

2004년 밀양의 이상더위의 특징과 종관적 원인

변희룡¹ · 황호성^{1,*} · 고혜영²¹부경대학교 환경대기과학과²기상청

(2006년 6월 20일 접수; 2006년 8월 26일 승인)

Characteristics and Synoptic Causes on the Abnormal Heat Occurred at Miryang in 2004

Hi Ryong Byun¹, Ho Seong Hwang^{1,*} and Hye Young Go²¹Dept. of Atmospheric Sciences, Pukyong National University²Korea Meteorological Administration

(Manuscript received 20 June 2006; in final form 26 August 2006)

Abstract

During summer (JJA) of 2004, a record-high temperature in Korea appeared at Miryang (38.5°C on July 30). Moreover, Miryang showed the most frequent occurrence (25 days in JJA) of the daily highest temperature among observational sites in Korea. Based on meteorological analysis, it is found that this phenomenon is caused by neither the global warming effect nor the urban climate effect. It is caused by the mesoscale and synoptic and/or global scale atmospheric circulations, as evidenced by several factors described below. Firstly, the hottest areas have normally occurred not at a point but over an area, particularly along an axis connecting Sancheong and Daegu. But in 2004, this axis has moved southward and locates over Namhae-Miryang due to northerlies that were induced by the heating effect related to the low snow-cover on the Tibet Plateau. Secondly, although the maximum temperature was the highest among observational sites in Korea, the daily mean temperature and the number of nights with air temperature over 25°C were not the highest at Miryang. Thirdly, the downdraft induced by the second circulation of typhoon and abnormal development of the North-Pacific High were found to have exerted an important role.

Key words: record-high temperature, global warming, urban climate, the hottest area

1. 서론

2004년 여름 (6, 7, 8월) 경남 밀양에서는 전국 년 최고기온 (7월 30일, 38.5°C)이 발생하였다. 또 일 최고기온의 전국 1위의 발생일수 또한 전국 최다 (25일, Table 1)를 기록했다. 이로 인해 한국의 최고 더위 지역이 대구에서 밀양으로 바뀐 것이 아닌가하는 의문이

각종 언론에 의해 제기되었다. 대구광역시에서는 1990년대 후반부터 끊임없는 나무심기와 환경정비의 결과로서 대구의 기후가 변하였다고 주장했고, 밀양시에서는 기상관측소 바로 앞에 생긴 대형 백화점과 아스팔트 도로 때문에 밀양이 최고더위 지역이란 오명을 쓰게 되었다고 주장하였다.

기상청은 2004년 장마 후 전국 무더위가 심했고 (7월 18일~8월 15일), 이 무더위 기간 동안 전국 최고기온 평균값 (32.6°C)이 과거 30년 동안 가장 더웠던 해인 1994년 같은 기간의 최고기온 평균값 (33.3°C)에 근접하는 고온을 나타내었으며, 이는 편현상 (Föhn)에 의한 풍하측의 고온현상이라고 발표하였다. 그래서 강수가 없이 편이 가능한지에 대해 논란을 일으키기도 하였다.

*Corresponding Author: Ho-Seong Hwang, Dept. of Environmental Atmospheric Sciences, Pukyong National University, 599-1 Daeyeon 3-dong, Nam-gu, Busan 608-737, Republic of Korea.
Phone : +82-51-620-6283, Fax : +82-51-620-6283
E-mail: hhs79@kma.go.kr

여름철 이상고온에 관한 국내의 연구는 많지 않은 편이다. 어렵게 발견되는 유관 연구로 '1987년과 1994년도에 일어난 한반도 하계 이상고온의 특징' (김해구와 민경덕 외, 1998)과 '지형의 영향에 의한 대구지방의 기온 분포' (원덕진과 이운정, 2000) 등이 있다. 전자는 북태평양 고기압의 이상적인 북상으로 인해 한반도가 고기압 중심에 위치하게 된 것에 주목한다. 이로 인해 하강운동과 함께 단열압축이 발생하여 고온이 발생하였다는 것이다. 후자는 대구의 1) 도시화와 2) 풍하층의 단열승온, 그리고 대구가 3) 서에서 동으로의 수평열수송의 최대지점이 된다는 점과 4) 지표복사가 최대가 되는 평지인 점을 고온의 원인으로 보았다.

그 외에 신경섭 (2000)은 1998년 이후 대구지방의 일 최고기온이 현저하게 하강한 사실을 언급하였다. 그는 대구광역시가 선전하고 있는 사항, 즉 대구시의 식목 조림 및 환경 정화의 효과가 대구의 기온을 하강시키는 역할을 했다는 사실을 부분적으로 부정하며, 관측소의 주변 환경 (위치, 지표면 상태 등)이 변화한 것에 주목했다.

한편, 내륙지방의 승온이 소위 '유사 편'이라 불리는 현상에 의한 것이라는 연구 (홍성길, 1996)도 있었다. 편현상이란 산맥을 넘는 공기가 풍상층에서 습윤 단열적으로 상승하여 강수를 유발하고, 풍하층에서는 건조 단열적으로 하강하여 기온이 상승하기 때문에 결과적으로 고온 건조한 공기가 된다는 원리이다. 그런데, 이런 기온 상승이 강수현상 없이 일어났다 하여 '유사 편'이란 이름을 붙였다. 그리고 편에 대한 한글 명칭이 '늑새' 라면, '유사 편' 에는 '화풍'이란 옛 이름이 있었음을 소개하였다. 그런데 이 연구는 편의 일종으로 강수현상이 없이도 기온 상승이 일어나는 '치누크(Chinook)'가 있다는 사실을 고려하지 않았다. 치누크는 로키 산맥의 풍하층 (서풍 때에는 동쪽, 동풍 때에는 서쪽)에 고온 건조한 바람이 일어나는 것인데, 주원인은 고고도 공기의 하강에 따른 단열승온이다. 고고도에서 육지의 복사가열이 치누크의 효과를 강화한다. 또 풍상층의 강수 역시 치누크의 효과를 강화하나 반드시 동반되지는 않는다는 점에서 늑새 현상과 구별된다.

본 연구는 2004년 밀양의 더위가 늑새나 화풍현상인지, 아니면 지구온난화나 도시화에 따른 영향인지, 아니면 다른 원인인지를 조사하고자 한다. 2004년 여름 (JJA) 밀양의 강수량은 723.5 mm로써 평년 강수량 672.3 mm에 비해 7.6% 더 많았다. 따라서 비가 적게

와서 기온이 올라간 것은 아님이 판명되었다.

2. 자료 및 분석

전국 기상관서 57개 지점과 영남지방 AWS 85개 지점의 일 관측 자료를 이용하여 기온과 바람장을 분석하였다. NCEP_NCAR (National Centers for Environmental Prediction_National Centers for Atmospheric Research, grid; 2.5° X 2.5°) 의 재분석 자료로 종관적인 바람장과 고도장을 분석하였으며, RDAPS (Regional Data Assimilation and Prediction System, grid; 30 km X 30 km) 자료로 남한 및 영남지방의 바람분포를 분석하였다. 이 외에도, 경남 밀양 산내면 송백리에 위치한 송백 AWS자료와 경남 밀양 산내면 남명리에 위치한 얼음골 (밀양의 명소) 일대의 온도 자료들을 활용하였다.

3. 밀양 및 주변 지형

Fig. 1은 대구와 밀양일대의 산세를 나타낸다. 밀양의 남쪽이 열려있고 동, 서, 북쪽은 산으로 가로막혀 있다. 특히 얼음골 지역 (Fig. 1의 ▲)은 1,000 m 이상의 영남 알프스 준봉들이 장벽처럼 들어서 남쪽 및 동쪽에서의 기류의 유입을 막는 것이 특징이다 (변희룡 등, 2004).

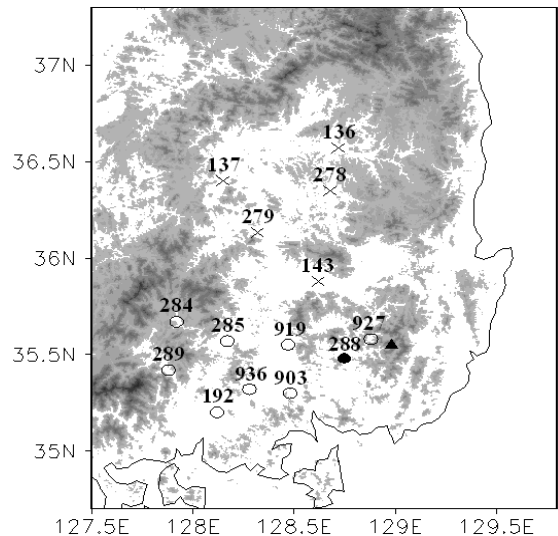


Fig. 1. Topography of Miryang (288) environs. 143 is Daegu, 927 is Songbaek, and ▲ denotes the Ice-Valley in Sannae-myeon of Miryang.

4. 2004년 밀양의 이상 고온

4.1 더위가 영남에 집중되는 경향

여름철 (JJA) 일 최고기온의 전국 1위의 빈도는 영남지방(특히 대구)에서 집중되어 나타나는 기후학적 경향이 있다 (Fig. 2a). 북위 38도 부근에도 조금 나타나지만 영남지방보다 약하다. 그리고 2004년에는 6, 7월에 밀양지역에 집중된다 (Fig. 2b). 따라서 이 연구는 분석영역을 영남지방으로 좁히고, 특히 대구와 밀양을 중점적으로 조사하였다.

4.2 고온역의 구조적 이동

평년에 영남지방의 여름철 최고기온은 내륙 분지에서 높게 나타나는 경향이 뚜렷하다 (Fig. 3a). 6, 8월은 대구 및 그 북쪽이 중심인데 7월은 그보다 남쪽이 중심이다. 즉, 7월에는 최고기온의 발생역이 밀양 쪽으로 치우치는 경향이 예전에도 있었던 것이다. 이 경향이 2004년(Fig.3b)에는 더 크게 나타났다. 평년 7월엔 산청 (289), 합천 (285), 대구 (143)로 이어지는 최고기온

축이 2004년에는 남해 (295), 진주 (192), 밀양 (288)으로 이어지는 남하 경향을 보인 것이다. 이 축의 남하 경향은 6월에도 약하게나마 보인다. 그러나 8월에는 나타나지 않았다. 6월과 7월의 경우, 2004년이 평년보다 3°C나 높은 기온을 보였으나 8월에는 평년과 거의 같은 기온을 회복하였다. 즉 2004년 6, 7월엔 영남지방에서 평소보다 특이하게 높은 기온이 발생한 구조적 요인이 있었다. 다시 말하면, 밀양관측소 주변의 도시 기후 효과라고 인정하기는 어렵다.

위와 같은 경향은 일평균기온 (Fig. 4)에서도 나타난다. 평년에는 6월의 기온 중심이 대구에 있으나 2004년에는 마산으로 남하하였다. 평년 7월엔 분지내륙인 대구와 밀양이 함께 중심을 형성하나 2004년에는 남해, 마산, 밀양을 잇는 선으로 남하하였다. 8월은 평년과 2004년이 별다른 차이가 없다. 즉, 특정지점의 기온만 올라간 것이 아니라 구조적으로 고온 발생역이 이동한 것이다.

Fig. 5의 a, b는 각각 2004년 7월의 일 최고기온 평균과 일 평균기온 평균의 평년편차이다. 밀양에서 남해로 이어지는 선상에 기온의 이상증가가 발생하였음을 보여준다. 즉, 밀양의 기온 증가는 단독으로 증가한 것이 아니며, 경남 내륙 및 도시기후의 효과가 적은 해

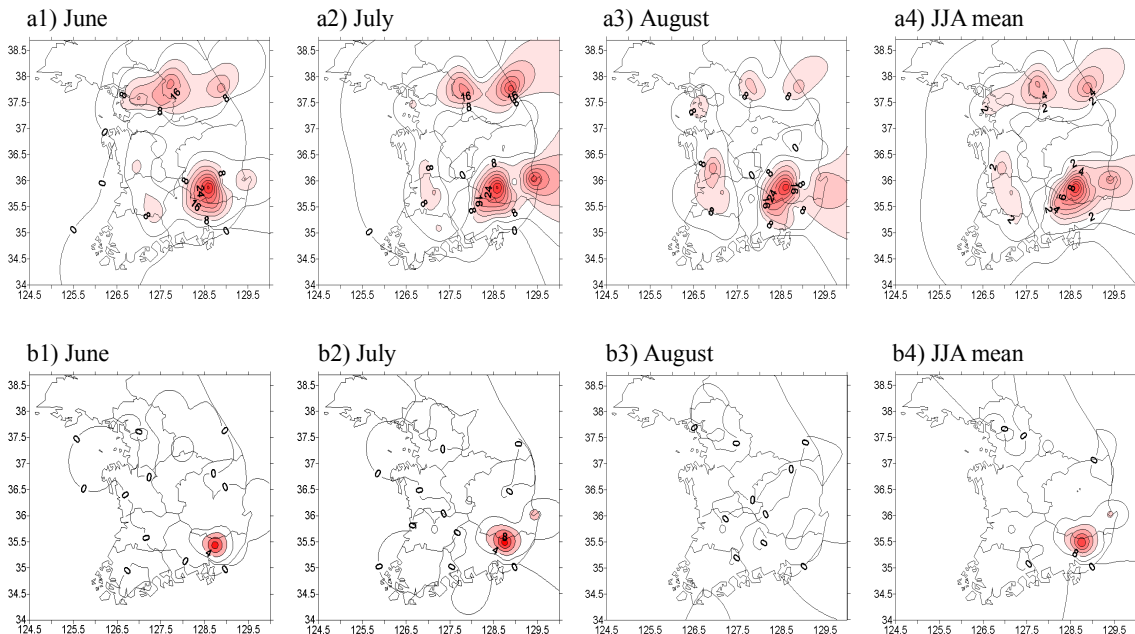


Fig. 2. Distributions of the occurrences of the highest daily temperature at 57 Korean stations (a1~a4: June, July, August, and JJA represent the mean for 1994 to 2004. b1~b4: June, July, August, and JJA are the mean for 2004).

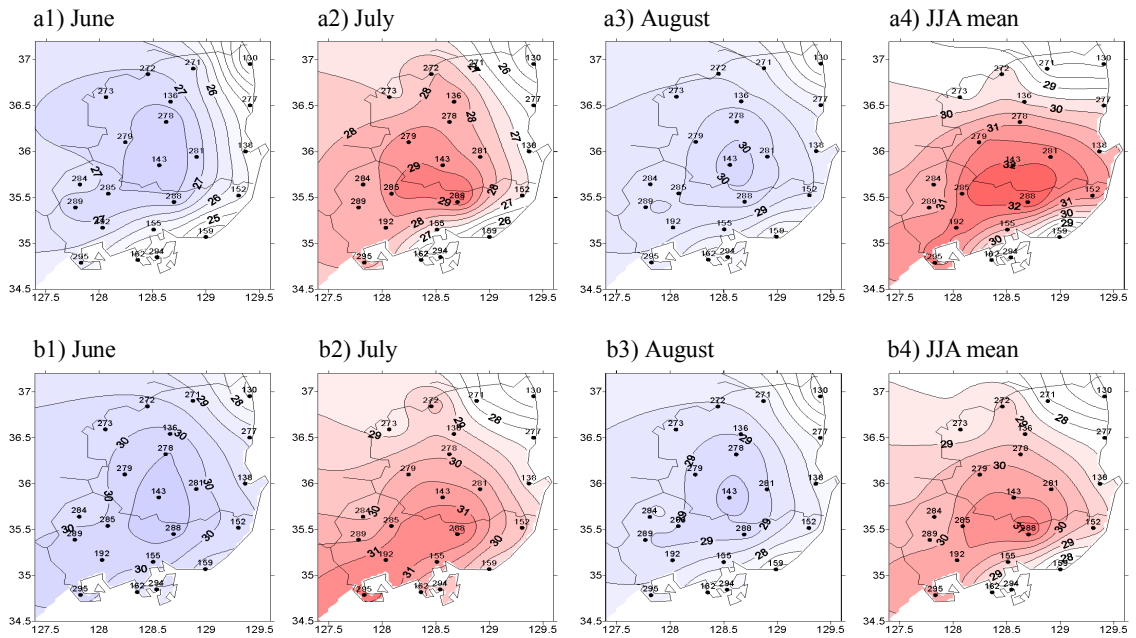


Fig. 3. Distributions of the monthly means for the daily maximum temperature in the Yeongnam region (a1~a4: June, July, August and JJA represent the mean for 1975 to 2004. b1~b4: June, July, August and JJA are the mean for 2004).

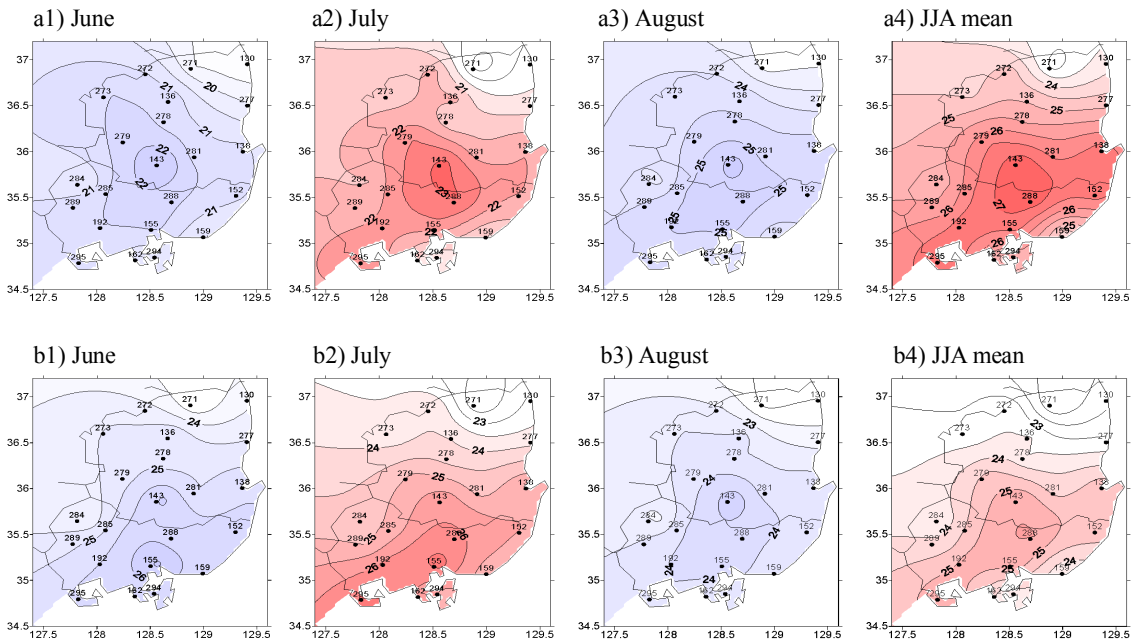


Fig. 4. Same as in Fig. 3 but representing the monthly mean for the daily mean temperature.

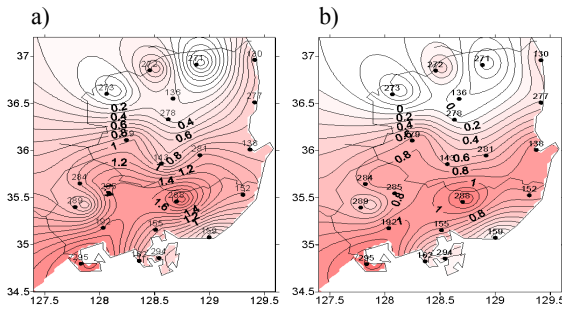


Fig. 5. Anomaly of the mean for the daily maximum temperature (a) and daily mean temperature (b) in July 2004.

안지방에서도 함께 증가한 것이다.

4.3 고온 출현지점의 변화

영남 지방 내에서 일 최고기온 1위의 발생빈도는 평균적으로 대구에서 가장 빈번하게 나타나며, 그 다음이 합천, 포항, 영천, 의성, 울산, 밀양의 순이다 (Table 1). 2003년에도 밀양은 상위 6개 중의 하나일 뿐이었다. 그런데 2004년에는 밀양에서 25회가 발생해 단연 최고 빈도를 보였으며, 그 다음이 포항, 합천, 대구, 영천, 남해의 순으로 바뀌었다. 이는 2004년의 최고기온이 특이함을 보여준다.

4.4 밀양의 고온 15일

밀양에 비가 왔는데도 이곳에서 전국 최고기온이

발생한 날이 9번이나 있었다. 비는 소나기일 수도 있으며, 최고 기온 발생 후에 왔을 수도 있으나 전반적으로 흐리고 비가 오는 날이었을 수도 있기 때문에 모두 별도로 취급하였다. 그래서 이를 제거하고 선정한 것이 고온 15일이다 (Table 2).

5. 주변 지역과의 기온비교

5.1 밀양과 대구-2004년의 역전현상

Fig. 6은 과거 32년간 (1973년~2004년) 밀양과 대구의 여름철 (JJA) 일 최고기온 평균값(a)과 일 평균기온 평균값(b)의 연도별 변화이다. 전반적으로, 대구가 밀양보다 고온이었다. 그러나 2003년과 2004년에 최고기온에서 역전이 나타났다. 2003년에는 음의 아노말리인 상태로, 2004년에는 양의 아노말리인 상태로 밀양이 더 고온이었다. 자료 기간 내에서 처음 발생한 현상이다. 회귀식에서 일 최고기온은 대구가 1년에 0.01°C씩 낮아지는 추세이며, 반면에 밀양은 0.01°C씩 높아지고 있는 추세이다.

여름철 (JJA) 평균기온은 대구와 밀양에서 모두 매년 상승하는 추세이나 상승폭은 대구가 더 크다. 즉, 대구에서 일 평균기온은 증가하는 추세지만, 일 최고기온이 감소하는 경향이 나타나는데 이에 대한 해석이 문제가 된다. 신경섭 (2000)은 대구의 최고기온 하락 경향이 1998년부터 발생하였음을 지적하고 대구시민의 ‘푸른 대구 가꾸기 운동’과 대구 관측소의 관측환경변화를 함께 지적하였다. 관측 환경 변화로 인해 1~2°C

Table 1. Occurrences of the highest daily maximum temperature in Korea (in days). A is the mean from 1994 to 2003, B is the mean for 2003, and C is 2004.

station	A	B	C	station	A	B	C
Ulsan(130)	1.3	1	0	Mungyeong(273)	0.2	0	0
Andong(136)	0.4	0	0	Yeongdeok(277)	0.5	0	0
Pohang(138)	5.2	1	9	Euiseong(278)	2.6	0	0
Daegu(143)	11.1	3	4	Gumi(279)	0.9	1	3
Ulsan(153)	2.5	7	2	Yeongcheon(281)	3.6	3	4
Masan(155)	1.8	1	1	Geochang(284)	0.4	0	1
Pusan(159)	0.5	0	0	Hapcheon(285)	5.7	2	5
Tongyeong(162)	0.2	0	0	Miryang(288)	2.0	3	25
Jinju(192)	1.7	3	0	Sancheong(289)	0.8	0	0
Bonghwa(271)	0.1	0	0	Geoje(294)	0.2	0	0
Yeongju(272)	0.1	0	1	Namhae(295)	0.7	4	4

Table 2. The 25 days of the highest temperature in Korea occurred in Miryang for JJA 2004. Selected 15 hot days with no precipitation and a maximum temperature over 30°C are marked O.

day	max. temp(°C)	precipitation(mm)	selection
6. 1.	30.6	-	O
6. 5.	34.0	-	O
6. 6.	32.5	-	O
6. 8.	25.2	4.5	
6. 9.	29.3	-	
6.20.	33.0	4.0	
6.22.	31.0	-	O
6.28.	31.2	0.0	
6.29.	32.0	-	O
6.30.	31.0	-	O
7. 5.	32.2	2.0	
7. 8.	30.6	-	O
7.11.	30.2	4.0	
7.15.	31.6	33.0	
7.16.	31.7	0.0	
7.17.	31.2	12.5	
7.21.	36.7	-	O
7.22.	37.2	-	O
7.23.	38.0	-	O
7.28.	36.7	-	O
7.29.	37.5	-	O
7.30.	38.5	-	O
8. 2.	37.2	1.0	
8.12.	35.5	-	O
8.31.	32.2	-	O

정도의 기온 변화는 생길 수 있고, 이것이 최고기온 1위냐 아니냐를 결정할 정도가 되니 상당히 타당한 지적이다. 더구나 대구지방의 여름철 일평균 기온은 여전히 밀양보다 높으며 기온 증가의 폭은 밀양보다 오히려 더 높으니, 아직은 국내에서 최고 더운 도시가 대구란 판정은 틀림이 없다.

Table 3은 Fig. 6에서 특이한 기온분포를 보인 2003, 2004년을 제외하고 계산한 추세식이다. 대구와 달리 밀양은 최고기온, 평균기온 모두 변화폭이 작아지는 경향을 보인다. 밀양에서는 여름철 평균기온이 최근까지 하강추세에 있다가 이 두해에 나타난 더위로 인하여 상승 추세로 바뀌었음이 확인된다. 즉, 2004년 여름 밀양의 고온은 해마다 증가하는 추세에 의해 생긴 것이 아니라, 2003년과 2004년 여름에 나타난 특이한 현상이 원인인 것이다.

5.2 밀양내의 타 지역과 동반 상승

Fig. 7은 밀양 관측소, 밀양 송백 AWS와 얼음골 일대 3곳 (밀양 천황산의 정상; Fig. 1 ▲의 1000 m부근, 천황사; ▲의 400 m부근, 얼음골의 온혈 외기; ▲의 800 m부근)의 2004년 여름철 일 최고기온의 일변화이다. 다섯 개의 곡선은 같은 위상으로 등락한다.

Table 4는 Fig. 7에서 활용된 지점의 지리적 제원 및 분석기간 중 밀양의 최고기온변화와의 상관계수이다. 얼음골 세 지역과 송백의 일 최고기온은 모두 밀양 관측소와 0.9 이상의 상관을 가지며 등락하고 있어 전체적 패턴이 함께 움직임을 나타낸다. 즉 밀양 관측소 한 곳의 특정한 도시화 현상이 2004년에 최고 더위를 가져온 원인이 아님을 시사한다.

대구보다 밀양이 고온인 날, 밀양 관측소 뿐 아니라

송백 관측소에서도 고온이었으며, 밀양보다 송백에서 더 고온이 관측된 날도 많았다. 한편, 전국 최고기온 1위를 나타낸 25일 중에서도 송백이 밀양보다 더 높은 최고기온을 나타낸 날도 적지 않다. 이는 곧, 밀양관측소 주위의 아스팔트 포장이나 대형 상가 형성이 밀양관측소 고온현상의 주원인이 아니며, 밀양 및 송백 등의 지역에 고온을 유발한 대기 순환이 따로 있었음을 시사한다.

6. 대류억제와 일사가열을 촉진한 바람

6.1 지표의 약한 북서풍

서울지역 야간의 고온을 연구한 강재은 등 (2005)은 고온이 지속된 01~06KST의 최저기온이 25°C 이상인 날이 5일 이상 지속된 경우의 특징으로써, 풍향은 일정

한 방향의 분포 (낮에서는 서풍, 밤에는 동풍)를 가지는 특징이 있으며, 풍속은 모두 3 m/s이하를 나타내었다고 하였다. 이번 연구에서도 바람장을 분석한 이와 유사한 특징이 있었다. 즉, 고온이 발생할 수 있는 조건으로서 바람의 영향이 크다는 것을 알 수 있다.

밀양관측소는 최고기온과 연관된 바람으로써 북풍이 탁월한 편이며, 북풍과 서풍사이의 바람이 많다 (Fig. 8). 특이하게 50°의 바람도 많이 관측된다. 이는 뒤에 설명할 유선의 흐름과는 상반된다. 산이 많은 지역의 지표풍이라 전반적 흐름과는 풍향이 다를 수는 있다. 풍속은 모두 3 m/s이하로 거의 모두 작은 값이다. 이는 밀양에서 전국 최고기온이 발생한 날, 대규모 또는 중규모 기류이동이 크지 않고, 고기압권 내의 하강기류가 강한 날임을 의미한다. 여름철 오가사와라 (小笠原) 고기압이 약해지면 한반도에서는 고기압이

Table 3. Trend curve for Fig. 6 not including 2003 and 2004 data.

station	the trend curve of max. temp.	the trend curve of mean temp.
Miryang	$y = 0.0075x + 29.14$	$y = -0.0014x + 24.16$
Daegu	$y = -0.0008x + 29.78$	$y = 0.0215x + 24.52$

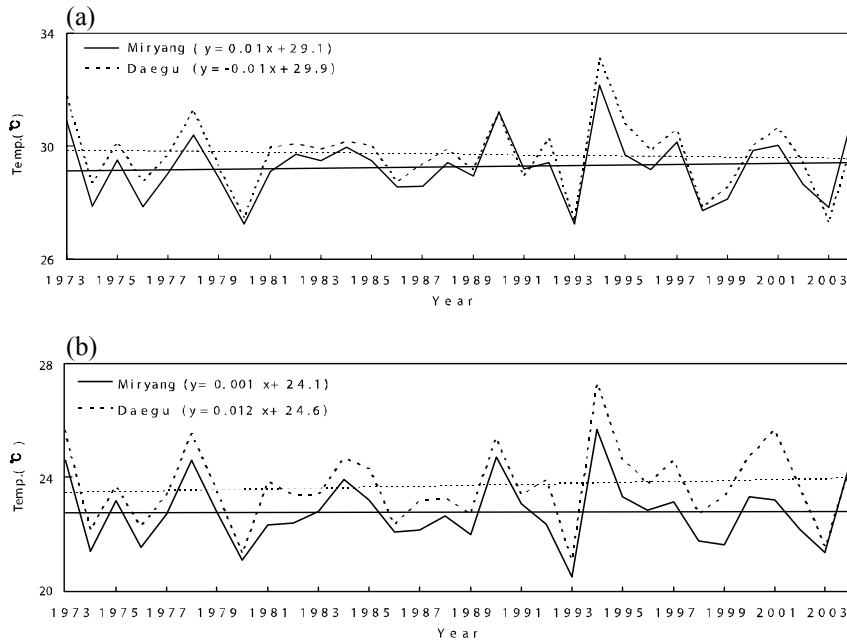


Fig. 6. Inter-annual variation of the mean for the daily maximum (a) and mean temperature (b) during the summer (JJA) from 1973 to 2004.

Table 4. Correlation coefficient of the daily maximum temperature during JJA between Miryang and its several outskirts with the geographic information.

observatory	correlation coefficient	latitude	longitude	altitude (m)
Songbaek	0.97	35° 34' 40.1"	128°53' 12.4"	130
The top of Mt. Cheonhwang	0.91	35° 33' 42.8"	128°59' 00.9"	1,062
Cheonhwang-sa	0.92	35° 34' 22.2"	128°59' 11.7"	377
The warm region of Ice-Valley	0.90	35° 33' 54.3"	128°59' 05.6"	759
Miryang		35°29'	128°45'	12.5

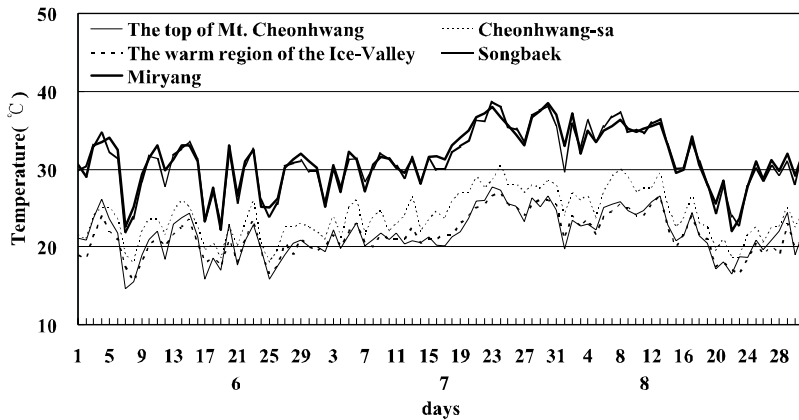
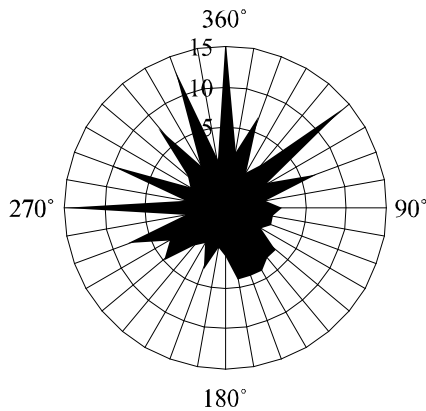


Fig. 7. Variation of the maximum temperature per day in and around Miryang during the summer (JJA).

(a) The windrose from 6 A.M. to 2 P.M.(15days)
Unit ; Frequency



(b) The windrose at the point time reported max. temp. & max. wind speed
Unit ; m/sec

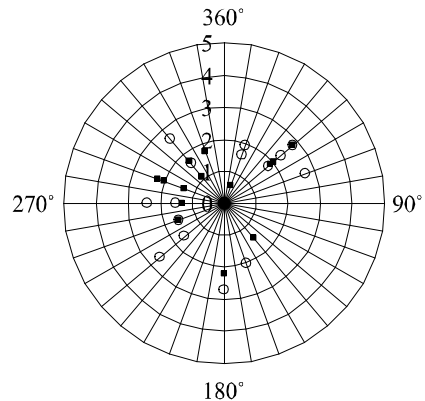


Fig. 8. The wind rose of Miryang for the selected 15 hot days: (a) from 6 A.M. to 2 P.M. and (b) at the point time reported maximum temperature (■) and maximum wind speed (○).

발달하여 하층대기는 안정해진다는 연구도 있다 (변희룡 등, 1995).

6.2 상층의 온난이류와 하층의 일사 기열

Fig. 9는 고온 15일 동안의 (a)1000, (b)850, (c)700, (d)500 hPa 등압면의 평균 바람장이다. 남서해상에 나타나는 고기압성 흐름의 중심이 상층으로 갈수록 남동쪽으로 내려가고 있다. 밀양 관측소의 바람장미에서는 북풍계열이 우세하였는데 종관규모 바람장에서는 서풍 또는 북서풍이 주풍인 것이 확인된다 (Fig. 8). 산맥을 넘는 바람이 풍하측에서 방향을 바꾸는 것은 흔히 나타나는 일이다.

그런데 이는 2004년 여름철 (JJA) 평균장과도 차이가 있다. 1000 hPa (Fig. 10a) 및 850 hPa (Fig. 10b)면의 여름철 평균장은 한반도가 북태평양 고기압의 서쪽 가장자리에 위치하며 남풍 또는 남서풍이 유입되는 형

상임을 보여준다. 전형적인 여름철 바람장을 나타낸다. 하지만, 2004년 고온 15일에 한반도의 남서해상에 생긴 고기압성 흐름의 중심은 일반적인 여름철 패턴과는 달리 특이한 현상임을 시사한다. 즉, 고온 15일은 남풍이 탁월한 여름철 패턴과는 달리 서풍 또는 북풍이 우세해진 것이다. Fig. 1은 남풍과는 달리 서풍이나 북풍이 산을 넘어서 밀양 지역으로 들어오는 지형임을 보여준다.

Fig. 9b를 6, 7, 8월로 구분한 월별 평균장 (Fig. 11)에서 6월에는 서해상에서 발달하는 고기압 중심에 의해 밀양에 북풍계열의 바람이 탁월했으며, 7월에는 남쪽에서 발달하는 기압능이 주 세력이다. 8월은 북태평양 고기압이 물러가고 편서풍대가 한반도에 유입되고 있다.

Fig. 12는 격자간격이 30km인 RDAPS 자료를 이용하여 나타낸 고온 15일의 (a)1000, (b)925, (c)850, (d)800, (e)700, (f)500 hPa 등압면 각각의 평균 바람장이다. 800 hPa이하 925 hPa면까지는 영남지방에 고기압성 북서기류가 유입된다. 1000 hPa에서 경남내륙지방은 바

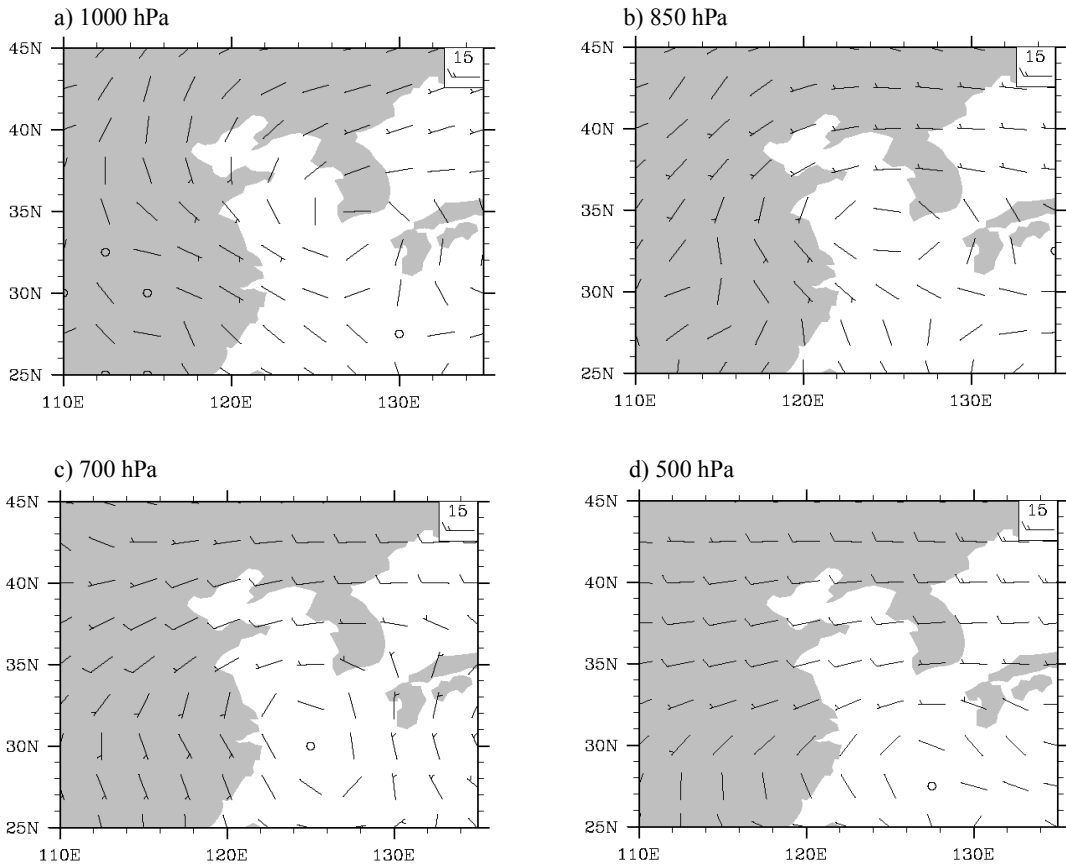


Fig. 9. Mean wind field for the selected 15 hot days (a: 1000 hPa, b: 850 hPa, c: 700 hPa, d: 500 hPa).

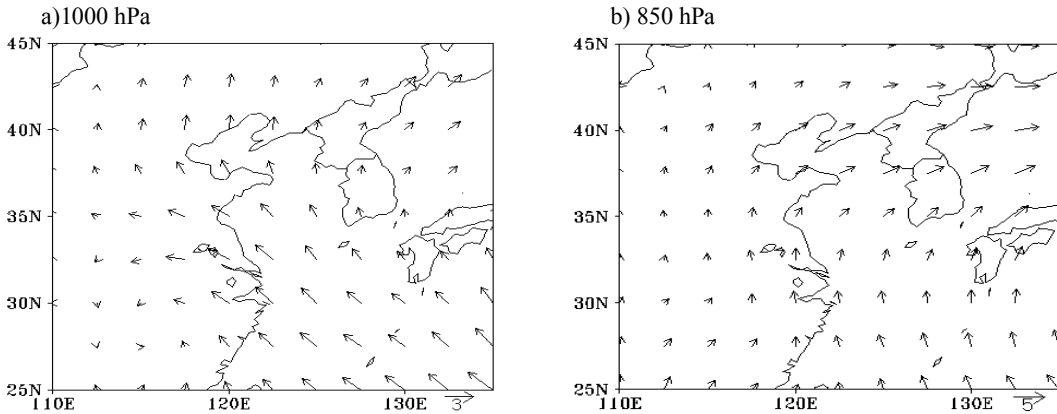


Fig. 10. Mean wind field during summer (JJA) in 2004 (a: 1000 hPa, b: 850 hPa).

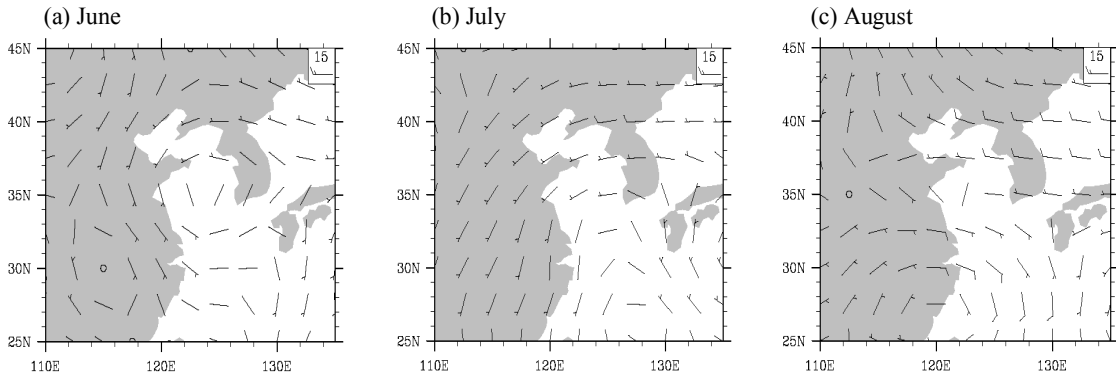


Fig. 11. Mean wind field at 850 hPa level for the selected 15 hot days (a: June, b: July, c: August).

람이 아주 약하다. 또한, 한반도에 고기압의 중심이 국지적으로 두 개가 있는 것을 볼 수 있다. 하나는 전남 진도 부근으로 이 고기압은 상층으로 가면서 중심이 서쪽으로 기울고 있다. 다른 한 개는 밀양부근에 약하게 공기가 정체하면서 존재하는 것으로 추정된다.

7. 양의 고도 아노말리

2004년 6월과 7월 한반도와 그 주변, 특히 아시아 대륙 (중국 북부)에 양의 아노말리가 강하다 (Fig.13). 일사에 의해 대륙의 가열이 심할수록 강하게 나타나는 양의 아노말리이다. 2004년에는 티벳고원의 적설량이 평년보다 적었고, 이 때문에 대륙가열이 평년보다 강했던 것으로 보인다. 티벳에 적설량이 적었던 해는 1994년이었던. 두 해 모두 밀양과 대구는 평년보다 기온이 높았다 (Fig. 6 참조). 7월에는 밀양에 남풍기류

를 강화시키는 고기압이 일본열도에서 발달한 것을 볼 수 있다. 고온 현상이 약화된 8월은 6, 7월에 나타난 양의 고도 아노말리가 약화된 모습을 볼 수 있다. 특히, 7월의 아노말리 장은 1994년 동아시아 가뭄 시, 그 해 7월의 200 hPa면의 고도 아노말리 및 200-1000 hPa 층 후와 그 모양이 아주 유사하다 (Park, D. Schubert, 1996).

그리고 전국의 10대 주요도시 평균기온의 평년편차는 2004년 6월과 7월에 각각 평균 +1.0°C, +0.7°C씩 높게 나타났다. 8월에도 양의 아노말리 (+0.1°C)이나 그 값이 크지 않으며, 다시 평년기온으로 되돌아온 것이다. 이 점은 Fig. 3, 4의 결과와도 부합된다. 이 양의 고도 아노말리는 고온 15일의 평균 고도장 (Fig. 14)에서 다시 확인된다. 고온 15일의 네 고도의 평균장에서 모두 북태평양 고기압에서 뻗어 나온 고기압의 가장자리에 한반도가 위치한다.

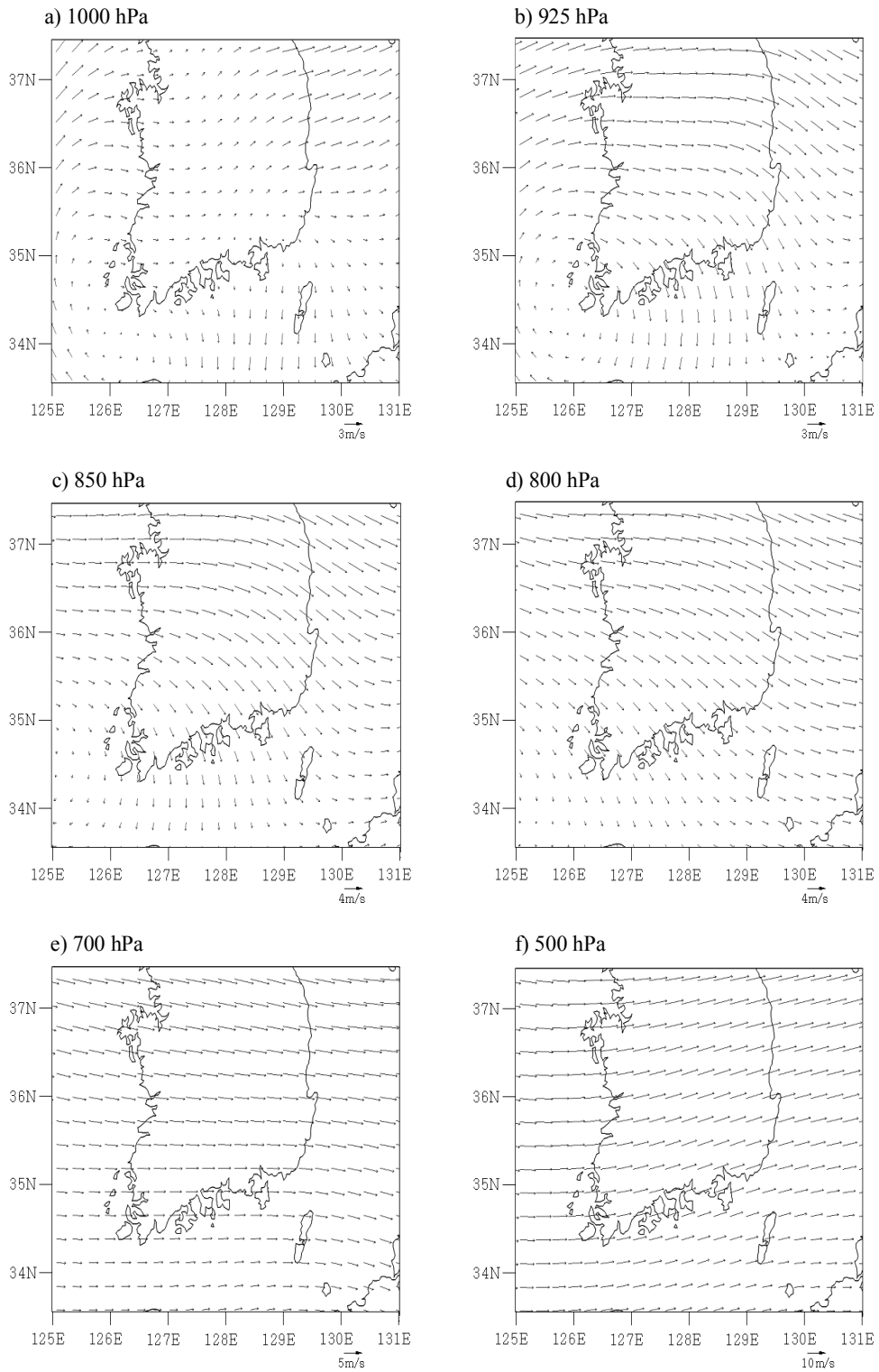


Fig. 12. Mean wind field analyzed by RDAPS for the selected 15 hot days (a: 1000 hPa, b: 925 hPa, c: 850 hPa, d: 800 hPa, e: 700 hPa, f: 500 hPa).

이런 종관적 배경 하에서 남부 지방 (특히 밀양을 포함한 영남지방)은, 500 hPa에서는 남풍류를, 그리고 하층에서는 서-북서기류의 영향을 받았다 (Fig. 12). 하층의 북서기류가 충청, 호남 등지에서 낮 동안 가열된 공

기를 남동쪽으로 이동시키면, 결국 대구를 거쳐 경남 내륙의 하층대기에 유입이 된다. 그 중에서도 특히 밀양 및 합천, 영천 등지에서 최고기온이 높게 나타나는 이유는 이 지역이 바다에서 가장 먼 내륙이기 때문이

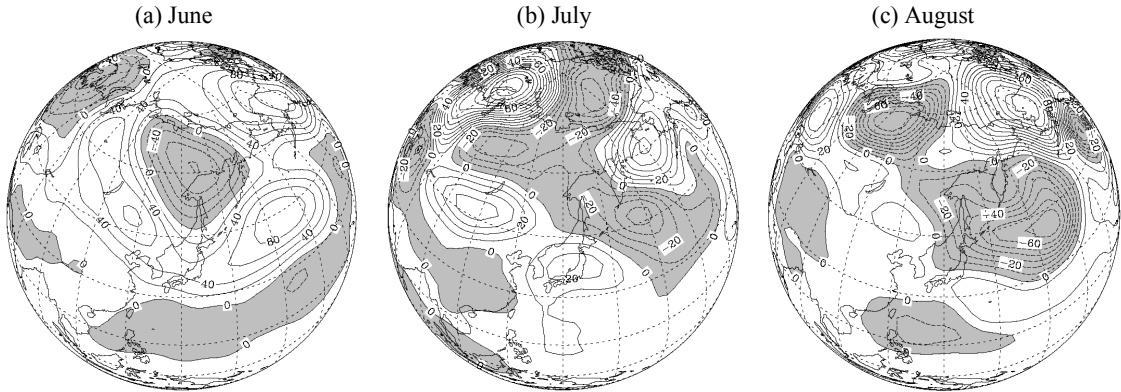


Fig. 13. Geopotential height anomaly at 500 hPa level during JJA in 2004. Shaded area denotes a negative anomaly (a: June, b: July, c: August).

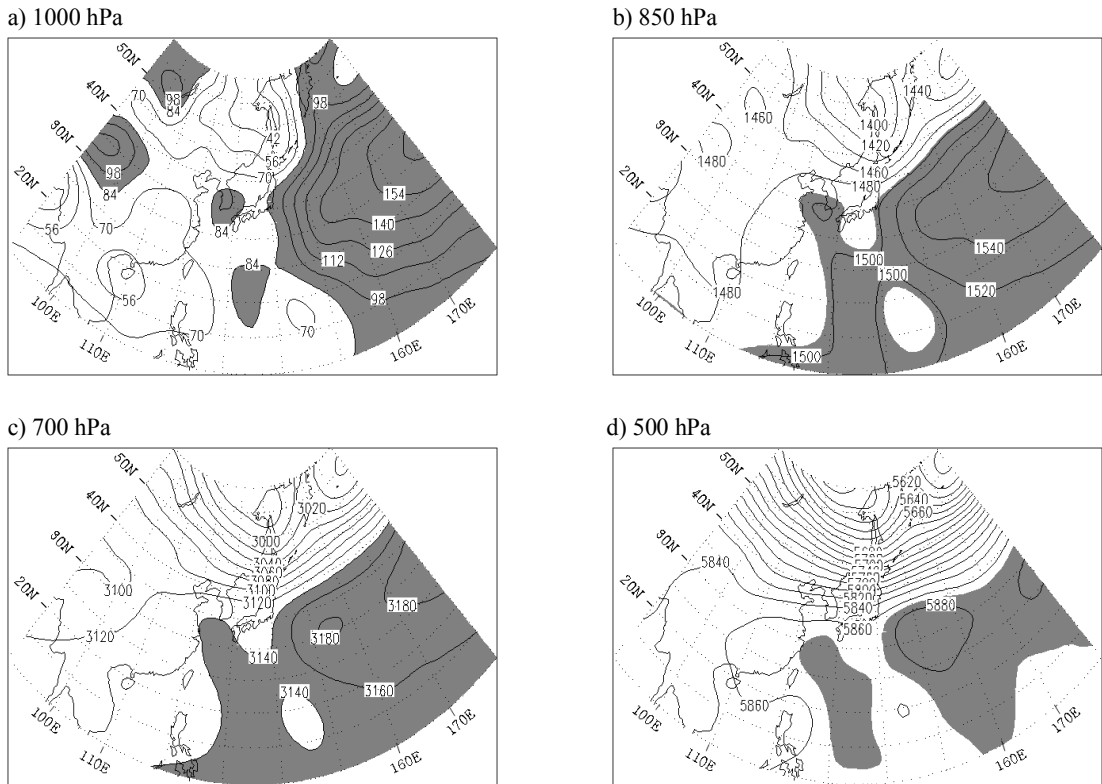


Fig. 14. Mean geopotential height field for the selected 15 hot days (a: 1000 hPa, b: 850 hPa, c: 700 hPa, d: 500 hPa).

며, 게다가 밀양은 영남 알프스를 비롯해 주위의 산들로부터 둘러싸여 있다. 따라서 800 hPa 이하의 층에서 북풍계열의 기류에 의해 고온이 형성되는 경우, 밀양이 대구보다 더 남쪽에 있기 때문에 대구보다 더 고온이 된다. 밀양이 대구보다 더 고온이 되는 이런 경우는 가끔 발생하는데 아마도 모두 이런 이유 때문일 것이다.

8. 태풍의 2차순환에 의한 하강기류

2004년 여름철 (JJA) 태풍의 발생 수는 평년의 11.3개 보다 약 3개 더 많은 14개가 발생했으나 한반도에 상륙한 태풍은 한 번도 없었다. Fig. 15는 고온 15일 중 9번이나 태풍의 중심이 북서 태평양 상에 있었음을 보인다. 밀양에서 한반도 최고기온이 나타날 때 주변 태풍의 영향도 있음을 의미한다. 손병주와 박순웅 (1985)에 의하면, 2차순환의 하강구역 하층에서는 2차순환의 하강운동으로 인하여 기존의 안정층이 더욱 강화되며, 이로 인한 역전층은 온난 습윤한 공기를 역전층하부에 국한시키는 역할을 한다고 제시하였다.

이처럼 한반도 주변에서 맴돌던 태풍중심에서 상승한 공기는 일정 고도에서 발산하게 된다. 발산한 공기 궤는 주위로 흩어진 다음 다른 고압대를 만나면 하강기류가 된다. 이것이 2차순환이다. 이 2차순환이 한반도 주변에 고압대나 하강기류를 발달시켜 기온 상승을 유발할 수 있다. 이 점은 9장에서 다시 다룰 것이다.

9. 2004년 7월 30일의 사례

7월 30일은 밀양의 최고 기온이 38.5°C에 이른 날로, 2004년 중 전국에서 가장 높은 기온이 나타난 날이다. Fig. 16은 기상청의 FAS (Forecaster's Analysis System)를 이용하여 이날 06:00UTC의 한반도-태풍 중심을 가로지르는 연직단면상의 순환을 나타낸 것이다. A지점은 한반도지역이며, B지점이 태풍중심지역 (31.4°N, 138.1°E, 2004년 제10호 태풍 Namtheun)이다. 한반도 상공의 하강기류가 태풍에 의한 2차순환과 연관되어 있음을 알 수 있다.

Fig. 17의 A지역 (대구 및 그 북부 경북 내륙지방)에 수렴역이 형성되었으며 이 지역에서 바람이 북풍이다. 수렴한 공기는 상승한 후 850 hPa면의 바람을 따라 경남내륙 및 밀양 지역으로 수송된다. 이 과정의 연직순환을 자세히 나타낸 것이 Fig. 18이다. Fig. 17의 A지역 (Fig. 18의 Daegu 일대)에서 가열된 공기가 700 hPa 면까지 상승함이 확인된다. 상승한 공기 중의 일부가 850 hPa면의 풍계를 따라 경남 내륙지방으로 남하하면서 다시 하강한다. 하강하면서 다시 단열승온되기 때문에 대구 지방보다 경남지방이 더 고온이 되며, 밀양의 하층대기에 고온의 연직 안정층이 형성된다. 그리고 이 하강기류는 태풍으로 인한 2차순환의 결과이다 (Fig. 16). 앞서 Fig.12의 b, c, d는 밀양방면으로 흘러드는 북풍을 잘 보여주었다. 위의 설명한 모든 과정이 Fig. 3의 b1과 b2의 기온축이 달라진 원인이기도 하다.

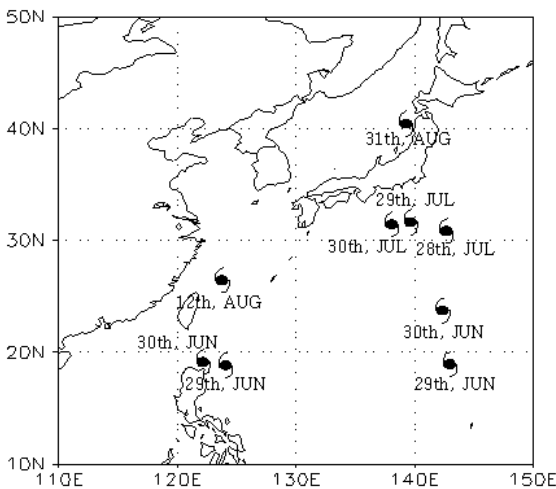


Fig. 15. Location of typhoon for the selected 15 hot days.

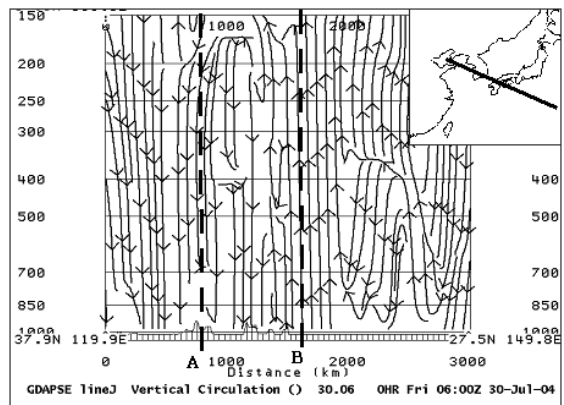


Fig. 16. Vertical circulation from 37.8°N, 119.9°E to 27.4°N, 150.0°E using FAS in KMA (0600UTC 30 July 2004). A denotes the position of Korea and B the center of the Typhoon Namtheun (31.4°N, 138.1°E).

10. 북풍과 밀양 최고기온의 관계

밀양의 최고기온과 북풍과의 연관은 다음 실험으로 더욱 명확해 졌다. 2004년 5~7월 중에 밀양지역에서 06시~14시까지의 풍향이 북풍계열 (270°~90°)이며, 밀양 및 경남내륙, 경북내륙 등 모든 분석대상 관측소에서 일 강수량이 5 mm이하인 조건을 만족하는 날이 총 17일이다 (이후 분석일이라 칭함, 7월 30일 거창에 8 mm의 강수가 있었지만 포함).

Table 5의 M과 N은 각각 2004년 5~7월, 분석일 동안 밀양의 일 최고기온 평균값과 해당기간 영남내륙지방 각 관측소의 최고기온 평균값과의 차이이다. Table 5

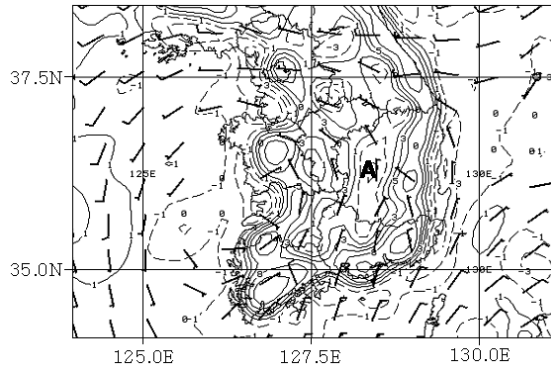


Fig. 17. Wind field, divergence, and convergence at 850 hPa level (0600UTC, 30 July 2004). Dashed line denotes convergence and solid line, divergence. A denotes the inland region of Yeongnam.

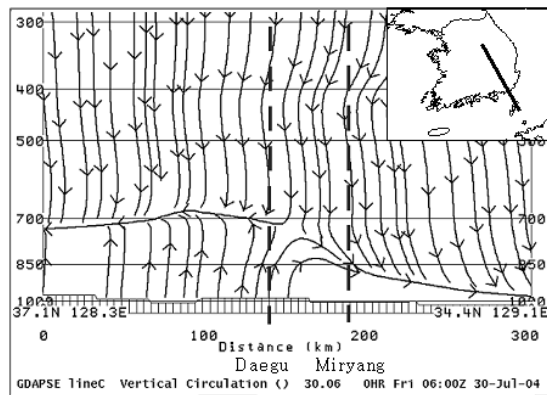


Fig. 18. Vertical circulation from 37.1°N, 128.3°E to 34.4°N, 129.1°E (0600UTC, 30 July 2004). Thick dashed line at left denotes the location of Daegu and the right, Miryang.

에 해당하는 지점들의 위치는 Fig. 1에 제시하였다. 2004년 5~7월 동안 밀양의 최고기온은, 경상남-북도의 관측소 중 밀양의 북-북서쪽에 위치한 지점들보다 더 고온이 나타난다. 그런데 이 경향은 밀양에서 북풍이 부는 날엔 더욱 강화된다 (대구, 안동, 구미, 의성, 상주, 거창, 합천). 이는 밀양에서 북풍이 불면 대구보다 고온이 나타나는 경향이 있음도 증명한다. 한편, 밀양과 인접하거나 그보다 남쪽에 위치한 지역 (산청, 진주 의령, 남지, 창녕)에서는 평소보다(M) 북풍이 불 때 (N), 밀양이 높지만 그 차이가 좁혀지는 경향을 보인다. 진주, 의령, 남지를 잇는 선들은 해풍의 직접적인 영향과 북풍의 영향을 함께 받을 수 있는 지역들이다. 하지만, 밀양은 울산에서 불어오는 해풍을 영남알프스가 막으며, 가지산을 넘어 오게 되면 치누크 및 편현상이 발생한다 (앞서 보인 Fig. 8a의 빈번한 50°도 바람과 관련된 것으로 추정된다). 치누크에 의한 밀양의 고온 현상은 이번 연구에서는 크게 고려를 하지 않았으며, 이에 대한 추가적인 연구가 필요하다.

11. 요약 및 토의

2004년 여름 (JJA) 91일 중 밀양에서 일 최고기온이 전국 1위로 나타난 사례가 25번 발생하였다. 밀양에서

Table 5. Difference in the mean for the maximum temperature between Miryang and each station. M is from May to July in 2004. N is the 17 days with a wind direction of 270°~90° from 06:00~14:00KST and precipitation less than 5 mm/day for MJJ in 2004.

station	M	N
Daegu(143)	0.80	1.52
Andong(136)	2.03	2.43
Gumi(279)	0.87	1.49
Euisong(278)	1.47	2.09
Sangju(137)	1.43	1.94
Geochang(284)	1.57	1.73
Hapcheon(285)	0.37	0.59
Sancheong(289)	1.63	1.17
Jinju(192)	1.07	0.86
Euiryeong(936)	1.77	1.29
Namji(903)	-0.20	-0.01
Changnyeong(919)	-0.07	-0.15
Songbaek(927)	0.60	0.19

전국 최고 기온이 발생하는 경우는 전에도 있었으나 한 해 동안에 25번이나 발생한 사례는 없었다. 이 이상 고온은 주로 6월과 7월에 걸쳐 나타났고, 8월 초에 종료하여 8월 중순부터 정상적인 상태로 환원되었다. 밀양시는 전국에서 가장 더운 곳이라는 오명을 갖지 않기 위해, 밀양 기상관측소 주변에 아스팔트 포장도로와 대형마트가 생겼기 때문이라고 해명하기도 하였다.

고온현상의 원인 조사의 결과로 알려진 주요 특징들을 살펴보면, 첫째로, 이 현상은 지구온난화와 유관한 어떤 기후의 점진적 변화이거나, 도시화에 의한 기온 상승 현상이 아님이 밝혀졌다. 2002년까지는 밀양의 일 최고기온은 하강 추세였는데 2003년과 2004년에 갑자기 상승한 것이다. 즉, 밀양지역의 평균적 기온 경향과는 다른 2004년의 돌발적인 현상이었다. 그리고 평균기온과 야간 기온은 여전히 대구지역이 더 높게 나타남이 도시기후의 영향이 아님을 입증한다.

둘째로, 이 고온 현상은 밀양관측소 한 지역에 국한된 미세규모의 특정한 기상요소에 의해 발생한 것이 아니라, 중규모 및 대규모의 대기 순환에 연관되어 나타난 현상이었다. 그 증거로, 밀양 단독으로 고온화 된 것이 아니었다. 예년에는 대구를 중심으로 한 내륙 분지에 치중되어 있던 고온역의 축이, 2004년에는 남해에서 밀양으로 이어지는 선상으로 남하하였음이 확인되었고, 밀양기상 관측소 뿐 아니라 인근의 AWS, 그리고 얼음골, 천황산정 등지에서도 함께 승온 현상이 있었음이 확인되었다.

셋째로, 고온역의 축이 남하한 원인으로, 대구지방에서 가열, 상승한 공기가 계속 상승하지 못하고, 밀양 지방으로 남하하면서 다시 하강했기 때문인 것으로 밝혀졌다. 하강류의 형성원인으로는 1) 주변에 위치하는 태풍이 유도한 2차순환, 2) 티벳고원의 적설면적 감소로 인하여, 대륙의 가열이 강화되고, 이 때문에 북태평양 고기압이 평년보다 더 강하게 발달했기 때문에 남서해상에 고기압 중심이 생긴 것 등으로 분석되었다.

넷째로, 밀양의 고온 현상은 낮에만 발생하였으며, 2004년 열대야 발생횟수는 대구보다 현저하게 적었다. 낮에 대구지방에서 상승한 공기가 하강기류와 함께 밀양으로 유입되는 연직순환을 확인할 수 있었다. 이 하강기류는 2004년 여름 한반도에 직접적인 영향을 한번도 주지 않은 태풍이 한반도 주변을 맴돌면서 형성된 간접적인 2차순환에 의한 것이다.

다섯째로, 북풍 및 하강기류가 유독 밀양에 고온을

발생시킨 이유는, 밀양이 해륙풍의 영향을 받지 않는 남방 한계이기 때문으로 추리되었다.

이번 연구에서, 2004년은 봄철 티벳의 적설면적이 좁았고, 북태평양 고기압이 평년보다 많이 발달하였으며, 태풍은 한반도에 간접적으로만 영향을 준 것으로 분석되었다. 이 특징들은 최고더위의 축이 밀양지방으로 이동한 것과 일종의 연관이 있을 것으로 추정되나, 증거가 될 만한 연관성을 찾는 일은 다음 기회로 넘긴다. 영남지방의 최고 기온 발생위치가 남서에서 북동으로 이어지는 한 축을 가지고 변동함을 발견한 것은 큰 수확이다. 강수가 동반되지 않고도 최고 기온이 발생한다는 점에서 높새나 핀 현상이 아니라, 화풍이나 치누크를 그 원인으로 보는 것이 타당하겠다. 높새효과와 화풍효과를 비교하는 정밀분석 또한 다음의 연구과제로 남긴다.

감사의 글

이 연구는 기상청 기상지진기술개발사업(CATER 2006-2306)의 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

- 강재은, 김유근, 임윤규, 2005: 서울지역 여름철 야간 고온일의 지속과 관련된 기상학적 특성. *한국기상학회지*, **41**, 681-695.
- 김용상, 홍성길, 1996: 늦봄 또는 초여름에 영동지방에서 나타나는 “유사핀” 현상에 관한 연구. *한국기상학회지*, **32**, 593-600.
- 김해구, 민경덕, 윤일희, 문영수, 이동인, 1998: 1987년과 1994년에 일어난 한반도 하계 이상고온의 특징. *한국기상학회지*, **34**, 47-64.
- 변희룡, 최기선, 김기훈, 2004: 재약산 얼음골에 나타나는 온혈의 특징과 열적기류. *한국기상학회지*, **40**, 453-465.
- 변희룡, 이동규, 정삼연, 1995: 하층대기의 연직안정도와 연관된 850hPa 지오폠펜셜 고도장의 종관적 특성. *한국기상학회지*, **31**, 213-228.
- 손병주, 박순웅, 1985: 상층제트류와 연관된 바람 변형장에 의하여 유도되는 2차순환. *한국기상학회지*, **21**, 2001-2018.
- 신경섭, 2000: 정보스크랩④ 최고더위지역, 강릉지방기상청.
- 원덕진, 이운정, 2000: 지형의 영향에 의한 대구지방의 기온 분포. *영남기술집*.
- 이재규, 1997: 여름철 아열대 고기압의 변동과 관련된 수치모의 실험. *한국기상학회지*, **33**, 765-780.
- Park, C.-K., and S. D. Schubert, 1996: On the Nature of the 1994 East Asian Summer Drought. *J. Climate*, **10**, 1056-1070.