

GK-2A AMI
Algorithm Theoretical Basis
Document

AVIS
(Aerosol Visibility)

권태영
강릉원주대학교

Version 1.0

2019. 04. 24.



국가기상위성센터
National Meteorological Satellite Center

<수정 이력>

문서 버전	수정내용	과학코드 버전	수정일	작성자
0.1	초안 작성	0.3.1.1	2016.01.29	박준영
0.2	사소한 변경	0.4.3.1	2017.12.15	이재용
0.3	사소한 변경	0.5.1.1	2018.04.27	이재용
0.4	사소한 변경	0.5.1.1	2018.11.15	이재용
0.5	사소한 변경	0.5.1.1	2019.03.01	이재용
1.0	ATBD 수정	0.5.1.1	2019.04.24	이재용

<목차>

1. 개요	1
1.1 목적	1
1.2 사용자	1
1.3 내용	1
1.4 관련 문서	2
2. 알고리즘 소개	3
2.1 개요	3
2.2 알고리즘 흐름도	3
2.3 입력자료	4
2.3.1 L1B	4
2.3.2 L2	4
2.3.3 보조 자료	5
2.4 이론적 배경	5
2.5 수학적 설명	6
2.6 산출물	7
3. 모의자료 및 검증	8
3.1 모의 입력자료 및 검증자료	8
3.2 검증 방법	8
3.3 검증 결과	9
4. 현업운영 시 고려사항	12
4.1 수치계산 고려사항	12
4.2 프로그래밍 및 절차상의 고려사항	12
4.3 품질 평가 및 진단	12
4.4 예외사항 처리	12
4.5 검증 알고리즘	12
5. 가정 및 제한	14
5.1 성능	14
5.2 예상 센서 성능	14
5.3 개선을 위한 사전 계획	14

6. 참고문헌.....	15
--------------	----

<표 목차>

표 2.6.1. 에어로졸 시정 산출물 정의.....	7
표 3.3.1. 알고리즘 검증 결과.....	10

<그림 목차>

그림 2.2.1. 에어로졸 시정 산출 알고리즘의 처리 흐름도.....	4
그림 3.2.1. 검증 방법에 대한 요약.....	9
그림 3.3.1. 관측 시정과 추정 시정의 산포도.....	10
그림 3.3.2. 2017년 봄철 일부 사례의 관측 시정(a)과 추정 시정(b) 분포도.....	11

약어표

Acronyms and Abbreviations	
AOD	Aerosol Optical Depth (에어로졸 광학 깊이)
ASOS	Automated Surface Observing System(중관기상관측장비)
ALH	Aerosol Layer Height(에어로졸 층 고도)
CLD	Cloud Detection(구름 탐지)
FAR	False-Alarm Ratio
GK-2A	Geo-KOMPSAT-2A
HR	Hit Rate
MOR	Meteorological Optical Range(기상학적 광학거리)
NWP	Numerical Weather Prediction(수치예보모델)
PBLH	Planetary Boundary Layer Height(행성경계층고도)
POD	Probability of Detection
RDAPS	Regional Data Assimilation and Prediction System
RMSE	Root Mean Squared Error
SH	Scale Height(규모 고도)
Vis	Visibility(시정)

1. 개요

1.1 목적

에어로졸 시정 산출 알고리즘을 통해 산출되는 추정시정의 시간 해상도는 10분이며 공간해상도는 2km이다. 이는 기존의 목측 또는 계측으로 이루어지는 시정 값보다 시.공간적으로 보다 고해상도의 자료를 제공할 수 있도록 하는 것이 이 알고리즘의 목적이다.

1.2 사용자

에어로졸 시정 산출을 필요로 하는 사용자와 적절한 자료 관리 인원들이 이 문서를 이용할 것으로 생각되어지고 해당 업무 종사자 중 알고리즘을 수정하거나 유지하는 것은 이 서류에서 참조할 수 있다.

1.3 내용

- 관측 시스템 개요 : 알고리즘의 목표, 기기의 관련 있는 특성을 제공하며, 이 알고리즘으로 생성된 시정 자료에 간략한 설명을 제공하다
- 알고리즘 소개 : 입력 값과 출력 값의 설명과 알고리즘 흐름도를 보여주고 해당 알고리즘을 수행하는 변수들에 대한 설명과 최종적으로 산출되는 시정 값에 이론적/수학적 해석을 소개한다.
- 시험자료 및 출력물 : 알고리즘의 성능을 분석하기 위해 시험 데이터 세트 및 프로세스를 기술한다. 이는 해당 알고리즘을 통해 수행된 결과물을 보여주고 실제 시정 값과 비교하여 통계적 정확도를 측정하는 작업을 수행하고 그 결과물을 보여준다.

- 현업 운영시 고려사항 : 수치 계산, 프로그래밍 및 과정, 품질 평가 및 진단, 예외처리와 관련된 문제의 개요를 제공한다.
- 가정 및 제한 : 현재 접근 방식의 제한에 대한 개요를 제공하고, 알고리즘 개발에 이러한 제한을 극복하기 위한 계획을 제공한다.

1.4 관련 문서

에어로졸 시정을 추정하기 위해서 GK-2A의 AOD가 요구된다.

2. 알고리즘 소개

2.1 개요

에어로졸 시정 알고리즘을 개발하기 위하여 입력 자료(AOD)와 보조 자료(ALH, PBLH)가 요구되며 이 자료를 활용하여 소산 계수를 계산하게 된다. 그리고 두 층의 구분이 뚜렷한 ALH로 계산된 소산 계수의 경우 Koschmieder의 경험식을 이용하고, 층의 구분이 뚜렷하지 않고 연속적인 층이 나타나는 PBLH로 계산된 경우 회귀 계수를 이용하여 최종적으로 에어로졸 시정을 산출하게 된다.

2.2 알고리즘 흐름도

에어로졸 시정의 알고리즘 처리 흐름도는 그림 3.2.1과 같다.

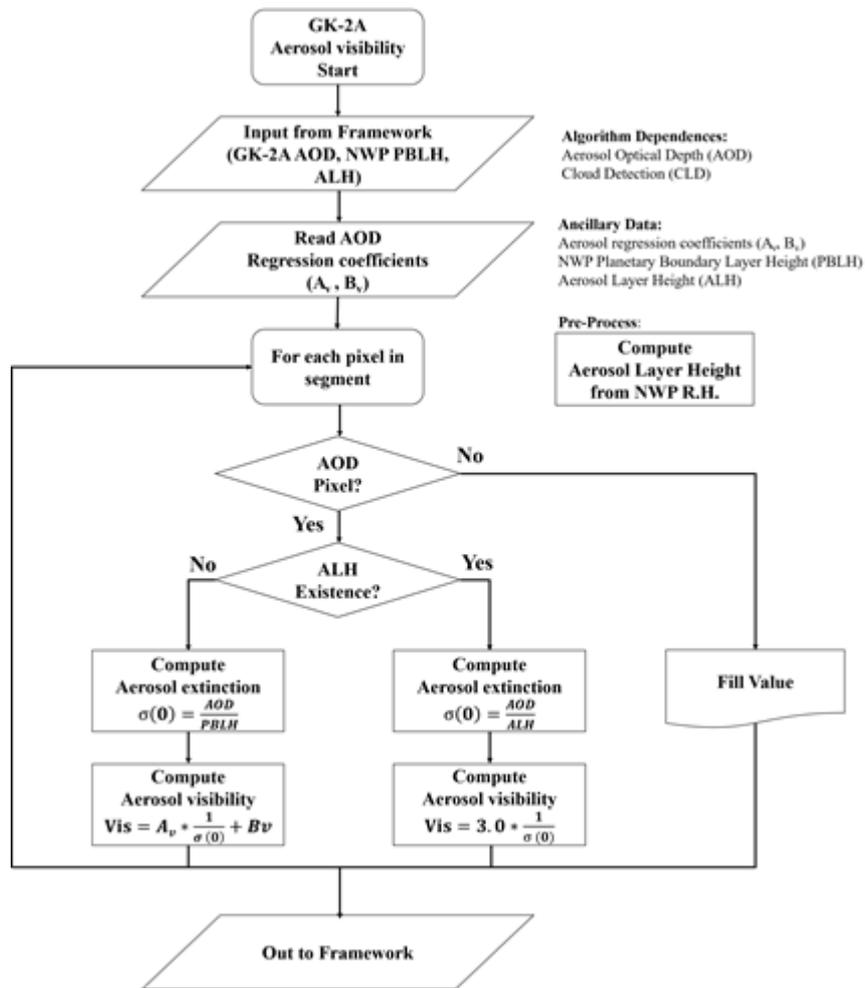


그림 2.2.1. 에어로졸 시정 산출 알고리즘의 처리 흐름도

2.3 입력자료

2.3.1 L1B

N/A

2.3.2 L2

GK-2A AOD(에어로졸 광학 깊이)

GK-2A CLD(구름탐지)

2.3.3 보조 자료

수치예보모델의 PBLH(행성경계층고도)와 ALH(에어로졸 층 고도)

2.4 이론적 배경

시정은 기상학적 광학 거리(Meteorological optical range : MOR)를 추정하는 것으로 백열등에서 나오는 2700K 색온도의 평행광선이 대기 중을 지날 때 광속의 5%(0.05)로 줄어드는 지점의 거리를 의미한다(WMO 2008). 여기서 광속의 5%는 관측자가 육안으로 주위 배경에 대해 물체를 식별할 수 있는 시각적 대조 한계(C)를 의미하는데 연구자에 따라 2% or 5%를 적용하여 사용한다. 이 연구에서는 보편적으로 사용되고 있는 5%를 사용하였다(Brunner et al., 2016). 따라서 시정은 Koschmieder Law의 수학적 정의인 식 (1)에 시각적 대조 한계 5%를 적용하면 다음과 같이 정의 될 수 있다(식 2).

$$C = \exp(-Vis \cdot \sigma_{ext}(0)) \quad (1)$$

$$Vis = 3.0/\sigma_{ext}(0) \quad (2)$$

위 식 (2)에서 시정은 지표면의 소산계수로부터 계산된다. 지표면의 소산 계수는 위성 자료를 사용하는 경우 AOD로부터 추정할 수 있다. 그러나 위성의 AOD는 연직방향의 에어로졸 소산 계수를 대기 전체에 대해 적분한 값(식 3)이기 때문에 지표면의 소산 계수를 추정하기 위해서는 에어로졸의 연직 분포를 알아야한다. 여러 연구에서 에어로졸의 연직 분포는 고도가 높아짐에 따라 지수 함수적으로 감소한다고 보고하였다

(Elterman, 1970; McClatchey et al., 1972; Hess et al., 1998). 따라서 에어로졸 연직 분포가 위 분포를 따를 경우 AOD와 지표면의 소산 계수는 다음과 같은 관계를 가진다 (식 4). 이 식에서 SH_A (Aerosol Scale Height)는 연직 소산 계수가 일정하고 지표면 소산 계수와 같다고 가정했을 때, 전체 에어로졸이 분포하는 고도이다. 따라서 AOD와 에어로졸 규모 고도를 알면 지표면 소산 계수를 계산 할 수 있고, 이로부터 시정을 산출 할 수 있다.

$$AOD = \int_0^{\infty} \sigma_{ext}(z) dz \quad (3)$$

$$\sigma_{ext}(0) = AOD / SH_A \quad (4)$$

2.5 수학적 설명

시정 산출을 위하여 MODIS AOD와 두 가지 유형의 PBLH를 이용하였다. 하나는 PBLH가 뚜렷하게 나타는 경우로 행성경계층과 그 위층이 완전히 분리되는 경우이다. 이러한 경우에는 에어로졸이 대기 하층에 분포한다고 가정할 수 있기 때문에 분리된 층의 상한 고도가 에어로졸 규모 고도(SH_A)와 밀접한 연관성이 있을 것이다. 따라서 분리된 층(Discrete layer)이 나타나는 경우 상한 고도를 에어로졸 층 고도(ALH)로 정의하였고, AOD와 ALH를 나누어 지표면 소산 계수를 계산하였다(식 5). 그리고 계산된 값을 Koschmider's Law에 적용하여 시정을 산출하였다(식 6). 다른 하나는 연속적인 층(Continuous layer)이 나타나는 경우로 일반적인 PBLH를 의미한다. 이 경우 PBLH가 뚜렷하지 않고 에어로졸 규모 고도보다 약 1km정도 낮다. 따라서 AOD와 PBLH를 나누어 지표면 소산 계수를 계산하였고(식 7), 이 값과 경험식(회귀계수)를 이용하여 시정을 산출하였다(식 8).

$$\sigma_a(0) = \frac{AOD}{ALH} \quad (5)$$

$$Vis = 3.0 \times 1/\sigma_a(0) \quad (6)$$

$$\sigma_a(0) = \frac{AOD}{PBLH} \quad (7)$$

$$Vis = A_v(c,s) \times 1/\sigma_a(0) + B_v(c,s) \quad (8)$$

이때 식 (8)에서 A_v 는 기울기, B_v 는 절편을 뜻하며 기울기와 절편은 지점(c) 별 계절(s) 별로 적용한다.

2.6. 산출물

에어로졸 시정 알고리즘은 격자 단위로 산출되게 되고 표 2.6.1에 요약되어있다.

표 2.6.1. 에어로졸 시정 산출물 정의

산출물명	산출물 내용
에어로졸 시정	추정된 에어로졸 시정 (km)
시정 Flags	시정 Flags (Good, Moderate, Bad)

3. 모의자료 및 검증

3.1 모의 입력자료 및 검증자료

3.1.1 GK-2A AOD

일본의 HIMAWARI-8 위성의 채널 자료를 GK-2A AOD 알고리즘에 적용하여 산출된 GK-2A AOD 자료를 사용하였다.

3.1.2 시정 자료

시정 자료는 ASOS 40개 지점의 목측 시정과 PWD-22가 설치된 38개 지점의 계기 관측 시정의 2012~2014년 동안의 자료를 시험 자료로 사용하였고, 15년 이후의 시정 자료는 검증 자료로 사용하였다.

3.2 검증 방법

위성으로부터 산출된 시정을 검증하기 위하여 PWD-22 시정과 비교하였다. 검증에 사용된 자료는 2017년 4월에 GK-2A AOD로 산출된 시정과 17개 지점의 PWD-22 시정을 사용하였다. 추정 시정의 검증 방법은 Scalar와 Category 검증 기법을 사용하였다. Scalar 검증에서는 Root Mean Squared Error(RMSE)와 Mean Error(ME)를 계산하였다. ME는 단순하게 관측 시정과 추정 시정의 평균의 차이이다. RMSE는 추정 시정과 관측 시정의 차이를 제곱한 후 합계의 평균을 제곱근 취한 값으로 추정 시정의 정밀도를 확인할 수 있다. ME와 RMSE는 관측 시정이 10km 미만인 경우에만 계산하였다. Categorical 검증에서는 POD(Probability of Detection), FAR(False-Alarm rate) 그리고 HR(Hit Rate)를 계산하였다. Categorical 검증 방법을 계산하기 위해서는 다음 정의가 적용된다.

Hit : 관측 시정과 추정 시정 모두 10km 미만인 경우

Miss : 추정 시정이 10km 이상이고 관측 시정이 10km 미만인 경우

False-alarm : 추정 시정이 10km 미만이고 관측 시정이 10km 이상인 경우

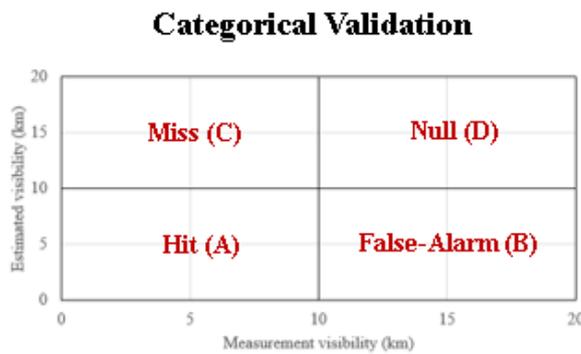
Null : 관측 시정과 추정 시정 모두 10km 이상인 경우

Probability of Detection : $POD = a / (a+c)$

False-Alarm ratio : $FAR = b / (a+b)$

Hit rate : $HR = (a+d) / (a+b+c+d)$

a, b, c 그리고 d는 각각 hit, false-alarms, misses 그리고 nulls로 정의된다. 또한 M_i 와 E_i 는 관측 시정과 추정 시정으로 정의 된다. 그림 3.2.1은 Categorical과 Scalar 검증 방법에 대한 요약이다. M_i 와 E_i 는 관측 시정과 추정 시정으로 정의 된다.



$$POD(\text{Probability of Detection}) = \frac{A}{A + C}$$

$$FAR(\text{False - Alarm Rate}) = \frac{B}{A + B}$$

$$HR(\text{Hit Rate}) = \frac{A + D}{A + B + C + D}$$

Scalar Validation

- Mean Error (ME)

$$ME = \frac{1}{N} \sum E_i - M_i$$

- Root Mean Squared Error (RMSE)

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum (E_i - M_i)^2}$$

E_i : Estimated visibility

M_i : Measurement visibility

그림 3.2.1. 검증 방법에 대한 요약

3.3 검증 결과

표 3.3.1과 그림 3.3.1은 2017년 4월에 대한 검증 결과이다. 검증에 사용된 자료 수

는 총 528(a, b, c 그리고 d는 각각 153, 65, 77 그리고 233)이다. POD, FAR, HR 그리고 RMSE는 각각 0.7, 0.33, 0.73 그리고 3.54km 이다. RMSE와 HR은 목표 정확도에 만족하지 못했다. 이와 같은 결과는 일부 추정 시정이 과대 모의되었기 때문으로 예상된다.

표 3.3.1. 알고리즘 검증 결과

	검증 종류	목표 정확도	검증 값
2017년 4월	RMSE	3.5 km	3.54km
	ME	-	1.29km
	POD	0.65	0.70
	FAR	0.4	0.33
	HR	0.8	0.73

그림 3.3.1는 추정 시정과 관측 시정의 산포도이다. 산포도에 사용된 자료 수는 528개이다. 빨간색 파선은 회귀선이며, 추정과 관측 시정의 상관계수(R)는 0.64이다.

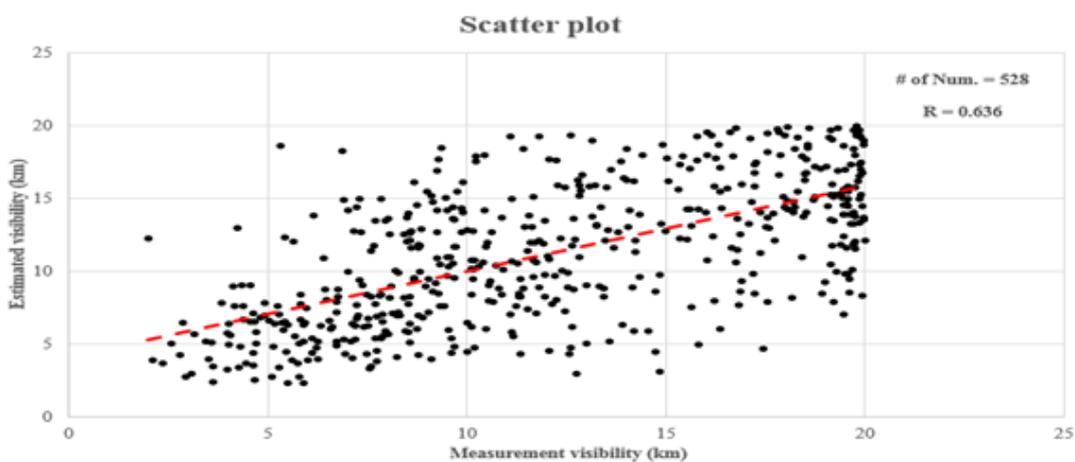


그림 3.3.1. 관측 시정과 추정 시정의 산포도

그림 3.3.2.은 2017년 4월 3일 14시 10분의 사례로서 관측 시정과 추정 시정 분포도이다. 그림 3.3.2.a.은 38개 지점의 시정 값을 대한민국 육지에 내삽한 그림으로서 중서부 지역에 낮은 시정이 분포하고, 그 외 지역에서 대부분 호 시정이 분포함을 알 수 있

었다. 그림 3.3.2.b.은 GK-2A AOD를 이용하여 계산된 추정 시정의 분포도로서 중서부 지역에서 낮은 시정이 분포하고, 그 외 지역에서 대부분 호 시정이 분포함을 알 수 있었다. 두 그림을 비교하였을 때 낮은 시정과 호 시정의 지역적인 분포의 경향성이 유사함을 알 수 있었다.

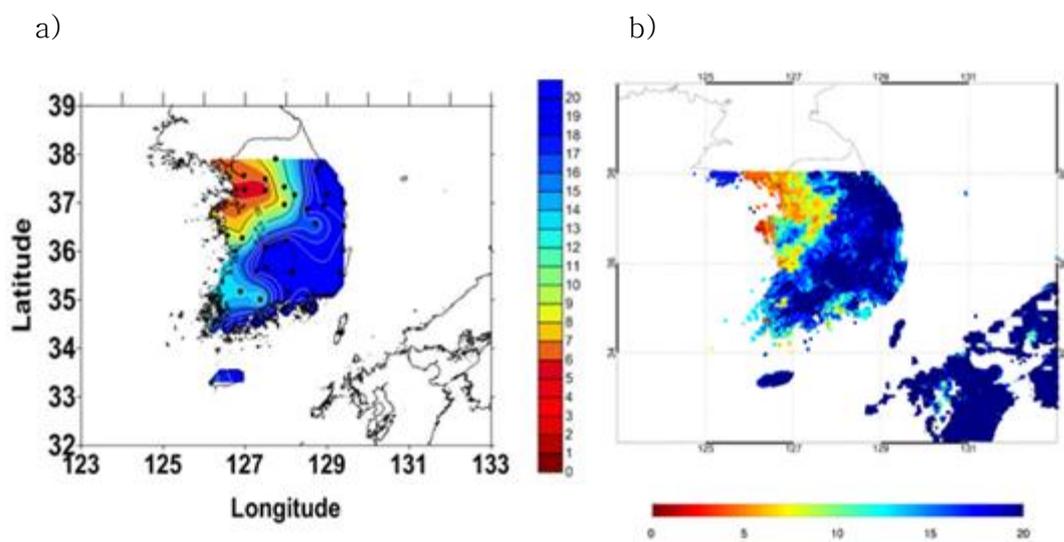


그림 3.3.2. 2017년 봄철 일부 사례의 관측 시정(a)과 추정 시정(b) 분포도

4. 현업운영 시 고려사항

4.1 수치계산 고려사항

N/A

4.2 프로그래밍 및 절차상의 고려사항

이 자료는 시정 자료의 유효성에 따라 회귀계수의 기준 값에 관련되어 가능한 위성이 발사된 후 프로그램 변경에 대한 설정이 가능해야 한다.

4.3 품질 평가 및 진단

다음의 flags가 생산된다 :

- Visibility Flag :

1- Good, 2- Moderate, 3- Bad

4.4 예외사항 처리

해당 위성 격자 값의 ALH 또는 PBLH가 0m라면 소산 계수의 값은 무한대이다. 따라서 이 경우 시정을 산출해서는 아니 된다.

4.5 검증 알고리즘

검증 알고리즘은 2단계로 구성된다. 첫 단계는 관측 시정과 추정 시정의 시공간적으로 일치시켜 자료를 구축한다. 다음 단계는 추정 시정을 검증한다. 추정 시정을 검증할 때는 스칼라와 카테고리 검증 방법을 이용한다. 자세한 검증 방법은 제3장 2절에서 확인

이 가능하다.

5. 가정 및 제한

5.1 성능

N/A

5.2 예상 센서 성능

N/A

5.3 개선을 위한 사전 계획

N/A

6. 참고문헌

Brunner, J., Pierce, R. B., and Lenzen, A., 2016: Development and validation of satellite-based estimates of surface visibility, *Atmos. Meas. Tech.*, 9, 409-422, <https://doi.org/10.5194/amt-9-409-2016>.

Elterman, L., 1970: Relationships between vertical attenuation and surface meteorological range. *Applied optics*, 9.8, 1804-1810.

Hess, M., Koepke, P., and Schult, I., 1998: Optical properties of aerosols and clouds: The software package OPAC. *Bulletin of the American meteorological society*, 79.5, 831-844.

Koschmieder, H., 1924: Theorie der horizontalen Sichtweite. *Beiträge zur Physik der Freien Atmosphäre*, 12.1924, pp. 33–55.

McClatchey, R. A., Fenn, R. W., Selby, J. A., Volz, F. E., and Garing, J. S., 1972: Optical properties of the atmosphere (No. AFCRL-72-0497). AIR FORCE CAMBRIDGE RESEARCH LABS HANSCOM AFB MA.

World Meteorological Organization, 2008: *Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation*, seventh ed. WMO-No. 8, Geneva, Switzerland.