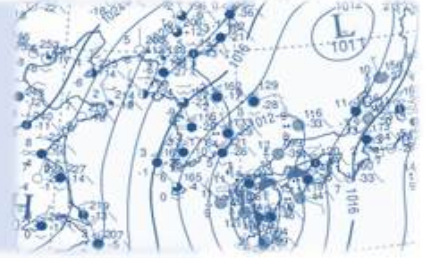


필수 예보요소 활용법과 정의

불안정지수(Instability Index)

· 발행: 예보국 · 문의: 예보기술팀(내선 657/658) · 발행일: 2011년 5월 11일(수)



불안정지수

불안정지수는 두 개 이상의 임의의 기압면의 온도, 이슬점온도 등을 차로 표현하여 대기의 불안정한 정도를 나타내는 지수를 의미한다. 그러나 모든 상황에 일괄적으로 불안정지수를 적용하기는 쉽지 않으며, 표 1처럼 계절이나 기상조건에 맞는 적절한 지수 선택이 필요하다. 표 1은 다양한 불안정지수들 중에서 우리나라에 적용할 수 있는 불안정지수를 골라, 그 지수 수치에 따라 정리한 것이다. 그림 1은 종합기상정보시스템에 제공되는 UM GDAPS 불안정지수 자료이다.

표 1. 우리나라에서 주로 사용하는 불안정지수

지수	적용 시기	고려사항		뇌우 강도			
		높은 정확도	낮은 정확도	약함	보통	강함	격렬함
KI	하계	저기압 영향권 내에서, 습윤한 상태, 하층제트 존재시	하층 역전층 및 건조층 존재시	25 ~ 30	30 ~ 40	≥40	
SSI	연중	안정한 기단 내에서 맑은 날씨	850hPa 역전층 존재, 흐린날씨 및 저기압영향	6 ~ 3	3 ~ -3	-3 ~ -6	≤-6
CT	10월 ~ 5월 (6-9월 제외)	중·상층의 한기핵을 가진 저기압(기압골) 영향	여름철, 500hPa 찬 공기가 없을 경우	16 ~ 18	18 ~ 22	≥22	
TT	CT와 같음		850hPa이 건조할 경우	42 ~ 48	48 ~ 54	54 ~ 60	≥60
CAPE	4월~11월	저기압영향, 하층제트 존재	맑은 날씨, 지면가열에 의한 불안정	300 ~ 500	500 ~ 900	900 ~ 1800	≥1800

KI: K-Index, SSI: Showalter Stability Index, CT: Cross Totals, TT: Total Totals, CAPE: Convective Available Potential Energy

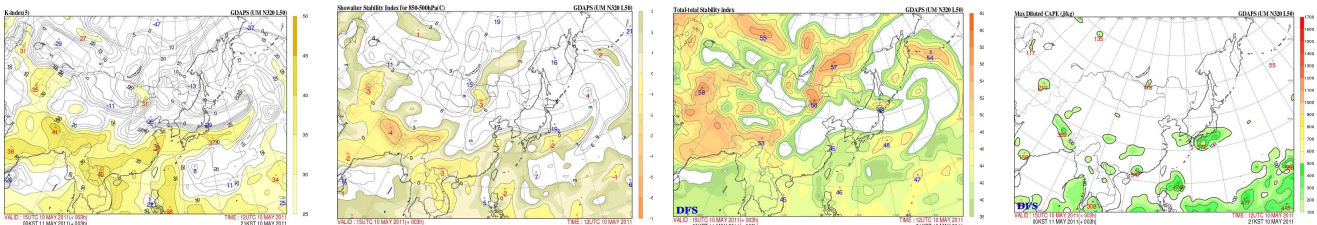


그림 1. 2011. 5. 11. 09KST UM전구 예상 불안정지수(좌로부터 KI, SSI, TT, CAPE 순서임)

주요 불안정지수 정의와 활용 사례

□ KI (K-Index)

정의 & 특징

KI(George, 1960)는 주로 여름철 해양성 열대기단의 영향을 받을 때 나타나는 호우와 뇌우를 진단하기 위해 개발되었다. 이 지수는 중층이하 대기층에서 불안정 요소를 진단하기 위해 3개 층의 기온과 2개층의 노점온도를 사용한다. 현재의 기상상태에서 역학적 불안정을 의미하지만, 중·상층에 차가운 공기가 위치하는 경우 신뢰성이 떨어진다. 또한 하층대기에 충분히 포화되지 않고 건조한 층이 존재할 경우, 역전층이 존재할 경우에도 정확성이 떨어진다.

$$KI = (T_{850} - T_{500}) + D_{850} - (T_{700} - D_{700})$$

T_{850} : 850hPa 온도, T_{700} : 700hPa 온도, T_{500} : 500hPa 온도, D_{850} : 850hPa 이슬점, D_{700} : 700hPa 이슬점

활용방법

우리나라에서는 해양성 열대기단인 북태평양 고기압의 영향을 받는 여름철 호우 및 뇌우 진단을 위해 KI를 활용할 수 있다. 우리나라에서 발생된 여름철 대부분의 호우는 KI값이 30이상에서 나타났다(예보기술팀, 2011). KI는 호우 및 뇌우예보에 보조지표로서 유용한 지수이지만, 직접적인 상관관계가 높지는 않다. 상층의 차가운 공기가 위치하거나 여름철 지표의 가열로 인한 850hPa의 높은 기온은 KI값을 증가시킬 수 있기 때문이다. 따라서, 하층의 수렴, 상층 발산의 연직 대기구조가 잘 갖추어져 있고, 하층대기가 충분히 습윤한 상태일 때 적용가능하다.

그림 2과 같이 KI가 30이상 높은 값을 보일 때, 저기압 중심의 동쪽(난역)에서 호우가 종종 발생하는데, 남서풍의 하층제트가 강한 대류 활동을 유발하는 방아쇠(trigger) 역할을 하기 때문이다. 지표가열에 의한 대류불안정에 의한 뇌우(소나기)예보에는 SSI, LI 등이 적합하다.

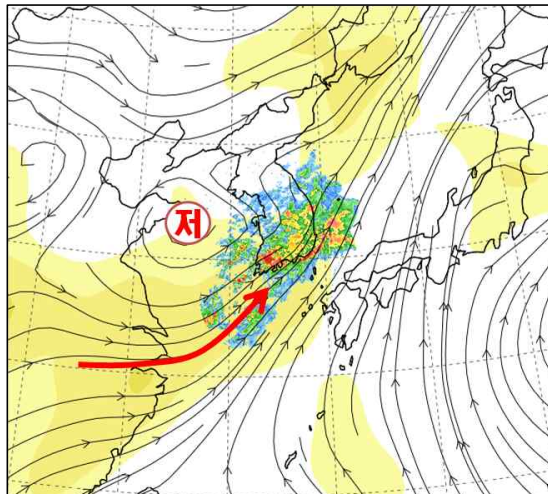


그림 2. 2009. 7. 7. 09KST GDAPS 850hPa 분석장(유선, 저기압중심, 붉은색 실선은 하층제트, K-Index(30이상 노란색)

□ SSI (Showalter Stability Index)

정의 & 특징

SSI(Showalter, 1953)는 계산식이 간단하고 편리하여 일반적으로 대기불안정 상태를 진단하고 예측하는데 많이 활용되고 있는 불안정 지수이다. 고립된 공기내(공기의 유·출입이 없는 상태)에서 야간복사냉각으로 인한 지면부근에 역전층이 주간에 일사에 의한 가열로 해소되면서 기층이 불안정화 되어 뇌우가 발생할 가능성을 가늠해 보기 위해 개발되었다. 따라서, 맑은 날씨에 바람이 거의 불지 않는 안정된 기단의 영향을 받고 있을 때, 지면의 급격한 기온 상승 예측을 통해 대류가 발생하여 뇌우발생(소나기) 가능성을 진단하는데 유용하지만, 저기압에 의한 강수나 하층수렴, 상층발산의 대류운동이 잘 발달된 연직대기 상태에 적용하는 것은 적합하지 않다. 또한, 빠른 기압계의 흐름(변질된 기단 영향)에서도 적합하지 않다. 만약, 850hPa을 통과하는 깊은 역전층이나 수증기가 급격하게 감소하는 층이 있는 경우에는 SSI를 보완한 LI를 참고할 수 있다. 상층의 한기가 동반된 뇌우 진단은 CT, TT, S, SWEAT가 유용하며, 여름철 호우형태는 KI, TI가 적합하다.

$$SSI = (T_{500} - T_L)$$

T_{500} : 500hPa면의 실제 온도

T_L : 850hPa면의 상승응결고도(LCL)에서 포화단열선을 따라 올라가 500hPa 면과 만난점의 온도

활용방법

여름철 바람이 없고 안정된 기단 내에서 정오~20시 사이의 소나기 예보에 활용성이 높다. 그림 3의 2010년 8월 2일 9시 사례에서 중부지방을 중심으로 0 내외의 SSI값이 분포하고 있으며, 뇌우(소나기)가 발달한 13시 레이다 영상에서 중부지방 일원에 강수대가 분포한 것을 볼 수 보인다.

SSI는 850hPa의 기온 영향이 크므로 해발고도(산지, 평지)와 지형적 특징(해안, 내륙)에 따라 지수 값의 차이가 발생할 수 있지만, 일반적으로 3이하의 값에서 소나기 발생 가능성이 높은 것으로 알려져 있다. 여름 이외의 계절에서도 상층의 차가운 공기의 영향을 받으면서 흐름이 정체된 대기상태라면 이 지수를 활용할 수 있다.

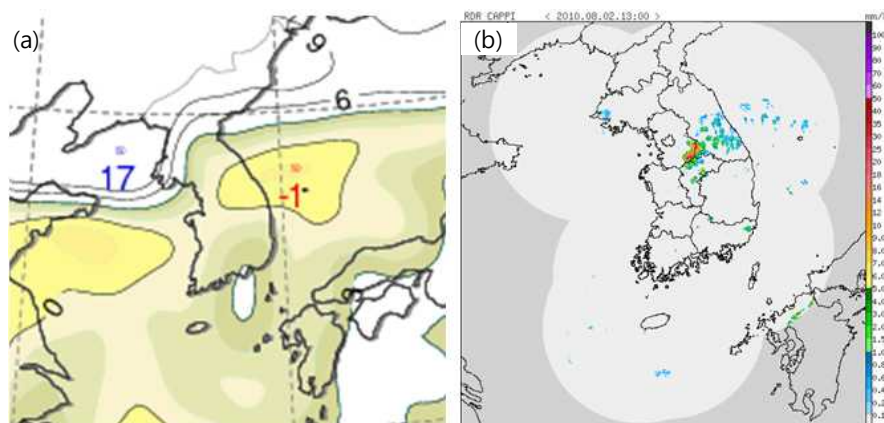


그림 3. 2010. 8. 2. 09KST UM-RDAPS SSI(850-500hPa) 분석장(a), 13시 레이다 영상(b)

□ CT (Cross Totals)와 TT (Total Totals)

정의 & 특징

CT(Miller, 1967)는 하층의 수증기와 중층의 기온으로 만들어진 지수로서, 간단하게 뇌우의 강도를 예측할 수 있다. 그렇지만 기압계의 이동으로 500hPa 고도의 찬공기가 온난해지거나, 850hPa의 습윤층이 건조하게 되면 CT값은 신뢰할 수 없다.

$$CT = D_{850} - T_{500}$$

T_{500} : 500hPa 기온, D_{850} : 850hPa 노점온도

TT(Miller, 1972)는 하층대기(850hPa)의 기온이 고려되지 않는 CT를 보완하여 뇌우의 범위와 강도를 예측하기 위해 개발되었다. 850hPa과 500hPa의 기온차이가 추가되어 대기 중·하층의 불안정 판단이 가능하게 된 것이 장점이다. 그렇지만, 수증기가 거의 존재하지 않을 경우 수치의 정확성이 떨어지는 단점이 있다. 만약, 850hPa 수증기가 적을 경우 CT를 이용하는 편이 더 낫다.

$$TT = VT + CT$$

VT (Vertical Totals) = $T_{850} - T_{500}$, CT : Cross Totals

활용방법

CT는 로키산맥의 동쪽과 난류의 영향을 받는 멕시코만 인근 지역에서 뇌우의 범위와 강도를 예측하기 위해 개발되었다. 동중국해와 인접한 우리나라에서도 이 지수는 활용가능하다. CT는 일반적으로 18~22는 보통의 뇌우 강도를 22 이상은 강한 뇌우발생 가능성을 의미한다.

2006년 4월 19일 21시 오산 고층관측에서 850hPa 노점온도는 -5.9°C , 500hPa 기온은 -30.5°C 를 보였다. 이때 CT는 24.6으로써 뇌우가 강하게 나타날 수 있는 조건을 만족했다. 실제로 19일 22시에서 20일 01시 사이에 수원관측소에서 뇌우와 함께 우박이 관측되었다. 이 지수의 특성상 500hPa에 한기핵을 가진 절리저기압(cut-off low)이나 발달된 상층 기압골의 영향 범위에 들 때 활용성이 높다.

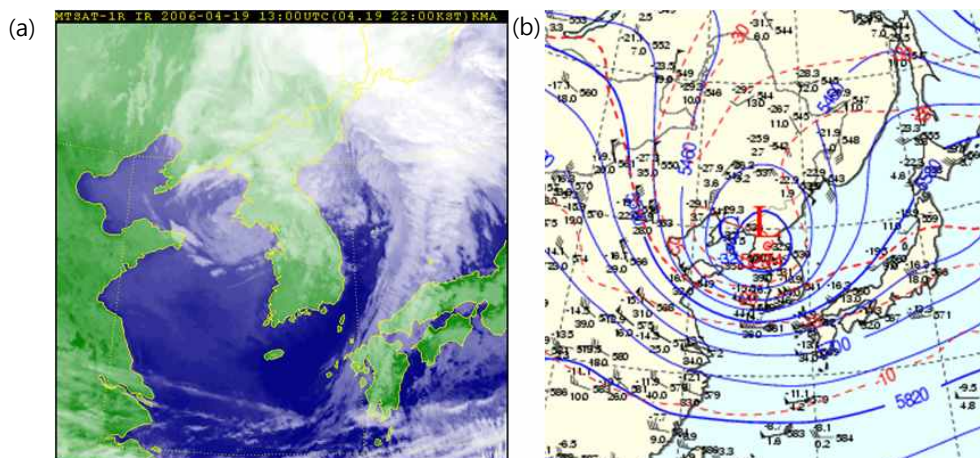


그림 4. 2006. 4. 19. 22KST 한반도 적외영상(a)과 21시 500hPa 분석장(b)

□ CAPE (Convective Available Potential Energy)

정의 & 특징

CAPE(Moncrieff and Miller, 1976)는 기온과 수증기의 연직 분포로부터 대류를 발생 및 강화시킬 수 있는 잠재 에너지를 수치화 한 것이며, 단열선도(Skew T - log P)를 이용해 CAPE를 계산하는 방법은 다음과 같다.

$$CAPE(J/kg) = R_d \int_{EL}^{LFC} (T'_v - T_v) d \ln p$$

LFC: 자유대류고도, EL: 평형고도, T'_v :가온도, R_d : 기체상수

그림 5는 단열선도를 이용하여 대략적으로 CAPE를 계산하는 예이다. 여기서, EL은 175hPa, LFC는 800hPa이다. CAPE내 기온은 기온감율곡선에 비해 평균적으로 10°C ($T'-T$) 더 높다. 따라서 간단하게 아래와 같이 CAPE를 계산할 수 있다.

$$\begin{aligned} CAPE &= 287 \times 10^\circ\text{C} \times \ln(800/175) \\ &= 4362 \text{ J/kg} \end{aligned}$$

활용방법

CAPE는 저기압영향 내에서 대류성 강수가 발생 가능한 조건일 때, 시간당 최대 강수량, 돌풍 가능성 등을 예측하는데 참고자료로 활용성이 높다. 그렇지만 CAPE의 수치만을 이용하여 강수량이나 돌풍의 강도를 예측하는데 한계가 있다. 미국에서는 중규모 폭풍(뇌우, 토네이도)지표로 활용하고 있고, 우리나라에서는 주로 호우 및 돌풍 예측에 활용하고 있다. 그림 6의 실제 사례를 살펴보면, 2011년 4월 30일 6시에 중부지방을 중심으로 저기압에 의한 대류성 구름들이 발달하였다. 대류성 구름대의 분포는 100이상의 CAPE지역과 비슷한 것을 알 수 있다. 특히, 700이상의 높은 CAPE값 지역과 적외영상에서 가장 발달된 구름대의 위치는 모두 경기만을 중심으로 위치하고 있다. 호우가 예상될 때, 호우구역의 위치 및 강수집중시간, 발달 및 약화 등을 일기도 분석과 CAPE예측을 통해 진단 할 수 있음을 의미한다.

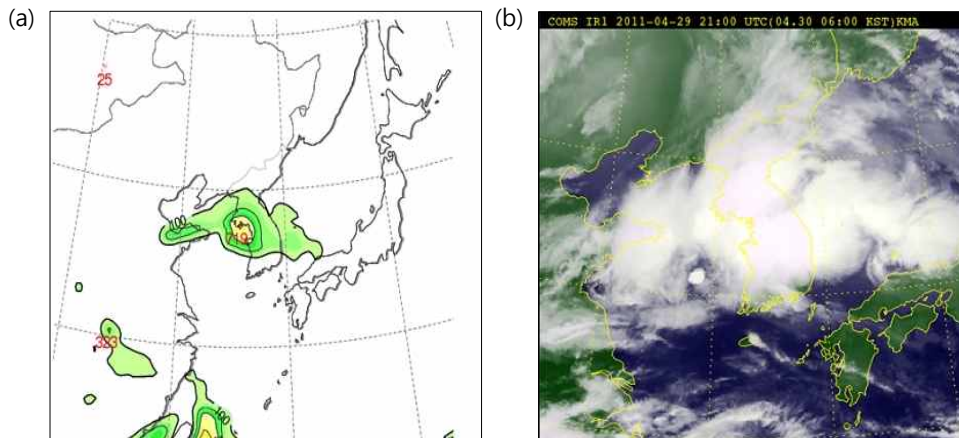


그림 6. 2011. 4. 30. 06 KST, UM-RDAPS CAPE(a) 예측장(12UTC 생산)과 적외영상(b)

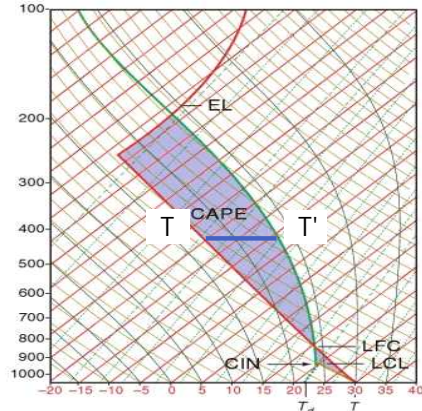


그림 5. CAPE와 CIN(convection inhibition)의 개념을 위한 가상의 사운딩 그림. CAPE와 CIN은 보라색으로 색칠되어있으며, 두꺼운 붉은색은 실제 기온감율곡선, 녹색점선은 포화혼합비, 녹색실선은 습윤단열선임. (그림출처 : Atmospheric Science, John M. Wallace Peter V. Hobbs, p346)

참고할 만한 불안정지수들

■ S (S Index)

S는 TT를 보완한 지수로서, 700hPa의 수증기와 다양한 변수가 추가됐다. 700hPa 수증기의 첨가는 지표 및 하층대기의 복사열이 약한 유럽지역의 기후 특성을 고려한 것이다. 700hPa의 수증기는 강수 및 뇌우 발달을 예측하는데 유용하다.

$$S = TT - (700T - 700T_d) - A$$

TT: Total Totals, T_d : 이슬점, T: 온도, A: VT>25이면 A=0, 25≥VT≥22이면 A=2, VT<22이면 A=6, VT(Vertical Totals) = $T_{850} - T_{500}$

표 2. S 지수를 이용한 뇌우 강도 구분

적용지역	약함	보통	강함
유럽 (4 ~ 9월)	< 39	39 ~ 46	> 46

■ SWEAT (Severe Weather Threat Index)

SWEAT는 뇌우 발달과 관련된 CT와 TT를 개선한 지수로서, 평범한 뇌우보다는 격렬한 폭풍과 토네이도를 예상하기 위해서 고안됐다. 850hPa과 500hPa 풍속항을 추가하여, 대기 중·하층 풍속차이와 바람시어가 고려되었으며, 뇌우와 함께 돌풍예상에 적용할 수 있다. 그렇지만, 상층의 기온이 따뜻한 열대성기단 내에서 발생하는 여름철 호우와 직접적인 상관관계를 보이지 않는다.

$$SW = 20(TT - 49) + 12D_{850} + 2V_{850} + V_{500} + 125[\sin(\Delta V_{500-850}) + 0.2]$$

TT: Total Totals, V_{850} : 850hPa 풍속, V_{500} : 500hPa 풍속, D_{850} : 850hPa 이슬점

표 3. SWEAT를 이용한 뇌우 강도 구분

적용지역	약함	보통	강함	토네이도 발생가능
미국 평원지역 (상층 한기동반)	< 275	275 ~ 300	≥ 300	≥ 400

■ TI (Thompson Index)

TI는 산악지역에서 사용할 수 없는 KI를 보완하고, 역학적 불안정 대기상태와 대류불안정(SSI 또는 LI)으로 발생하는 뇌우를 모두 고려한 지수이다.

$$TI = KI - LI \quad (KI : K\text{-Index}, LI : \text{Lifted Index})$$

표 4. TI를 이용한 뇌우 강도 구분

적용지역	약함	보통	강함
로키산맥	20 ~ 29	30 ~ 34	≥ 35
로키산맥 동쪽	25 ~ 34	35 ~ 39	≥ 40

■ LI (Lifted Index)

LI는 850hPa 면을 지나는 역전층 또는 수증기가 급격하게 감소하는 층이 있는 경우에 SSI를 수정 적용하기 위한 값이다. LI는 SSI 값보다 약간 적은 경향이 있다.

$$LI = T_L - T_{500}$$

T_{500} : 500hPa면의 실제 온도, T_L : 850hPa면의 상승응결고도(LCL)에서 포화 단열선을 따라 올라가 500hPa 면과 만나는 점의 온도

표 5. LI 수치별 뇌우 및 토네이도 강도구분

약함	보통	강함	토네이도
0 ~ -2	-3 ~ -5	< -5	< -6

<참고문헌>

기상청 예보기술팀, 2011: 예보관 핸드북 시리즈 2. 한눈에 보는 호우개념모델.
 홍성길, 1995: 기상 분석과 일기예보, 교학연구사, 211-214
 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.
 Daniel A Brothers, 2008: Forecasting summertime convection in western north dakota using raob. 2008 24th conference on severe local storms, Session 6.
 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.
 Moncrieff, M. W., and M. J. Miller, 1976: The dynamics and simulation of tropical cumulonimbus and squall lines. Quart. J. Roy. Meteor. Soc., 102, 373-394.
 Shou S., L. Zhang., and Y. Shou, 2006: Numerical Simulation and Diagnostic Analysis of a Severe Convective Storm Process with Tornado. 2006 23rd conference in severe local storms, Session 10.
 Showalter, A, K., 1953: A stability index for thunderstorm forecasting. Bull. Amer. Meteor. Soc., 34, 250-252.

“손에 잡히는 예보기술” 과월호 열람안내

손에 잡히는 예보기술 과월호는 예보관 온라인 가이드에서 보실 수 있습니다.

- 종합기상정보시스템 - 예보 - 예보관 가이드의 “손에 잡히는 예보기술” 메뉴



* 다음 호는 6월 13일(월)에 발간예정입니다.