

춘천의 안개발생과 관련된 기상특성분석 및 수치모의 Analysis of Meteorological Features and Prediction Probability Associated with the Fog Occurrence at Chuncheon

이화운* · 이귀옥 · 백승주 · 김동혁

부산대학교 대기과학과

(2005년 1월 13일 접수, 2005년 5월 3일 채택)

Hwa Woon Lee*, Kwi Ok Lee, Seung-Joo Baek and Dong Hyeok Kim

Department of Atmospheric sciences, Pusan National University

(Received 13 January 2005, accepted 3 May 2005)

Abstract

In this study, meteorological characteristics concerning the occurrence of fog are analyzed using 4-years (2000~2003) data at Chuncheon and the probability of prediction is investigated. From the analysis of meteorological characteristics, the fog at Chuncheon occurred before sunrise time and disappeared after that time and lasted for 2~4 hours. When fog occurred, on the whole, wind direction was blew the northerly and wind speed was below 2.1m/s. Especially, about 42% of foggy day fell on the calm ($0\sim 0.2\text{ ms}^{-1}$) conditions. The difference between air temperature and dew point temperature near the surface were mainly less than 2°C .

For the lack of water surface temperature, the water surface temperature was calculated by using Water Quality River Reservoir System (WQRRS) and then it was used as the surface boundary condition of MM5. The numerical experiment was carried out for 2 days from 1300 LST on 14 October 2003 to 1300 LST on 16 October 2003 and fog was simulated at dawn on 15 and 16 October 2003. Simulated air temperature and dew point temperature indicate the similar tendency to observation and the simulated difference between air temperature and dew point temperature has also the similar tendency within 2°C . Thus, the occurrence of fog is well simulated in the terms of the difference between air temperature and dew point temperature. Horizontal distribution of the difference between air temperature and dew point temperature from the numerical experiment indicates occurrence, dissipation and lasting time of fog at Chuncheon. In Chuncheon, there is close correlation between the frequency of fog day and outflow from Soyang reservoir and high frequency of occurrence due to the difference between air and cold outlet water temperature.

Key words : Fog occurrence and dissipation time, WQRRS, Outlet water temperature, MM5

*Corresponding author.

Tel : +82-(0)51-510-2291, Fax : +82-(0)51-515-1689,

E-mail : hwlee@pusan.ac.kr

1. 서 론

우리나라의 경우 좁은 국토면적과 복잡한 지형으로 인해 다양한 국지적 기상현상이 나타난다. 그 중 안개는 시정과 일사를 차단하여 교통과 농작물에 피해를 입히며, 대기의 오염을 가중시켜 인간생활에 미치는 영향은 커지고 있는 실정이다. 이러한 안개의 발생, 소멸의 특징은 지역적 조건에 크게 좌우되므로, 지역에 따라 현저한 차이가 있고 그 발생 원인도 지역적 특성에 크게 좌우된다(George, 1960). 최근 수자원 확보와 전력공급, 그리고 홍수조절기능을 위해 다목적 댐의 건설이 활발히 이루어져 오고 있는 이에 따라 인공적으로 형성된 댐에 의해 국지대기환경이 변화하게 되는데 특히 안개현상에 관련된 변화가 크며, 그 증가 경향에 대한 연구가 활발히 이루어져 왔다.

안개의 발생 및 소멸을 예보하는 것은 기상학에서 가장 어려운 문제 중 하나이며(Fisher and Caplan, 1963), 발생, 소멸의 특징은 지역적 조건에 크게 좌우되므로, 지역에 따라 현저한 차이가 있고 그 발생 원인도 지역적 특성에 크게 좌우된다(George, 1960). 그동안 안개의 발생 예측에 관한 많은 연구가 지형적인 조건, 종관적인 기상특징, 해수온도와 기온과의 차이, 풍향과 풍속의 분포 등을 통해 진행되어져 왔다. 남재철 등(1995)은 매시 기온, 상대습도, 풍향, 풍속, 포차, 지표온도, 시정값을 이용해 예측모형을 만들었으며 그 결과 매시간 계산된 시정거리 추정치는 다소 오차를 지나 월간 혹은 연간 총 안개일수 추정값은 실제값에 근접하다고 지적하였고, 민경덕과 김동정(1990)은 가을철 한반도 기압계유형과 관련된 안개발생을 연구하였다. 엄기철과 김남원(2000)은 Logistic 회귀분석을 통해 안개가 발생한 날 지역별로 기상요소와의 관계를 분석하여 습도, 기온-850 hPa 기온, 풍속이 상관관계가 있는 것으로 밝혔고, 이내영(1973)은 Spreen의 방법을 이용하여 추계의 서울지방의 복사무 자보에 관하여 연구한 바 있다. 또한 안개발생 메카니즘을 수증기와 에너지의 보존법칙에 입각한 역학방정식으로 모의하는 방법(Musson-Genon, 1986; Zdunkowski and Barr, 1972) 및 호수와 저수지의 담수호에서의 증발량은 물 표면으로부터 수증기 형태로 이동된다는 난류 과정에 근거를

두고 바람과 증기압자료를 통한 공기역학적인 접근에 의해 수온, 기온을 통하여 안개일수 예측이 시도된 바 있으며(이광호와 이기주, 1999), 제갈돈(1995)은 변형함수분석을 이용하여 댐 수위와 안개지속시간간의 인과관계를 밝힌 바 있다.

안개는 발생 메카니즘 자체가 매우 다양하고 발생 여부가 지형에 따라 매우 민감하며 기상학적 특성상 비선형 효과가 크게 작용하기 때문에 통계적 방법으로 예측하기에는 한계가 있다. 따라서 본 연구에서는 춘천지방에서 발생하는 안개를 대상으로 안개의 기상학적 특성과 발생조건을 살펴보고 Water Quality River Reservoir System (WQRRS)을 이용한 상세한 수표면 수온자료를 MM5의 지표면 경계값으로 이용하여 안개발생에 대하여 수치모의함으로써 안개발생 예측 가능성에 대해 살펴보고자 하였다.

따라서 본 연구에서는 댐건설 후 다무발생지역으로 알려진 춘천지방을 대상으로 댐 효과에 의한 안개발생의 기상학적특성과 발생조건을 살펴보고 WQRRS를 통한 상세 수표면 수온자료로 MM5를 이용하여 지역적인 안개예측의 가능성을 검토하고자 하였다.

2. 연구 방법

2.1 기상특성분석

본 연구에서 사용된 관측 자료는 춘천기상대(강원도 춘천시 우두동 2구 406-1 위도: 37° 53'59", 경도: 127° 44'16")의 기상자료와 춘천 기사란 그리고 소양강댐 수문자료를 사용하였다. 먼저 2000년부터 2003년까지 4년간의 춘천기상대 기상자료에서 기온, 풍향, 풍속, 노점온도 및 상대습도의 기상요소를 산출하고 춘천 기사란을 통해 정확한 안개의 시작시각 및 소산시각을 산출하여 강수 및 강설을 제외한 안개 자료에 대해 안개가 존재 할 때의 기상특성을 살펴 보았으며, WQRRS를 통해 소양호의 방류수온을 계산한 후 방류수온과 안개발생일수를 통해 안개발생의 조건을 살펴보았다.

2.2 수치모의 대상일 및 방법

춘천지방의 경우 주변에 댐 건설에 따른 호수면과 주변의 강으로 인해 기상학적으로 수표면의 영향을

많이 받을 것으로 사료되는 지역이다. 그러므로 호수면 근처와 춘천지역의 안개발생 예측을 위해서는 주변 수표면 수온이 충분히 고려되어야 하나 실제 정규관측은 월 1회 실시되어져 상세한 수표면 수온자료를 얻기가 힘든 실정이다. 따라서 본 연구에서는 수치모의를 함에 있어서 미육군 공병단의 HEC (Hydrologic Engineering Center, 1978)에서 호수면의 열수지, 유입수와 유출수에 의한 수위변동 및 열의 이류 등을 자세하게 고려하여 수온을 계산하고 이를 토대로 호수 생태계 모형으로 널리 이용되고 있는 WQRRS모형을 이용하여 인공호수 수표면 수온을 계산한 후 MM5의 지표면 경계층값으로 이용하여 수치모의하였다. 수치모의 수행기간은 2003년 10월 14일 0600 UTC부터 2003년 10월 16일 0600 UTC까지 수행하였으며 그 중 15일 새벽에 발생한 안개와 16일 새벽에 발생한 안개를 대상으로 관측자료와 비교, 분석하였으며 Fig. 2에 보여진 Domain 4에서의 공간장을 통해 춘천지역 근처에서의 안개발생 유무를 살펴보았다. 수치모의 대상기간의 지상일기도는 Fig. 1에 나타내었다.

2003년 10월 15일과 16일은 우리나라 전국이 다소 약화된 시베리아 고기압의 영향으로 대체로 맑고 바람이 약한 날씨를 보이고 있다. 전국적으로 복사냉각으로 인해 기온은 전일에 비해 2°C 가량 하강하는 모습을 보이며 최저기온은 1~7°C, 최고기온은 16~23°C를 기록하였다. 또한 내륙지역의 경우 바람이 약하게 부는 가운데 아침 최저기온은 2~5°C를 기

록, 안개건 지역이 많으며 특히 춘천지역의 경우 일교차가 큰 가운데 바람은 거의 무풍으로 15일의 경우 오전 4시부터 9시까지 그리고 16일의 경우 오전 4시부터 8시 30분까지 시정 100~500 m 정도의 짙은 안개가 발생하였다.

본 연구에서는 국지적인 규모의 기상현상인 안개를 살펴보기 위해 중규모 모델인 MM5를 이용하여 수치모의하였다. Fig. 2 (a)에서와 같이 모델의 등지격자 도메인을 각각 30, 10, 3.3, 1.1 km의 분해능으로 Lambert-conformal 격자투영법을 사용하여 춘천지방의 기상장 및 안개의 현상을 살펴보았다. 등지격자 모델의 외부경계조건을 생성하기 위해서 two-way interacting nested grid system방법을 사용하였다. 4번째 등지격자 도메인의 모델링 영역은 본 연구의 대상인 춘천지방으로 잡았다. 모델의 연직층으로 23개의 sigma좌표를 사용하였으며, 모델 수행을 위한 시간간격은 90초로 하여 48시간 수행하였으며, 그 결과를 1시간 간격으로 출력하게 하였다. 경계층을 묘사하는 물리식으로 Troen-Mahrt (1986)의 counter-gradient항과 잘 혼합된 PBL (Planetary Boundary Layer)에서의 확산계수 K 프로파일에 근거를 둔 MRF (Medium Range Forecast) PBL을 사용하였고, explicit moisture scheme으로 상층의 과냉각수와 눈이 서서히 녹는 효과 등이 첨가된 mixed-phase (Reisner, 1988)를 선택하였다. 이는 모델내의 효과적인 수증기 상호 교환이 가능하도록 하기 위한 것이다. Cumulus parameterization에는 작은 격자(10~30

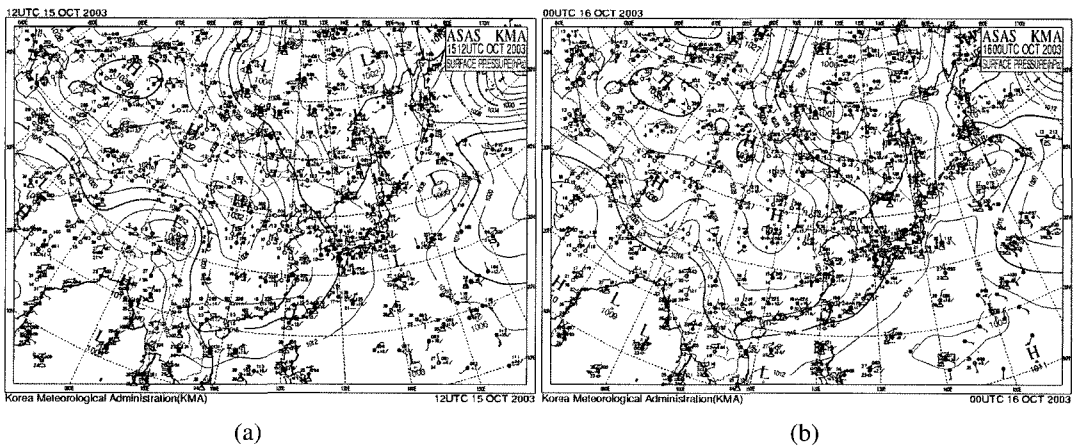


Fig. 1. Synoptic weather charts at 09LST on 15 (a), and 16 (b) October 2003.

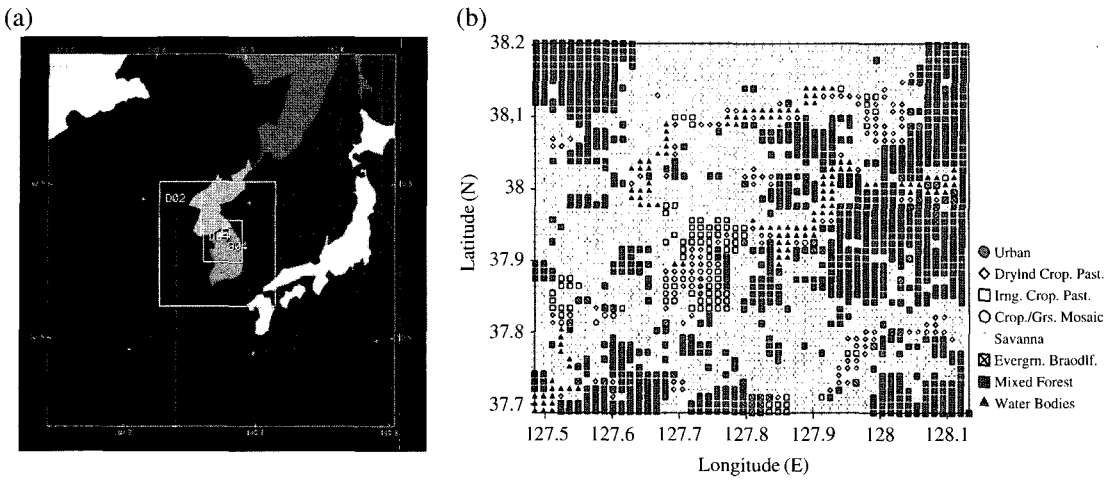


Fig. 2. The nested grid system for MM5 (a) and Land use (b) of Domain 4.

km)에서 유용한 Grell scheme (Grell *et al.*, 1994)을 사용하였다. 이는 불안정도의 비에 근거를 둔 것으로 간단한 구름 scheme이다. Radiation scheme으로는 RRTM (Rapid Radiation Transfer Model) longwave scheme (Mlawer *et al.*, 1997)을 사용하였고 Ground temperature scheme으로는 five-layer soil model을 사용하였다. 이 모델은 1, 2, 4, 8, 16 cm 깊이에서 온도 값이 계산된다.

Fig. 2(a)는 춘천지방을 중심으로 하는 Domain 1, 2, 3, 4를 나타내며 Fig. 2(b)는 Domain 4의 land use를 나타내었다. 춘천을 중심으로 하여 주변의 인공호수의 표현이 잘 나타났으며 Domain 4의 인공호수에 있어서 앞서 계산된 WQRRS의 수표면 수온자료가 지표면 경계층값으로 사용되어 수치모의된다.

3. 결 과

3. 1 기상특성분석 및 발생특징

Fig. 3은 춘천지방에서의 월별 평균 안개 발생일과 발생한 안개의 월별 평균 지속시간을 각각 나타내었다. 춘천지방에서 발생한 안개 중 본 연구의 대상으로 잡은 비강수일에 발생한 안개의 평균 안개 발생일은 가을, 겨울에 많이 발생하였으며 특히 가을철에 전체 안개의 50% 이상이 발생하여 가을철에 가장 많이 발생하였고 발생한 안개의 평균안개 지속시간

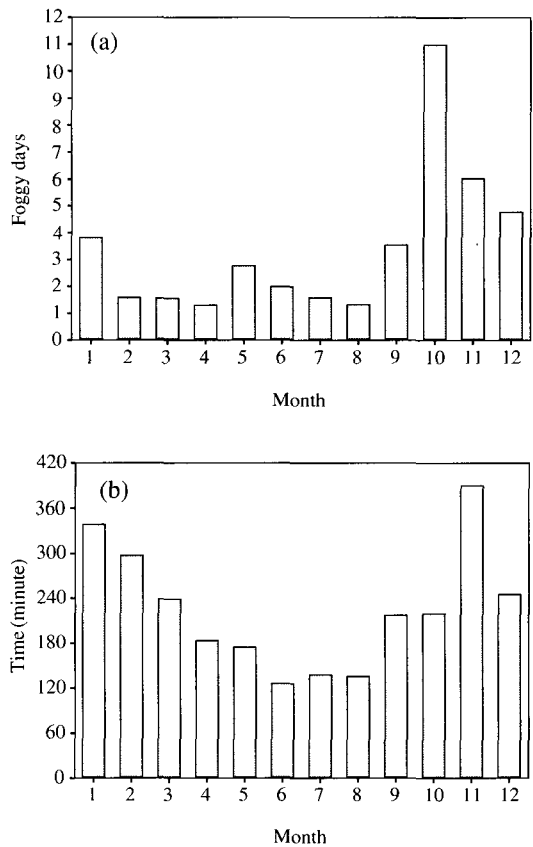


Fig. 3. Monthly occurrence day (a) and lasting time (b) of fog at Chuncheon.

Table 1. Distribution of fog starting time (month/hour).

M \ H	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
1		2	2	3	1			3	2														1	1
2				1	1		2		2												1			
3		1	1			1	2	1																
4	1				1		2		1															
5				2	2	5	2																	
6				1	4	2	1																	
7				2	1	3																		
8			1	1	2	1																		
9		1	2	2	4	1	2																	1
10	1	4	7	4	9	4	13	2	1															
11	2	2		3	4	2	4	2	1										1			1		1
12	1		2	1		1	3	5	3	2												1		1

Sunrise time

Table 2. Distribution of fog disappearance time (month/hour).

M \ H	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
1							1		1	2	6	1		1	2									
2									1			5	1											
3									1	3	1	1												
4									2	2	1													
5								3	3	3	2													
6							3		3	2														
7							2	1	2	1														
8					2			1	2															
9					1	2	2	2	3	2	1													
10			1	1		4	4	10	16	5	3	1												
11			1		1				6	5	4	3	1	1								1		
12				1		1	1	2	1	7	3	1	3											

Sunrise time

의 경우 겨울철에 월평균 4시간 이상 지속하는 긴 지속시간을 보였고 여름철에는 월평균 2시간 내외의 비교적 짧은 지속시간을 보였다.

월별, 시각대별 안개 발생 및 소산빈도는 Table 1 과 2에 나타내었다. 본 연구에서 안개 발생 일에 대해 시정이 1,000 m 미만이 되기 시작한 시간을 안개 발생시각, 그리고 시정이 1,000 m 이상 회복된 시각을 안개 소멸시각으로 정의하였다. 예를 들어, 안개가 오전 5시 28분에 발생하여 오전 10시 38분에 소멸 되었을 경우 안개 발생시각은 5시, 그리고 안개 소산 시각은 11시로 정의하였다. 또한 같은 발생 일에 대해 안개가 소멸한 후 30분 이상 지난 후 다시 안개가 발생한 것을 별개로 구분하여 그 발생시각 및 소

산시각 그리고 지속시간을 분석하였다. 춘천지방에서 발생한 안개는 전반적으로 봄과 가을철의 경우 6시 이전에 발생하며, 여름철의 경우 5시 이전, 그리고 겨울철의 경우에는 7시 이전에 발생하는 경향을 보여 각 계절에 따른 일출시각 이전에 발생하는 모습이었으며, 겨울철의 경우에는 야간에도 다소 발생하는 경향을 보였다. 발생한 안개의 대부분이 일출 후 5시간 이내에 소멸되는 모습을 보이며 가을철과 겨울철의 경우에는 소멸 시각대가 비교적 넓게 분포하는 경향을 보였다.

춘천지방의 풍계의 경우를 살펴보면 연구대상 기간 중 북풍계열과 남서풍계열의 바람이 우세한 모습 (Fig. 4 (a))이었으며 안개가 존재할 경우에는 북풍계

열의 바람만 우세한 모습(Fig. 4 (b))으로 나타났다. 춘천지방에서의 안개가 존재할 경우에는 전체적인 풍계가 북풍계열의 바람이 나타났는데 이는 춘천지방의 경우 국지풍의 성향이 많이 나타나며, 또한 안

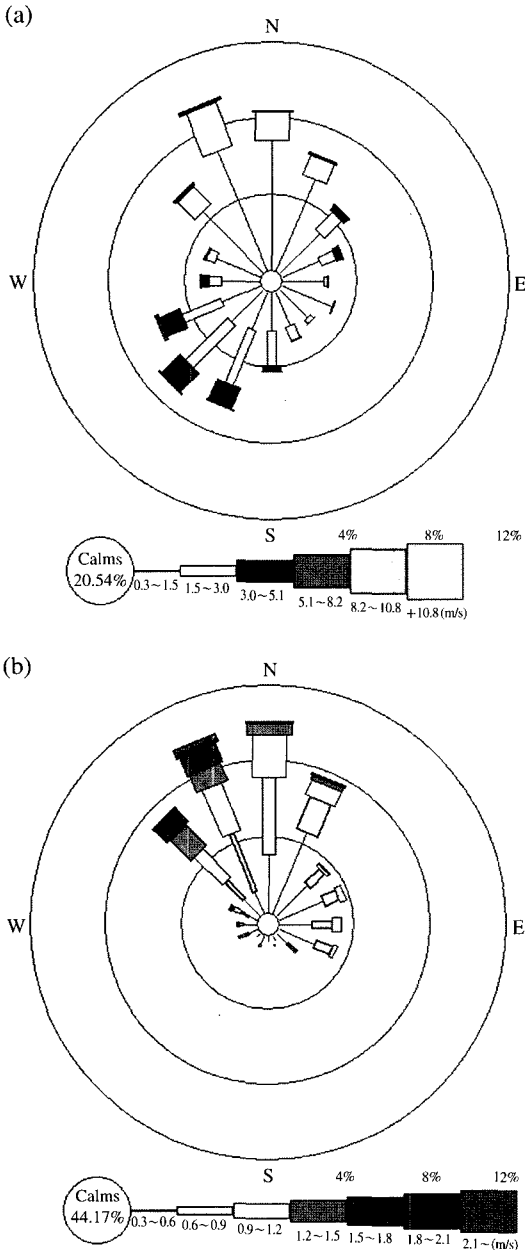


Fig. 4. Wind roses in all seasons (a) and foggy days (b) at Chuncheon station during 4 years.

개가 발생하는 시기가 오전 일출 전에 많이 나타나므로 주변의 지형에 의해 산풍의 영향으로 북쪽의 풍부한 수증기 공급을 받아 북풍계열의 바람일 경우라 사료된다. 춘천지방에서 안개가 존재할 경우의 풍향과 풍속의 관계를 살펴보기 위해 풍향, 풍속별 차트를 Table 3에 나타내었다. 풍향은 16방위로 표시하였고 풍속의 경우 0~0.2 ms⁻¹를 무풍으로 정의하고 0.3 ms⁻¹씩 나누어 그 경향을 살펴보았다. 춘천지방에서 안개가 존재할 경우에는 그 풍속이 2.1 ms⁻¹ 이내 국한되며 0.9 ms⁻¹ 이내의 풍속이 전체 안개의 80% 이상을 차지하여 전체적으로 안개가 존재할 경우에는 풍속이 약한 모습을 보였다. 또한 풍향의 경우에는 북풍계열의 바람이 불 때 2.1 ms⁻¹까지 풍속별 분포가 다양하게 분포하였고 동, 서풍계열의 바람이 불 때는 1.5 ms⁻¹까지 분포하면서 풍속별 분포가 좁아지는 모습을 보이고 남풍계열의 바람이 불어올 경우에는 풍속이 0.9 ms⁻¹ 이내의 풍속에서 안개가 발생하였다.

안개의 생성 메커니즘상 여러 가지 물리적 과정에 의해 기온과 노점온도의 차가 좁아지면서 대기 중 수증기가 포화되어 나타나는 기상현상이므로 가로축을 기온, 세로축을 기온과 노점온도의 차로 잡고 안개가 존재할 때의 기온과 노점온도의 분포를 Figs. 5,

Table 3. Frequency (%) of the wind direction for the various by the wind speed (m/s) at Chuncheon station.

	0.3~0.6	0.6~0.9	0.9~1.2	1.2~1.5	1.5~1.8	1.8~2.1	2.1~	Sum
N	3.23	4.62	2.46	0.62	0.00	0.15	0.00	11.08
NNE	4.62	1.69	1.08	0.31	0.15	0.00	0.00	7.85
NE	2.31	1.08	0.15	0.15	0.00	0.00	0.00	3.69
ENE	2.77	0.77	0.46	0.00	0.00	0.00	0.00	4.00
E	1.08	0.92	0.46	0.00	0.00	0.00	0.00	2.46
ESE	1.69	1.08	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	2.92
SE	0.46	0.31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.77
SSE	0.31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.31
S	0.15	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.31
SSW	0.62	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.62
SW	0.31	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.31
WSW	0.46	0.31	0.15	0.31	0.00	0.00	0.00	1.23
W	0.31	0.62	0.31	0.15	0.00	0.00	0.00	1.38
WNW	0.62	0.62	0.46	0.00	0.15	0.00	0.00	1.85
NW	1.38	1.54	2.31	1.85	0.62	0.62	0.00	8.31
NNW	1.54	4.00	1.23	1.08	1.08	0.15	0.15	11.38
Sum	21.85	17.69	11.23	4.62	2.00	0.92	0.15	

calm (0~0.2 m/s): 41.54%

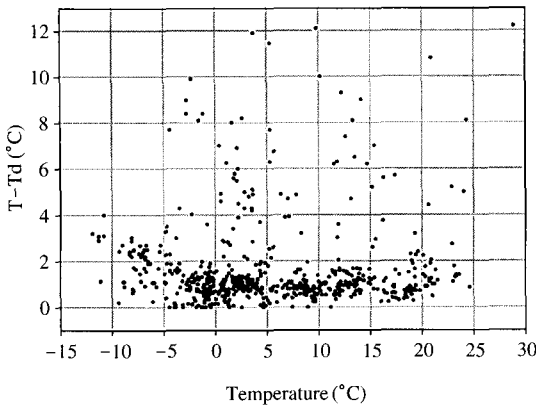


Fig. 5. Scattered diagram for temperature and dew point temperature at all foggy time.

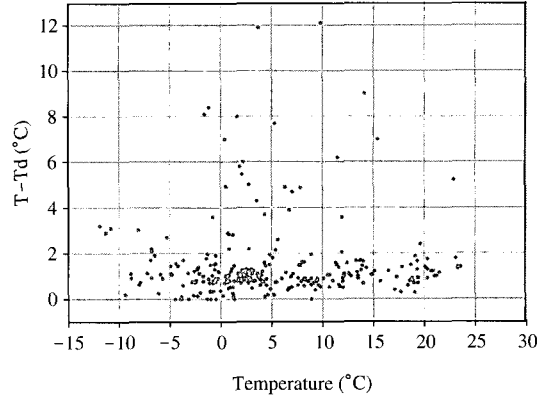


Fig. 6. Scattered diagram for temperature and dew point temperature at foggy time under the calm condition.

Table 4. Inflow to and outflow from the Soyang reservoir (unit: m^3s^{-1}).

Total	Year	Inflow	Outflow	Ratio
366 days	2000	21676.3	29785.7	1:1.37
365 days	2001	17300.0	18144.1	1:1.05
365 days	2002	24810.4	22503.0	1:0.91
365 days	2003	39154.1	38140.8	1:0.97
Foggy days	Year	Inflow	Outflow	Ratio
36 days	2000	1179.3	2828.5	1:2.40
40 days	2001	1231.2	1878.7	1:1.53
29 days	2002	1573.0	2213.0	1:1.41
57 days	2003	3183.2	6791.5	1:2.13

6에 나타내었다. 안개가 존재한 모든 경우(Fig. 5)를 살펴보면 기온은 $-10^{\circ}\sim 25^{\circ}\text{C}$ 까지 분포하였고 기온과 노점온도의 차는 전체적으로 2°C 내에 밀집하며 기온과 노점온도의 차가 비교적 큰 경우에도 안개가 존재하는 분포를 보였다. 전체 안개의 약 42%를 차지하는 무풍시의 경우(Fig. 6)에도 안개가 존재한 모든 경우에 비교해 볼 때 유사한 분포로 기온과 노점온도의 차이는 2°C 이내였다.

내륙지역에 비하여 호수의 주변지역은 호수면으로부터의 증발, 현열 수송과 호수면상의 기층상태 등의 차이로 인하여 기후가 다르게 나타나게 되는데 Eichenlaub (1979)에 의하면 미국의 오대호와 같이 거대한 호수의 연안 지역에서는 안개와 운량 외에도 강우, 강설, 호륙풍 등의 기상현상이 내륙과 현저히

다르다고 하였다. 우리나라의 호수는 대부분 댐 건설에 따라 형성된 인공호수로서 그 규모가 작은 편이므로 강수변동이나 호륙풍 등을 확인할 정도는 아니지만 호수가 수분 공급원과 열원 또는 냉원으로 작용하므로 주변지역의 국지적인 변화를 초래할 수 있다(전병일 등, 2002; 이종범 등, 1990).

춘천지방 안개의 경우 주변의 인공호수에 의한 영향으로 인해 일반적인 기상특성뿐만 아니라 주변의 소양강댐의 방류수가 그 지역만의 또 다른 안개발생 조건의 경우라 사료되어 소양강댐의 유입량, 방류량과 안개발생일과 비교하여 살펴보았다.

Table 4는 연구대상기간내의 4년 동안의 소양강댐의 유입량과 방류량의 비와 안개가 존재할 경우의 소양강댐에서의 유입량과 방류량을 나타내었다. 소양강댐에서의 평년의 유입량과 방류량의 비는 거의 1:1에 가깝지만 안개 발생일의 경우에는 유입량 대 방류량의 비가 1:1.9 정도로 방류량의 비가 높았다. 또한 2003년도 57일의 안개가 있던 날의 경우에는 그 방류량이 $6791.5m^3s^{-1}$ 로 최대치를 나타내어 방류량이 많은 해에 안개 발생일수가 많다는 것을 알 수 있었다. Fig. 7의 경우에는 월별 소양강댐에서의 방류량과 안개일수와의 관계를 가로로는 월별, 막대그래프는 방류량, 그리고 꺾은선 그래프는 안개일수를 나타내었다. 6, 7, 8월의 여름철 적은 방류량과 적은 안개발생일수 그리고 9, 10, 11월의 가을철 방류의 최대값에 따라 안개 발생일수 또한 뚜렷이 증가한다는

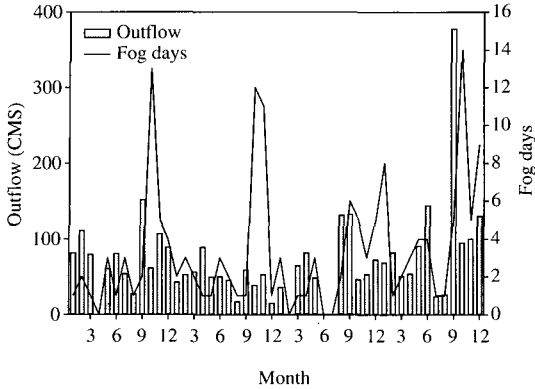


Fig. 7. Outflow from Soyang reservoir and fog occurrence days at Chuncheon.

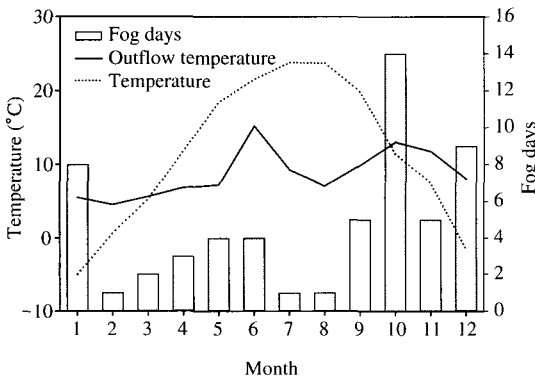


Fig. 8. Fog occurrence days at Chuncheon with the surface air temperature at Chuncheon and the temperature of outflow from Soyang reservoir in 2003.

것을 알 수 있다.

춘천지방에서 2003년을 대상으로 하여 기온과 방류수온 그리고 안개일수와의 관계를 Fig. 8에 나타내었다. 그래프에서 점선은 기온을 나타내며 실선은 WQRRS를 이용하여 계산한 방류수온을 나타내고 막대그래프는 안개발생일을 나타내었다. 봄, 여름을 지나 초가을까지는 기온이 방류수온보다 높은 모습을 보이다가 10월 이후부터 2월까지의 소양강댐에서의 심층수의 방류로 인해 방류수온이 대기의 온도보다 높음을 알 수 있고 안개 발생일수 또한 늦가을부터 겨울철에 많음을 볼 수 있다. 즉, 춘천지방에서 늦

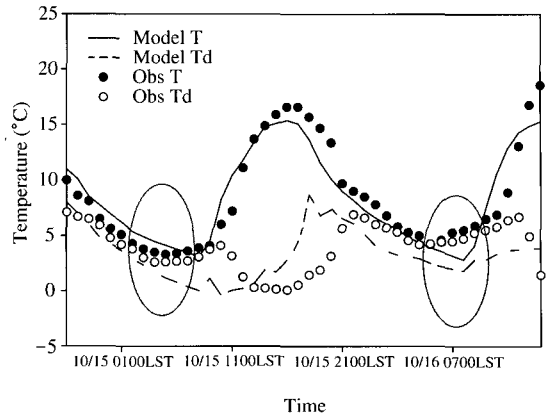


Fig. 9. Comparison of surface air temperature and dew point temperature between simulation and observation. The solid and dashed lines represent simulated values and dot and open circles do observations.

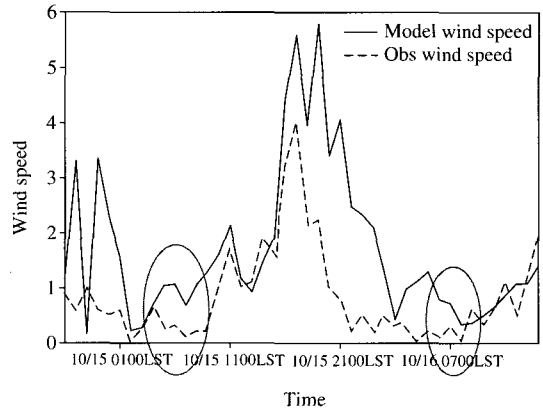


Fig. 10. Comparison of simulated wind speed and observation wind speed. The solid line represent simulated values and the dashed line do observations.

가을부터 겨울철에 발생하는 안개의 경우는 방류수온과 대기온도의 차이에 기인하여 발생하는 증발부의 효과가 더하여져 나타나는 것으로 생각되어진다.

춘천지방에서 발생하는 안개를 앞 질의 기상특성으로 살펴보면 전 계절에 걸쳐 일출이전에 발생하여 일출과 함께 소산되는 모습을 보이며 안개가 존재할 경우에는 북풍계열의 바람이 우세한 가운데 그 풍속

이 2.1 ms^{-1} 이내의 바람상태에서 발생하였고, $0 \sim 0.2 \text{ ms}^{-1}$ 이하의 약한 풍속의 빈도가 40% 이상 되었으며, 기온과 노점온도의 편차가 겨울철(4°C)을 제외하고는 대부분 2°C 이내에 국한되는 모습을 보였다. 현지관측을 통한 세부적인 복사무 생성 메커니즘을 규명하는 연구에 따르면 (Roach, 1976; Brown and Roach, 1976) 현장관측을 통해 얻은 자료로부터 평균 풍속이 $1 \sim 2 \text{ ms}^{-1}$ 로부터 0.5 ms^{-1} 또는 그 이하로 감소될 때 안개가 생성된다는 것에 입각하면 춘천지방의 안개는 복사무의 성향을 띤다는 것을 알 수 있다. 또한 소양호에서 방류되는 수온과 대기온도는 봄철

과 여름철의 경우 대기의 기온이 방류수온보다 높지만 가을과 겨울철의 경우에는 방류수온이 대기온도보다 높은 모습을 보여 가을, 겨울철에는 증발무의 효과가 더하여 짐을 알 수 있었다.

3.2 수치모의 결과

춘천지방에서 2003년 10월 15일 새벽과 10월 16일 새벽에 발생한 안개를 대상으로 수치모의하여 춘천기상대 관측자료와 비교해 보았다. 수치모의된 값은 춘천기상대 지점과 가까운 4지점의 격자값을 뽑아서 평균하였다. 15일에 발생한 안개는 오전 4시에

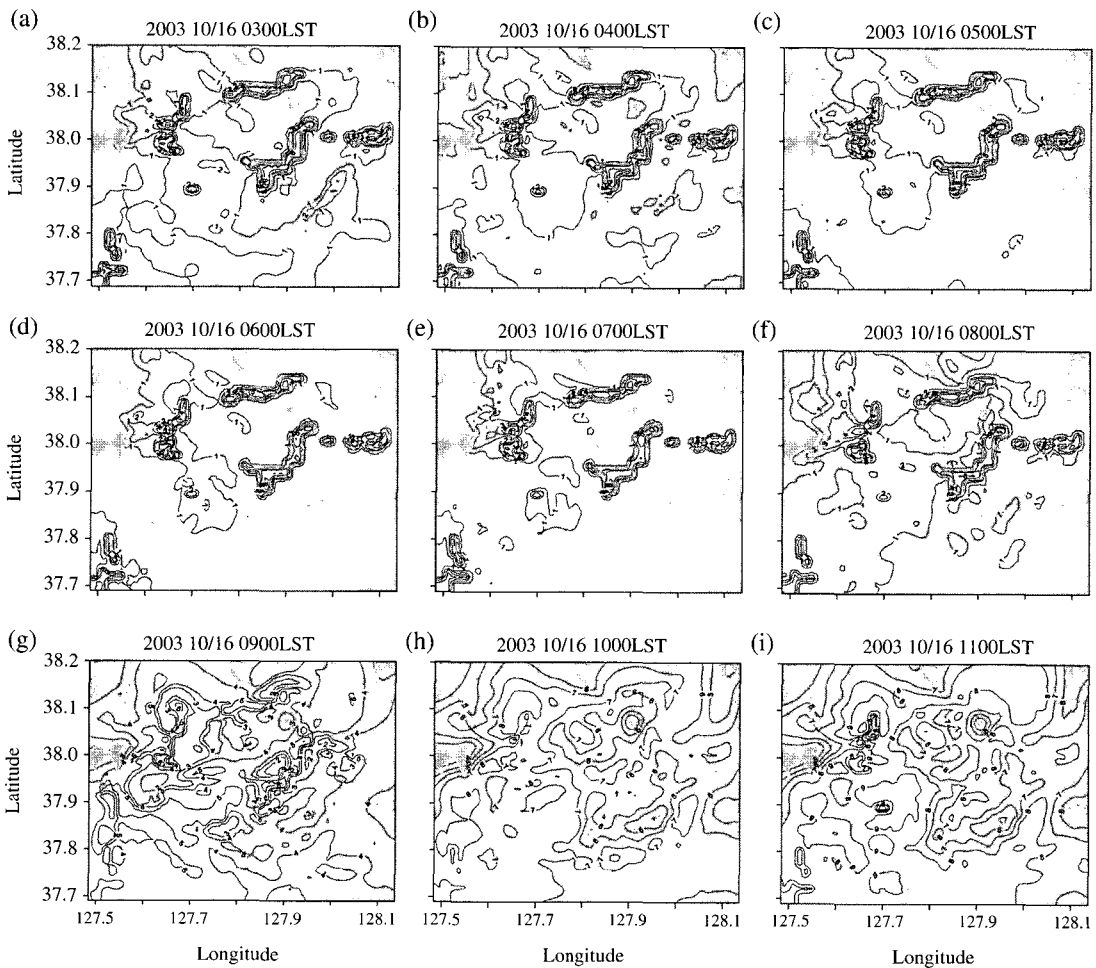


Fig. 11. The horizontal distribution of the difference between temperature and dew point temperature at 0300 LST (a), 0400 LST (b), 0500 LST (c), 0600 LST (d), 0700 LST (e), 0800 LST (f), 0900 LST (g), 1000 LST (h), 1100 LST (i) on 16 October 2003 in Domain 4.

발생하여 오전 9시에 소산되었으며, 16일에 발생한 안개는 오전 4시에 발생하여 오전 8시 30분에 소산되었다. Fig. 9에는 기온과 노점온도를, Fig. 10에는 풍속을 시계열을 통해 나타내었다. 주변 인공호수의 수표면 수온자료를 지표면 경계값으로 이용하여 수치모의 한 결과 노점온도의 경우 극값이 나타나는 시각이 비교적 일찍 모사되었으나 전체적인 변화폭과 극값은 비슷하게 나타났고, 기온의 경우 그 변화폭과 극값이 비교적 잘 모사되어져 나타났다. 관측치를 통하여 살펴본 15일 새벽과 16일 새벽에 나타난 안개의 경우 기온과 노점온도의 차가 1°C 내외로 좁혀져 시정 100~500 m 정도의 짙은 안개가 발생하였는데 수치모의를 통해 살펴보면 15일 새벽의 경우 기온과 노점온도의 편차는 약 4°C 가량으로 관측값과 비교해서 다소 차이가 있었으나 9시경 안개가 소산되기 시작하는 시간대에서 기온과 노점온도의 차이가 커짐에 따라 안개가 소산되는 현상이 명확하게 나타났다. 16일 새벽에 발생한 안개에 있어서는 기온과 노점온도의 편차가 2°C 이내의 좁은 모습을 보였고, 안개 소멸 시각대에 맞추어서 그 편차가 커짐에 따라 안개가 소산되는 현상 또한 잘 모사되어 나타났다.

풍속의 경우에 관측값에 비해 모델값이 다소 과대 모사하는 경향이 있었으나 그 변화폭은 비교적 일치하는 모습이었고 안개가 발생한 15일 새벽과 16일 새벽에 있어서 0.5 m/s 이하의 풍속이 약한 상태에서 발생한 안개를 1 m/s⁻¹ 이내의 약한 풍속으로 잘 모사하였다. Fig. 11는 WQRRS를 이용하여 수표면 수온자료를 MM5의 지표면 경계값으로 이용한 결과를 춘천지역을 포함하고 있는 Domain 4에서의 지상의 모형결과로 기온과 노점온도의 편차를 나타낸 그림으로 시정 100~500 m 이내의 짙은 안개가 발생하고 소산된 과정을 살펴보기 위해 2003년 10월 16일 0300 LST (a)부터 1200 LST (j)까지 나타내었다.

앞 절에서의 관측 자료를 통해 살펴본 결과 안개라는 기상현상이 기온과 노점온도의 편차가 2°C 이내에 국한되어 나타났고 앞서의 수치모델결과와 관측자료를 통해서 시계열로 살펴본 경우에도 2003년 10월 16일 새벽에 발생한 안개는 기온과 노점온도의 편차가 좁은 상태에서 발생하여 그 편차가 커짐에 따라 안개가 소산되는 모습이 잘 나타났다. 춘천시내와 주변의 인공호수를 포함하는 Domain 4에서의 공

간장을 살펴보면 실제 발생한 안개에 비하여 1시간 가량 다소 이른 안개현상을 모의하였지만 (0300 LST (a)), 짙은 안개가 발생한 0400 LST부터 춘천시내를 포함하여 기온과 노점온도의 편차가 2°C 이내에 국한되는 모습과 함께 안개가 계속 유지되어 나타나다가 0900 LST (g)부터 기온과 노점편차가 4°C 이상으로 차이가 남에 따라 안개가 소산되고 시간이 지남에 따라 기온과 노점편차는 7°C 이상 차이가 나 밝은 기상 현상을 보이고 있다. 호수면 근처에서는 0300 LST부터 기온과 노점온도의 편차가 2~3°C 가량 나타나 춘천시내와는 달리 비교적 열은 안개가 발생하여 춘천시내와 비슷한 시간까지 지속하는 모습을 보였다.

4. 결 론

춘천지방에서 발생하는 안개는 가을철에 전체 안개발생일의 50%가 발생하였으며, 지속시간의 경우 겨울철 안개가 지속시간이 4시간으로 길었고 여름철의 안개가 지속시간이 2시간 내외로 짧은 모습을 보였다. 대부분의 안개가 일출 이전에 발생하여 일출과 함께 소산되는 모습을 보였으며, 풍속이 2.1 m/s⁻¹ 이내의 약한 상태에서 발생하였고 무풍(0~0.2 m/s⁻¹)의 상태에서 전체안개의 40% 이상으로 높은 빈도를 보였다. 발생한 안개의 기온과 노점온도의 편차를 통해 살펴본 결과 겨울철을 제외한 전 계절에서 노점편차가 2°C 이내에 국한되는 모습을 보이며 겨울철의 경우 그 편차가 4°C까지 분포하는 모습을 보였다. 방류량과 안개발생일수를 통해 살펴본 결과 소양호에서 방류량이 많은 가을철과 겨울철에 안개발생일수가 많았으며 발생안개의 연 변화경향은 소양호에서 방류되는 방류량과 방류수온으로 설명이 가능하였다. 이상의 결과를 통해 살펴본 춘천지방에서의 안개는 복사무의 성향을 띠는 가운데 방류수온이 대기의 기온보다 높은 가을, 겨울철에는 증발무의 효과가 더하여짐을 알 수 있었다.

또한 본 연구에서 소양호의 수표면 수온을 지표경계층 값으로 사용하여 수치모의한 결과를 살펴보면 다음과 같다.

노점온도의 경우 극값이 나타나는 시각이 비교적 일찍 모사되었으나 전체적인 변화폭과 극값은 비슷

하게 나타났고, 기온의 경우 그 변화폭과 극값이 비교적 잘 묘사되어져 나타났으며 안개의 현상은 기온과 노점온도의 편차로 표현이 가능하였으며 안개가 존재할 경우에는 그 편차가 2°C 이내의 모습이었다. 소양호의 수표면 수온자료를 사용하여 수치모의한 결과의 공간장에서 춘천지역을 중심으로 시간의 흐름에 따른 안개의 발생현상과 지속되는 과정이 비교적 잘 묘사되었다.

이상의 결과로부터 안개발생과 관련된 기상특성과 수치모의를 통한 안개의 예측가능성이 검토되었다. 물론 보다 명확한 원인해석과 수치모의를 위해서는 많은 관측지점에서의 기상 관측자료와 수표면 수온 자료가 필요하며 차후, 최근에 이루어지고 있는 자료 동화기법을 통해 지역적인 모형의 최적화가 이루어진다면 국지적인 안개현상의 수치모의가 보다 명확하게 이루어질 것으로 기대된다. 또한 수치모의를 통해 안개를 예측하고자 하는 접근 방법은 대기질 모델링과 연동되어 스모그의 발생을 예측하는데 많은 도움이 될 것으로 사료된다.

사 사

이 논문은 부산대학교 자유과제 학술연구비(2년)에 의하여 연구되었음.

참 고 문 헌

남재철, 신만용, 윤진일(1995) 매시기상자료에 의한 안동지역 인공호 주변 안개발생 판별, 한국기상학회지, 31(4), 393-398.
 민경덕, 김동정(1990) 가을철 한반도의 기압계 유형과 안개 발생에 관한 연구, 환경과학연구소논문집, 4, 13-32.
 엄기철, 김남원(2002) 통계적 방법을 이용한 강원지역의 안개예측모형개발, 한국기상학회 대기(한국기상학회보), 12(1), 292-294
 이광호, 이기주(1999) 간척사업으로 조성될 담수호 주변의 안개일수 변화 예측, 전북대학교 교육논문, 19, 127-143.
 이내영(1973) Spreen의 방법을 이용한 추계 서울 지방의 복사무 자보에 관한 연구, 한국기상학회지, 9(1), 21-26.

이종범, 봉종헌, 조하만(1990) 댐 건설에 따른 국지기후의 변화 실태, 강원대학교 환경연구소 환경연구, 7(1), 75-81.
 전병일, 김일곤, 이영미(2002) 낙동강 수계 중의 댐 건설에 의한 주변의 국지기상환경 변화: I. 댐 건설 전, 후의 기상변화 분석, 한국환경과학회지, 11(3), 161-168.
 제갈돈(1995) 변형합수분석을 이용한 댐수위와 안개지속시간의 인과관계, 한국데이터정보과학회지, 6, 51-62.
 Brown, R. and W.T. Roach(1976) The physics of radiation fog II. A numerical study. Quart. J. R. Met. Soc., 102, 335-354.
 Eichenlaub, V.L.(1979) Weather and climate of the Great Lakes region, University of Nohre Dam Press, 335.
 Fisher, E.L. and P. Caplan(1963) An experiment in numerical prediction of Fog and stratus. J. Atmos. Sci., 20(5), 425-437.
 George, J.J.(1960) Weather forecasting for aeronautics, Academic Press., 667pp.
 Grell, G.A., J. Dudhia, and D.R. Stauffer(1994) A description of the fifth generation Penn State/ NCAR mesoscale model (MM5). NCAR Tech. Note NCAR/TN-398 +STR, 138pp.
 Hydrologic Engineering Center(1978) Water Quality for River-Reservoir Systems, WQRRS, US Army Corps of Engineers California.
 Mlawer, E.J., S.J. Taubman, P.D. Brown, M.J. Iacono, and S.A. Clough(1997) Radiative transfer for inhomogeneous atmosphere: RRTM, a validated correlated-k model for the longwave. J. Geophys. Res., 102(D14), 16663-16682.
 Musson-Genon, L.(1986) Numerical simulation of a fog event with a one-dimensional boundary layer model. Mon. Wea. Rev., 115, 592-607.
 Reisner, J., R.J. Rasmussen, and R.T. Bruintjes(1998) Explicit forecasting of supercooled liquid water in winter storms using the MM5 mesoscale model. Quart. J. Roy. Meteor. Soc., 124B, 1071-1107.
 Roach, W.T.(1976) On some quasi-periodic oscillation observed a during a field investigation of ration fog. Quart. J.R. Met. Soc., 102, 335-359.
 Troen, I. and L. Mahrt(1986) A simple model of the atmospheric boundary layer: Sensitivity to surface evaporation. Bound.-Layer Meteor., 37, 129-148
 Zdunkowski, W.G. and A.E. Barr(1972) A radiative conductive model for the prediction of radiation fog. Bound.-Layer Meteor., 2, 152-177.