



## 보조일기도 분석 및 적용

■ 발행: 예보국 ■ 문의: 예보기술팀(내선 1656/1657) ■ 발행일: 2012년 4월 24일(화)

보조일기도는 기본일기도에서 보여주지 못하는 기상요소들과 2차 변수들, 특정 기상요소만을 강조한 자료를 예보관에게 제공함으로써, 시스템의 이해를 돕고 정확한 분석과 예측을 할 수 있게 보완해 주는 일기도이다. 이번호에선 기상청에서 생산하는 보조일기도의 분석 및 적용방법에 대해서 알아본다.

### 1. 850hPa 수분속

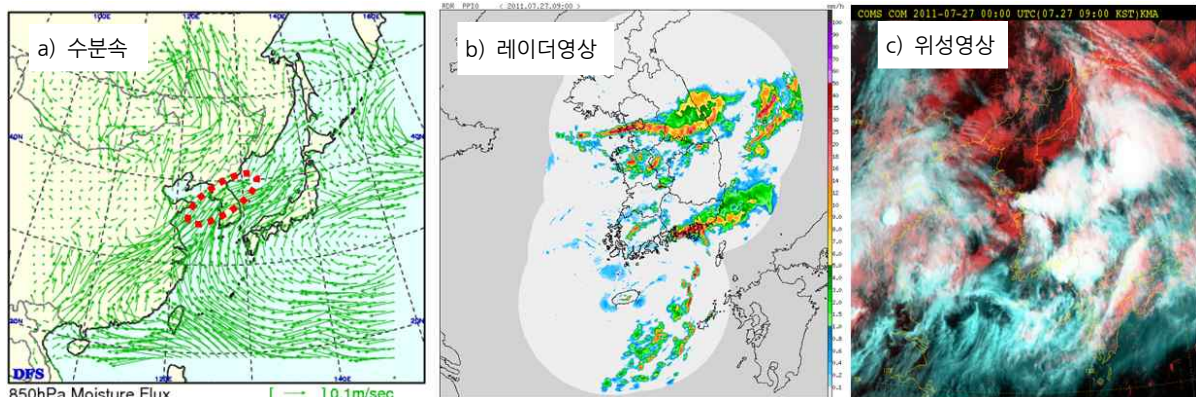


그림 1. 2011. 7. 27. 00UTC 실황자료

850hPa 수분속(moisture flux;  $10^{-2} \cdot g^{-1} \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ )은 850hPa면에서 단위 면적을 단위 시간에 통과하는 수증기의 양과 이동 방향을 화살표로 나타낸 것으로, 그 양( $q \times \vec{V}$ )은 화살표의 길이에 비례한다. 호우 예보에 수분속을 이용할 때는 벡터의 크기보다는 어디에서 수렴하는지 혹은 가강수량 등 다른 보조자료를 참고하여 수렴하는 양을 판단하는 것이 중요하다. 수증기의 유입량은 많고 유출량이 적은 곳에서 수증기가 모이게 되고 비구름이 발달하기 쉽기 때문이다. 그림 1은 2011년 7월 27일 00UTC에 서울부근에 나타난 호우사례로 850hPa 수분속의 벡터가 중국과 동중국해에서 경기만 부근으로 이동하면서 수렴하는 것을 볼 수 있다. 레이더와 위성영상을 참고하면, 수분속 벡터의 크기보다는 수렴하는 구역에서 강한 에코와 대류성 구름이 발달함을 알 수 있다. 만약, 850hPa 수분속의 벡터 크기가 크고 수렴하는 형태일 때, 850hPa 수렴장을 참고한다면 더 정확한 분석이 가능하다. 수렴은 대기 하층의 이슬점온도를 증가시켜 강수가 있을 때는 강한 강수를 유발시키고 상당운위 값도 증가시킨다. 습윤한 공기의 이류는 특정한 지점에 연속적으로 습기를 이동시키기 때문에 실제 강수량은 가강수량(Precipitable Water)보다 훨씬 많을 수 있다.

## 2. 850hPa 유선

유선은 그림 2와 같이 850hPa 면에서 각 지점의 바람 방향에 평행하게 연속적으로 그은 선으로서, 중위도에서 대체로 등고도선에 평행하게 붙고, 그 크기는 등고도선의 조밀도에 비례한다. 관측된 바람은 크게 지균풍분과 비지균풍분으로 분리할 수 있는데, 고도장에서는 지균풍을, 유선을 분석하면 비지균풍을 시각적으로 짐작 할 수 있다. 풍속은 유선이 조밀한 곳에서 강하게 나타나며, 하층에서의 바람이 강한 곳에서는 하층제트와 관련된 뇌우가 발생할 수 있다. 850hPa 유선장에서 녹색으로 채색된 부분은 하층제트(>25kts) 구역이며, 남풍계열의 바람이 불 때 하층제트 중심의 북쪽에서 호우가 발생하기 쉽다.

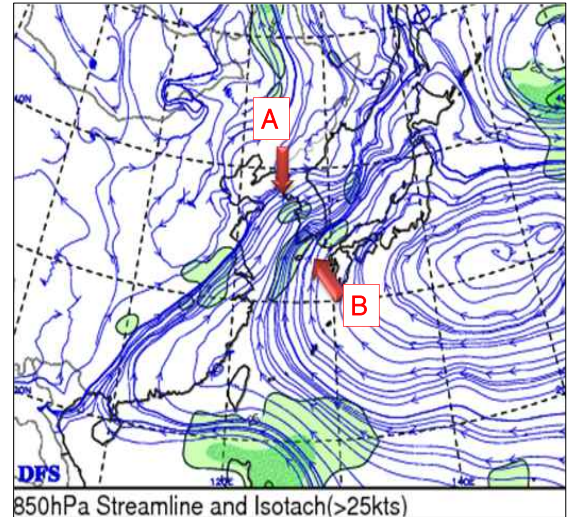


그림 2. 850hPa 유선(2011. 7. 27. 00UTC), A,B 지점의 북쪽에서 호우가 발생한 사례

## 3. SSI 지수

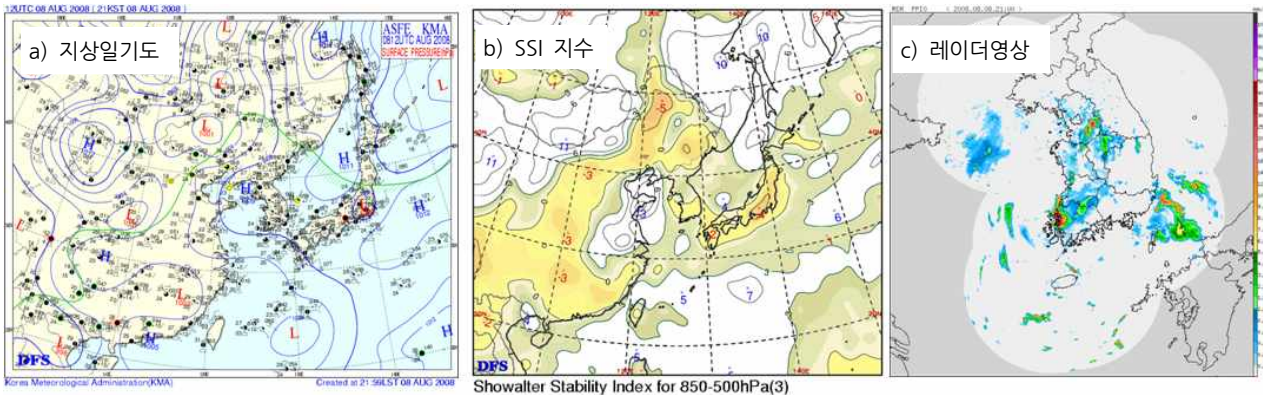


그림 3. 광주,전남지방 뇌우(소나기) 사례 (2008. 8. 8. 12UTC)

SSI(Showalter, 1947)는 850hPa면의 공기가 상승응결고도에서 포화되어 포화단열선을 따라 올라가 500hPa면과 만난점의 온도를 구하여 500hPa의 실제 온도와의 차이를 구하며, 그 값이 3 이하이면 소나기의 가능성이 있고 -6 이하이면 심한 뇌우가 발생할 수 있다. 여기서 850hPa면이 사용된 이유는 여름철에 태양 복사에 의한 지표 근처의 대류 활동이 왕성해져 혼합층의 고도가 850hPa에 이를 것으로 가정했기 때문이다. 즉, 지상에서 850hPa면에 간혀 있는 수증기를 소나기구름의 주 에너지 공급원으로 본 것이다. 한편, 500hPa면의 온도차를 안정도의 기준으로 정한 이유는 대류권 중층고도이며, 수증기량이 이 고도 이하에 대부분이 분포하여 뇌우가 발달할 수 있는 안정도를 평가하기에 적절하기 때문이다. 그림 3은 2008년 8월 8일 광주와 전남지방에 발생한 강한 소나기 사례이다. 광주는 1시간 강수량이 86.5mm로 역대 최다 강수량을 기록하였다. 우리나라는 지상일기도에서 보듯이 고기압권의 영향을 받는 가운데 일사에 의한 가열로 기온이 상승하여 오후부터 산발적으로 뇌우가 발생하였다, SSI는 남부지방에 0 이하의 불안정한 값을 나타냈다. 한편, 겨울철에는 계절적으로 구름들의 운

저가 낮고 비구름의 키도 작으므로 925hPa면의 상승응결고도와 700hPa면의 온도차를 이용하여 계산한 자료를 생산한다. 그러나 겨울철은 기류와 기압계의 이동이 빨라 SSI 활용도는 높지 않다. SSI는 공기의 유·출입이 크지 않은 안정한 기단의 영향을 받을 때(주로 여름철 무더위 기간) 사용하기 적절한 지수이기 때문이며, 저기압에 의한 강수량 분석, 기압계가 빠르게 이동하는 경우에는 사용하기에 적절치 않다(2011년 손에 잡히는 예보기술 ‘불안정지수’ 참고). 상층의 한기가 동반된 뇌우 진단은 CT(Cross Totals ), TT(Total-Totals Index ), S(S-Index), SWEAT(Severe Weather Threat Index)가 유용하며, 호우예측은 KI(K-Index ), TI(Thompson Index)가 많이 활용된다.

#### 4. 925hPa 기온

그림 4에는 925hpa 기온분포도로써 겨울에는 특히 925hPa의 0°C선 분석이 중요하다. 지역마다 차이가 있지만 눈이 내리기 위해선 0°C 이상의 층(melting layer)의 두께가 600m 이하여야 한다(Weather forecasting handbook 2000, White et al. 2002, White et al. 2010). 따라서, 925hPa(기준고도 810m) 기온이 0°C보다 높다면 눈이 내릴 가능성은 희박해진다. 925hPa는 지상과 연계된 전선분석에 활용도가 높는데, 기온의 경도가 크고 바람이 급변하는 곳에서 전선을 찾아낼 수 있다. 이외에도 850hPa 기온분포도와 마찬가지로 아침 최저기온과 낮 최고 기온 예측에도 활용한다.

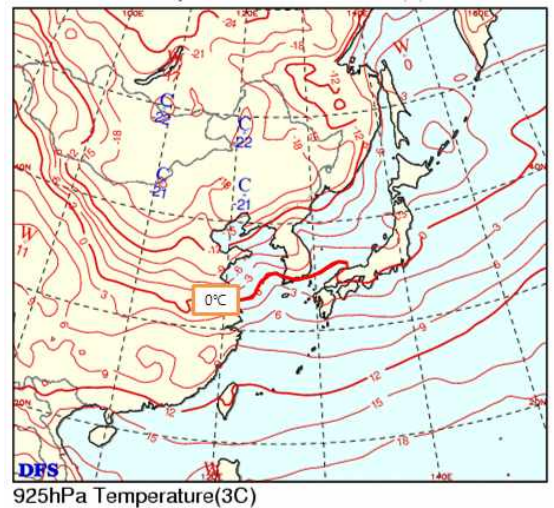


그림 4. 925hPa 기온 분포 (2010. 1. 4 00UTC)

#### 5. 층후와 습수

겨울철 사용하는 1000-700hPa 층후는 눈과 비를 구분하는데 사용하며, 그림 5와 같이 붉은색으로 빗금친 구역(최소 2760m, 최대 2820m)은 눈과 비가 혼재되어 나타날 수 있으며, 이 영역을 기준으로 남쪽은 비, 북쪽은 눈으로 판단한다. 습수(T-Td)는 해당 등압면에서 기온과 이슬점온도의 차이를 말한다. 습수 분포도에서 공기의 포화정도를 알 수 있는데, 700hPa 고도에 습윤한 대기가 있다면 강수 가능성이 높다고 판단한다. 대개 700hPa 이하 고도에서 습수가 4°C이하이거나 500hPa에서 6°C이하이면 해당 기층의 공기가 거의 포화되어 있다고 볼 수 있다. 그림 5에서 녹색으로 채색된 구역은 700hPa 고도의 기온과 이슬점온도의 차이가 4°C 이하 구역이다. 1000-500hPa 층후도는 여름철 호우 분석시 유용하게 사용할 수 있으나, 겨울철 눈과 비의 강수형태

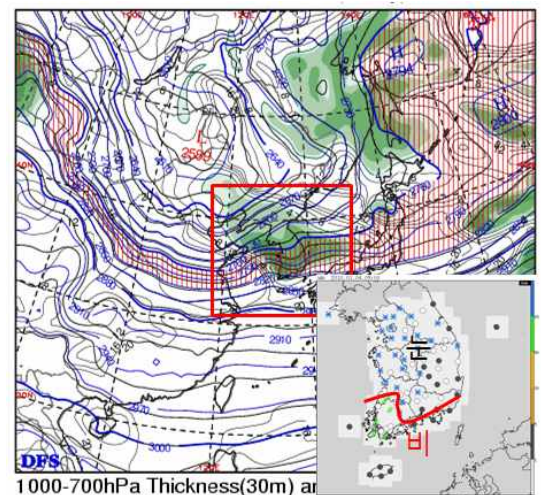


그림 5. 층후와 습수(2010. 1. 4 00UTC), 지상관측의 현재일기(2010. 1. 4 00UTC)

판별에 사용하나 우리나라와 같이 하층대기에서 주로 구름이 형성되는 대기조건에서는 활용도가 높지 않다(2011년 손에 잡히는 예보기술 ‘층후분석 참고).

## 6. 500hPa 24시간 고도변화

500hPa 고도는 대기의 중간층으로서, 수렴과 발산이 거의 없는 비발산고도이며 대류권 중층의 장파/단파를 분석하고 기압골과 기압능의 파악에 유용하며 중장기 예보에도 자주 활용된다. 500hPa 고도 및 온도변화는 대기 중층에서 기압계의 발달이나 쇠퇴과정을 파악하는데 유용하다. 채색된 부분은 24시간 고도하강구역으로서, 중층 대기의 기압계 흐름 중 기압골 추적에 주로 사용한다.

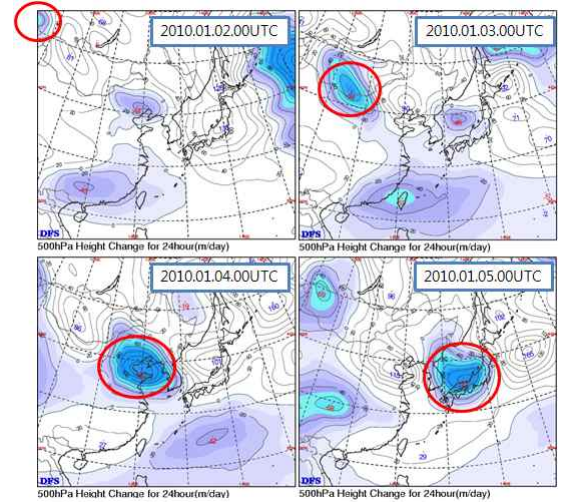


그림 6. 500hPa 24시간 고도변화(2010. 1. 2. 00UTC ~ 1. 5. 00UTC(24시간 간격))

## 7. 850hPa 기온변화

850hPa 기온변화는 전선대의 발달과 쇠퇴, 한랭역과 온난역의 이동경향을 파악하는데 유용하다. 24시간 동안 해당기압면의 온도변화가 감소한 구역은 푸른색으로 채색되어있다. 850hPa의 기온변화의 중심은 특히, 한랭전선을 동반한 저기압의 이동방향과 일치한다. 그림 7은 2일간 24시간 850hPa 기온변화이며, 붉은색 화살표 실선은 24시간 기온 하강 중심의 이동방향 궤적을 보여준다. 기압계이동과 한랭전선 이동분석 외에 황사 이동경로 및 영향 분석에도 유용하게 사용할 수 있다.

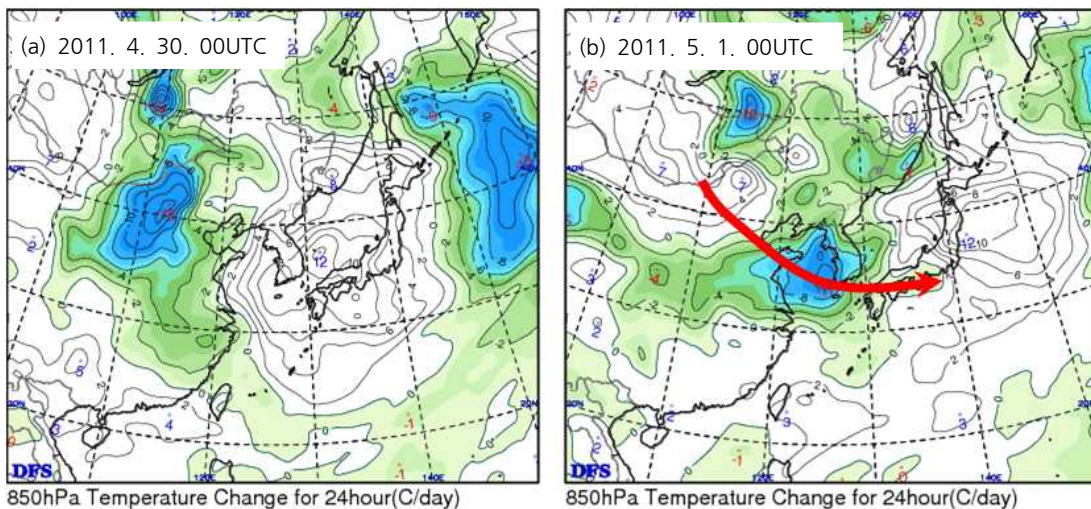


그림 7. 850hPa 24시간 기온변화 붉은색 선은 온도하강 중심역의 이동방향을 의미함

## 8. 700hPa 상승속도

700hPa 상승속도는 P 좌표계 관점에서 단위 시간당 기압이 낮은 상층으로 상승하는 정도(hPa/hour)를 그림 8과 같이 기압이 감소(상승기류)하는 구역을 채색하여 보여준다. 2010년 9월 21일은 서울을 중심으로 중부지방에 호우가 나타난 사례이며, 700hPa의 상승류 중심이 중부지방에 위치한 것을 볼 수 있다. 중심 최대 상승구역이 시간당 44hPa로 나타났다. 44hPa의 기압변화만으로는 연직으로 급격히 발달한 뇌우와 호우구름 형성을 설명하기 어렵다. 일반적으로 연직운동의 크기 규모는 수평운동의 1/100 정도로서, 수평면에서 대기의 풍속이 어떤 지점에 25m/s 정도라면, 연직 속도는 수십 cm/s에 불과하다. 이는 뇌우를 발생시키는 상승기류가 시간당 수백 km(초당 수십~수백m)를 넘는다는 사실과 비교하면 미미한 속도이다. 그렇지만, 뇌우의 규모가 그림 8과 같이 지역모델(UM-RDAPS)의 격자간격보다 작고, 하층제트에 의해 습도가 매우 높은 공기가 수렴하면서 부력을 얻어 상승하고, 지형과 만나 또다시 상승운동이 강화되면 시간당 백 km이상의 강한 상승기류가 충분히 발생할 수 있다. 따라서, 700hPa의 연직 상승속도는 850hPa 유선, 등폭속선, 수렴도 등 다양한 보조자료들과 함께 분석하여 호우예측에 활용해야한다. 만일 700hPa의 습수구역에 상승류가 존재한다면, 강수지역으로 판단할 수 있다.

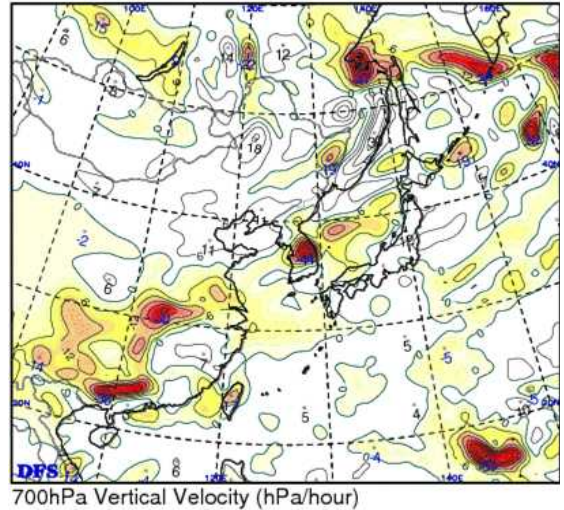


그림 8. 700hPa 상승속도 (2010. 09. 21. 12UTC)

## 9. 500hPa 와도

소용돌이도(와도: vorticity)는 바람의 방향과 속도의 변화에 따라 발생하는 회전 운동을 보여준다. 보통 기압골에는 반시계 방향으로 회전하는 저기압성 소용돌이도(양의 값)가 위치하며, 기압능에는 시계 방향으로의 회전하는 고기압성 소용돌이도(음의 값)가 우세하다. 500hPa 소용돌이도(vorticity;  $10^{-5} \text{ s}^{-1}$ )는 그림 9와 같이 골과 능에서 각각 회전에 의한 양과 음의 구역이 나타난다. 우리나라 상층은 강한 편서풍으로 인해 서에서 동으로 이동하는 기류가 우세하므로 고도장이나 유선에서 회전성분이 뚜렷이 드러나지 않지만, 소용돌이도장에서는 회전성분에 속도값이 크게 작용하므로 상층 기압골을 찾는 데 효과적이다. 소용돌이도 방정식을 사용하여 소용돌이도 이류를 수렴과 발산으로 표현 할 수 있다. 예를 들면, PVA(Positive Vorticity Advection)나 NVA(Negative Vorticity Advection)는 보통 상층의 발산이나 수렴을 나타내기 때문에 연직운동과

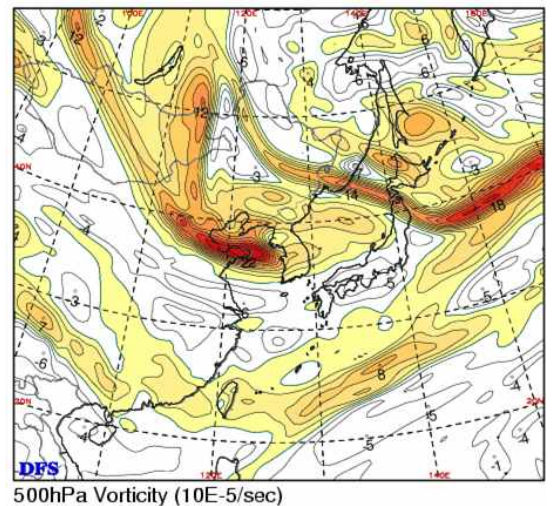


그림 9. 500hPa 소용돌이도 (2010.01.04.00UTC)

고·저기압 시스템의 발달·소멸, 기압골의 이동방향을 분석하는데 사용한다.

이외에도 850hPa 수렴과 등풍속, 300hPa 발산과 제트(등풍속)분석 등이 있다. 많은 보조일기도는 각각의 특징이 있기 때문에 계절적 특징, 시스템의 특징 등을 이해하고 분석에 사용해야 한다. 예를 들면, 겨울철은 대류권계면이 300hPa 부근이므로 상층제트기류와 발산구역 분석은 300hPa 고도장으로, 여름철은 대류권계면 고도의 상승에 따라 200hPa 고도장을 이용하는 것이 좋다. 지상부터 상층까지 잘 조직화된 저기압시스템의 영향을 받는다면, 와도분석이 필요하나, 여름철 집중호우 분석에는 와도 분석보다 하층수렴, 풍속 등을 참고하는 것이 좋다. 여름철 소나기 예보에는 SSI가 적절하나 저기압 시스템에 의한 강수 예측에는 적절치 않다. [4]

#### < 참고문헌 >

기상청 예보기술팀, 2011: 2011년 손에 잡히는 예보기술

홍성길, 1995: 기상 분석과 일기예보, 교학연구사

Capt M. R., J. P. Capt, F. H. MSgt, S. L. MSgt, G. W. TSgt, J. Mike., and C. Debbie, 1998: Meteorological Techniques. *Convective Wea*, **3**, 188-192.

Galway, J. G., 1956: The lifted index as a predictor of latent instability. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **37**, 528-529.

George, J. J., 1960: Weather Forecasting for Aeronautics. *Academic Press*, 410-415.

Miller, R.C., 1967: Notes on analysis and severe storm forecast procedures of the military weather warning center. Tech. Rep. 200, U.S. Air Force Air Weather Service, Scott AFB, 170 pp.

Miller, R. C., 1972: Notes on analysis and severe storm forecasting procedures of the Air Force Global Weather Central. Tech. Rept. 200(R), Headquarters, Air Weather Service, USAF, 190 pp.

Showalter, A. K., 1947: A stability index for thunderstorm forecasting. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **34**, 250-252.

Weather forecasting handbook, 2002: Precipitation type of winter forecasting. pp144.

White. A. B., D. J. Gottas., A. F. Henkel., P. J. Neiman, F. M. Ralph., and S. I. Gutman, 2010: Developing a performance measure for snow-level forecasts. *J. Hydrometeorology*, **11**, 739-753.

----, ----, E. T. Strem., F. M. Ralph, and P. J. Neiman, 2002: An automated brightband height detection algorithm for use with Doppler radar spectral moments. *J. Atmos. Oceanic Technol.*, **19**, 687-697.