \right) \right]^{D_{LC}} \quad (17)$$

3.3.4.2. 기대오차(EE)

기대오차(EE) 계산방법은 호주 기상청에서 개발되었다(LeMarshall et al., 2004). EE는 0~1 사이의 지수화된 QI와 다르게 벡터의 품질을 물리적인 단위 (ms^{-1})의 오차로 표현한다. GK-2A AMV 품질검사 알고리즘에는 Berger et al. (2008)에 의해 조금 수정된 버전의 알고리즘이 사용되었다. 식 (18)에 나타나 있듯이, EE 알고리즘은 다량의 시공간 일치된 벡터와 라디오존데 장기간 자료모음을 이용한 자연로그 회귀식으로 계산된다.

$$\log(EE + 1) = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_9x_9 \quad (18)$$

여기서 a_0 는 상수 그리고 x_n 은 회귀계수와 곱해지는 EE의 예측인자이다. EE는 시공간 일치 자료에서 얻어진 각각의 계수들을 이용해 식 (19)의 방법으로 실시간으로 계산된다.

$$EE = \exp(a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_9x_9) - 1 \quad (19)$$

이 식의 마지막 -1 은 EE의 최소값이 0이 되도록 한다. 현재 사용되는 EE 예측 인자는 총 10개이며(회귀계수 9개, 상수 1개), 아래 표 5와 같다.

표 5. GK-2A AMV EE 예측 인자

	예측인자
1	상수
2	QI Speed Test
3	QI Direction Test
4	QI Vector Difference
5	QI Local Consistency Test
6	QI Forecast Test
7	AMV 속도
8	AMV 고도
9	NWP 윈드시어 (200 hPa Above and 200 hPa below AMV height)
10	NWP 온도경도 (200 hPa Above and 200 hPa below AMV height)

표 6는 EE를 계산하기 위하여 사용된 각 예측 인자와 계수들 정보이다. GK-2A AMI의 대체 자료로 Himawari-8 관측 자료를 사용하였다. 예측인자와 계수는 2016년 7월 1일부터 6일까지의 ECMWF ERA Interim 재분석자료와 GK-2A 대기운동벡터의 시공간 일치 자료를 사용하여 얻어졌다.

표 6. 2014년 관측자료를 이용해 얻어진 천리안 위성 채널에 대한 기대오차(EE) 계수와 예측인자.

Target Type Channels Predictors	Cloud Target						Clear Target		
	Ch.07 (3.9 μ m)	Ch.08 (6.2 μ m)	Ch.09 (7.0 μ m)	Ch.10 (7.3 μ m)	Ch.13 (10.4 μ m)	Ch.14 (11.2 μ m)	Ch.08 (6.2 μ m)	Ch.09 (7.0 μ m)	Ch.10 (7.3 μ m)
Constant	2.644	2.508	2.466	2.407	2.453	2.445	1.742	1.838	1.742
QI _{speed}	-0.435	-0.340	-0.297	-0.287	-0.290	-0.300	-0.138	-0.129	-0.208
QI _{direction}	-0.491	-0.322	-0.297	-0.273	-0.266	-0.270	-0.111	-0.161	-0.225
QI _{vector}	0.425	0.259	0.249	0.269	0.201	0.215	-0.045	0.102	0.265
QI _{local}	-0.016	-0.106	-0.110	-0.110	-0.130	-0.131	-0.127	-0.087	-0.023
QI _{forecast}	-1.021	-1.104	-1.154	-1.170	-1.141	-1.147	-1.311	-1.414	-1.502
AMV Speed	0.025	0.023	0.024	0.028	0.027	0.027	0.026	0.030	0.029
AMV Pressure	-0.001	0.001	0.001	0.001	-0.001	-0.001	0.001	0.001	-0.001
Wind shear(200 hPa)	0.001	0.000	0.000	-0.001	0.000	0.000	0.001	0.001	0.000
Temp. gradient(200 hPa)	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	0.001	0.001	0.001

3.3.4.3. QI, EE를 활용한 품질 검사 효과

검사결과에 따른 채널별 대기운동벡터의 검증 결과를 표 7과 8에 나타내었다. 검증 기간은 2016년 7월 1일~6일 이다. 벡터의 일관성에 중점을 둔 QI를 이용한 품질검사 수행 시, 대기운동벡터의 품질은 Bias는 $-1.2 \sim 0.1 \text{ ms}^{-1}$, RMSVD는 $5.2 \sim 5.6 \text{ ms}^{-1}$, 그리고 MVD는 $3.5 \sim 4.2 \text{ ms}^{-1}$ 로 목표정확도를 거의 만족하는 품질에 도달하였다. 특히 다른 채널에 비해 수증기채널(ch.8 ~ 10)에서 정확도(Bias)와 정밀도(MVD, RMSVD) 모두 월등히 향상되었다. 이는 수증기채널 특성상 상층 벡터의 비율이 많아 균질한 바람의 비율이 높기 때문으로 사료된다. QI 적용 시에는 실제 산출된 벡터의 품질이 좋더라도 그 균질성이 떨어지면 저품질 벡터로 간주되기 때문에 전반적으로 많은 수의 벡터가 사라짐을 볼 수 있었다(77.5% 감소).

QI의 단점을 보완해줄 EE를 함께 적용한 품질관리 수행 시, 전체적인 품질은 유지하면서, 벡터의 수가 많이 늘어나는 것을 볼 수 있다(QI 적용 시와 비교하여 20% 증가). QI와 EE를 함께 적용하였을 때, 평균 풍속이 느려지는 것을 볼 수 있는데, 이는 균질성이 떨어지면서 고품질로 추정되는 벡터가 대체로 균질성이 높은 벡터에 비해 풍속이 느린 경향이 있기 때문이다.

수증기 영상은 구름에 비해 특징이 떨어지므로, 기대되는 청천표적 대기운동벡터의 정확도는 구름표적에 비해 낮다. QI를 이용한 품질검사 결과, 대기운동벡터의 품질은 Bias는 $-0.6 \sim -0.1 \text{ ms}^{-1}$, RMSVD는 $4.8 \sim 5.6 \text{ ms}^{-1}$, 그리고 MVD는 $3.5 \sim 4.2 \text{ ms}^{-1}$ 로 목표정확도를 거의 만족하는 품질에 도달하였다. 청천표적 대기운동벡터 역시, QI 적용 시에 많은 벡터가 제거됨을 볼 수 있었다(88.1% 감소).

표 7. GK-2A 대기운동벡터 구름표적 품질관리 방법별 검증 결과.

		Sample	Avg. Spd	MVD	RMSVD	Bias
Ch.7 (3.9 μm)						
All levels (~1000 hPa)	None	720,786	11.50	7.87	13.44	-1.39
	QI>0.85	172,794	16.49	3.80	5.33	-1.27
	QI>0.85 .or. EE<3.5	230,363	14.05	3.58	4.99	-1.19
Ch.8 (6.2 μm)						
All levels (~1000 hPa)	None	382,499	17.38	8.70	14.57	1.91
	QI>0.85	77,567	24.64	4.23	5.67	0.17
	QI>0.85 .or. EE<3.5	81,133	23.90	4.19	5.61	0.14
Ch.9 (7.0 μm)						
All levels (~1000 hPa)	None	498,666	16.87	8.69	14.38	1.94
	QI>0.85	102,549	23.67	4.09	5.51	-0.10
	QI>0.85 .or. EE<3.5	109,637	22.65	4.02	5.43	-0.13
Ch.10 (7.3 μm)						
All levels (~1000 hPa)	None	595,951	14.77	8.60	14.24	1.80
	QI>0.85	106,924	21.12	3.87	5.25	-0.38
	QI>0.85 .or. EE<3.5	119,339	19.67	3.76	5.11	-0.41
Ch.13 (10.4 μm)						
All levels (~1000 hPa)	None	735,405	12.25	7.18	11.79	-0.73
	QI>0.85	196,182	17.21	3.73	5.24	-0.90
	QI>0.85 .or. EE<3.5	258,088	14.83	3.54	4.94	-0.91
Ch.14 (11.2 μm)						
All levels (~1000 hPa)	None	723,421	12.45	7.29	12.02	-0.52
	QI>0.85	182,874	17.55	3.77	5.28	-0.91
	QI>0.85 .or. EE<3.5	242,702	15.05	3.56	4.96	-0.90

구름표적과 달리, QI와 EE를 함께 적용한 품질관리 수행 시에 전체적으로 품질이 저하됨을 볼 수 있었다. 수증기 이동을 추적하는 청천표적의 품질관리 정확성을 높이기 위해 EE 예측인자에 모델 연직 비습항의 추가를 고려중이다.

표 8. GK-2A 대기운동벡터 청천표적 품질관리 방법별 검증 결과.

		Sample	Avg. Spd	MVD	RMSVD	Bias
Ch.8 (6.2 μm)						
All levels (~1000 hPa)	None	448,905	16.22	15.09	25.93	-2.33
	QI>0.85	55,169	21.88	3.83	5.39	-0.64
	QI>0.85 .or. EE<3.5	158,255	15.11	4.04	5.54	-1.28
Ch.9 (7.0 μm)						
All levels (~1000 hPa)	None	329,263	14.45	11.9	20.45	0.97
	QI>0.85	32,244	18.54	3.56	4.85	-0.10
	QI>0.85 .or. EE<3.5	121,326	12.13	3.76	5.02	-0.95
Ch.10 (7.3 μm)						
All levels (~1000 hPa)	None	169,410	15.66	11.78	19.27	1.06
	QI>0.85	25,134	20.65	4.28	5.67	-0.29
	QI>0.85 .or. EE<3.5	105,191	11.71	6.27	9.51	-2.74

4. 시험자료 및 출력물

4.1. 모의/보조 자료

AMV 생산을 위하여 모의자료로서 Himawari-8/AHI 자료를 사용하였다. AHI L1b 자료는 2017년 7월 21일 06 UTC 시각의 관측 자료이며, 수치모델 자료는 UM N768 예측장을 사용하였다. 그리고 복사전달모델 RTTOV 11.2 버전을 이용하여 채널별 연직 구름 밝기온도 및 연직 투과율, 채널별 청천 밝기온도 등을 계산하였다.

4.2. 산출 결과

그림 10 부터 19는 2017년 7월 21일 06 UTC의 VIS($0.645\mu\text{m}$), SWIR($3.85\mu\text{m}$), 구름표적 WV($6.25\mu\text{m}$), 구름표적 WV($6.95\mu\text{m}$), 구름표적 WV($7.35\mu\text{m}$), 청천표적 WV($6.25\mu\text{m}$), 청천표적 WV($6.95\mu\text{m}$), 청천표적 WV($7.35\mu\text{m}$) 그리고 IR(10.45, $11.2\mu\text{m}$) 채널의 모든 QI 값의 대기운동벡터를 나타낸 영상이다. 각 영상은 Himawari-8/AHI 13번 채널의 L1b 영상을 배경으로 하였으며 산출범위는 위성 천정각 70° 미만이다. 가시채널(그림 10)의 경우 주간인 태양 천정각 80° 이하에서만 산출되었으며, 적외채널 수평해상도(2km) 보다 높은 해상도(0.5km)를 가지기 때문에 산출된 벡터의 개수가 적외채널의 벡터보다 많다. 근적외채널(그림 11)의 경우 주간인 태양 천정각 90° 이상 200° 미만에서만 산출되었다. 이외 나머지 채널은 모든 태양 천정각에서 산출된다. 수증기 채널(그림 12-17)의 경우 연직 투과율에 따른 관측 임계고도 이하의 수증기는 관측하지 못한다. 따라서 $6.2\mu\text{m}$ 채널은 약 400 hPa 이상, $7.0\mu\text{m}$ 채널은 약 600 hPa 이상, $7.3\mu\text{m}$ 채널은 약 700 hPa 이상의 고도에서만 벡터가 산출된다.

himawari8_ahi_ch03_cd_QI1_0.00_QI2_0.00_201607210600(UTC)

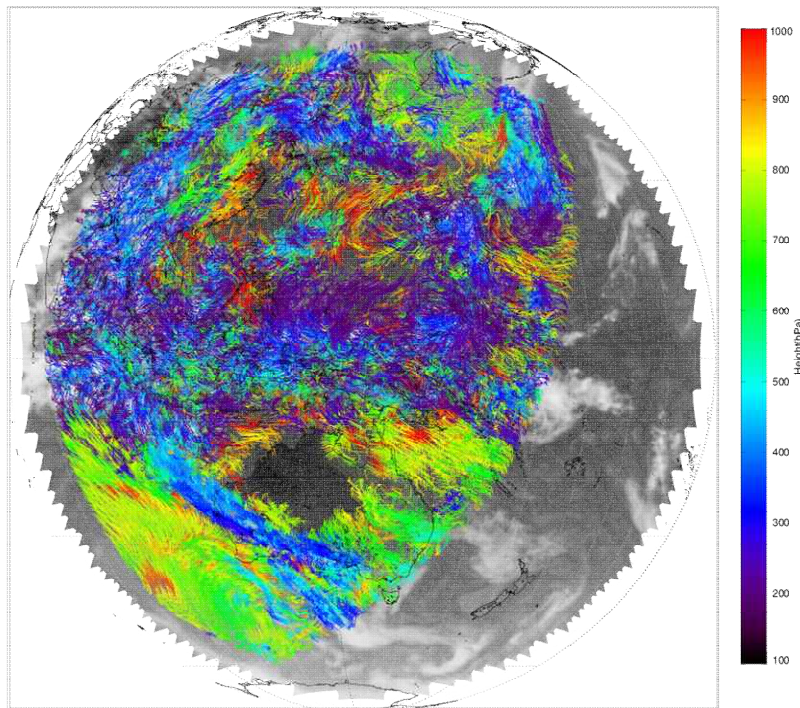


그림 10. GK-2A 가시채널 ($0.645\ \mu\text{m}$) 대기운동벡터.

himawari8_ahi_ch07_cd_QI1_0.00_QI2_0.00_201607210600(UTC)

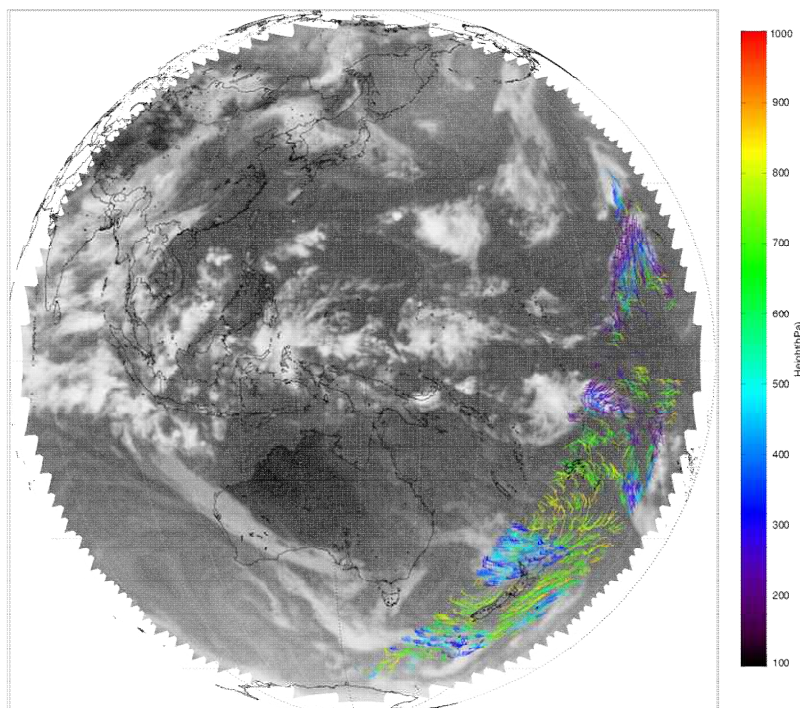


그림 11. GK-2A 단파적외채널 ($3.85\ \mu\text{m}$) 대기운동벡터.

himawari8_ahi_ch08_cd_QI1_0.00_QI2_0.00_201607210600(UTC)

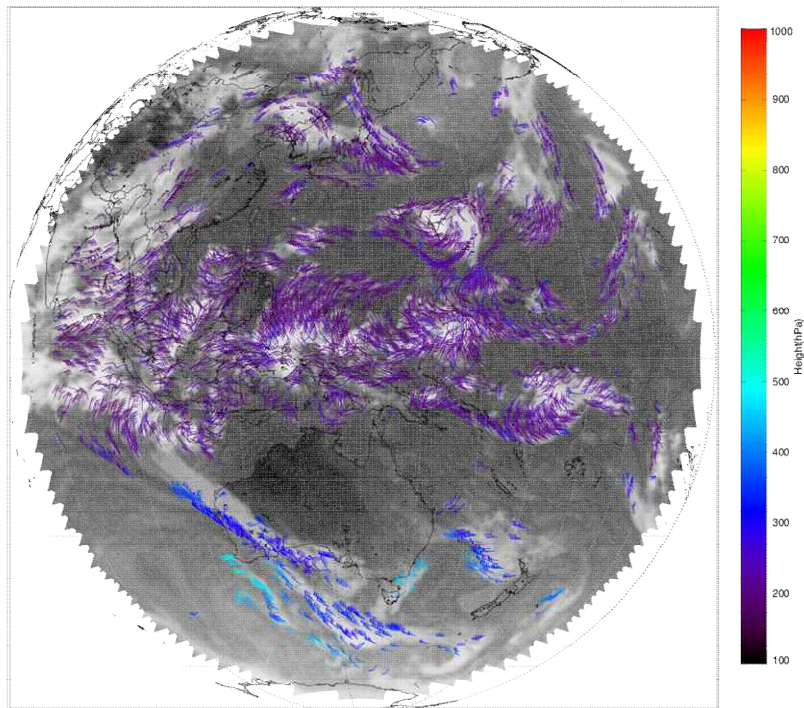


그림 12. GK-2A 수증기채널($6.25\ \mu\text{m}$) 구름표적 대기운동벡터.

himawari8_ahi_ch09_cd_QI1_0.00_QI2_0.00_201607210600(UTC)

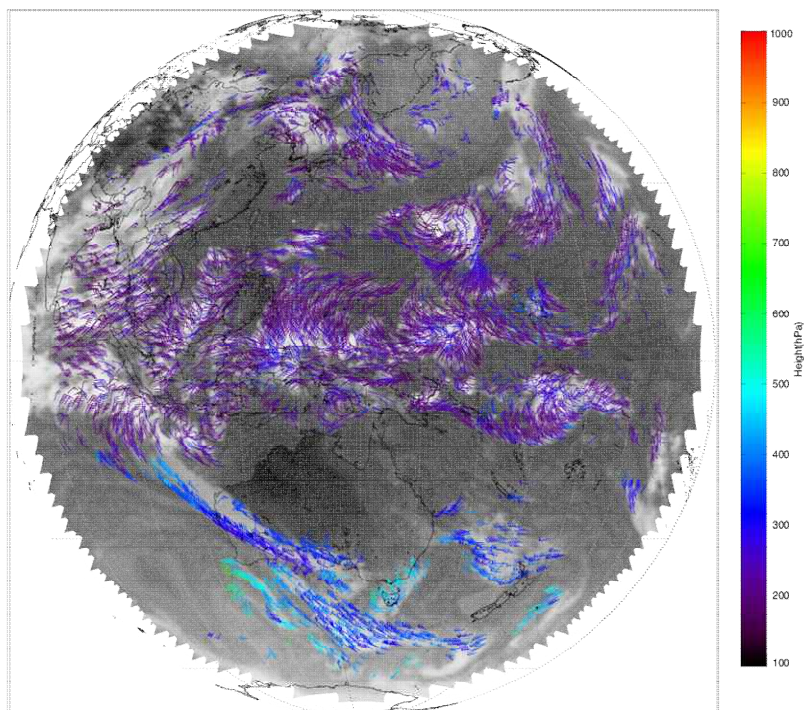


그림 13. GK-2A 수증기채널($6.95\ \mu\text{m}$) 구름표적 대기운동벡터.

himawari8_ahi_ch10_cd_QI1_0.00_QI2_0.00_201607210600(UTC)

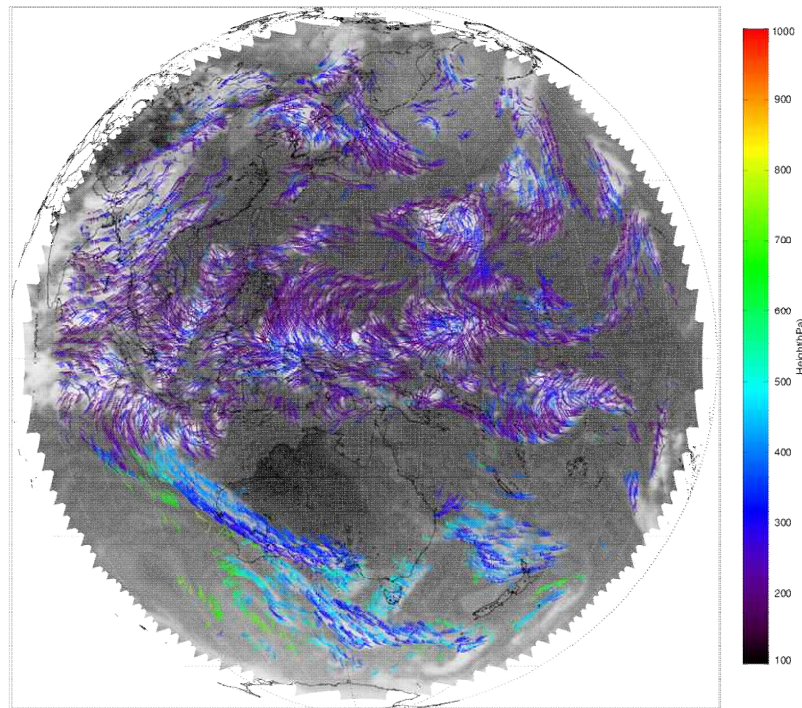


그림 14. GK-2A 수증기채널($7.35\ \mu\text{m}$) 구름표적 대기운동벡터.

himawari8_ahi_ch08_cs_QI1_0.00_QI2_0.00_201607210600(UTC)

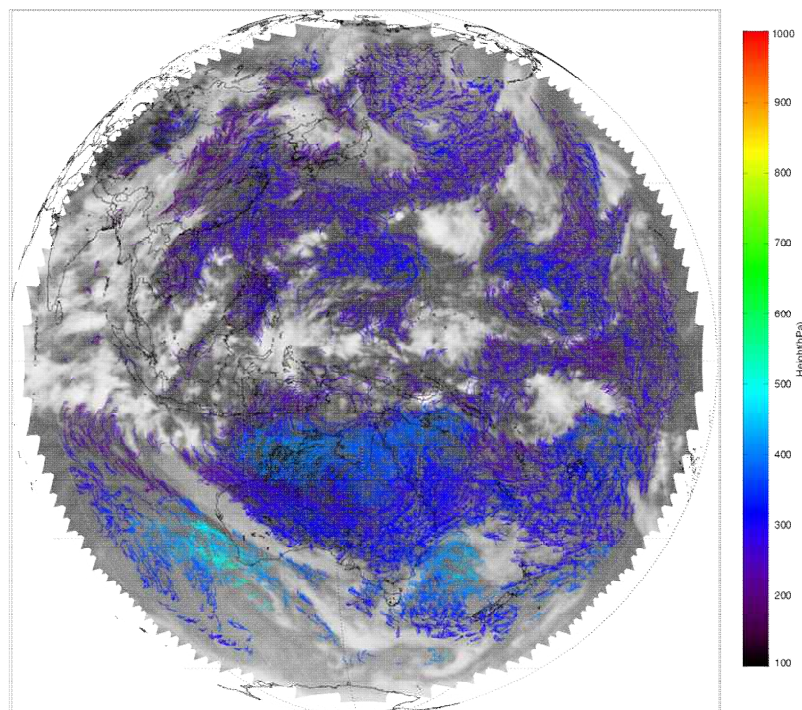


그림 15. GK-2A 수증기채널($6.25\ \mu\text{m}$) 청천표적 대기운동벡터.

himawari8_ahi_ch09_cs_QI1_0.00_QI2_0.00_201607210600(UTC)

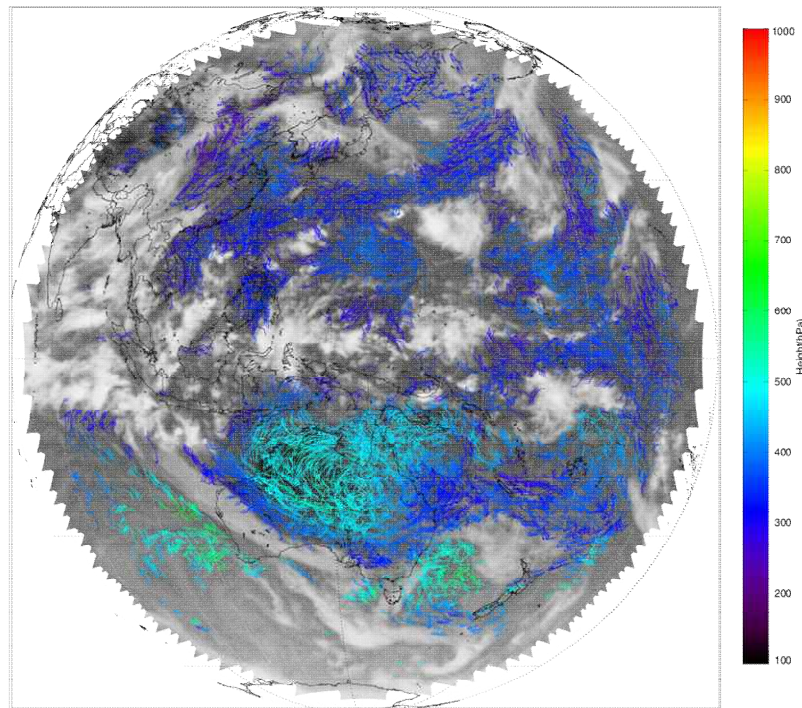


그림 16. GK-2A 수증기채널($6.95\ \mu\text{m}$) 청천표적 대기운동벡터.

himawari8_ahi_ch10_cs_QI1_0.00_QI2_0.00_201607210600(UTC)

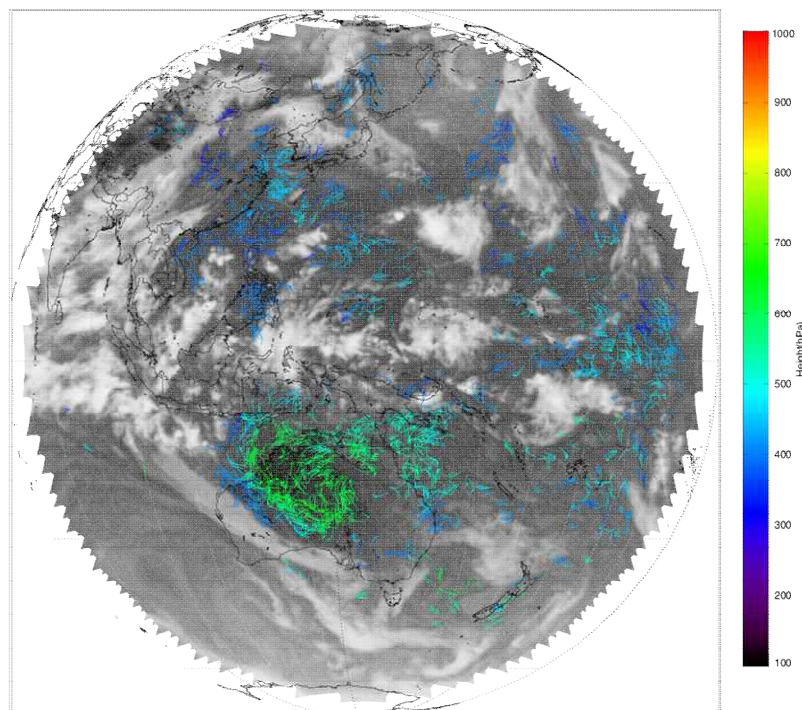


그림 17. GK-2A 수증기채널($7.35\ \mu\text{m}$) 청천표적 대기운동벡터.

himawari8_ahi_ch13_cd_QI1_0.00_QI2_0.00_201607210600(UTC)

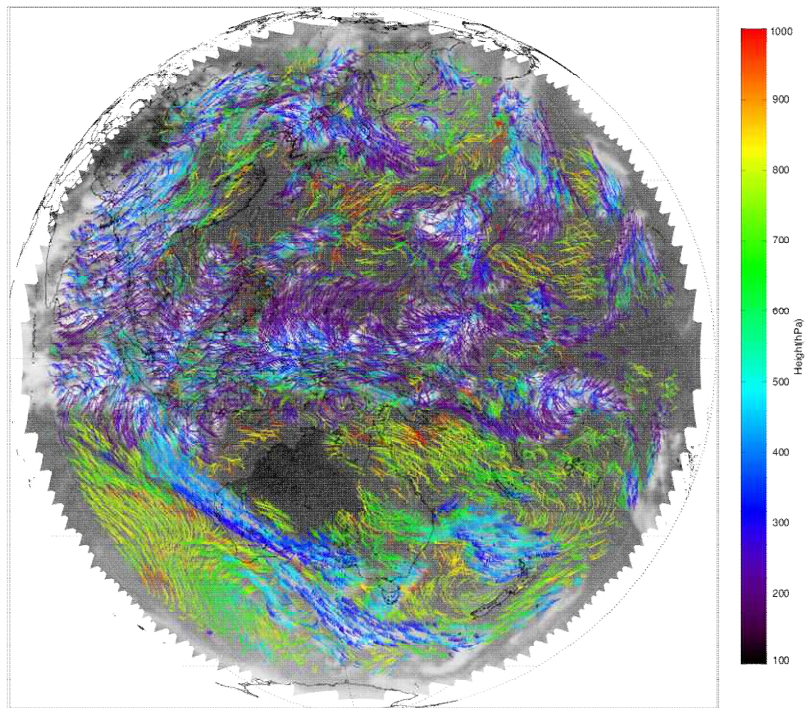


그림 18. GK-2A 적외채널($10.45\ \mu\text{m}$) 대기운동벡터.

himawari8_ahi_ch14_cd_QI1_0.00_QI2_0.00_201607210600(UTC)

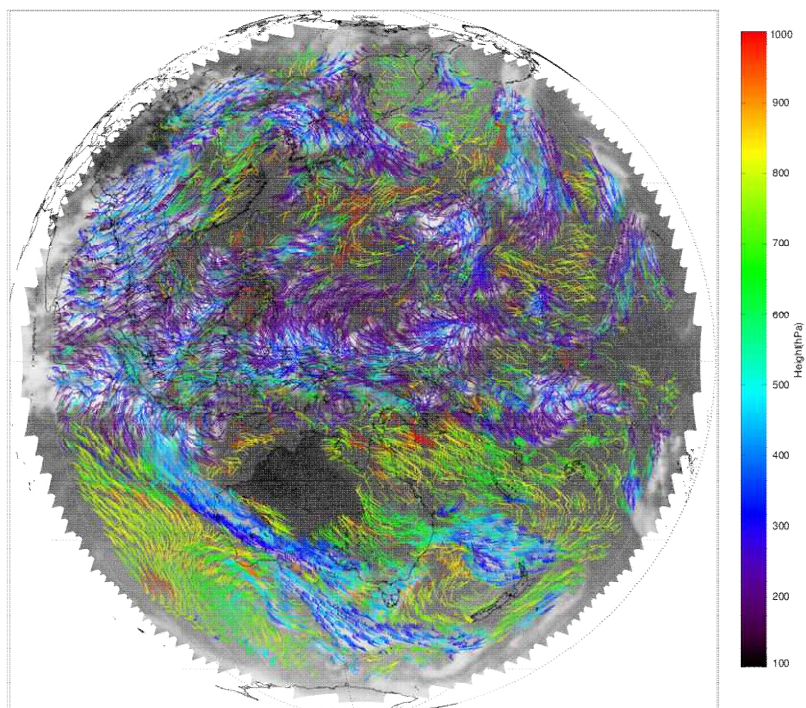


그림 19. GK-2A 적외채널($11.2\ \mu\text{m}$) 대기운동벡터.

5. 검증

5.1. 검증 방법

5.1.1. 검증 지수

GK-2A AMV 정량적 검증을 위하여 MVD(평균벡터차), RMSVD(평균제곱근벡터차), Bias(편의), 그리고 RMSE(평균제곱근오차) 값을 계산한다. MVD와 RMSVD는 벡터 물리량에 대한 검증 지수이고, Bias와 RMSE는 스칼라 물리량에 대한 검증 지수이다. 각 통계인자에 대한 식은 아래와 같다.

$$MVD = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (VD)_i \quad (20)$$

여기서 $(VD)_i = \sqrt{(U_i - U_r)^2 + (V_i - V_r)^2}$ 이고, U, V는 동서, 남북 성분 벡터이며, i는 GK-2A AMV, r은 라디오존데 또는 수치예보모델 바람자료이다.

$$RMSVD_i = \sqrt{(MVD)^2 + (SD)^2} \quad (21)$$

여기서, $(SD) = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N ((VD)_i - (MVD))^2}$ 이다.

$$Bias_i = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\sqrt{U_i^2 + V_i^2} - \sqrt{U_r^2 + V_r^2}) \quad (22)$$

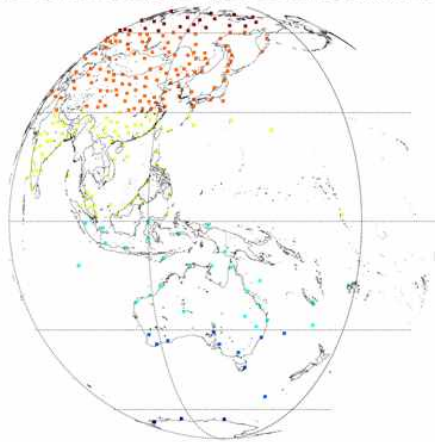
$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\sqrt{U_i^2 + V_i^2} - \sqrt{U_r^2 + V_r^2})^2} \quad (23)$$

5.1.2. 시공간 일치 방법

검증에 사용된 라디오존데 분포와 수치예보모델 예측장은 그림 20에 나타내었다. 라디오존데 자료는 약 450~500개 지점의 것을 사용하였다(그림 20(a)). 수치예보모델 자료는 기상청 GDAPS N768 예측장이며, 수평해상도는 약 17km, 70개의 연직 모델면에 대하여 바람장 자료가 산출된다. 그림 20(b)는 검증에 사용된 수치예보모델의 특정 고도인 478.54 hPa 바람장이다. 향후에는 수치모델 예측장이 아닌 분석장으로 검증할 계획이다.

(a) 라디오존데 자료 위치정보

Plot_of_All_STN_data_matching_Sonde_station_2016.07.01.0000(UTC)



(b) 수치예보모델 자료

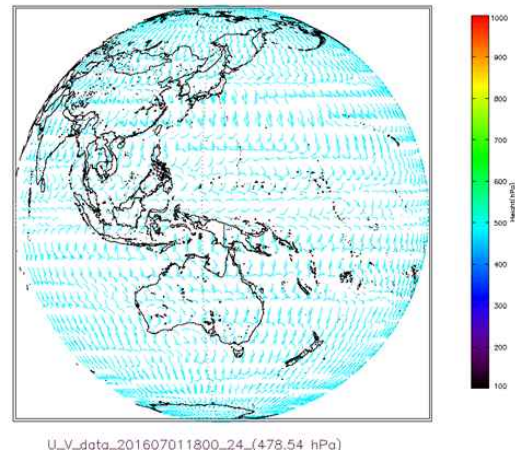
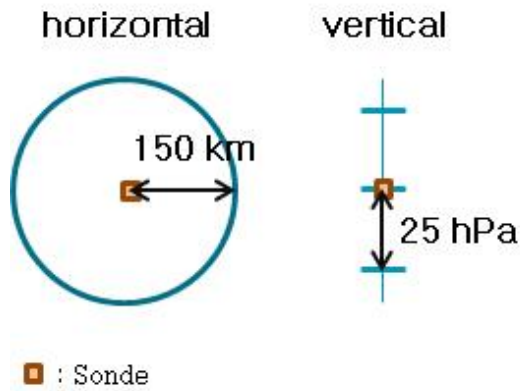


그림 20. GK-2A AMV 검증을 위한 (a) 라디오존데 위치정보 및 (b) 수치예보모델(GDPAS N768) 바람장 예(478.54 hPa 고도).

검증을 위한 match-up 자료를 구축하기 위하여 시공간 일치조건을 다음과 같이 정하였다. 라디오존데 자료의 경우, 그림 21(a)와 같이 수평적으로는 존데 지점으로부터 150 km 이내에 있는 모든 벡터들을 수집하였다. 그리고 관측 시간을 기준으로 1시간 간격 내에 있는 벡터에 대하여 연직적으로는 존데자료 고도 각각에 대하여 25 hPa 이내에 존재하는 것을 사용하였다. 수치예보모델 자료의 경우, 그림 21(b)와 같이 산출 AMV를 중심으로 1시간 간격 이내에 들어오는 두 개의 수치모델 자료를 선형 내삽하였고, 연직적으로는 산출 AMV와 가장 가까운 2개 지점에 대하여 선형 내삽하였으며, 수평적으로는 산출 AMV와 가장 가까운 4개의 지점을 거리의 제곱에 반비례하게 가중 평균하여 내삽하였다.

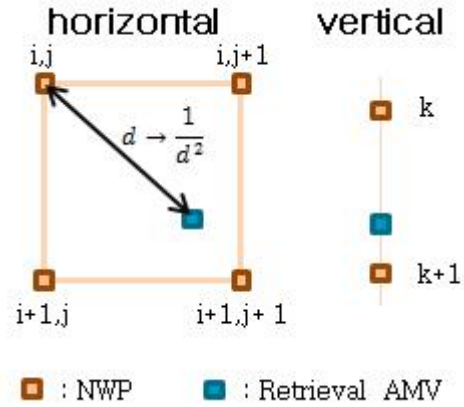
(a) 라디오존데
<공간 일치방법>



<시간 일치방법>



(b) 수치예보모델
<공간 일치방법>



<시간 일치방법>



그림 21. GK-2A AMV 검증을 위한 (a) 라디오존데 자료 및 (b) 수치예보모델 자료의 시공간 일치 방법.

5.2. 검증 결과

GK-2A AMV 알고리즘의 정확도 검증을 2016년 7월(3시간 간격)에 대해 수행하였다. 표 10은 3.9, 6.2, 7.0, 7.3 10.4, 11.2 μm 채널의 구름표적 AMV($QI \geq 0.85$)에 대한 검증 결과이며, 표 9은 6.2, 7.0, 7.3 μm 채널의 청천표적 AMV($QI \geq 0.85$)에 대한 것이다. 모두 목표정확도(표1)을 만족한다.

표 9. GK-2A 구름표적 대기운동벡터 검증 결과(QI ≥ 0.85).

		Sample	MVD	RMSVD	Bias	RMSE
SWIR (3.9 μm)						
All level (~1000hPa)	NWP	649364	3.54	4.39	-0.48	3.26
	Sonde	10360	4.56	5.69	-0.67	4.16
High level (~400hPa)	NWP	241903	4.04	5.02	-0.57	3.74
	Sonde	8973	4.59	5.75	-0.73	4.2
Mid level (400~700 hPa)	NWP	167662	3.98	4.87	-0.74	3.73
	Sonde	1103	4.36	5.37	-0.26	3.91
Low level (700hPa~1000)	NWP	239799	2.74	3.2	-0.21	2.23
	Sonde	284	4.23	4.99	-0.44	3.59
WV (6.2 μm)						
All level (~1000hPa)	NWP	341455	4.06	4.95	0.69	3.62
	Sonde	15268	4.64	5.7	0.53	4.16
High level (~400hPa)	NWP	341455	4.06	4.95	0.69	3.62
	Sonde	15268	4.64	5.7	0.53	4.16
Mid level (400~700 hPa)	NWP	—	—	—	—	—
	Sonde	—	—	—	—	—
Low level (700hPa~1000)	NWP	—	—	—	—	—
	Sonde	—	—	—	—	—
WV (7.0 μm)						
All level (~1000hPa)	NWP	521787	4.28	5.25	0.51	3.86
	Sonde	21794	4.7	5.79	0.38	4.29
High level (~400hPa)	NWP	504287	4.22	5.19	0.53	3.81
	Sonde	21704	4.69	5.78	0.39	4.29
Mid level (400~700 hPa)	NWP	17500	5.97	6.88	-0.18	5.19
	Sonde	90	7.08	8.27	-1.22	5.41
Low level (700hPa~1000)	NWP	—	—	—	—	—
	Sonde	—	—	—	—	—
WV (7.3 μm)						
All level (~1000hPa)	NWP	690465	4.34	5.34	0.38	3.94
	Sonde	26799	4.75	5.86	0.15	4.32
High level (~400hPa)	NWP	627160	4.21	5.19	0.38	3.81
	Sonde	26279	4.73	5.83	0.15	4.3
Mid level (400~700 hPa)	NWP	63305	5.64	6.64	0.38	5.07
	Sonde	520	5.87	7.17	0.14	5.3
Low level (700hPa~1000)	NWP	—	—	—	—	—
	Sonde	—	—	—	—	—
WV (10.4 μm)						
All level (~1000hPa)	NWP	1547933	3.57	4.47	-0.11	3.29
	Sonde	33358	4.69	5.8	-0.3	4.28
High level (~400hPa)	NWP	717170	4.13	5.09	0	3.75
	Sonde	28321	4.75	5.86	-0.34	4.34
Mid level (400~700 hPa)	NWP	310023	4.07	5	-0.38	3.81
	Sonde	2900	4.85	6.03	0.07	4.4
Low level (700hPa~1000)	NWP	520740	2.5	2.97	-0.11	2.05
	Sonde	2137	3.63	4.62	-0.36	3.18
IR (11.2 μm)						
All level (~1000hPa)	NWP	1529909	3.6	4.51	-0.06	3.32
	Sonde	33224	4.69	5.81	-0.23	4.29
High level (~400hPa)	NWP	725055	4.15	5.11	0.09	3.77
	Sonde	28450	4.75	5.86	-0.26	4.33
Mid level (400~700 hPa)	NWP	300551	4.11	5.04	-0.33	3.85
	Sonde	2793	4.87	6.04	0.08	4.46
Low level (700hPa~1000)	NWP	504303	2.52	2.98	-0.12	2.06
	Sonde	1981	3.68	4.66	-0.32	3.24

표 10. GK-2A 청천표적 대기운동벡터 검증 결과(QI ≥ 0.85).

		Sample	MVD	RMSVD	Bias	RMSE
WV (6.2 μm)						
All level (~1000hPa)	NWP	250070	4.06	4.98	0.38	3.75
	Sonde	9112	5.11	6.38	-0.25	4.81
High level (~400hPa)	NWP	250070	4.06	4.98	0.38	3.75
	Sonde	9112	5.11	6.38	-0.25	4.81
Mid level (400~700 hPa)	NWP	—	—	—	—	—
	Sonde	—	—	—	—	—
Low level (700hPa~1000)	NWP	—	—	—	—	—
	Sonde	—	—	—	—	—
WV (7.0 μm)						
All level (~1000hPa)	NWP	190710	3.68	4.58	0.59	3.54
	Sonde	4651	5.22	6.61	-0.05	4.89
High level (~400hPa)	NWP	146628	3.6	4.52	0.76	3.5
	Sonde	4314	5.23	6.6	0.02	4.88
Mid level (400~700 hPa)	NWP	44082	3.93	4.8	0.03	3.69
	Sonde	337	5.05	6.64	-0.87	5.09
Low level (700hPa~1000)	NWP	—	—	—	—	—
	Sonde	—	—	—	—	—
WV (7.3 μm)						
All level (~1000hPa)	NWP	50167	2.76	3.44	0.32	2.61
	Sonde	901	3.63	4.34	-0.57	3.38
High level (~400hPa)	NWP	10391	3.13	3.92	0.49	3.03
	Sonde	256	4.25	5.08	-0.58	3.98
Mid level (400~700 hPa)	NWP	39776	2.66	3.3	0.27	2.48
	Sonde	645	3.38	4.01	-0.56	3.12
Low level (700hPa~1000)	NWP	—	—	—	—	—
	Sonde	—	—	—	—	—

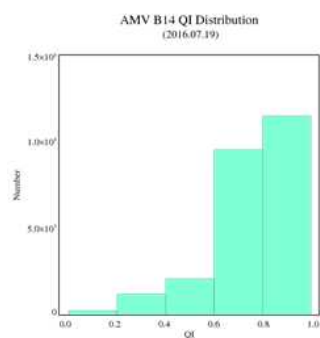
표 12는 구름표적 대기운동벡터의 고도할당 방법에 따른 검증결과(QI>0.85)이다. 검증은 2016년 7월 1~7일(1시간 간격) 기간에 대해 실시되었다. 고도할당 방법에 관계없이 모든 검증 수치가 사용자 요구사항을 만족하였으며, EBBT&IR/WV 방법이 가장 좋은 결과를 보여주었다. 또한 고도할당 방법에 관계없이 QI 값이 높은 벡터의 개수가 더 많이 산출되는 QI 분포를 보여주었다(그림 22). 그러나 타 산출물인 운정고도(CTP)를 사용하는 CCC 방법은 모든 층, 모든 위도에 대하여 양의 편의를 나타내었으며(그림 23a, 그림 24a), 이것은 고도가 실제 구름의 위치보다 낮게 할당되고 있음을 뜻한다. CCC 방법은 사용되는 CTP의 품질에 많은 영향을 받으므로, 향후 CTP 산출물의 높은 정확도가 요구된다. EBBT 방법은 고도를 실제 고도보다 낮게 할당하는 경향이 있고(그림 23d, 그림 24d), IR/WV intercept 방법은 상층의 벡터만 할당한다(그림 23e, 그림 24e). 이 두 방법의 단점을 보완하는 하층(500 hPa 이하)에서는 EBBT 방법을 사용하고, 중상층(500 hPa 이상)에서는 IR/WV intercept 방법을 사용하는 고도할당 방법은 다른 방법과 비교했을 때

모든 층과 위도에 대하여 가장 좋은 검증 수치를 보여주었다(그림 23b, 그림 24b). 새롭게 추가된 CO2 채널을 이용한 고도할당방법은 EBBT&IR/WV 방법과 어느 정도 유사한 검증결과를 보인다. 특히 중층에서 가장 뛰어난 검증 수치를 보여주고 있지만, 상층에서는 고도가 너무 높게 할당되어 큰 음의 편의를 나타내었다(그림 23c, f, 그림 24c, f).

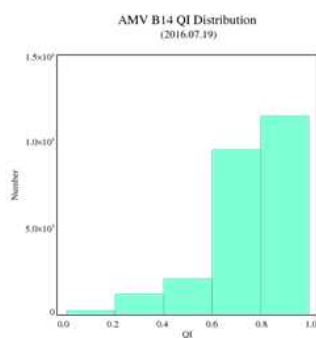
표 11. 2016년 7월 1~7일 기간의 GK-2A AMV 고도할당 방법별 통계검증결과(QI≥0.85).

NWP(GDAPS N768)						
	EBBT & IR/WV	EBBT & CO2	CCC	EBBT	IR/WV	CO2
Count	1032997	939254	657325	927456	556149	796970
MVD	3.12	3.23	3.39	3.2	3.66	3.35
RMSVD	3.69	3.84	4.11	3.83	4.3	3.97
Bias	-0.23	-0.50	-0.07	-0.3	-0.2	-0.4
RMSE	2.70	2.83	2.99	2.81	3.15	2.89
Sonde						
	EBBT & IR/WV	EBBT & CO2	CCC	EBBT	IR/WV	CO2
Count	17702	17345	10960	15836	15027	16189
MVD	4.71	5.05	5.36	4.95	4.89	4.86
RMSVD	5.71	6.14	6.49	5.97	5.88	5.86
Bias	-0.67	-1.09	-0.48	-0.91	-0.63	-0.84
RMSE	4.35	4.64	4.76	4.53	4.52	4.43

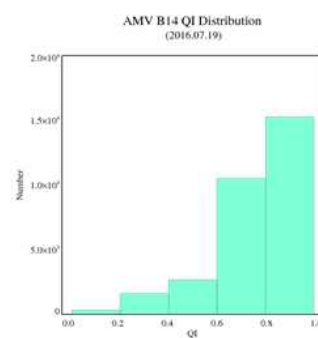
(a) CCC



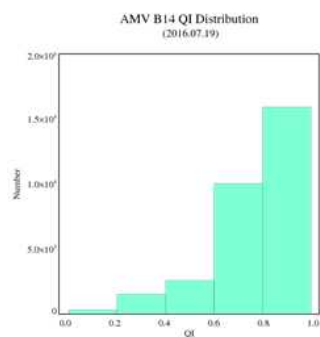
(b) EBBT&IR/WV



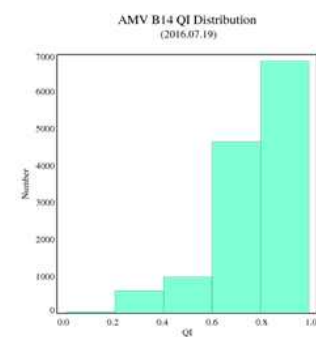
(c) EBBT&CO2



(d) EBBT



(e) IR&WV



(f) CO2 slicing

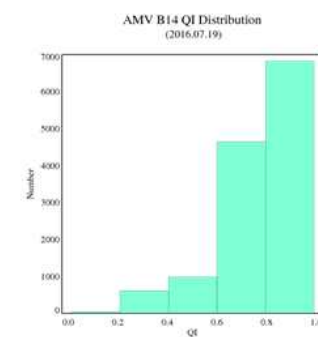
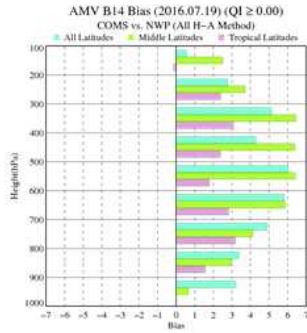
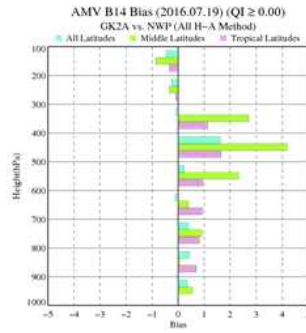


그림 22. 고도할당 방법에 따른 11.2 μm 채널 대기운동벡터 QI 분포도(2016. 07. 19.)

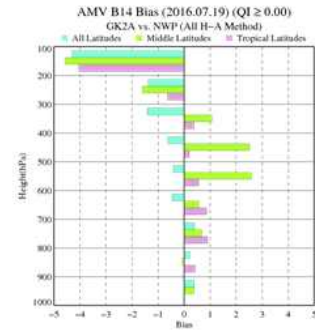
(a) CCC



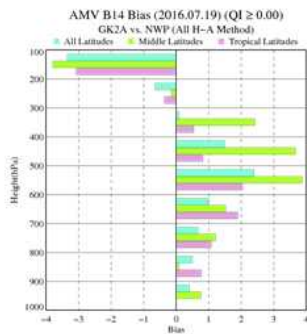
(b) EBBT&IR/WV



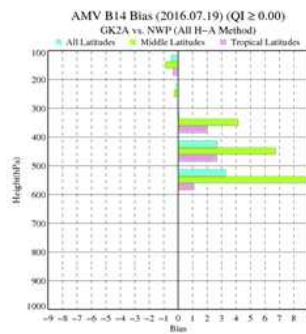
(c) EBBT&CO2



(d) EBBT



(e) IR&WV



(f) CO2 slicing

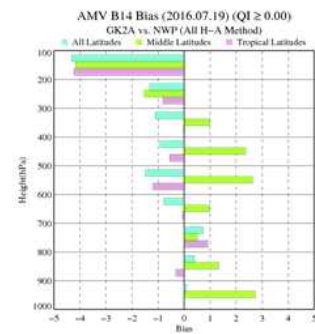
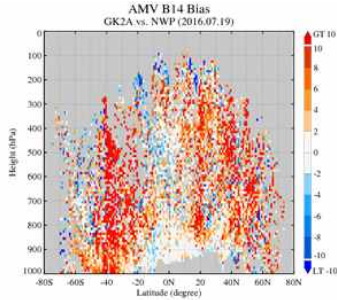
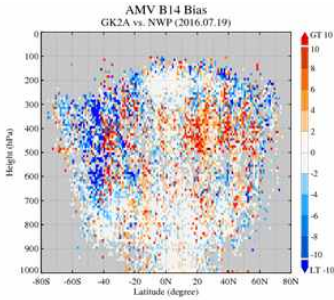


그림 23. 11.2 μm 채널 대기운동벡터 ($QI \geq 0.00$)의 고도할당 방법에 따른 고도별 편의 (bias) (2016. 07. 19.).

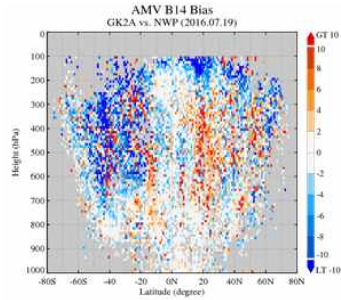
(a) CCC



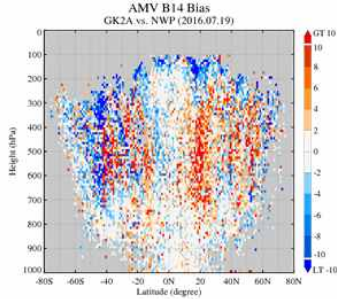
(b) EBBT&IR/WV



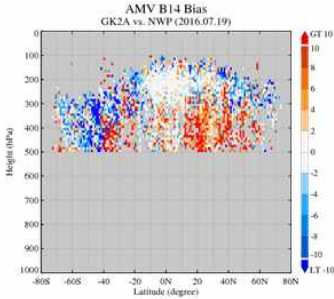
(c) EBBT&CO2



(d) EBBT



(e) IR&WV



(f) CO2

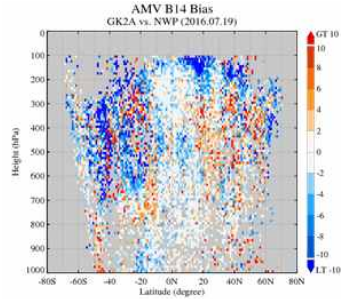


그림 24. 11.2 μm 채널 대기운동벡터 ($QI \geq 0.00$)의 고도할당 방법에 따른 고도별, 위도별 편의(bias) 분포(2016. 07. 19.).

6. 문제점 및 고려사항

6.1. 고도할당 알고리즘의 한계

대기운동벡터 알고리즘은 구름의 고도정보에 따라 정확도에 영향을 받는다. 벡터의 속도 및 방향을 정확히 산출하더라도, 해당 벡터의 고도를 잘못 할당하면 전혀 다른 존재 및 모델자료와 검증이 이루어지게 된다. 따라서 대기운동벡터 알고리즘은 입력되는 고도 자료에 따라 정확도가 좌우된다. 또한 복사전달모델을 사용하여 고도를 할당하는 경우, 위성에서 관측된 적외 및 수증기 채널 밝기온도와 복사모델에 의해 계산된 밝기온도를 비교하여 고도를 할당하기 때문에 복사모델의 입력자료로 사용되는 수치모델의 온/습도자료 및 복사모델 자체의 정확도에 영향을 받는다.

6.2. 구름 화소 선정에 따른 한계

하나의 표적에서 다층 구름이 존재하거나 여러 개의 조각구름이 존재하는 경우 벡터 산출이 어렵다. 그리고 발달하는 대류운, 태풍 등과 같은 경우 구름의 형상이 변하기 때문에 발달하거나 소멸하는 구름을 판단하여 제거해야 한다.

7. 향후 계획

대기운동벡터의 정확도는 입력되는 구름의 고도 정보에 의존적이다. 따라서 GK-2A 구름정보(특히, 운정기압) 개발팀과 연계하여 알고리즘 개발을 진행할 계획이다. 또한 표적영역 크기 및 각 고도할당 방법에 대한 민감도 검사를 실시하여 최적의 표적영역 크기와 고도할당 방법을 찾을 것이다.

8. 참고문헌

- Berger H., Velden C., Wanzong S., and Daniels J. (2008), “Assessing the ‘expected error’ as a potential new quality indicator for atmospheric motion vectors,” Proceedings of the 9th International Winds Workshop, Annapolis, MD, USA.
- Borde R., De Smet A., and Arriaga A. (2004), “Height assignment of atmospheric motion vectors with Meteosat 8,” The International Society for Optical Engineering.
- Borde R. and Arriaga A. (2004), “Atmospheric motion vectors height assignment techniques with Meteosat 8.”
- Borde R. (2006), “AMV Height assignment methods with Meteosat-8”
- Borde R., and Oyama R. (2008), “A direct link between feature tracking and height assignment of operational atmospheric motion vectors,” Proceedings of the Ninth International Winds Workshop, Annapolis, MD, USA.
- Borde R., and Dubuisson P. (2010), “Sensitivity of atmospheric motion vectors height assignment methods to semitransparent cloud properties using simulated Meteosat-8 radiances,” Journal of Applied Meteorology and Climatology, 49, 1205.
- Buche, G., Karbstein, H., Kummer, A., & Fischer, H. (2006), Water vapor structure displacements from cloud-free Meteosat scenes and their interpretation for the wind field. Journal of applied meteorology and climatology, 45(4), 556–575.
- Daniels J., Bresky W., Wanzong S., Velden C., and Berger H. (2012), “GOES-R Advanced Baseline Imager (ABI) Algorithm Theoretical Basis Document For Derived Motion Winds,” NOAA NESDIS STAR, v 2.5.
- EUMETSAT (2001), “Atmospheric Motion Vectors Product,” EUM/MSG/SPE/022, v5B.
- EUMETSAT (2011), “MTG-FCI: ATBD for Atmospheric Motion Vector Product,” EUM/MTG/DOC/10/0532, v2.
- EUMETSAT (2011), “EUM Report on Validation Campaign For AMVS Derived With The NWCSAF Portable AMV Software Package” 38.29, CGMS-39 EUM-WP-29, v1.
- Goerss, J. S. (2009), Impact of satellite observations on the tropical cyclone track forecasts of the navy operational global atmospheric

- prediction system. *Monthly Weather Review*, 137(1), 41–50.
- Holmlund K. (1998), The utilization of statistical properties of satellite –derived atmospheric motion vectors to derive quality indicators,” *Weather Forecasting*, 13, 1093–1104.
- Imai T., and Uesawa D. (2016), “Meteorological Satellite Center Technical Note,” No. 61.
- Key J. R., Santek D., and Velden C. S., “Atmospheric motion vector height assignment in the polar regions: issues and recommendations.”
- KMA (2012), “Atmospheric Motion Vector (AMV) Algorithm Theoretical Basis Document,” NMSC/SCI/ATBD/AMV, Issue 1, rev. 0.
- Le Marshall J., Pescod N., Seaman B., Mills G., and Stewart P. (1994), “An Operational System for Generating Cloud Drift Winds in the Australian Region and Their Impact on Numerical Weather Prediction,” *Journal of Weather Forecasting*, 9, 361–370.
- Le Marshall, J. F., Leslie, L. M., & Bennett, A. F. (1996), Tropical cyclone Beti—an example of the benefits of assimilating hourly satellite wind data. *Australian Meteorological Magazine*, 45(4), 275–279.
- Le Marshall J., Leslie L., Seecamp R., and Dunn M. (2004), Error characterization of atmospheric motion vectors. *Australian Meteorological Magazine* 53, 123–131.
- Nieman S. J., Menzel W. P., Hayden C. M., Gray D., Wanzong S. T., Velden C. S., and Daniels J. (1997), Fully automated cloud–drift winds in NESDIS operations,” *Bulletin of the American Meteorological Society*, Vol. 78, No. 6.
- NWC/SAF (2012), “High Resolution Winds,” Product User Manual, SAF/NWC/CDOP/INM/SCI/PUM/09, Issue 3, Rev. 2.
- Soden, B. J., Velden, C. S., & Tuleya, R. E. (2001), The impact of satellite winds on experimental GFDL hurricane model forecasts. *Monthly weather review*, 129(4), 835–852.
- Steven J. Nieman, Johannes Schmetz, W.Paul Menzel (1993), “A comparison of several techniques to assign heights to cloud tracers” , *Journal of Applied Meteorology*, Vol. 32, 1559–1568.
- Tokuno M. (1998), “Improvements in the method to extract operational cloud motion winds and water vapor motion wind of the GMS–5 system,” *Proceedings of the 5th International Winds Workshop*, Switzerland, 61–68.
- W. Paul Menzel, Richard A. Frey, Bryan A. Baum (2015), “Cloud top

- properties and cloud phase algorithm theoretical basis document”
- Xiao, Q., Zou, X., Pondeva, M., Shapiro, M. A., & Velden, C. (2002), Impact of GMS-5 and GOES-9 satellite-derived winds on the prediction of a NORPEX extratropical cyclone. *Monthly weather review*, 130(3), 507–528.
- Oyama R. (2010), “Upgrade of Atmospheric Motion Vector Derivation Algorithms at JMA/MSR”, METEOROLOGICAL SATELLITE CENTER TECHNICAL NOTE, No.54,
- Javier. G.-P., Borde R. (2014), “The Impact of the Tracer Size and the Temporal Gap between Images in the Extraction of Atmospheric Motion Vectors “, *JOURNAL OF ATMOSPHERIC AND OCEANIC TECHNOLOGY*, 31, 1761–1770.
- John S. and Christopher S. V. (2012), “Validation of Satellite-Derived Atmospheric Motion Vectors and Analyses around Tropical Disturbances “, *JOURNAL OF APPLIED METEOROLOGY AND CLIMATOLOGY*, 51, 1823–1833
- M. Cordoba, S. L. Dance, G. A. Kelly, N. K. Nichols and J. A. Waller (2017), “Diagnosing atmospheric motion vector observation errors for an operational high-resolution data assimilation system” , *Royal Meteorological Society*, 143, 333–341