

대기운동벡터  
알고리즘 기술 분석서

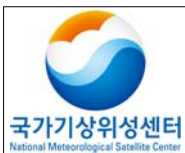
Code: NMSC/SCI/ATBD/AMV  
Issue: 1.0 Date:2012.12.21  
File: NMSC-SCI-ATBD-AMV\_v1.0.hwp  
Page: 30



**국가기상위성센터**  
National Meteorological Satellite Center

대기운동벡터  
(AMV: Atmospheric Motion Vector)  
알고리즘 기술 분석서  
(AMV-v1.0)

NMSC/SCI/ATBD/AMV, Issue 1, rev.0  
2012.12.12



대기운동벡터  
알고리즘 기술 분석서

Code: NMSC/SCI/ATBD/AMV  
Issue: 1.0 Date:2012.12.21  
File: NMSC-SCI-ATBD-AMV\_v1.0.hwp  
Page: 30

REPORT SIGNATURE TABLE

| Function      | Name | Signature | Date |
|---------------|------|-----------|------|
| Prepared by   |      |           |      |
| Reviewed by   |      |           |      |
| Authorised by |      |           |      |



대기운동벡터  
알고리즘 기술 분석서

Code: NMSC/SCI/ATBD/AMV  
Issue: 1.0 Date:2012.12.21  
File: NMSC-SCI-ATBD-AMV\_v1.0.hwp  
Page: 30

DOCUMENT CHANGE RECORD

| Version | Date | Pages | Changes |
|---------|------|-------|---------|
|         |      |       |         |

## 차 례

1. 개요
2. 배경 및 목적
  - 2.1. 대기운동벡터 산출 배경과 한계점
    - 2.1.1. 산출 배경
    - 2.1.2. 대기운동벡터 알고리즘의 한계점
  - 2.2. CMDPS 대기운동벡터의 중요성 및 활용
3. 알고리즘
  - 3.1. 이론적인 배경 및 근거(Theoretical Background)
  - 3.2. 산출 방법(Methodology)
    - 3.2.1. 표적 선정
    - 3.2.2. 벡터 산출
    - 3.2.3. 고도 할당
    - 3.2.4. 품질 정보
  - 3.3. 산출 과정
    - 3.3.1. 입력 자료(수치 모델 및 복사 모델 자료)
    - 3.3.2. 입력 자료(위성 영상 및 위성 산출물)
    - 3.3.3. 표적 선정을 위한 설정
    - 3.3.4. 품질 계수 산출 조정
    - 3.3.5. 출력 자료
  - 3.4. 검증
    - 3.4.1. 검증 방법
    - 3.4.2. 검증 자료
    - 3.4.3. 시공간일치 방법
    - 3.4.4. 검증 결과 분석
4. 산출 결과 해석 방법
5. 문제점 및 개선 가능성
6. 참고 문헌

## List of Tables

|           |  |
|-----------|--|
| Table. 1  | Coefficients for calculation of quality indicator  |
| Table. 2  | Image observation time of MTSAT-1R for production of 30-minutes-interval full-disk AMVs four times a day |
| Table. 3  | Example of set-up table for variable 'sat_time'(06 UTC AMV)  |
| Table. 4. | Output data for AMV module   |
| Table. 5  | Example of validation table  |

## List of Figures

- Fig. 3.1 Schematics for target and search area
- Fig. 3.2 Three (a) sampled images for derivation of target displacement and (b) schematic diagram of target tracking for wind vector estimation. The target area in reference image is moved around within the search area(many dotted line boxes) to calculate cross correlation and select the maximum cross correlation point(the solid line box in t1).
- Fig. 3.3 Flow chart of height assignment
- Fig. 3.4 Example showing the adjustment applied to the forward calculations of the water vapor channel TBBs when calculated and measured values disagree.
- Fig. 3.5 Measured TBBs within target area partially filled with clouds. The curve represents the forward calculations of TBBs for IR1 and water vapor channels for opaque clouds at different levels in the atmosphere.
- Fig. 3.6 Simulated water vapor channel emissivity of each layer (blue), and cumulative emissivity from cloud top to top of atmosphere (red).
- Fig. 3.7 Calculation of quality indicator
- Fig. 3.8 Flow chart of AMV production
- Fig. 3.9 COMS MI Observation and H\_LRIT Dissemination Schedule
- Fig. 3.10 Preparation of NWP and RTM data
- Fig. 3.11 Collocation numbers and Vector-RMSEs for each quality criteria
- Fig. 3.12 Flow chart of AMV validation using rawinsonde data
- Fig. 3.13 Sample images of AMVs for each channel (displayed only 25%)
- Fig. 3.14 Regional validation results for long-term AMVs

## List of Acronyms

|          |   |
|----------|---|
| AMV      | Atmospheric Motion Vector   |
| CGMS     | Coordination Group for Meteorological Satellites                        |
| COMS     | Communication, Ocean, and Meteorological Satellite                      |
| CMDPS    | COMS Meteorological Data Processing System                              |
| EBBT     | Equivalent Black Body Temperature                                       |
| EUMETSAT | European Organization for the Exploitation of Meteorological Satellites |
| GMS      | Geostationary Meteorological Satellite                                  |
| GOES     | Geostationary Operational Environmental Satellites                      |
| IWW      | International Wind Workshop   |
| MODIS    | Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer                           |
| MTSAT    | Multi-Functional Transport Satellite                                    |
| NESDIS   | National Environmental Satellite, Data and Information Service          |
| NTC      | Normalized Total Contribution   |
| NTCC     | Normalized Total Cumulative Contribution                                |
| OSSE     | Observing System Simulation Experiments                                 |
| QI       | Quality Indicator   |
| TBB      | Black Body Temperature  |
| WMO      | World Meteorological Organization                                       |

## 1. 개요

대기운동벡터(Atmospheric Motion Vector: AMV)는 위성 영상을 이용하여 산출되는 바람 자료로써 저위도 및 해양 등 관측 공백 지역을 포함한 위성 전 관측 영역에 대해 실시간으로 생산된다. 대기운동벡터는 기상 분석 및 예보 능력을 향상시키고 (Velden and Young 1994) 수치 예보 모델의 동화 자료로 사용되고 있으며 (LeMarshall et al, 1996 and Goerss et al. 1998, Solden et al. 2001, Xiao et al. 2002) 다양한 기상 응용 분야 (열대 저기압의 분석, 바람 쉬어 산출, 제트기류 위치 추적, Coastal gap wind의 분석 등) 에도 도움을 주고 있다(Rogers. E. et al., 1979, Velden, C. S. et al., 1992, Velden, C. S. et al., 1998, Velden, C. S. et al, 2005).

본 알고리즘은 통신해양기상위성(Communication, Ocean, and Meteorological Satellite; COMS)의 자료를 이용하여 기상 변수들을 생산하는 자료처리시스템(COMS Meteorological Data Processing System: CMDPS)에서 대기운동벡터의 생산을 담당한다. 관측되는 각 채널의 위성 영상을 이용하여 적외창 채널 (IR1:  $10.8\mu\text{m}$ ) 대기운동벡터, 수증기 채널 (WV;  $6.75\mu\text{m}$ ) 대기운동벡터, 단파적외 채널 (SWIR:  $3.75\mu\text{m}$ ) 대기운동벡터, 그리고 가시 채널 (VIS:  $0.65\mu\text{m}$ ) 대기운동벡터가 생산된다.

본 대기운동벡터 알고리즘은 표적 선정, 고도 할당, 벡터 산출, 품질 정보 생산의 4단계로 구성되어 있다. 벡터 산출의 안정성 확보를 위해 표적 선정을 최적화 한 후, 교차상관 방법에 의해 최대 상관계수 지점을 벡터 변위로 정의하여 벡터를 산출한다. 수치모델 온/습도 자료에 의해 생산된 복사 모의 값을 이용하여 벡터의 고도를 할당하였고, 유럽기상위성센터(European Organization for the Exploitation of Meteorological Satellites: EUMETSAT)에서 개발된 대기운동벡터 품질 검사 알고리즘에 따라 각 벡터들의 품질 정보를 생산하였다.

2장에서는 대기운동벡터 산출 연구의 배경과 한계점을 서술하였고, 3장에서는 본 사업에서 개발한 대기운동벡터의 알고리즘 및 산출 과정, 검증 관련 사항들을 상세히 기술하였다. 4장은 산출된 대기운동벡터의 결과 해석 방법을, 5장은 현 알고리즘의 문제점과 개선 가능성에 대해 설명하였다.



## 2. 배경 및 목적

### 2.1. 대기운동벡터 산출 배경과 한계점

#### 2.1.1. 산출 배경

대기운동벡터는 1960년대부터 모든 현업용 정지궤도 기상 위성 자료로부터 산출되어 왔는데(Hubert and Whitney, 1971), 오늘날 GOES (Geostationary Operational Environmental Satellites) 위성 시리즈와 유럽의 Meteosat 위성 그리고 과거 GMS (Geostationary Meteorological Satellite) 및 MTSAT(Multi-Functional Transport Satellite)에 이르기까지, 대기운동벡터의 산출 기술의 역사는 정지궤도 기상 위성의 역사와 거의 동일하다(Velden et al., 1997, 1998, Schemetz et al., 1993, Tokuno, 1996, LeMarshall et al., 1999).

미국 NESDIS(National Environmental Satellite, Data and Information Service)가 GOES-8/9 관측을 이용하여 완전히 자동화된 현업용 대기운동벡터를 산출한 이후(Nieman et al.,1997 and Velden et al., 1998), 폭 넓은 활용 및 국제적 기술 공유를 위하여 WMO(World Meteorological Organization)의 지원 아래 IWW(International Wind Workshop)가 1994년 이후 현재까지 아홉 차례 개최되어오고 있으며, 우리나라도 이에 적극 동참하고 있다.

과거 우리나라의 대기운동벡터는 Terascan 소프트웨어(SeaSpace Co.)에 내장된 부속 프로그램을 통해 산출되었다. 한 시간 간격의 GMS-5 위성 자료를 이용하여 동아시아 영역에서 산출되고, 고도 할당 및 품질 검사가 이루어졌으나 국내에서 자체적으로 개발된 알고리즘에 의한 기상 산출물이 되지는 못하였다. 그러나 통신해양기상위성(Communication, Ocean, and Meteorological Satellite: COMS)의 자료처리 시스템(COMS Meteorological Data Processing System: CMDPS) 개발 연구의 일환으로 2003년부터 대기운동벡터 산출 알고리즘을 개발해왔으며, 사업의 목적에 따라 다른 CMDPS 산출물과 함께 표준화된 현업용 대기운동벡터 모듈을 작성하게 되었다.

#### 2.1.2. 대기운동벡터 알고리즘의 한계점

- 위성 자료의 시공간적 관측 해상도에 기인하는 한계

대기운동벡터는 위성 자료의 시공간 분해능 및 분광 민감도의 개선에 따라 정확도 및 산출 밀도가 향상되어져 왔다(Velden et al., 2005).

대기운동벡터가 반영하는 대기 현상의 규모는 사용되는 위성 자료의 시공간적 해상도에 달려있다. 대기운동벡터는 주어진 시간(위성 영상 간의 관측 시각 차이)동안 구름이나 수증기 형상의 변화가 적어서 영상 이동의 추적이 가능하다는 가정 하에 이루어진다. 이러한

영상 추적의 특성상, 관측 시간 간격이 짧고 공간 분해능이 좋은 위성자료를 사용할수록 미세한 규모의 대기 현상을 더 잘 산출 할 수 있다.

● 수치 모델을 이용한 벡터 고도 할당 알고리즘의 한계

위성 자료로부터 산출되는 벡터의 고도는 수치 모델의 연직 온/습도자료에 의존한다. 현재 널리 보편적으로 사용하고 있는 고도 할당 알고리즘은 Equivalent Black-Body Temperature (EBBT) 방법으로, 위성에서 관측된 적외창 채널 휘도 온도와 복사 모델에 의해 계산된 휘도 온도를 비교하여 가장 잘 일치하는 고도를 벡터의 고도로 결정하는 방법이다. 따라서 대기운동벡터는 복사 모델의 입력 자료로 사용되는 수치 모델의 온/습도 예측장의 정확도에 영향을 받는다.

## 2.2. CMDPS 대기운동벡터의 중요성 및 활용

지상 관측은 해상 및 남반구 관측이 적고 공간적 밀도가 성기며 기상 조건이 악화되면 관측하기 어렵다는 약점이 있다. 이러한 지상 관측의 관측 공백을 메운다는 측면에서 위성 자료로부터의 대기운동벡터 산출은 큰 의미가 있다.

대기운동벡터의 가장 큰 활용 분야는 수치 예보 분야이다. 지역 및 전구 기상 모델의 동화 자료로 활용되어 예측성을 향상시키고 강우 강도 모의나 태풍 중심의 추적 등에 기여하고 있다. 대기운동벡터는 지상 관측에 비해 시공간적으로 비교적 균질한 바람장을 제공하여 대류 개시(Convection Initiation; CI)의 추적을 돕는 등 실황 예보 분야에서 유용하게 사용되고 있다.

● 수치 모델의 자료 동화에 활용

수치 예보 능력에 미치는 위성 산출물의 영향 평가는 일반적으로 OSSE (Observing System Simulation Experiments) 실험을 통해 이루어지는데, 다양한 연구들에서 대기운동벡터의 사용이 전구 모델의 예보 정확도를 뚜렷하게 향상시키고 있음을 보여주고 있다. 또한, 지역 모델을 이용한 강우 강도 모의 및 아열대 저기압 모의 연구에서는, 강우 강도의 분포, 저기압의 이동 등이 개선되었음이 알려져 있다(Cherubini et al., 2006).

● 열대성 저기압 경로 예보 활용

3차원 최적내삽법 및 4차원 자료동화기법을 사용한 대기운동벡터의 직접적 자료동화가 많은 연구에서 수행되어져 왔으며 (Velden et al., 1992, Goerss et al., 1998, Solden et al., 2001, Xiao et al., 2002) Velden et al.(1998)은 열대성 저기압(Tropical Cyclone) 추적 연구에 있어 대기운동벡터의 유용함을 밝혔다. Zhang and Wang(1999)은 분석된 바람장을 수정하여 비대칭 보거스 와도 자료를 만들 때 대기운동벡터를 이용하였으며, 이

방법을 통해 열대성 저기압의 경로 예보가 개선되었음을 보였다.

● **대류 개시 예보 활용**

위성의 적외채널 자료를 이용하여 대류운의 발달, 성장, 그리고 소멸 단계를 추적함으로써 낙뢰 및 강우 발생의 정보를 얻게 된다. 이때 시공간적으로 조밀한 위성자료의 활용은 대류운 추적의 정확도를 개선시켜 초단기 악천후 대응에 큰 도움이 되고 있다.

대기운동벡터를 이용할 경우, 레이더 관측보다 30~40분 빠른 대류운의 추적이 가능함이 알려져 있다(Mecikalski, J. R. et al, 2006).

### 3. 알고리즘

#### 3.1. 이론적인 배경 및 근거(Theoretical Background)

대기운동벡터는 일정 시간 간격으로 관측되는 연속적인 위성영상자료를 사용하여, 주어진 시간 동안 형상이 크게 변하지 않는 일정 크기의 2차원 표적의 이동을 통해 대기의 바람을 계산한다. 사람의 눈으로도 연속적인 위성 영상을 통해 구름의 이동 (적외창 및 가시 채널 영상) 및 수증기의 이동(수증기 채널 영상)을 파악할 수 있는데, 대기운동벡터는 이를 정량화, 자동화하여 계산하고 각각의 벡터에 품질 정보를 부여한다. 표적의 변위는 연속되는 영상과의 교차상관계수를 이용하여 계산되는데 유럽, 미국, 일본 등의 기상 위성 기관의 현업 대기운동벡터에서 이 방법을 널리 사용하고 있다. 영상 내 표적들의 변위가 결정되면 이를 위성 영상들 간의 관측 시각 차이로 나누어 벡터가 계산된다.

각각의 벡터에는 복사 모델의 복사 모의 결과를 이용하여 고도가 부여된다. 모든 채널의 벡터들은 EBBT(Equivalent Black-Body Temperature) 방법을 기본으로 고도가 할당되는데, 위성에서 관측된 적외창 채널 휘도 온도와 복사 모델에 의해 계산된 휘도 온도의 비교를 통해 이루어진다.

대기운동벡터는 일정 크기를 가지는 표적의 평균적인 움직임을 탐지하는 것이므로, 표적 내 위성 복사 관측들의 대푯값을 결정하고 이를 실제 대기의 연직 구조에 비추어 고도를 결정한다. 실시간으로 운영되는 현업용 대기운동벡터의 원활한 산출을 위해 수치 모델과 복사 모델을 통해 계산된 모의 결과들이 고도 할당에 사용되고 있다.

#### 3.2. 산출 방법(Methodology)

COMS 관측 일정과 CMDPS 대기운동벡터 산출 일정에 따라 생산되는 4개 채널의 대기운동벡터 중, 적외창 채널과 수증기 채널 대기운동벡터는 COMS 관측의 전 영역에 대해서 생산되지만 가시 채널 대기운동벡터는 관측 특성상 태양 천정각이 80° 보다 작은 낮 시간의 화소 영역에서만 산출한다. 단파적외 채널 대기운동벡터의 경우, 태양 빛의 산란 성분이 영향을 주지 않는 태양 천정각 100° 이상의 밤 영역에서만 산출한다.

대기운동벡터 산출은 벡터 추정 이외에 올바른 벡터 산출을 위한 표적 선정, 산출된 벡터의 고도 할당 및 복사모의 생산을 위한 전처리 과정과 품질 정보 제공을 위한 후처리 과정을 포함한다.

##### 3.2.1. 표적 선정

표적은 대기운동벡터를 산출하는 기본 단위로서, 위성 영상 내 일정 화소 크기의 정사각

형을 뜻한다. 본 알고리즘은  $24 \times 24$  화소 크기의 표적을 이용하는데, 표적의 크기가 변하면 관측되는 바람의 시공간적 규모가 달라질 수 있으므로 대기운동벡터 알고리즘 내 다른 과정들(산출 해상도, 고도 할당 시 참조하는 화소 비율 등)과의 일관성에 주의를 요한다.

대기운동벡터는 CMDPS 구름 탐지 알고리즘에 의해 생산된 실시간 구름 탐지 자료를 표적 분석에 이용한다. 표적이 10%(수증기채널: 80%) 이상의 구름 화소를 포함하는 경우는 구름 표적으로, 그렇지 않은 것들은 청천 표적으로 분류되는데, 적외창, 단파적외, 가시 채널 대기운동벡터는 구름 표적에서만 벡터를 계산하고 수증기 채널 대기운동벡터는 청천 표적과 구름 표적 모두에 대해 계산한다. 표적이 해양과 육지를 동시에 포함하는 경우에 구름 경계와 해안선을 혼동하여 벡터를 잘못 계산할 수 있으므로, 해안선이 포함된 표적을 계산하지 않도록 설정할 수 있다.

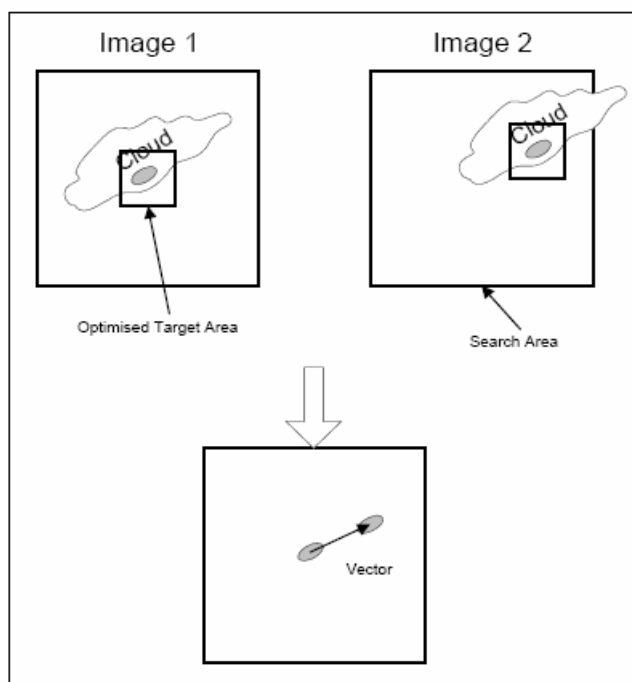


Fig. 3.1 Schematics for target and search area

### 3.2.2. 벡터 산출

표적이 선정되면 각 표적의 변위를 통해 벡터가 계산된다. 본 알고리즘에서는 표적의 변위를 계산할 때 교차상관계수(Cross-correlation)를 이용하는데 (Nieman et al., 1997, Búche et al., 2006) 표적과 가장 교차상관계수가 높은 다음 시각 영상에서의 위치를 변위로 결정한다. 교차상관계수를 구하는 다음 시각 영상의 영역을 추적 영역이라 하는데 추적 영역의 크기 및 중심 위치는 알고리즘 내에서 자동적으로 계산된다(3.2.4절 참

조).

교차상관계수가 계산되는 영역이 정사각형이고, 한 변의 화소 길이가 NT라면, 하나의 교차상관계수를 구하는데 사용되는 전체 화소수는  $(NT)^2$ 가 된다. 표적 내 화소의 위치를  $(i, j)$ 로 나타내고, 그에 대한 추적 영역 내 화소의 상대적인 위치를  $(m, n)$ 로 나타낸다면, 표적 영역과 추적 영역 내 위성 관측 값을 각각  $T_{i,j}$ 와  $S_{m+i,n+j}$ 로 나타낼 수 있다. 따라서 교차상관계수는 식 (3.2)과 같고, 이때 표적의 화소들이 추적 영역에 모두 포함되는 범위에서 계산이 이루어진다.

$$CC = \frac{E(T - \bar{T}) - E(S - \bar{S})}{\sigma_T \cdot \sigma_S} = \frac{E(T \cdot S) - E(T)E(S)}{\sigma_T \cdot \sigma_S} \quad (3.1)$$

$$CC_{T, S_{m,n}} = \frac{N^2_T \sum_i \sum_j T_{i,j} S_{m+i,n+j} - \sum_i \sum_j T_{i,j} \sum_i \sum_j S_{m+i,n+j}}{\sqrt{N^2_T \sum_i \sum_j T^2_{i,j} - (\sum_i \sum_j T_{i,j})^2} \sqrt{N^2_T \sum_i \sum_j S^2_{m+i,n+j} - (\sum_i \sum_j S_{m+i,n+j})^2}} \quad (3.2)$$

본 알고리즘에서는 벡터 산출을 위해 약 15분 또는 30분 간격의 시간차를 가지는 세 장의 위성 영상을 이용하게 되는데(Fig. 3.2), 이때 항상 두 번째 영상의 분석을 통해 표적이 결정되고, 첫 번째와 세 번째 영상 내에서 벡터 추적이 이루어진다. 첫 번째 영상과 두 번째 영상을 이용하여 생산된 벡터 1, 그리고 두 번째와 세 번째 영상을 이용하여 생산된 벡터 2의 단순 평균이 최종적으로 산출되는 벡터가 된다. 이러한 방법을 통해 비교적 안정적인 벡터 산출이 가능해지며, 벡터 1과 벡터 2의 일관성은 최종 벡터의 품질을 결정하는데 사용된다.

계산된 각 표적의 변위는 위성 관측 화소의 위/경도 정보를 통해 물리적인 거리로 전환되는데, 구면좌표계를 가정하여 식 3.3과 3.4에 의해 변위가 계산 된다( $\phi_1$ 과  $\theta_1$ 는 각각 표적 중심의 위도와 경도이고  $\phi_2$ 과  $\theta_2$ 는 추적 영역 내 최종 변위로 선택된 지점의 위/경도이다). 이렇게 벡터의 물리적 변위가 계산되면 이를 영상들의 관측 시각 차이로 나누어서 풍속/풍향 즉, 바람 벡터를 산출한다.

$$\Delta x = R_E (\theta_1 - \theta_2) \cos\left(\frac{\phi_1 + \phi_2}{2}\right) \quad (3.3)$$

$$\Delta y = R_E (\phi_1 - \phi_2) \quad (3.4)$$

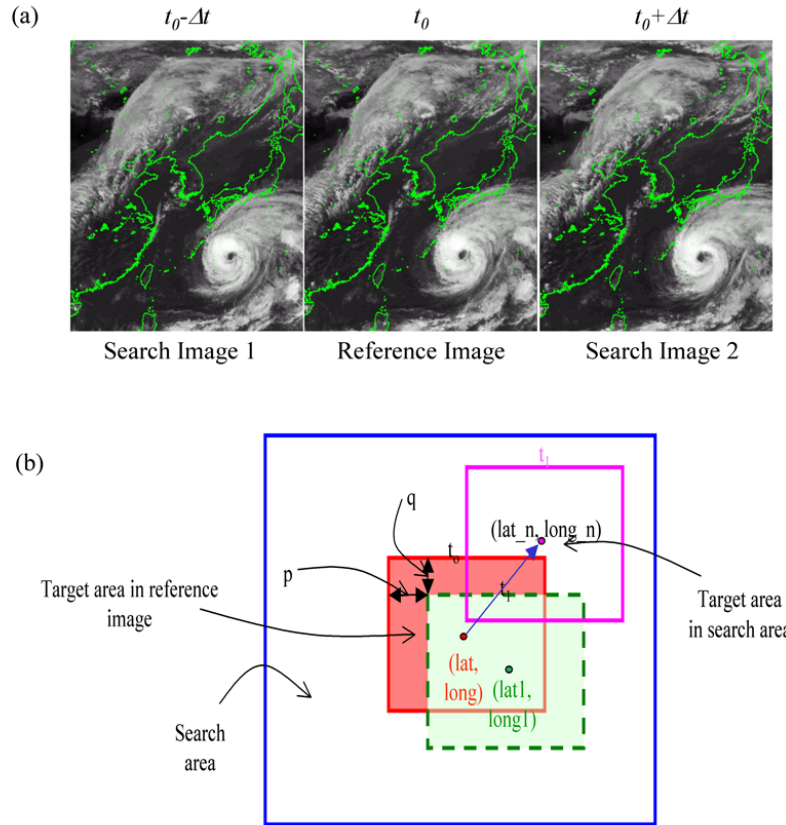


Fig. 3.2 Three (a) sampled images for derivation of target displacement and (b) schematic diagram of target tracking for wind vector estimation. The target area in reference image is moved around within the search area (many dotted line boxes) to calculate cross correlation and select the maximum cross correlation point (the solid line box in  $t_1$ ).

### 3.2.3. 고도 할당

벡터의 고도 할당은 대기운동벡터의 정확도를 결정하는 중요한 요소로서 세계적으로 활발한 연구가 진행되고 있는 부분이다. 대기운동벡터의 고도 할당 방법은 모든 대기운동벡터에서 기본적으로 사용하는 EBBT (Equivalent Black-Body Temperature) 방법, 수증기 채널 청천 표적 대기운동벡터에 대해서만 사용하는 NTC (Normalized Total Contribution) 방법과 NTCC (Normalized Total Cumulative Contribution) 방법이 있다. 한편, 적외선 채널 대기운동벡터에만 수행하는 반투명 구름 보정 (Semi-Transparent Correction) 방법과 IR/WV Intercept 방법이 있다 (Fig. 3.3).

고도 할당 이전에 두 가지 전처리 과정이 수행되는데, 수치 모델 연직 온도 분포를 이용하여 하부 역전층과 대류권계면을 결정하고 (모든 고도 할당은 하부 역전층과 대류권계

면 사이에서 이루어진다), 위성 관측 자료를 이용하여 수증기 채널의 청천 복사 모의를 보정한다. 적외창 채널, 단파적외 채널, 그리고 가시 채널 대기운동벡터의 경우에는 고도 할당 이후에 운저 고도 보정이 추가적으로 이루어진다.

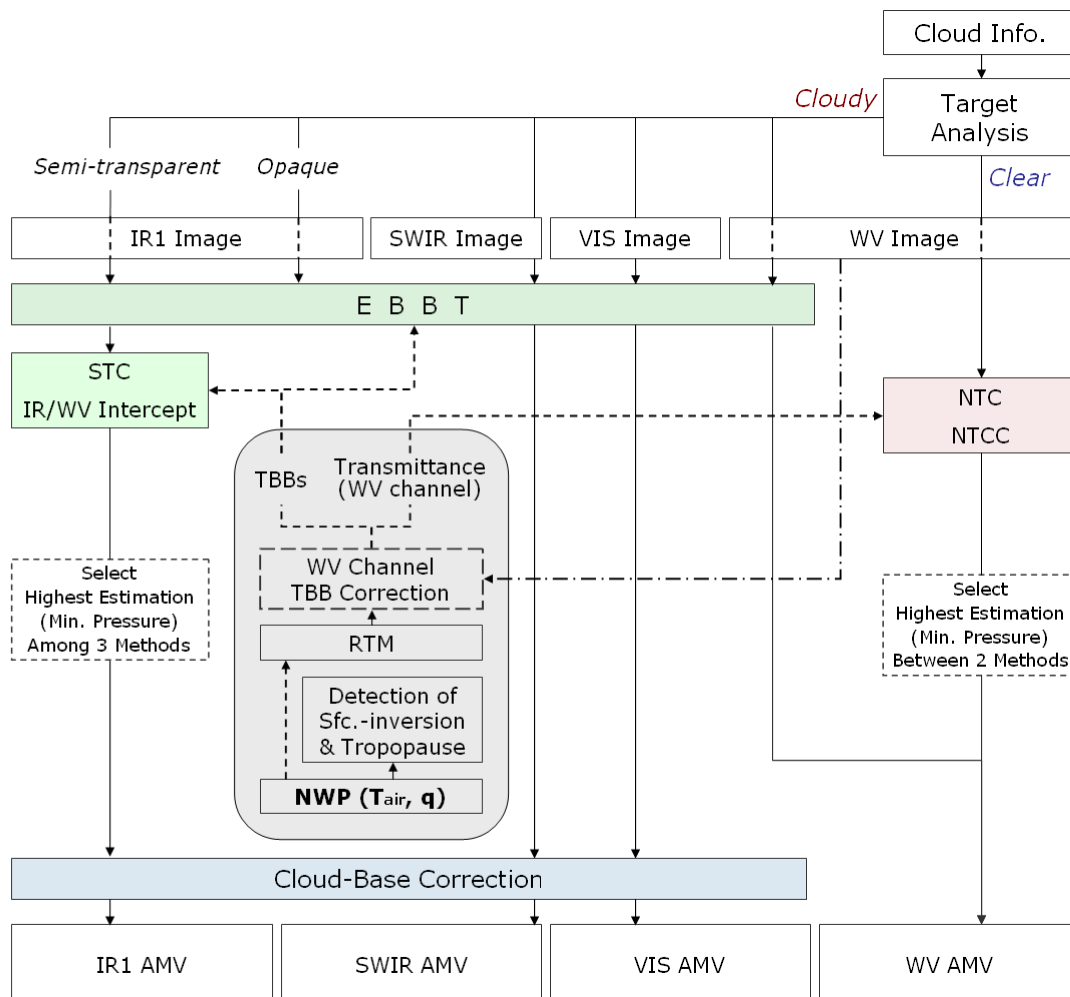


Fig. 3.3 Flow chart of height assignment

● 고도할당 전처리 과정

가. 하부 역전층과 대류권계면 결정

수치 모델 각 격자점의 연직 기온 자료를 이용하여 하부 역전층과 대류권계면을 탐지한다. 모든 채널의 대기운동벡터는 하부 역전층과 대류권계면 사이에서만 고도를 할당할 수 있다. 400 hPa 이상의 상층에서 양의 기온 감률이 나타나는 고도 바로 아래층을 대류권계면, 600 hPa 이하의 하층에서 양의 기온 감률이 나타나는 바로 위층을 하부 역전층으로 결정한다.

나. 수증기 채널의 휘도 온도 모의 보정



복사 모델이 모의한 청천 수증기 채널 휘도 온도가 표적 내 청천 화소들의 평균 수증기 채널 휘도 온도 보다 2 K 이상 작을 경우 수증기 채널의 복사 모의 값을 보정한다. 이때 고도에 따라 보정 폭을 달리하는데, 하부 역전층 이하의 모의 값은 위성이 관측한 청천 휘도 온도 평균으로 대체하고, 고도에 따라 점차 보정의 폭을 줄여서 대류권계면 보다 높은 곳에서는 보정이 이루어지지 않도록 한다(Fig. 3.4). 이러한 보정은 표적 내에 참조할 수 있는 청천 화소가 10개 이상일 때 수행할 수 있다.

복사 모델의 수증기 채널 청천 모의가 위성이 측정한 청천 휘도 온도보다 큰 경우에는 보정하지 않는데, 이는 부정확한 구름 탐지 자료로 인해 포함된 구름 오염 화소의 영향으로 청천 휘도 온도 평균이 낮게 측정될 수 있기 때문이다.

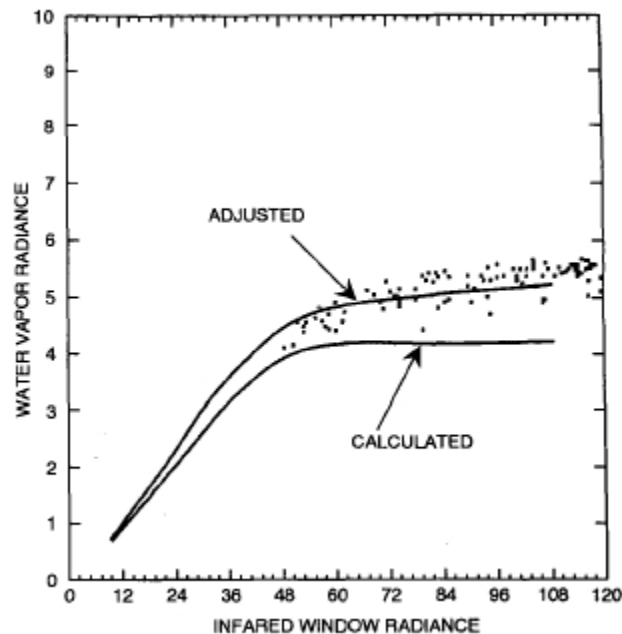


Fig. 3.4 Example showing the adjustment applied to the forward calculations of the water vapor channel TBBs when calculated and measured values disagree.

#### ● 청천 표적과 구름표적 분류

대기운동벡터는 적외, 수증기, 단파적외, 가시채널 중 수증기 채널을 제외한 3채널에서는 구름영역에서만 벡터를 산출하기 때문에 청천표적과 구름표적을 분류해야한다. 표적영역안의 격자점에서의 IR1채널의 휘도온도 값이  $-10^{\circ}\text{C}$  보다 작으면 구름화소로 정의하고 이러한 구름화소가 표적영역 속에 10%이상이면 구름표적으로 이하이면 청천표적으로 구분한다. 단, 수증기채널은 채널의 특성상 IR1채널의 휘도온도 값이  $-10^{\circ}\text{C}$  보다 작은 구름표적이 표적영역 속에 80% 이상일 때 구름표적으로 정의한다.

● 구름 표적 대기운동벡터의 고도할당

가. EBBT(Equivalent Black-Body Temperature) 방법

표적 내 적외 채널 휘도 온도 대푯값과 복사 모델의 연직 휘도 온도 모의 자료를 비교하여 고도를 할당하는 방법으로 모든 채널 대기운동벡터에 기본적으로 이용되는 방법이다. 전구 수치 모델의 예측 온/습도장을 입력으로 하여 모델 연직 각층에 두꺼운 구름이 존재한다고 가정하여 복사 모델을 수행한다.

표적의 대표 휘도 온도는, 적외창 채널 휘도 온도가 낮은 15% 화소들의 평균으로 정의된다. 표적 내 모든 구름 화소를 사용하지 않는 것은 교차상관계수를 이용한 벡터 계산 과정이 대부분 상층의 움직임에 반영하기 때문이다. 계산된 표적의 대표 휘도 온도와 가장 비슷한 복사 모의 값을 가지는 두 층의 모의를 선택하고, 두 개의 운정 고도를 휘도 온도를 기준으로 연직 내삽하여 고도를 결정한다.

적외창, 단파적외, 그리고 가시 채널 대기운동벡터는 모두 적외창 채널을 이용하여 EBBT를 수행하지만 수증기 채널 대기운동벡터는 수증기 채널 자료를 이용한다. 수증기 채널은 그 특성상 수적이나 빙상의 움직임이 아닌 중/상층의 수증기량을 관측하므로 수증기 영상을 이용한 벡터 산출은 중/상층 수증기의 움직임을 반영하게 된다. 수증기 채널 대기운동벡터에서 사용되는 EBBT 방법은 표적 내 모든 화소들을 이용한 평균을 대표 휘도 온도로 정의한다.

CMDPS 전처리 모듈에서 제공되는 복사 모의는 복사적으로 불투명한 구름들을 가정하여 수행되므로 반투명 구름이 지배적인 표적의 고도 할당에서는 EBBT 방법이 효과적이지 않을 수 있다. 특히 상층에 반투명한 층운이 존재할 때 위성의 적외창 채널은 구름 아래의 복사 방출까지 관측하므로, EBBT 방법에 의해 할당된 고도는 운정 고도보다 낮을 소지가 크다. 따라서 적외창 채널 대기운동벡터의 경우에 한해 두 가지 반투명 구름 보정 알고리즘을 조건적으로 수행한다.

나. IR/WV Intercept 방법

IR/WV Intercept 방법은 적외창 채널 대기운동벡터에서 반투명 구름 아래의 복사 효과를 보정해주는 역할을 한다.

단일 구름층에 대하여 상층 대류권 수증기에 영향을 받은 수증기 채널 복사 휘도와 적외창 채널 휘도 온도가 운량에 따라 선형적인 관계를 가짐을 이용하여 구름 고도를 보정하는 방법으로 식 (3.5)을 이용한다.

$$\frac{R(WV) - R_{cl}(WV)}{R(IR1) - R_{cl}(IR1)} = \frac{N_{\varepsilon}(WV)[R_{op}(WV, P_c) - R_{cl}(WV)]}{N_{\varepsilon}(IR1)[R_{op}(IR1, P_c) - R_{cl}(IR1)]}$$

(3.5)

이때,  $R(WV)$ 와  $R(IR1)$ 은 표적 내 수증기 채널과 적외창 채널의 휘도 온도이며, 아래 첨자  $op$  와  $cl$ 은 각각 불투명 구름과 청천의 경우를 의미한다. 수증기 채널과 적외창 채널에서의 방출률  $N_c$ 을 거의 같다고 가정하면 식 (3.5)는 식 (3.6)과 같이 쓸 수 있다.

$$\frac{R(WV) - R_{cl}(WV)}{R(IR1) - R_{cl}(IR1)} = \frac{R_c(WV, P_c) - R_{cl}(WV)}{R_c(IR1, P_c) - R_{cl}(IR1)} \quad (3.6)$$

Fig. 3.5에서 빨간색 곡선은 각각 다른 운정 고도의 불투명 구름에 대해 모의된 적외창 채널 및 수증기 채널 휘도 온도 값을 이은 것이다. 파란색 선은 위성이 관측한 표적 내 적외창 채널 휘도 온도와 수증기 채널 휘도 온도의 선형 추세선이다. 이때 위성 관측 휘도 온도 직선과 불투명 구름에 대해 계산된 휘도 온도 곡선은 청천과 불투명 구름 영역에서 교차하게 되는데, 반투명 구름의 고도는 표적 내 휘도 온도에 대한 추세선을 확장하여 계산된 휘도 온도 곡선과의 교점을 찾음으로써 구할 수 있다.

표적 내에 존재하는 구름의 성질이 반투명인지를 결정하기 위해 경계값 검사를 수행하게 되는데, 선형 추세선을 구할 때 사용되는 표적 내 적외창 채널 휘도 온도와 수증기 채널 휘도 온도의 선형상관계수가 0.8 이상인 경우 이를 반투명 구름 표적으로 간주한다.

IR/WV Intercept 방법에 의해 산출된 고도가 500 hPa보다 낮은 하층일 경우는 올바른 추정이 아니라고 생각되므로 사용하지 않는다.

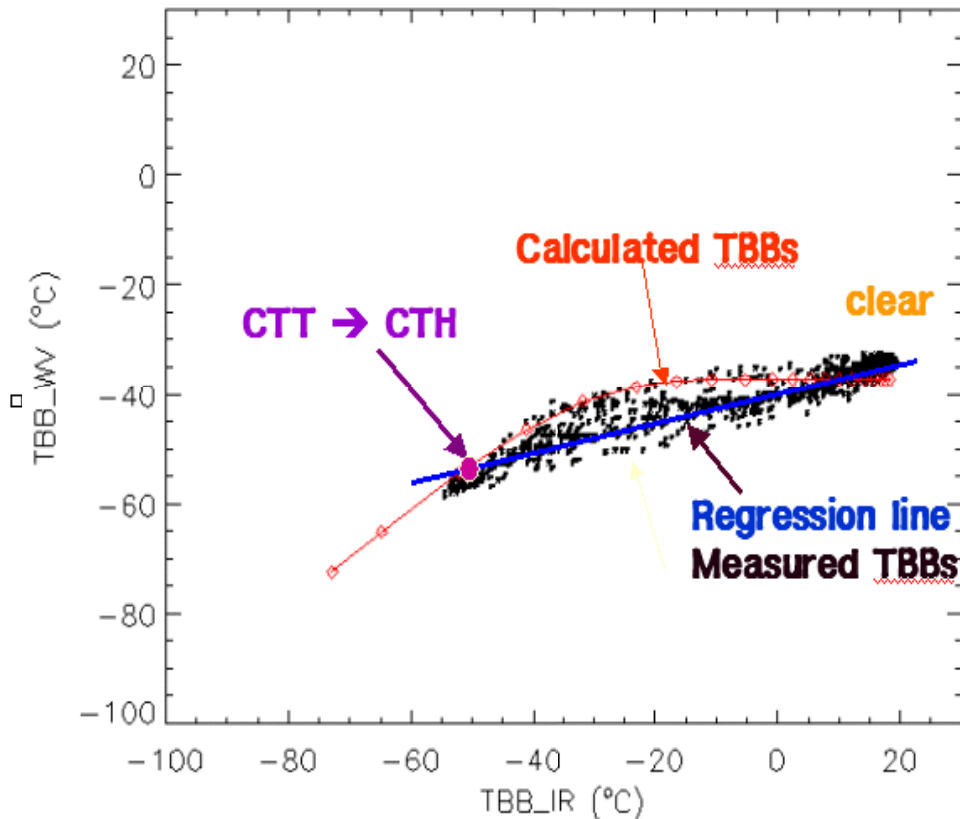


Fig. 3.5 Measured TBBs within target area partially filled with clouds. The curve represents the forward calculations of TBBs for IR1 and water vapor channels for opaque clouds at different levels in the atmosphere.

#### 다. STC (Semi-Transparent Correction) 방법

STC방법은 IR/WV Intercept 방법과 동일한 원리로 적외창 채널 대기운동벡터에서 반투명 구름의 고도를 계산한다. IR/WV Intercept 방법은 위성이 관측한 표적 내 모든 화소의 휘도 온도자료를 이용하여 선형 추세선을 구하는 반면, STC방법은 복사 모델의 청천 모의 값에 해당하는 점과 표적 내 위성이 관측한 구름 화소들의 평균 휘도 온도에 해당하는 점을 이은 직선으로 고도를 추정한다.

이 방법은 복사 모델의 청천 모의 값에 민감하기 때문에 표적 내에 20개 이상의 충분한 청천 화소가 있어서 수증기 채널의 모의 휘도온도를 보정할 수 있는 경우에만 수행된다. IR/WV Intercept 방법과 마찬가지로 표적 내에 존재하는 구름의 성질이 반투명인지를 결정하기 위해 경계 값 검사를 수행한다. 반투명 보정 방법에 의해 산출된 고도가 500hPa 보다 낮은 하층일 경우는 올바른 추정이 아니라고 생각되므로 사용하지 않는다.

- 청천 표적 대기운동벡터의 고도할당

청천 표적에서는 수증기 채널 대기운동벡터만 생산된다. 적외창 채널과 달리 수증기 채

널에서 관측되는 복사값은 대기의 여러 층에서 방출되는 상향 복사 값에 의해 결정되어지며, 보편적으로 400 hPa의 고도에서 가장 큰 가중치를 갖는다. 비록 건조한 지역이라 할지라도 대기 상층에 수증기가 어느 정도 존재한다면, 수증기 채널 대기운동벡터는 평균적으로 200 hPa에서 400 hPa 사이의 바람을 관측할 수 있다.

CMDPS 전처리 모듈에서 제공되는 복사 모의는 다양한 층의 불투명한 구름들을 가정하여 수행되는데, 이때 운정부터 대기 최상층 사이에 존재하는 대기의 수증기 채널 영역 방출률도 함께 계산된다. 운정이 바뀌면서 다양한 광학 두께의 대기에 대한 방출률이 산출되고, 그 중 중간 값의 방출률을 대기 두께의 대푯값으로 간주한다. 그러한 대푯값의 광학 두께에 해당하는 운정 고도를 청천 표적의 고도로 할당한다. 중간 값을 결정하는 방법에 따라 NTC(Normalized Total Contribution) 방법과 NTCC(Normalized Total Cumulative Contribution) 방법으로 나뉜다.

Fig. 3.6에서 가로축은 운정 고도에 해당하는 수치 모델의 층수를 나타낸다. 붉은 선은 각 층을 운정 고도로 했을 때 운정에서 대기 최상층까지의 방출률을 나타낸다. NTCC 방법은 운정에서 최상층까지 대기의 방출률이 0.5가 되는 운정 고도를 청천 수증기 채널의 대표 고도로 할당하는 방법이다.

붉은 선의 누적 방출률 값을 가로축에 대해 단순 미분하면 대기 각 층의 방출률을 계산할 수 있다(푸른 선). NTC 방법은 가장 높은 방출률, 즉 가장 광학 두께가 두꺼운 층을 대표 고도 할당하는 방법이다.

## ● 고도 할당 후처리 과정

### 가. 고도 결정

적외창 채널 대기운동벡터는 각각의 고도 할당 알고리즘(EBBT, IR/WV Intercept, STC 방법)에 의해 최대 세 개의 추정 값을 가지고, 청천 표적의 수증기 채널 벡터도 NTC와 NTCC 방법에 의해 두 개의 고도 추정 값을 가진다. 이들에 대해서는 항상 가장 높은 고도, 즉 기압이 가장 작은 추정 값을 최종 고도로 선택하게 되는데, 이는 교차상관계수를 이용한 벡터 산출 과정은 가장 높은 고도의 움직임 반영할 가능성이 크다는 사실에 근거한다.

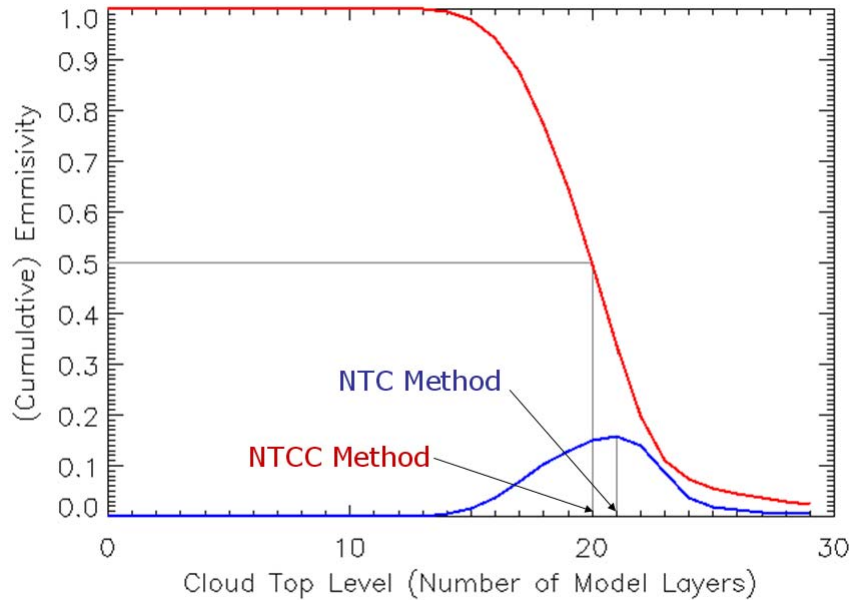


Fig. 3.6 Simulated water vapor channel emissivity of each layer (blue), and cumulative emissivity from cloud top to top of atmosphere (red).

#### 나. 운저 고도 보정

하층 적운은 운저(Cloud Base)의 속도로 움직인다는 사실에 근거하여 650 hPa 보다 낮은 하층에 백터가 할당된 모든 백터에 대해서 운저 보정이 이루어진다. 운저 고도 보정을 위해 운저 온도 추정하는데 이는 표적의 적외창 채널 대표 휘도 온도에 표적 내 휘도 온도의 표준편차 곱하기  $\sqrt{2}$ 를 더하여 계산된다. 이 운저 온도를 복사 모델의 적외 채널 모의 자료를 이용하여(EBBT와 동일한 방법으로) 계산한 고도가 하층 백터의 최종 고도가 된다.

대기 중/상층의 움직임을 관측하는 수증기 채널 대기운동벡터의 경우는 운저 고도 보정이 이루어지지 않는다.

#### 3.2.4. 백터 추적 영역의 동적 결정

백터를 추정하기 위해서는 표적과의 교차상관계수를 구하기 위한 추적 영역이 필요하다. 추적 영역의 크기는 대기운동벡터가 관측할 수 있는 최대 풍속을 결정한다. 만약  $80 \times 80$  화소 크기의 추적 영역을 사용한다면,  $24 \times 24$  화소 크기의 표적은 동서로 28 화소만큼 움직일 수 있고, 이는 4 km 해상도의 15분 간격의 영상들을 이용하는 본 알고리즘의 경우, 위성 직하점에서 약 124 m/s 정도의 풍속을 관측할 수 있는 크기에 해당한다. 추적 영역의 크기가 작아지면 강한 바람이 부는 경우에 잘못된 백터를 산출하게 되고, 추적 영역이 커지

면 실제 변위와 무관한 위치에서 최대 교차상관계수가 나타날 확률이 커져서 벡터 산출의 안정성이 저하될 수 있다. 이 둘을 동시에 해소하여 벡터의 전반적 품질과 산출 안정성을 높이기 위하여 동적 추적 영역을 채택하였다.

표적의 위치가 결정되고 고도가 할당되면 수치 모델의 바람 자료를 이용하여 표적의 이동 위치를 예상할 수 있다. 표적의 중심을 예상 위치로 이동하여 벡터 추적을 하면, 작은 크기의 추적 영역으로도 큰 풍속의 바람을 관측할 수 있게 되고, 작은 풍속의 바람을 지나치게 큰 영역에서 추적하여 발생하는 추적 오류의 확률을 감소시킬 수 있다. 그러나 추적 영역을 지나치게 작게 설정하면 대기운동벡터가 전반적으로 수치 모델의 바람 예측과 유사해지거나 벡터 추적 오류가 발생할 가능성이 커지므로 주의해야 한다. 또한 고도 할당 알고리즘에서 고도를 잘못 추정할 경우에도 올바르게 않은 예상 위치에서 벡터 추적이 이루어져 오류가 발생하는 경우가 있다.

현재, 수치 모델 바람의 풍속이 20 m/s보다 작은 경우는 추적 영역의 중심을 이동하지 않으며, 추적 영역의 크기는 동서류, 남북류 모두 수치 모델의 바람장과 비교하여  $\pm 30\text{m/s}$ 의 관측 범위를 가지도록 설정되었다.

### 3.2.5. 품질 정보

최종적으로 계산된 벡터에 품질을 부여하는 과정으로, 본 알고리즘의 품질 정보는 EUMETSAT의 대기운동벡터에 적용된 방법(Holmlund, K.,1998)을 사용하고 있고 총 다섯 가지 검사를 통해 이루어진다(Fig. 3.7). 각각의 검사는 관측 바람장의 시공간적인 변동성을 고려하여 계산되는데 위성 관측의 시공간적 해상도가 바뀌면 그에 맞게 최적화할 수 있다.

품질 계수(Quality Indicator; QI) 산출을 위해 연속된 3개의 위성 영상에서 산출된 두 개의 벡터 간의 풍향 일관성(Temporal direction consistency), 풍속 일관성(Temporal speed consistency), 벡터 일관성(Temporal vector consistency)을 검사한다, 그리고 두 벡터의 단순 평균으로 계산되는 최종 벡터의 공간 균질성(Spatial vector consistency) 및 수치 모델 바람 자료와의 일관성(Temporal forecast consistency)을 검사한다. 각각의 검사는 0에서 1사이의 값으로 품질을 나타내고 이들의 가중 평균이 최종 품질 계수가 되는데, 이때 공간 균질성에 대한 가중값은 2, 나머지 요소들에 대한 가중값은 1로 두어 산출한다.

평균 풍속이 2.5 m/s보다 작은 벡터는 정확도가 떨어진다고 판단되므로 풍속 곱하기 0.4를 곱해서 최종 품질 계수 값을 낮춰준다. 상층 바람을 관측하는 수증기 채널 대기운동벡터의 고도가 400 hPa 보다 낮은 경우, 400 hPa와의 연직 거리의 제공에 비례하여 품질 계수를 낮춰주어서 500 hPa 이하의 모든 하층 벡터들은 0의 품질 계수를 갖도록 한다. Table. 1은 현재 알고리즘에서 각 품질 함수들의 계수값들을 보여준다.

Table. 1 Coefficients for calculation of quality indicator

|                                |  |
|--------------------------------|--|
| Temporal direction consistency | $a_{tdc} = 20.$<br>$b_{tdc} = 10.$<br>$c_{tdc} = 10.$<br>$d_{tdc} = 4.$  |
| Temporal speed consistency     | $a_{tsc} = 0.2$<br>$b_{tsc} = 0.01$<br>$c_{tsc} = 1.$<br>$d_{tsc} = 2.5$ |
| Temporal vector consistency    | $a_{tvc} = 0.2$<br>$b_{tvc} = 0.01$<br>$c_{tvc} = 1.$<br>$d_{tvc} = 3.$  |
| Spatial vector consistency     | $a_{svc} = 0.2$<br>$b_{svc} = 0.01$<br>$c_{svc} = 1.$<br>$d_{svc} = 3.$  |
| Temporal forecast consistency  | $a_{tfc} = 0.2$<br>$b_{tfc} = 0.01$<br>$c_{tfc} = 1.$<br>$d_{tfc} = 3.$  |

### 3.3. 산출과정

본 절은 대기운동벡터를 실제로 산출하는데 필요한 기술적인 부분들에 관한 것으로, 운용 시 중요하게 생각거나 주의를 요하는 사항들을 중점적으로 다룬다. 대기운동벡터 모듈의 기본적인 흐름은 Fig. 3.8과 같다.

#### 3.3.1. 입력 자료(수치 모델 및 복사 모델 자료)

전구 수치 모델의 결과는 복사 모델의 입력 자료로, 또 대기운동벡터의 품질 결정 및 동적 추적 영역의 결정에도 사용되고 있다. 복사 모의는 적지 않은 계산량을 필요로 하므로 위성 영상이 수신되기 이전에 전처리 단계에서 이를 준비하고 있다. 수치 모델 변수 중 기온, 습도, 바람, 그리고 기압이 사용되고, 복사 모의 결과 중 각 적외채널 휘도 온도와 수증기 채널의 방출률이 사용된다.

수치 모델 자료는 전구 모델의 표준 시각(00,06,12,18 UTC)의 예보장을 사용하고, 복사 모델은 RTTOV(Radiative Transfer For {A} TOVS)을 사용한다.

RTTOV은 43개의 등압면(1013 - 0.1 hPa)을 기준으로 적분을 수행하므로 GDAPS의 연직 기온, 습도 자료를 이에 맞게 내/외삽하여 복사 모델의 초기 입력 자료를 만든다. 사용되는 전구 모델의 최상층 보다 높은 고도의 자료는 RTTOV에 내장된 기준 대기 자료를 토대로 만들어진다. GDAPS는 상층 수증기를 과다 모의하는 특징이 있어, 복사 모델을 수행



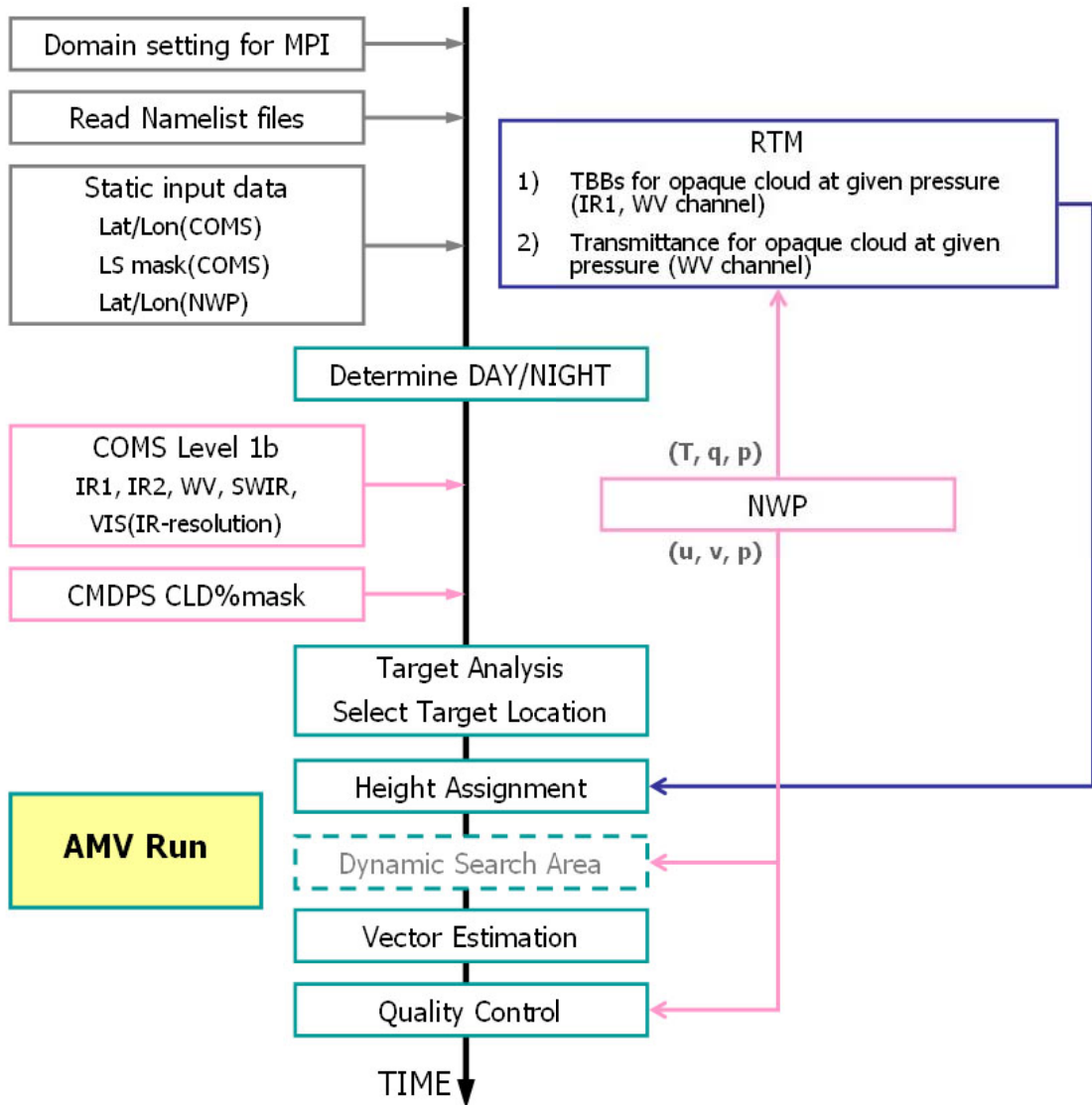


Fig. 3.8 Flow chart of AMV production

할 경우 오차가 커질 소지가 있다. 개발 과정에서 이의 효과를 최소화하기 위해 습도 자료는 대류권계면까지만 사용하고 그 이상의 고도는 기준 대기 자료를 토대로 변형하여 사용하였다.

수치 모델의 각 수평 격자에 대해 수치 모델의 연직 대류권 층 수 만큼의 복사 모의가 이루어진다. 각각의 모의는 모델의 각 층에 방출률이 1인 두꺼운 구름이 존재한다고 가정하는 것이다. 각 모의의 결과는 적외창 채널 휘도 온도, 수증기 채널 휘도 온도, 그리고 수증기 채널 영역의 대기 방출률인데, 가정한 구름층 보다 높은 대기만이 복사 모의에 고려된다.

수치 모델 자료와 복사 모델 자료는 대기운동벡터의 산출 시각에 맞게 시간 내삽 되고, 각 표적의 위치를 고려하여 공간 내삽 되는데, 이는 모두 대기운동벡터 알고리즘 내에서 이

루어진다. 공간 내삽은 대기운동벡터의 각 표적 중심을 둘러싼 4개 지점을 이용하고, 시간 내삽은 대기운동벡터의 해당 산출 시각을 끼고 있는 두 시간대의 자료를 이용한다.

수치 모델 및 복사 모델의 예측 시각 정보는 실행 설정 단계에서 자동적으로 Namelist 파일의 nwp\_time 변수에 입력된다.

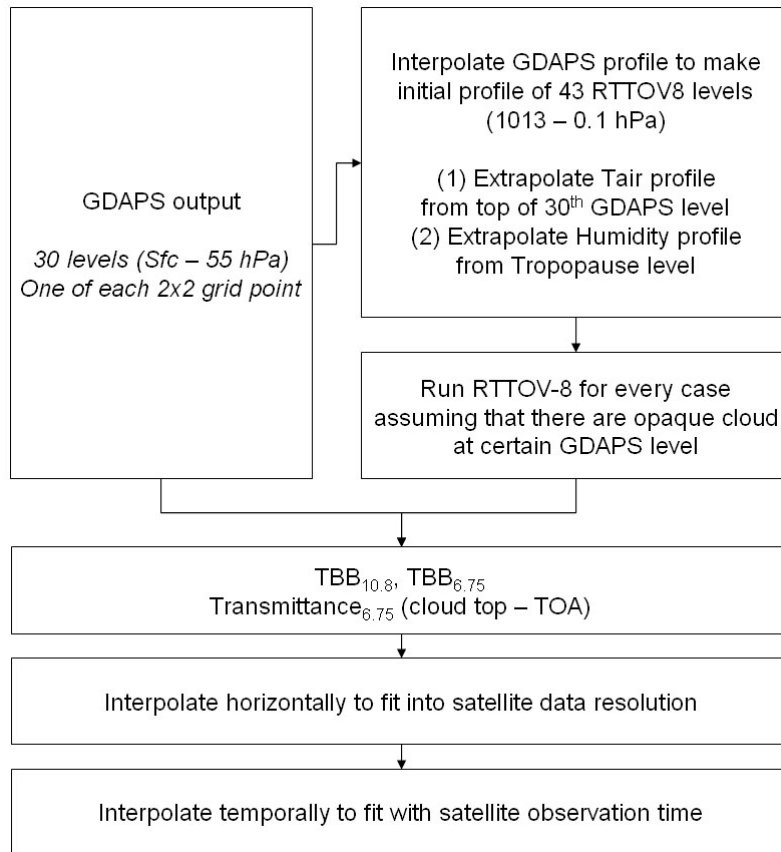


Fig. 3.10 Preparation of NWP and RTM data

### 3.3.2. 입력 자료 (위성 영상 및 위성 산출물)

대기운동벡터 산출을 위해서는 관측 시각을 알고 있는 세 장의 영상이 필요하다. 가시 채널 영상의 경우, 1 km 해상도를 가지는 원시 자료가 아닌 CMDPS가 제공하는 4 km 해상도의 자료를 사용한다. 필요한 영상 내 각 화소의 정보는 다음과 같다.

- digital count
- 휘도 온도(가시 채널의 경우 반사도)
- 관측 시각

- 주/야간 정보
- 위/경도 자료(정적 입력 자료)
- 해륙 정보(정적 입력 자료)
- 구름 탐지 정보(CMDPS 구름 탐지 결과)

하나의 벡터를 산출하기 위해서는 동일한 지점, 다른 시간대의 위성 관측 3개가 필요하다. COMS의 관측스케줄에 따라 매시간 마다 00분을 기준으로 전 후 15분 간격의 위성영상 자료 3장을 사용하여 벡터를 산출 하게 된다. 즉 매시간 45분, 00분, 15분의 3장의 영상을 사용하여 벡터를 산출한다. 하지만 02 UTC부터 3시간 간격으로 1일 8회의 전구영역 관측을 하는 시간대 에서는 추가로 전구영역의 영상자료를 사용하지 않고 30분, 45분, 00분의 3장의 위성영상 자료를 사용하여 북반구의 벡터를 산출한다.

대기운동벡터 산출을 위한 주/야간 판단, 구름 화소 판단, 표적 분석, 수치 모델 자료 및 복사 모델 자료의 시간 내삽 등은 세 장의 영상 중 두 번째 것의 영상 및 관측 시각을 기준으로 한다. 벡터의 크기를 계산하기 위해서는 두 영상의 관측 시각 차이 값이 필요하다. 신뢰할 만한 벡터 크기 산출을 위해서는 위성 각 화소의 측정 시각을 정확하게 알 필요가 있는데, COMS의 경우처럼 모든 관측 모드에서 동/서 폭이 일정한 자료만을 이용한다면 관측 시각 시각을 알면 모든 화소들의 영상 간 시간 차이를 알 수 있다.

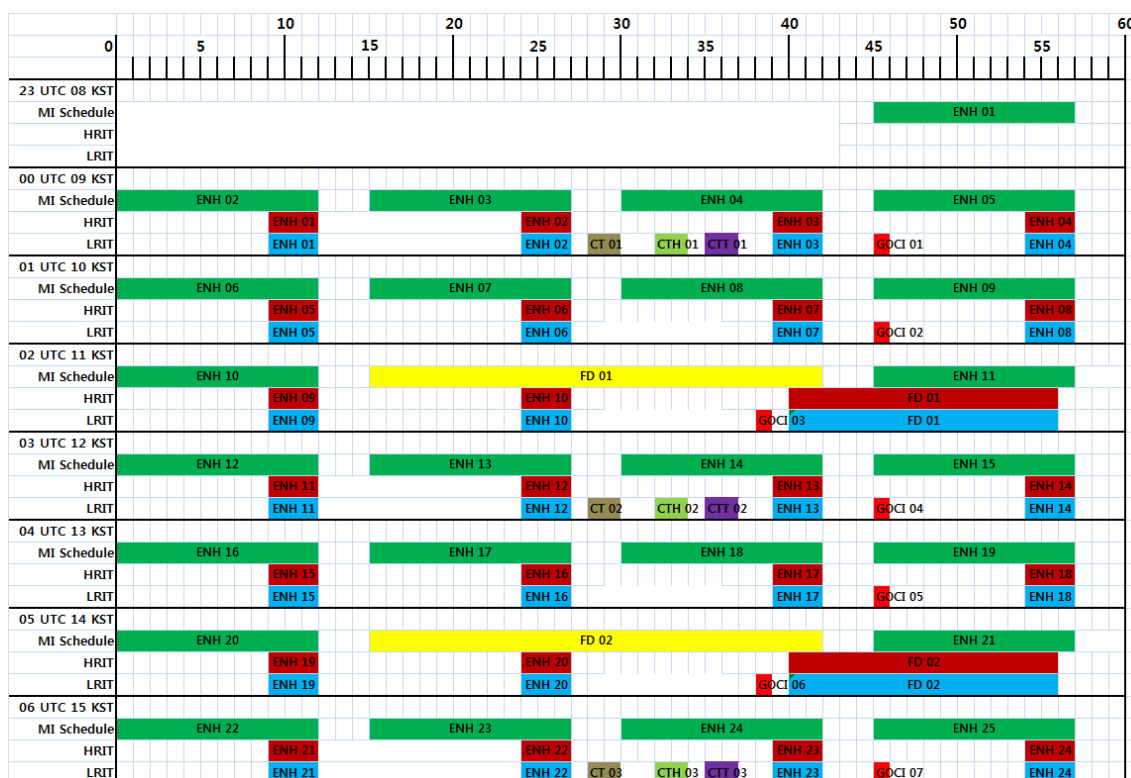


Fig. 3.9 COMS MI Observation and H\_LRIT Dissemination Schedule

구름 정보는 CMDPS 내의 구름 탐지 알고리즘에 의해 제공된다. 한 장의 반구 대기운동 벡터를 산출할 때 사용하는 위성 영상 세 장 중에 두 번째 시각에 해당하는 영상의 구름 탐지 결과를 필요로 한다.

대기운동벡터 모듈은 위/경도 자료와 관측 시각 정보를 고려하여 각 화소의 태양 천정각을 계산하는데, 가시 채널 대기운동벡터는 태양 천정각이  $80^\circ$  보다 작은 낮 시간의 화소 영역에서만, 단파적외 채널 대기운동벡터는  $100^\circ$  이상의 밤 영역에서만 산출한다.

### 3.3.3. 표적 선정을 위한 설정

표적(target)은 대기운동벡터 산출의 기본 단위이므로 표적의 속성에 따라 벡터 산출의 특징이 달라질 수 있으므로 주의를 요한다. 기본적인 표적의 속성들은 다음과 같다.

- 표적 영역 크기(ref\_range)
- 벡터 산출 해상도(grid\_vector)
- 표적 추출 화소 비율(sampling\_ratio)

현재 대기운동벡터 알고리즘은 (HRIT 자료 해상도를 기준으로) 표적 영역(ref\_range)은  $24 \times 24$  화소, 산출 해상도(grid\_vector)는  $12 \times 12$  화소로 조정되어있으며, 고도 할당 알고리즘 중 EBBT 방법은 표적 내 구름 화소 중 차가운 15%(sampling\_ratio) 화소들의 평균 적외장 채널 휘도 온도를 사용한다.

대기운동벡터를 산출하기에 적절하지 않은 표적은 다음 경계값들을 통해 산출에서 제외시킬 수 있다.

- 구름 화소의 비율(thr\_per\_cld)
- 육지/해양의 점유 비율(thr\_sel\_ls\_fraction)

표적 내 구름 화소의 비율이 경계값(thr\_per\_cld) 이하인 표적은 영상 추적에 적합하지 않다고 생각되므로 산출하지 않는다(현재 IR1,VIS,SWIR : 0.1, WV : 0.8로 설정되어 있다). 구름이 아닌 수증기의 흐름을 탐지하는 수증기 채널 대기운동벡터는 구름 존재 여부에 무관하게 산출되지만 고도 할당 시 청천 표적과 구름 표적을 구별하기 위해 구름 화소 비율 정보가 필요하다.

해안선이 포함된 표적은 해륙의 복사 대비 효과 때문에 올바른 벡터를 추정하지 못할 가능성이 있다. 표적 내 해양과 육지 중 주요한 부분의 비율이 경계값(thr\_sel\_ls\_fraction) 이하인 표적은 벡터를 산출하지 않게 할 수 있다.

### 3.3.4. 품질 정보 산출 조정

3.2.4절의 산출 방법에서 품질 정보 산출의 기본적인 개념을 설명하였다. 품질 계수 (Quality Indicator; QI) 산출을 위해 연속된 3개의 위성 영상에서 산출된 두 개의 벡터 간의 풍향 일관성(Temporal direction consistency), 풍속 일관성(Temporal speed consistency), 벡터 일관성(Temporal vector consistency)을 검사한다, 그리고 두 벡터의 단순 평균으로 계산되는 최종 벡터의 공간 균질성(Spatial vector consistency) 및 수치 모델 바람 자료와의 일관성(Temporal forecast consistency)을 검사한다. 각각의 검사는 0에서 1사이의 값으로 품질을 나타내고 이들의 가중 평균이 최종 품질 계수가 되는데, 이때 공간 균질성에 대한 가중값은 2, 나머지 요소들에 대한 가중값은 1로 두어 산출하는 것을 기본으로 한다. 품질 계수 결정에서 각각의 검사를 사용할지의 여부는 namelist의 `l_aqc_temporal_direction_cons`(풍향 일관성), `l_aqc_temporal_speed_cons`(풍속 일관성), `l_aqc_temporal_vector_cons`(벡터 일관성), `l_aqc_spatial_vector_cons`(공간 균질성), 그리고 `l_aqc_forecast_cons`(모델 바람 자료와의 일관성)의 논리 변수들을 설정함으로써 결정된다. 각 검사의 가중값을 의미하는 namelist 변수는 *CMDPS\_AMV\_Mod\_Postproc.F90* 파일에서 `aqc_tdc_w`, `aqc_tsc_w`, `aqc_tvc_w`, `aqc_svc_w`, 그리고 `aqc_tfc_w`이다.

### 3.3.5. 출력 자료

Table. 4는 최종적으로 산출되는 대기운동벡터 알고리즘의 결과 변수들과 속성이다. 연구 목적으로 다른 변수들을 출력하는 것도 가능하지만 기본적으로는 다음의 변수들만 생산된다.

Table. 4. Output data for AMV module

| OUTPUT DATA                                     |                       |      |     |     |      |     |       |
|---|-----------------------|------|-----|-----|------|-----|-------|
| Parameter                                       | Mnemonic              | Unit | Min | Max | Prec | Acc | Res   |
| SATELLITE IDENTIFIER                            | sat_id                | -    | -   | -   | -    | -   | pixel |
| IDENTIFICATION OF ORIGINATING/GENERATING CENTRE | id_org_gen_cen        | -    | -   | -   | -    | -   | pixel |
| SATELLITE CLASSIFICATION                        | sat_class             | -    | -   | -   | -    | -   | pixel |
| SEGMENT SIZE AT NADIR IN X DIRECTION            | seg_size_x            | -    | -   | -   | -    | -   | pixel |
| SEGMENT SIZE AT NADIR IN Y DIRECTION            | seg_size_y            | -    | -   | -   | -    | -   | pixel |
| YEAR  | sat_time_year2        | -    | -   | -   | -    | -   | pixel |
| MONTH   | sat_time_mon2         | -    | -   | -   | -    | -   | pixel |
| DAY   | sat_time_day2         | -    | -   | -   | -    | -   | pixel |
| HOUR  | sat_time_hour2        | -    | -   | -   | -    | -   | pixel |
| MINUTE  | sat_time_min2         | -    | -   | -   | -    | -   | pixel |
| SECOND  | sat_time_sec          | -    | -   | -   | -    | -   | pixel |
| LATITUDE  | opt_target_lat        | °    | -   | -   | -    | -   | pixel |
| LONGITUDE                                       | opt_target_lon        | °    | -   | -   | -    | -   | pixel |
| SATELLITE INSTRUMENT USED IN DATA PROCESSING(6) | sat_istr              | -    | -   | -   | -    | -   | pixel |
| SATELLITE DERIVED WIND COMPUTATION METHOD       | opt_target_amv_mth    | -    | -   | -   | -    | -   | pixel |
| PRESSURE  | pressure              | hPa  | -   | -   | -    | -   | pixel |
| WIND DIRECTION                                  | fnl_amv_wd3           | °    | -   | -   | -    | -   | pixel |
| WIND SPEED                                      | fnl_amv_ws3           | m/s  | -   | -   | -    | -   | pixel |
| SATELLITE CHANNEL CENTRE FREQUENCY              | sat_ch_cen_freq       | Hz   | -   | -   | -    | -   | pixel |
| SATELLITE CHANNEL BAND WIDTH                    | sat_ch_bnd_wdth       | Hz   | -   | -   | -    | -   | pixel |
| COLDEST CLUSTER TEMPERATURE                     | opt_target_cold_tem_p | K    | -   | -   | -    | -   | pixel |
| HEIGHT ASSIGNMENT METHOD                        | hgt_ass_mth           | -    | -   | -   | -    | -   | pixel |
| TRACER CORRELATION METHOD                       | tracer_corr_mth       | -    | -   | -   | -    | -   | pixel |
| LAND/SEA QUALIFIER                              | opt_target_lsmask     | -    | -   | -   | -    | -   | pixel |
| SATELLITE ZENITH ANGLE                          | opt_target_sat_zen    | °    | -   | -   | -    | -   | pixel |

### 3.4. 검증

#### 3.4.1. 검증방법

대기운동벡터의 검증은 라디오존데가 관측한 바람 자료와의 비교를 통해 이루어지는데 정확도 평가 시에는 품질 계수가 0.85 이상인 벡터들만을 이용하여 검증함을 기본으로 한다. 검증할 대기운동벡터의 품질 계수 수위는 자료 활용 분야에 따라 다르게 설정될 수 있고 작은 품질 계수를 가지는 벡터들까지 포함할 경우, 산출 벡터의 수는 늘어나지만 정확도는 감소한다. Fig 3.11의 막대그래프는 각 품질 계수 범위 내에 포함된 벡터의 개수이고, 꺾은선은 가로축의 품질 계수값 이상을 가지는 모든 벡터들의 정확도를 나타내고 있다.

정확도 평가 시, 라디오존데 풍속과  $30 \text{ ms}^{-1}$  이상 차이 나지 않으며, 풍향이  $90$  이상 차이가 나지 않는 벡터들만 검증 대상에 포함하는 것을 기본으로 한다. 검증지수는 다음과 같은데, 벡터-RMSE와 풍속-BIAS가 가장 중요한 검증지수가 된다. RMSE를 라디오존데 평균 풍속으로 나누어 표준화하면 다른 지역, 다른 계절에 대한 검증지수들 간의 비교도 가능하다.

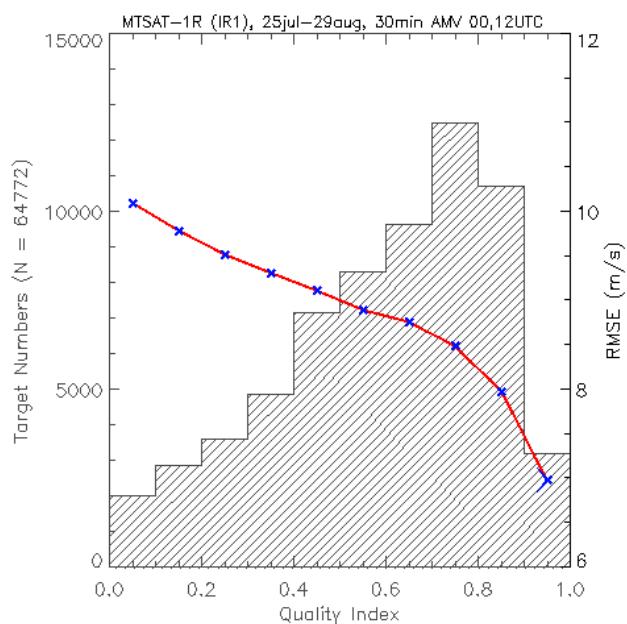


Fig. 3.11 Collocation numbers and Vector-RMSEs for each quality criteria

$$(MVD) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (VD)_i \quad (3.7)$$

$$(VD)_i = \sqrt{(U_i - U_r)^2 + (V_i - V_r)^2} \quad (3.8)$$

$$(SD) = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (VD)_i - (MVD)^2} \quad (3.9)$$

$$(RMSE)_i = \sqrt{(MVD)^2 + (SD)^2} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (VD)_i^2} \quad (3.10)$$

$$(BIAS)_i = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\sqrt{U_i^2 + V_i^2} - \sqrt{U_r^2 + V_r^2}) \quad (3.11)$$

### 3.4.2. 검증 자료

대기운동벡터의 검증에 사용하는 라디오존데 자료는, 위성 바람장 산출 영역 내의 모든 관측 바람 자료들을 대상으로 한다.

### 3.4.3. 시공간일치 방법

라디오존데 관측 시각을 기준으로 한 시간 이내에 산출된 위성 바람 중, 수평 150 km, 연직 25hPa 이내에 존재하는 모든 대기운동벡터를 라디오존데 바람 자료와 일대일로 비교하여 정확도를 산출한다.

### 3.4.4. 검증 결과 분석

대기운동벡터 알고리즘의 연구 및 검증을 위해 2012년 2월 한 달 간 산출한 결과, 품질 계수 0.85이상의 벡터들에 대해, RMSE는 약 3.83 m/s(관측 풍속으로 표준화 하면 약 0.20), Bias는 -0.73 m/s 정도의 값을 보였다. 벡터-RMSE와 풍속-Bias는 지역이나 계절적으로 변하는 풍계의 특성을 반영한다. 매월 수집되는 CGMS(Coordination Group for Meteorological Satellites)의 대기운동벡터 정확도 보고 역시, 위도 및 고도에 대한 검증 결과를 산출하여 배포되고 있다.



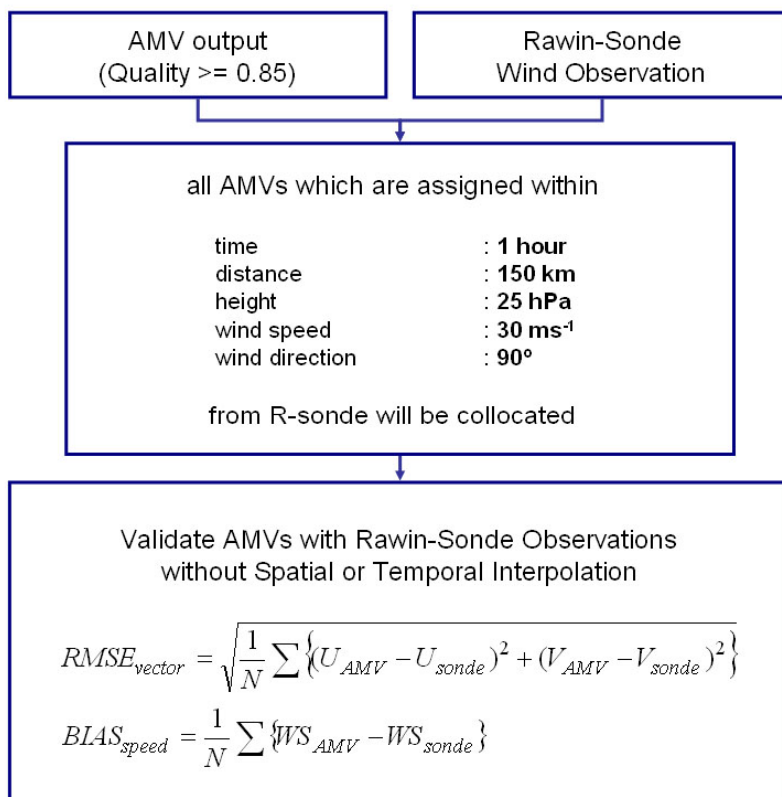


Fig. 3.12 Flow chart of AMV validation using rawinsonde data  
Table. 5 Example of validation table

|               |                       |
|---------------|-----------------------|
| lat =         | -20°S - 50°N          |
| altitude =    | 0hPa - 1000hPa        |
| period =      | 01feb2012 - 31feb2012 |
| rmsvd =       | 3.83                  |
| nrmsvd =      | 0.20                  |
| ws(amv-nwp) = | 19.58                 |
| bias =        | -0.73                 |
| N =           | 377135                |

#### 4. 산출 결과 해석 방법

기본적으로, 대기운동벡터는 관측 바람장 자료이므로 출력 자료에서 풍향과 풍속, 벡터 고도 값만을 읽어 사용할 수 있다. 대기운동벡터 영상은 요구 분배 시간에 가장 근접하여 생산된 최종 산출물을 이용하여 각 채널의 영상을 바탕으로 하/중/상층의 세 가지 고도로 나뉘어져 바람벡터로 표출되는데, COMS의 관측 모드에 따라 영상의 크기 및 생산/분배 시간이 달라질 수 있다. 추가적으로 사용 용도에 따라 품질 계수를 참조하여 벡터의 개수를

조절할 수 있다. Fig.3.13은 각 채널 대기운동벡터를 표출한 예시이다. 채널별 산출 특성상, 가시 채널 벡터는 700 hPa 이하의 하층 벡터만을, 수증기 채널에서 구름 표적의 벡터들은 400 hPa 이상의 상층 벡터만을 참조한다.

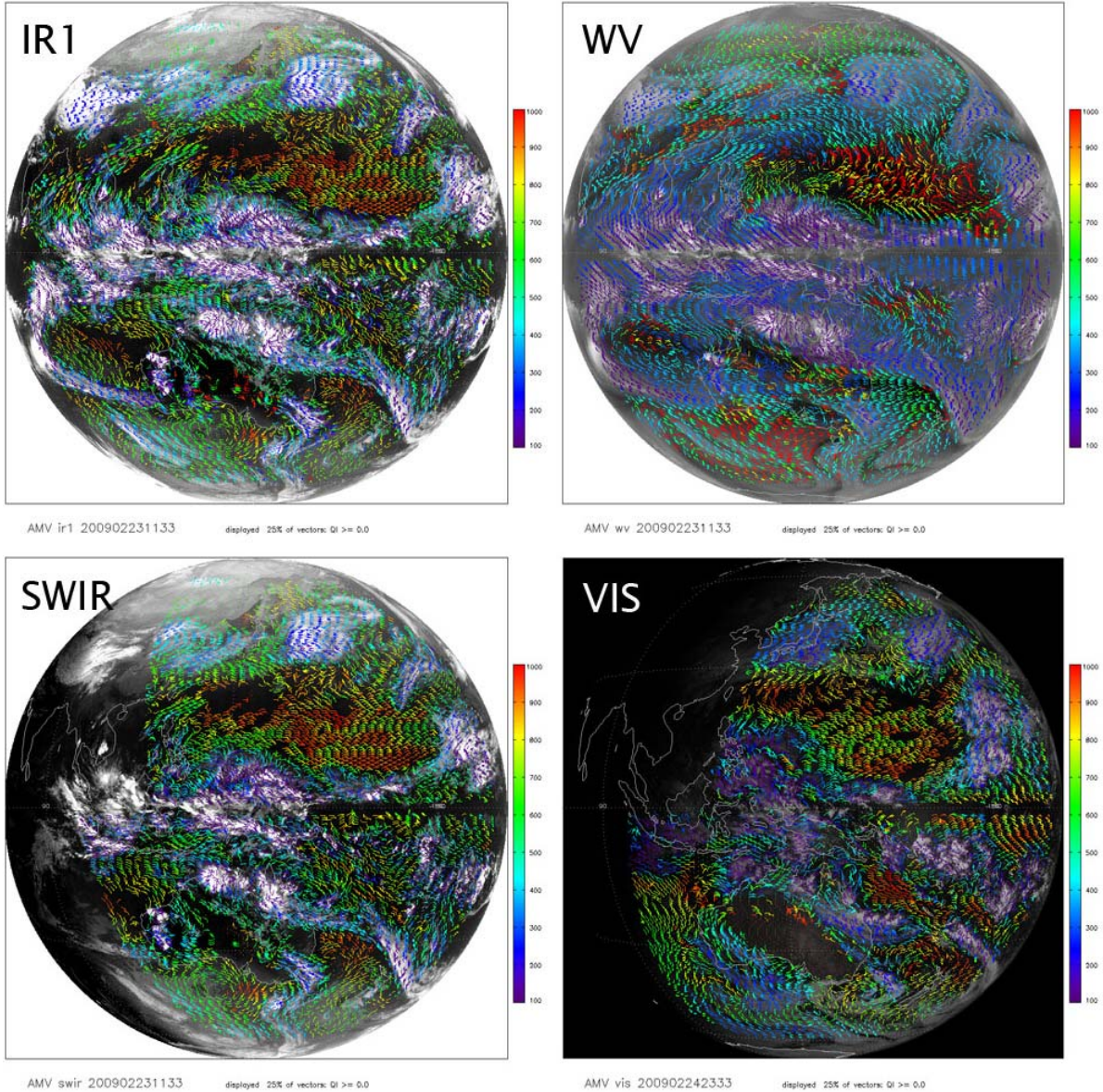


Fig. 3.13 Sample images of AMVs for each channel (displayed only 25%)

## 5. 문제점 및 개선 가능성

- 대기운동벡터의 풍속 오차

현 대기운동벡터 알고리즘의 문제점 중 하나는 관측과 비교했을 때 풍속이 비교적 작게

나오는 편차를 지니고 있다는 것이다. Fig.3.14에서 볼 수 있듯이 계절 및 지역에 관계없이 전체적으로 관측보다 풍속이 작은 경향을 보이며 특히 겨울 반구에서 편차가 크다. 표적 영역의 크기에 대한 민감도 실험 결과, 현재보다 작은 표적에서 풍속 편차가 개선됨을 볼 수 있어 추가적인 연구가 필요하다.

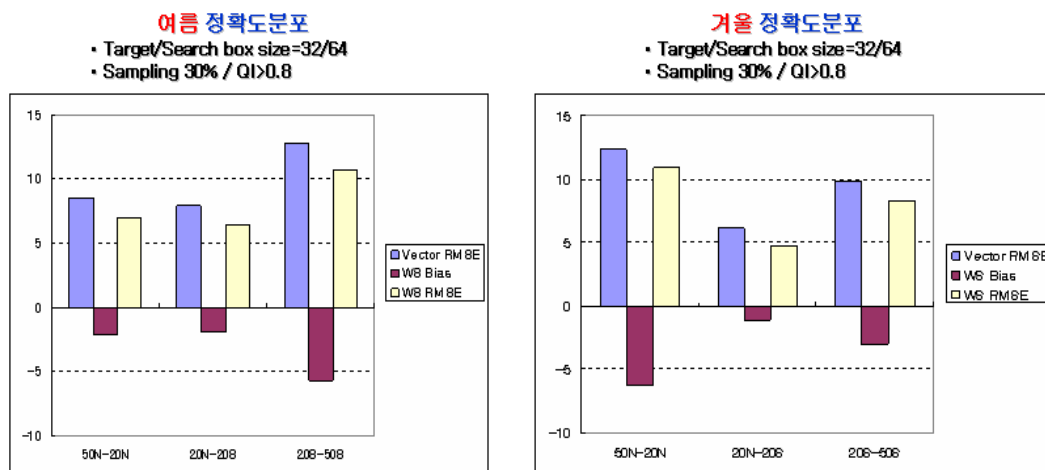


Fig. 3.14 Regional validation results for long-term AMVs

● 표적 크기에 따른 벡터 민감도 변화

대기운동벡터의 산출은 표적 전체의 이동을 다루고, 고도 할당은 표적의 복사적 특징을 나타내는 대푯값을 통해서 계산된다. 이러한 이유로 표적 내에 다층운이 존재하는 경우에는 벡터 산출이 용이하지 않을 소지가 생긴다. 표적의 크기가 다르면 표적 내에 포함되는 대기 현상의 규모가 달라지고 또 표적 내 화소들의 복사적 분포 특징 또한 바뀔 수 있다. 그러므로 일정한 크기의 표적을 사용하는 경우, 대기운동벡터가 제대로 산출하기 힘든 대기 운동의 범주가 필연적으로 존재할 수밖에 없다.

● 벡터 추적 과정과 고도 할당 과정의 불일치

벡터 추적 및 고도 할당 알고리즘은 각기 다른 화소들을 참조하여 계산될 수 있다. 벡터 추적 시 표적 영역 내 모든 화소를 이용하여 이 표적을 대표하는 하나의 벡터를 산출한다. 그러나 벡터의 고도는(EBBT 방법의 경우) 표적 영역 내 차가운 15% 화소들 만에 의해 결정된다. Búche(2006)는 벡터 추적 과정에서 계산되는 교차상관계수들을 통해 표적 영역 내 각 화소들의 벡터 산출에 대한 기여율을 구하였고, 기여율이 높은 화소들을 고도 할당에 사용하여 개선되는 점들을 보였다. 고도 할당 시 표적의 대푯값 결정에 관한 연구가 계속되어야 할 것이다.

## 6. 참고문헌

- Bormann, N., Sami Saarinen, Graeme Kelly, and Jean-Noël Thépaut, 2003, The spatial structure of observation errors in atmospheric motion vectors from geostationary satellite data, *Mon. Wea. Rev.*, **131**, 706–718.
- Büche, G., H. Karbstein, A. Kummer, and H. Fischer, 2006, Water vapour structure displacements from cloud-free Meteosat scenes and their interpretation for the wind field, *J. Appl. Meteorol. Clim.*, **45**, 556–575.
- Cherubini, T., S. Businger, C. Velden and R. Ogasawara, 2006: The impact of satellite-derived atmospheric motion vectors on mesoscale forecasts over Hawaii, *Mon. Wea. Rev.*, **134**, 2009–2020.
- Goerss, J. S., C. S. Velden, and J. D. Hawkins, 1998: The impact of multispectral GOES-8 wind information on Atlantic tropical cyclone forecasts in 1995. Part II: NOGAPS forecasts. *Mon. Wea. Rev.*, **126**, 1219–1227.
- Holmlund, Kenneth, 1998, The utilization of statistical properties of satellite-derived atmospheric motion vectors to derive quality indicators, *Wea. Forecasting*, **13**, 1093–1104.
- , Christopher S. Velden, and Michael Rohn, 2001, Enhanced automated quality control applied to high-density satellite-derived winds, *Mon. Wea. Rev.*, **129**, 517–529.
- Hubert, L. F., and L. F. Whitney JR., 1971, Wind estimation from Geostationary-Satellite pictures, *Mon. Wea. Rev.*, **99**, 665–672.
- Key, J., D. Santek, C. S. Veldenn, N. Bormann, J.N. Thépaut, L. P. Riishojgaard, Y. Zhu, and W. P. Menzel, 2002: Cloud drift and water vapor winds in the polar regions from MODIS. *IEEE Trans. Geosci. Remote. Sens.*, **41**, 482–492.

- Leese, John A., Charles S. Novak, and Bruce B. Clark, 1971, An automated techniques fro obtaining cloud motion from Geosynchronous satellite data using cross correlation, *J. Appl. Meteorol.*, **10**, 118–132.
- Mecikalski, J.R., K.M. Bedka, 2006 : Forecasting Convective Initiation by monitoring the evolution of moving cumulus in daytime GOES imagery. *Mon. Wea. Rev.*,**134**, 49–134.
- Nieman, Steven J.. W. Paul Menzel, Christopher M. Hayden, Donald Gray, Steven T. Wanzong, Christopher S. Velden, and Jaime Daniels, 1997, Fully automated cloud–drift winds in NESDIS operations, *Bull. Amer. Metoor. Soc.*, **78**, 1121–1133.
- Rao, P. Anil, Christopher S. Velden, and Scott A. Braun, 2002, The vertical error characteristics of GOES–derived winds : Description and experiments with Numerical Weather Prediction, *J. Appl. Meteorol.*, **41**, 253–271.
- Rogers. E. et al., 1979: The benefits of using short–interval satellite images to derive winds for tropical cyclones, *Mon. Wea. Rev.*, **107**, 575–584
- Schmetz, J., Kenneth Holmlund, Joel Hoffman, Bernard Strauss, Brian Mason, Volker Gaertner, Arno Koch, and Leo Van De Berg, 1993, Operational cloud–motion winds from Meteosat Infrared images, *J. Appl. Meteorol.*, **28**, 1206–1225.
- Solden, B.J., C.S. Velden, and R.E. Tuleya, 2001: The impact of satellite winds on experimental GFDL hurricane model forecasts. *Mon. Wea. Rev.*, **129**, 835–852.
- Su, Xiujuan, John Derber, Steve Lord, Christopher S. Velden, and Jaime Daniels, 2003, Toward improved use of GOES satellite–derived winds at the National Centes for Environmental Prediction(NCEP), Office note **440**.
- Tokmakian, Robin, P. Ted Strub, and Julie Mcclean–Padman, 1990, Evaluation of the maximum cross–correlation method of estimating sea surface velocities from sequential satellite image, *J. Atmos. Ocean. Tech.*, **7**, 852–865.

- Tomassini, M., G. Kelly, and R. Saunders, 1999, Use and impact of satellite atmospheric motion winds on ECMWF analyses and forecasts, *Mon. Wea. Rev.*, **127**, 971–986.
- Velden, C. S., C. M. Hyden, W. P. Menzell, J. L. Franklin and J. S. Lynch, 1992: The impact of satellite-derived winds on the hurricane track forecasting. *Wea. Forecasting*, **7**, 107–119.
- , T. L. Olander, and S. Wanzong, 1998: The impact of multispectral GOES-8 wind information on Atlantic tropical cyclone track forecasts in 1995. Part I: Dataset methodology, description, and case analysis, *Mon. Wea. Rev.*, **126**, 1202–1218
- and Coauthors et al, 2005: Recent innovations in deriving tropospheric winds from meteorological satellites, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **86**, 205–223
- Xiao, Q., X. Zou, and Y. H. Kuo, 2000: Incorporating the SSM/I-derived precipitable water and rainfall rate into a numerical model: A case study for ERICA IOP-4 cyclone. *Mon. Wea. Rev.*, **128**, 87–108.
- Zhang, S.F., and S.W.Wang, 1999: Numerical experiments of the typhoon tracks by using satellite cloud-derived wind. *J. Trop. Meteor.*, **15**, 347–355.