

목포연안지역의 안개특성에 관한 연구

김도용·이상득·김지영·우종택^{***}·오재호^{***}
기상청 기상지진기술개발사업단, ^{*}목포대학교 환경공학전공,
^{**}목포기상대, ^{***}부경대학교 환경대기학과
(2006년 3월 9일 접수; 2006년 5월 24일 채택)

Study on Characteristics of Fog in the Coastal Area of Mokpo

Do-Yong Kim, Sang-Deug Lee^{*}, Ji-Young Kim^{*}, Jong-Taek Woo^{**} and Jai-Ho Oh^{***}

Center for Atmospheric Sciences & Earthquake Research, Korea Meteorological Administration, Busan 608-737, Korea

^{*}Department of Environmental Engineering, Mokpo National University, Muan 534-729, Korea

^{**}Regional Meteorological Office of Mokpo, Mokpo 530-370, Korea

^{***}Department of Environmental Atmospheric Sciences, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea

(Manuscript received 9 March, 2006; accepted 24 May, 2006)

In this study, characteristics of fog at Mokpo as the west coastal area of Jeonnam were investigated, using statistical analysis of observed fog and meteorological data. Higher frequency of the fog occurrence at Mokpo was showed in spring(32%) and summer(34%) due to the seasonal high atmospheric pressure. Regional characteristics as radiation cooling, advection of fog and water vapor from surrounding sea and Yeongsan lake, and frontal fog had major effect on the coastal fog at Mokpo on the meteorological conditions of north-west/south wind and calm(0~2m/s). Also, as the results of analyzing data of before and after the construction of Yeongsan dam, the frequency of annual mean fog days increased 41%, specially increased 178% in autumn. The increase of fog days mainly resulted from evaporation during colder seasons and from temperature inversion during warmer seasons over the water surface of Yeongsan lake. The construction of Yeongsan dam had a little effect on the meteorological conditions concerning fog occurrence, because Yeongsan dam which only supplies the water for use do not always carry out outlet of the cold water. In addition, the sea fog at Heuksando located in offshore had not effect on the occurrence of fog at Mokpo.

Key Words : Coastal fog, Characteristics of fog, Meteorological condition, Yeongsan dam

1. 서론

1960년대부터 지속적인 고도성장을 추진해 온 우리나라는 급속한 경제성장을 이룩하면서 산업화·도시화가 진행되었고 더불어 환경문제도 다양화·심각화 되기에 이르렀다. 뿐만 아니라 토목·건축사업의 활성화에 따른 대형 토목·건축구조물의 증가로 인하여 국지적 미기상의 변화를 초래하고 있다. 이러한 기상현상의 변화는 환경오염과 더불어 인간생활에 영향을 미친다. 특히, 우리나라는 국토면적이 비

교적 좁으며 지형이 복잡하고 삼면이 바다에 접해 있기 때문에 다양한 국지적 기상현상이 나타난다. 그 중 안개는 발생지역의 지형과 기상조건 등에 따라서 그 특성이 매우 다양하며¹⁾, 시정과 일사를 차단하여 교통 및 각종 산업 활동을 방해할 뿐만 아니라²⁾ 농작물의 성장에도 영향을 미치는 등 대기오염을 가중시키는 역할을 하여 인간생활에 미치는 영향이 크다고 할 수 있다. 그러므로 안개발생의 예측·예보, 농작물의 생산성 증대, 도로·항만·공항·댐 등의 건설입지선정 등의 다양한 측면에 있어서 안개의 특성을 정확하게 파악하는 것은 중요하다.

이러한 안개의 발생을 이해하고 예측하기 위한 연구는 외국의 경우 이미 20세기 초반부터 선행되었으며³⁾, 현재에 이르기까지 안개의 종류별 특성분

Corresponding Author : Do-Yong Kim, Center for Atmospheric Sciences & Earthquake Research, Korea Meteorological Administration, Busan 608-737, Korea
Phone: +82-51-620-6254
E-mail: dykim@cater.re.kr

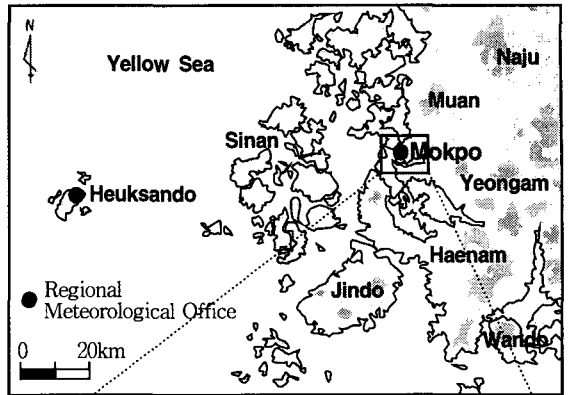
석 및 기상학적 요인분석, 중관분석 등의 통계적 해석⁴⁻⁶⁾을 필두로 안개발생 메커니즘의 해명⁷⁻⁹⁾ 및 수치모의에 관한 연구¹⁰⁻¹²⁾들이 꾸준히 진행되어져 왔다. 국내에서는 1970년대 이후부터 안개에 관한 연구가 활발해졌으며, 대부분이 대형댐 및 공항주변 등의 특정지역에서의 안개발생시의 기상요소를 통계적 방법에 의하여 분석하고 그 물리적 기구를 규명하고자 하는 것이었다. 이승호와 허인혜¹³⁾는 한국의 기후표를 이용하여 우리나라의 연평균 안개일수의 분포를 작성하여 지형이 복잡한 우리나라의 안개발생특성은 지역별로 다양하며 일반적으로 복사무가 발생하기 쉬운 내륙지역에서 안개의 발생빈도가 높음을 보고하였고, 원덕진 등¹⁴⁾은 도서지역 및 해상에서 발생하는 해무에 관하여 연구하였으며, 허기영과 하경자¹⁵⁾는 연안안개를 중관 기압계별로 분류하여 그 특성과 상관성에 관하여 연구·보고하였다. 이종범¹⁶⁾, 남재철 등¹⁷⁾, 변판수¹⁸⁾는 댐 및 공항 등의 대형 토목·건축구조물의 형성에 의한 주변지역의 안개특성변화에 관하여 연구한 바 있다. 또한, 안개의 발생 메커니즘은 복잡하고 지형 및 기상학적 요소에의 의존도가 높기 때문에 통계학적 방법만으로 안개의 발생 및 소멸을 예측·예보하기에는 한계가 있으므로, 최근에는 이러한 안개예측의 가능성 검토와 방법의 향상을 위한 수치실험이 시도되고 있다¹⁹⁻²¹⁾. 그러나 수치실험을 검토하기 위해서는 기초자료로서 관측 자료의 분석은 반드시 선행되어야 하기 때문에, 대상지역의 안개 및 기상학적 특성을 고찰하기 위한 통계학적 분석은 중요하다고 할 수 있다.

따라서 이 연구에서는 안개특성에 대한 연구가 미비한 서남권역인 목포연안지역의 안개예측을 위한 선행연구로서 안개 및 기상관측자료 분석을 통하여 안개특성을 파악하였다. 또한, 영산강 하구둑 건설이 목포지역의 안개발생에 미치는 영향 및 연안지역의 대표적인 특징이라고 할 수 있는 해상으로부터의 해무의 영향에 관련하여 흑산도에서 발생한 해무가 목포연안지역에 영향을 미칠 가능성에 대하여도 검토하였다.

2. 대상지역 및 자료

이 연구의 대상지역인 목포지역은 태백산맥의 종착지인 한반도 최서남단에 위치하며, 반경 약 40km 이내에서 북동쪽은 무안군, 남동쪽은 영산강 하구둑을 가로질러 영암군, 서쪽으로는 도서군집지역인 신안군, 남쪽은 바다를 사이에 두고 해남군에 둘러싸여 있어서 연안지역이면서도 내륙지역의 성격이 강한 지리적 특징을 갖고 있다(Fig. 1(a)). 기후적으로는 고기압의 영향을 많이 받는 지역으로¹⁵⁾, 봄과 가을은 매우 짧고 이동성 고기압의 영향으로 건조하

(a) West Coastal Area of Jeonnam



(b) Mokpo Area

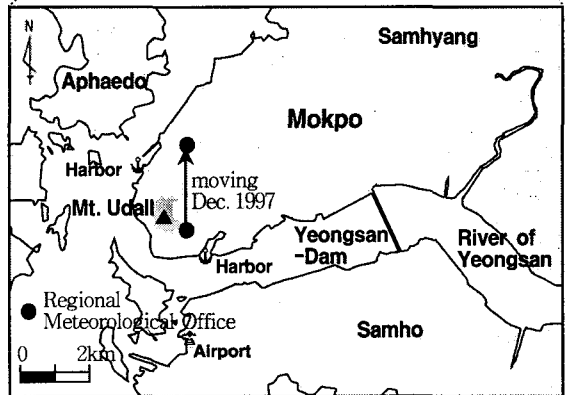


Fig. 1. Site location of study area as the (a) west coastal area of Jeonnam and (b) Mokpo area.

고 맑은 날이 많고, 여름철에는 북태평양 고기압의 영향으로 강수량이 많고 고온다습하며, 겨울철에는 찬 시베리아 고기압의 영향을 받는다. 또한, 서쪽과 남쪽이 바다에 접해 있으며 동남쪽으로는 영산호가 위치하고 있어서 수증기의 공급량이 풍부하고 안개발생이 많은 지역이다. 신안군의 서쪽 끝에 위치(목포지역으로부터 서쪽 약 92km지점)하고 있는 흑산도는 평탄한 지형이 없는 전형적인 도서지역으로 온대성 해양기후에 의한 대표적인 해무다발지역이며²²⁾, 발생안개의 지속시간이 길고 풍속이 강하여 먼 바다에 위치하고 있음에도 불구하고 연안지역의 안개발생에 영향을 미칠 가능성이 우려되는 지역이다.

이 연구에 이용된 주요 자료는 기상청 통계자료(한국의 기후표, 기상연보, 기상월보, 일기상 통계표 등)로서 목포와 흑산도 기상대에서 관측된 안개관련(안개일수, 발생시간, 지속시간 등) 및 기상요소(풍향, 풍속, 강수량, 상대습도, 기온, 이슬점온도 등) 자료이다. 목포지역의 경우는 1970년부터 2004년까지의 35년간 관측된 자료를 분석대상으로 하였고, 흑

산도의 경우는 1997년부터 2004년까지의 8년간의 자료를 대상으로 하였다. 목포 기상대는 Fig. 1(b)에서 보인 바와 같이 목포항으로부터 북서쪽 약 1km, 영산강 하구둑으로부터 서쪽 약 6km 지점인 유달산 인근 동남쪽에 위치하였으나, 1997년 12월에 북쪽으로 약 3km 떨어진 목포 북항 인근으로 이주하였다. 기상대 이주로 인한 관측상의 오차는 다소 있을 것으로 추측되지만, 이주 후의 자료는 전체의 1/5이며, 이주 전·후의 두 지점 모두 목포 인근해로부터 약 1km, 영산강 하구둑으로부터 약 6km 떨어진 지점으로 지리학적 조건변화는 거의 없을 것으로 사료되므로, 이 연구에서는 관측지점의 변화로 인한 자료 분석의 오차는 무시했다. 또한, 흑산도 기상대는 흑산도 북동쪽 대흑산도항 인근 흑산면에 위치하고 있어, 관측 자료는 흑산도 부근 바다에서 발생하는 해무의 영향을 충분히 반영하고 있다. 그 외 목포지역의 안개발생과 인접 주변지역에서 발생하는 안개와의 상호영향관계를 검토하기 위한 자료 수집을 시도했으나, 대부분의 지역에서 관측소를 운용하지 않거나 자료가 불충분하여, 이 연구에서는 제외하였다.

3. 목포지역의 안개특성

3.1. 안개자료분석

안개의 발생은 매우 국지적인 기상현상으로 기상 조건뿐만 아니라 주변의 지형 및 수괴 등의 지리학적 요소에도 영향을 받기 때문에 안개 관측자료의 분석은 대상지역의 안개특성을 파악하기 위하여 일차적으로 선행되어야 할 중요한 단계이다. Fig. 2, Fig. 3 및 Fig. 4에 각각 목포지역의 안개자료로서 안개발생일수, 발생시각, 지속시간을 통계적으로 분석한 결과를 나타내었다.

1970년부터 2004년까지의 목포지역의 안개발생일수는 총 821일(연평균 23.5일)로써, 내륙지역(연평균 40일~80일)¹³⁾에 비해 낮은 빈도를 보이지만, 전남 서남권역의 연안지역(연평균 20일 이하)^{13,22)} 중에서는 다소 높은 빈도라 할 수 있다. 연평균 안개발생일수의 월별 분포를 살펴보면, 4월~7월 사이에 전체 안개의 50% 이상이 발생하였으며, 12월과 1월에는 거의 발생하지 않았다(Fig. 2(a)). 즉, 목포지방의 안개발생은 봄철(32%)과 여름철(34%)에 집중되어 있고, 가을철에 접어들면서 점차적으로 감소함(21%)을 알 수 있다(Fig. 2(b)). 대체로 우리나라는 이동성고기압의 출현빈도가 높고 우기를 넘긴 시기인 늦여름부터 가을에 걸쳐서 안개발생빈도가 높으며, 이는 이 시기에 대기 중의 많은 수증기와 심한 일교차로 인하여 내륙지방을 중심으로 한 전형적인 복사무의 발생이 많기 때문이다^{16,19,23)}. 그러나 목포지역의 안개는 서해 남부의 연안지역으로서 봄철에

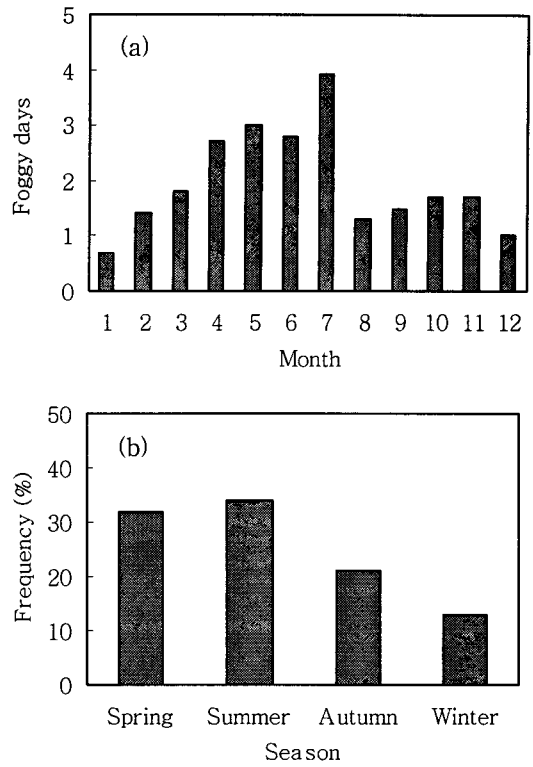


Fig. 2. Monthly occurrence day (a) and seasonal occurrence frequency (b) of fog at Mokpo.

이동성 고기압 후면과 기압골 전면에 위치하면서 온난 다습한 남서류의 유입과 여름철에 북태평양 고기압이 일본 남해상까지 진출하면서 발생하는 몬순형 기류의 유입 및 정체전선의 위치 등의 종관적 환경특성^{15,20,24)}에 의하여 봄철과 여름철에 집중하여 발생하고 있다고 사료된다. 또한 충분한 수증기의 공급 및 기온역전층의 형성에 의한 내륙 쪽의 복사무뿐만 아니라 기온이 수온보다 높아지는 이 시기의 주변해역의 열적관성에 의하여 발생하는 Warm advection의 형성 등이 복합적으로 작용하여 목포연안지역의 안개발생에 영향을 미치고 있음을 알 수 있다^{25~27)}.

안개의 발생시각과 지속시간은 발생원인에 따라 달라지며 안개예측에 있어서 중요한 요소이기 때문에 안개의 발생원인과 성인을 규명하는 많은 연구에서 중요하게 다루어져 왔다^{15,24,28)}. 목포지역의 연평균 안개발생시각은 06시 59분으로 9월이 05시경으로 가장 빨랐고, 2월이 09시 30분경으로 가장 늦게 발생하였다(Fig. 3(a)). 4시간 간격의 시간대별(Fig. 3(b))로는 00시~04시(27%)와 04시~08시(51%) 사이인 새벽과 일출 전·후의 시간대에 집중되어 발생하였다. 지속시간은 연평균 5시간 31분으로 비교적

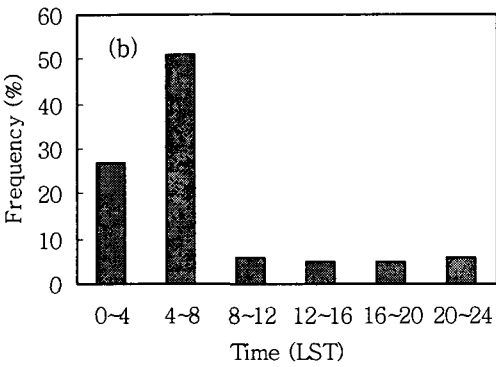
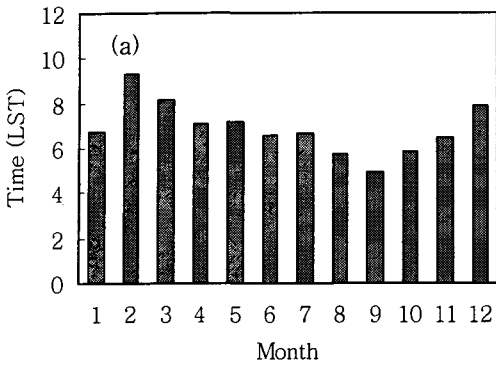


Fig. 3. Monthly occurrence time (a) and occurrence-timely frequency (b) of fog at Mokpo.

짧은 특징을 보였으며, 대체로 3월과 7월~9월이 약 4시간으로 짧은 지속시간을 보였으나, 11월~12월과 1월~2월은 6시간 이상 안개가 지속되었다(Fig. 4(a)). 또한, 5시간 간격의 지속시간별(Fig. 4(b))로는 5시간 이하에서 소멸되는 안개의 빈도가 56%로 가장 높았고, 5시간~10시간 지속되는 안개도 29% 정도의 빈도를 보였다. 즉, 목포연안지역의 안개는 일출시간이 빠른 여름철과 초가을에는 일출 전 새벽 시간대의 지표면 기온역전현상으로 인하여 06시 전후의 이른 시간대의 발생빈도가 높으며, 일출 후 일사나 난류에 의하여 기온 역전층이 파괴되면서 소산될 가능성이 높고 지속시간이 짧은 복사무 형태의 안개가 많이 발생한다^{6,13,19)}. 그러나 겨울철과 이른 봄철에는 일출 시간대가 늦어짐에 따라 08시 전후의 늦은 시간대의 안개발생빈도가 높으며, 해상으로부터 이루어는 이류무 형태의 안개로 인한 영향 및 지표면이 쉽게 냉각되어 기온역전층이 두껍게 형성되기 때문에 대체로 긴 지속시간을 보인다고 할 수 있다^{23,28,29)}. 또한, 안개발생시각 및 지속시간의 월별 분포가 극심한 차이를 보이지 않으며 다소 불규칙적인 것(Fig. 3(a), 4(a))은 목포지역의 안개가 고기압의 영향을 받으며 연안안개의 특징을 갖기 때문에 복사

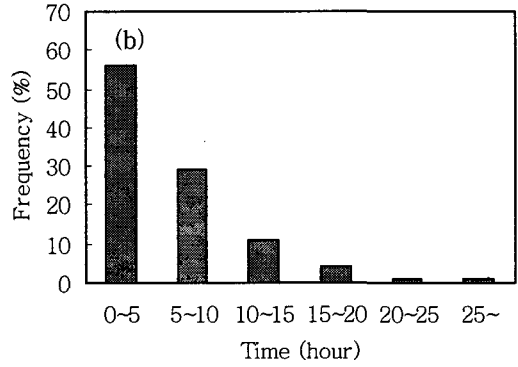
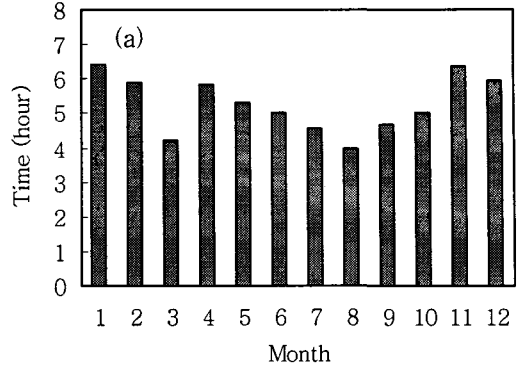


Fig. 4. Monthly duration time (a) and duration-timely frequency (b) of fog at Mokpo.

생각이 중요한 역할을 할 뿐만 아니라 그 이외에 이류무나 전선무 등이 많이 발생하여 복합적으로 작용하고 있기 때문이라고 사료된다^{4,15,30)}.

3.2. 기상특성분석

목포지역의 안개발생과 기상요소와의 관련성을 파악하기 위하여, 안개발생의 기상특성으로서 풍계(풍향·풍속), 강수, 상대습도, 기온교차, 이슬점온도 등을 분석하여 그 결과를 Table 1에 정리하였다. 풍계는 대기의 안정도에 영향을 미칠 뿐만 아니라 수증기와 안개를 이루시키는 역할을 하므로 안개의 형성에 중요하다²³⁾. 목포지역의 안개발생빈도를 주요 풍향별로 살펴보면, 북풍 및 북서풍계열(N, NNW, NW)의 경우가 25%, 남풍계열(SW, SSW, S, SSE, SE)의 경우가 35%로 우세한 모습을 보였다. 이것은 늦은 가을에서 이른 봄까지는 북서풍계열, 여름철에는 남풍계열이 주를 이루는 목포지역의 몬순의 계절적인 특성이 안개발생에 영향을 주고 있음을 나타낸다. 풍속은 0~2m/s일 때 안개발생빈도가 53%, 2~4m/s일 때 32%이었으며, 계절별 평균풍속도 2m/s전후로 무풍이나 바람이 약하여 대기가 안정적일 때의 안개발생빈도가 높음을 알 수 있다. 또한, 강수현상에 의한 충분한 수증기의 공급이

목포연안지역의 안개특성에 관한 연구

안개의 발달과 지속에 영향을 준다고 보고 강수 유무와의 상관성을 검토한 결과, 목포지역의 경우 안개발생 전 12시간 이내에 강수가 있는 경우가 39%였고, 그 경우 발생하는 안개가 평균 약 20분 정도의 긴 지속시간을 보였다. 즉, 강수현상 후의 대기 중의 많은 수증기량이 안개발생 및 지속성에 영향을 미치고 있음을 알 수 있으나, 강수가 없는 경우의 안개발생빈도가 더 높으며 강수 유무에 따른 평

균 안개지속시간의 차이도 그리 크지 않기 때문에 그 상관성은 명확하게 규명 지을 수 없었다^{15,28)}. 목포지역은 강수뿐 만이 아니라 지리적 특성상 해상 및 영산호로부터 이류에 의한 수증기의 공급^{31,32)}이 지속적으로 이루어지며, 이로 인한 높은 상대습도가 안개발생의 요인으로 작용한다¹⁵⁾. 목포지역의 안개발생과 상대습도와의 관계를 살펴보면, 상대습도가 95% 이상인 경우의 안개발생빈도는 43%이고 상대

Table 1. Statistical analysis of meteorological characteristics of fog days at Mokpo

Meteorological Characteristics	Various	Frequency of Fog Occurrence (%)	Others	
			Seasonal Main Direction of Wind	
Wind Direction	No-Wind	12	Spring	No-Wind(8%)
	N, NNW, NW	25	Summer	N,NNW,NW(33%)
	WNW, W, WSW	10		No-Wind(11%)
	SW, SSW, S	22	Autumn	S,SSW,SW(34%)
	SSE, SE	13	Winter	No-Wind(19%)
	ESE, E, ENE	11		ESE,SE,SSE(36%)
	NE, NNE	7		No-Wind(17%)
				N,NNW,NW(25%)
Wind Speed (m/s)			Seasonal Mean Values	
	0~2	53	Spring	2.6
	2~4	32	Summer	1.9
	4~6	12	Autumn	1.5
	over 6	3	Winter	2.1
Precipitation			Fog Duration Time	
	Precipitation	39	5.9 hour	
	No-Precipitation	61	5.6 hour	
Relative Humidity (%)			Seasonal Mean Values	
	95~100	43	Spring	92.9
	90~95	40	Summer	93.2
	85~90	11	Autumn	91.1
	below 85	6	Winter	93.0
$T_H - T_L$ (°C)			Seasonal Mean Values	
	0~5	19	Spring	9.1
	5~10	51	Summer	6.5
	10~15	29	Autumn	9.6
	others	1	Winter	8.5
$T - T_d$ (°C)			Seasonal Mean Values	
	0~1	41	Spring	1.3
	1~2	37	Summer	1.3
	2~3	8	Autumn	1.5
	others	14	Winter	1.2

T: Temperature at fog occurrence
 T_d: Dew point temperature at fog day
 T_H: Highest temperature at the day before fog day
 T_L: Lowest temperature at fog day
 Precipitation: Precipitation before 12hours from fog occurrence

습도가 90%~95%인 경우는 40%로 대부분의 안개가 90% 이상의 높은 상대습도에서 발생함을 알 수 있다. 또한, 안개발생일의 계절별 평균 상대습도도 모두 90% 이상의 높은 값을 나타내었다.

이러한 상대습도를 변화시키는 중요한 요인 중의 하나가 기온의 변화이다. 특히, 전날의 최고 기온에서부터 기온의 하강 정도에 따라서 이슬점온도까지 이를 수도 있고 그렇지 않을 수도 있기 때문에, 기온변화는 안개발생의 가능성을 나타낼 수 있는 중요한 요소의 하나로서 실제 안개의 예보에서 중요하다 할 수 있다²³⁾. 목포지역의 안개발생일의 최저기온과 전일 최고 기온과의 차이(전일최고기온-당일최저기온, 이하 기온교차)는 안개발생일의 80%가 10℃ 전후의 기온교차를 보였다. 또한 계절별로는 한난의 이류를 주기적으로 받는 봄철과 이동성 고기압의 영향을 주로 받는 가을철이 9℃ 이상의 비교적 큰 교차를 보여 이 시기에는 기온교차가 클 것으로 예상될 때 안개발생빈도가 높은 복사무 형태의 안개가 자주 발생하며, 정체전선의 영향으로 인한 전선무 및 이류무의 발생이 많은 여름철은 6.5℃로 가장 적은 기온교차를 보였다. 안개의 발생은 실질적으로 생성 메커니즘상 기온교차에 의해 기온이 이슬점온도에 가까워지면서 대기 중의 수증기가 포화되어 나타나는 기상현상이므로, 목포지역의 안개발생일의 기온과 이슬점온도와의 차이를 검토한 결과, 안개발생일의 78%가 2℃ 이내에 밀집하며, 각 계절별 평균값도 1.5℃ 이내의 차이를 보였다^{19,22)}.

따라서 목포연안지역은 북서풍계열 및 남풍계열의 바람이 우세하며 국지적 특성으로서 주변 해역 및 영산호로부터의 충분한 수증기와 안개의 이류와 더불어 안정도가 높은 대기 상태에서 이동성 고기압이나 북태평양 고기압의 영향을 받아 복사냉각에 의한 안개발생의 성향이 높은 지역임을 알 수 있다.

4. 영산강 하구둑 건설이 목포지역의 안개특성에 미친 영향

인구의 증가와 산업발전으로 인하여 생활 및 공업용수의 수요가 급증함에 따라 수자원의 안정적 관리, 홍수조절, 용수공급, 전력생산을 목적으로 건설된 대형 댐 및 하구둑은 인위적 지형변화를 일으켜 주변지역의 국지적 기상변화를 초래하고, 대규모의 수증기 공급 및 복사냉각이 활발할 수 있는 인공호의 형성으로 인하여 안개특성을 변화시킨다^{31~35)}. 이 연구에서는 목포 동쪽 6km 지점, 무안군 삼향면과 영암군 삼호읍 사이를 가로막아 목포시와 영암군을 육로로 연결하는 영산강 하구둑(Fig. 1(b))의 건설이 목포지역의 안개발생 및 특성에 미치는 영향에 관하여 조사하였다. 영산강 하구둑은 영산호에

풍부한 담수를 저류함으로써 농경지에 효과적으로 용수를 공급하기 위하여 1978년에 착공하여 1981년 12월에 완공되었다. 따라서 목포지역의 35년간의 연구대상 자료를 1970년~1981년과 1982년~2004년으로 나누어, 하구둑 건설 전·후의 안개특성의 변화 및 국지적 기상변화를 검토하였다.

4.1. 안개특성변화

안개발생일수의 연도별 변화양상(Fig. 5(a))을 보면 연간 강수량이 적거나 라니냐 현상이 발생한 연도(70, 71, 73, 74, 95, 96, 98, 99, 00년 등)는 안개일수가 급격히 줄어 불규칙적 변화를 보였으나 하구둑 건설 후 전체적으로 증가현상을 보였으며, 연평균 안개일수도 18.5일에서 26.1일로 41%증가하였다. 계절별로(Fig. 5(b))는 가을철에 가장 뚜렷한 증가(178.3%)를 나타냈으며 봄(36.7%), 여름(9.3%), 겨울(17.6%)도 역시 증가하였다. 목포지역은 고기압과 정체전선의 영향으로 봄철과 여름철에 안개발생빈도가 높으나, 호수에 담수된 물은 열용량이 크기 때문에 수면 부근에서 기온역전층이 쉽게 형성되는 가을철에 영산호 형성에 의한 안개발생빈도의 증가

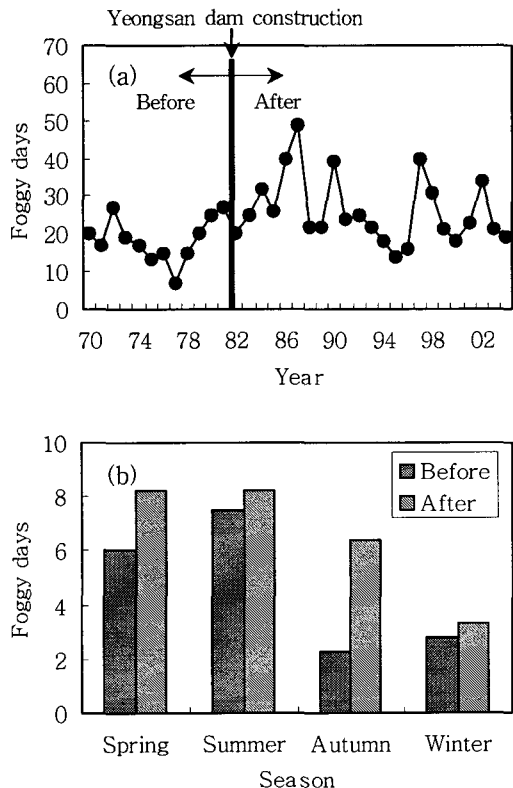


Fig. 5. Yearly (a) and seasonal (b) variation of fog days before and after Yeongsan dam construction.

울이 가장 높으며, 겨울철과 이른 봄철에는 수온이 기온보다 높아져서 발생하는 증발무의 발생에 의해 안개발생일수가 증가한 것으로 사료된다^{16,23,31)}.

안개발생시각은 하구둑 건설 후 대체로 빨라졌으며(Fig. 6(a)), 연평균 07시 43분에서 06시 37분으로 약 1시간 정도 빨라졌다. 계절별로(Fig. 6(b))는 겨울은 거의 변동이 없으며, 봄과 여름은 약 1시간 정도 빨라졌고, 가을은 40분정도 늦어졌다. 영산강 하구둑은 용수공급을 목적으로 건설된 댐으로서 발전을 위한 주기적인 방류는 하지 않으나, 대체로 정체 전선 등의 영향으로 인해 강수가 많은 늦은 봄과 여름철에는 홍수 및 저수량 조절을 위하여 방류를 하기 때문에, 이 시기에는 주로 새벽에 방류되는 방류수의 낮은 수온 때문에 역전현상이 쉽게 발생하여 안개발생현상이 빨라졌다고 할 수 있다^{13,16)}. 또한, 가을에서 겨울로 접어들면서 점차적으로 상대습도가 낮아지고, 기온이 수온보다 낮은 상태가 되어 수면에서의 증발에 의한 안개가 발생하므로 발생시각이 다소 늦어진다고 생각할 수 있다²³⁾.

하구둑 건설 전·후의 안개지속시간은 거의 변화가

없으며(Fig. 7), 연평균 시간도 5시간 42분에서 5시간 26분으로 건설 후 16분 정도 빨라진 근소한 변화를 보였다. 이는 영산호로부터 목포 시가지로 유입되는 안개나 수증기는 목포지역의 안개일수를 증가시킬 수는 있으나, 일반적으로 복사무에 비해 일사에 의하여 쉽게 소멸되기 때문에 전체적인 지속시간에는 큰 영향을 미치지 못한다고 사료된다^{23,32)}.

4.2. 기상특성변화

목포지역의 영산강 하구둑 건설 전·후의 안개발생일과 관련하여 기상특성변화를 검토하고 그 결과를 Table 2에 정리하였다.

하구둑 건설 전의 풍향은 북서풍계열(N, NNW, NW)이 32%, 남서풍계열(SW, SSW, S)이 28%로 우세하였으나, 건설 후에는 남동풍계열(SSE, SE, ESE)의 바람이 발달하면서(10%에서 20%로 증가) 북서풍계열의 바람이 다소 약화(10%감소)되는 양상을 보였다. 또한 풍속도 연평균 2.3m/s에서 2.1m/s로 감소하였다. 이러한 현상은 목포지역의 남동쪽에 위치한 영산호를 중심으로 형성된 국지적 풍계가 목포지역의 풍계에 영향을 미친 것으로 사료되며, 또한

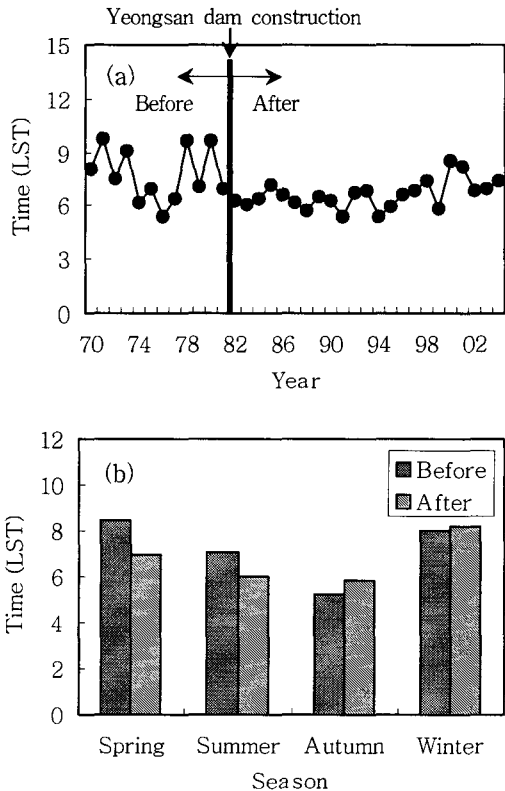


Fig. 6. Yearly (a) and seasonal (b) variation of fog occurrence time before and after Yeongsan dam construction.

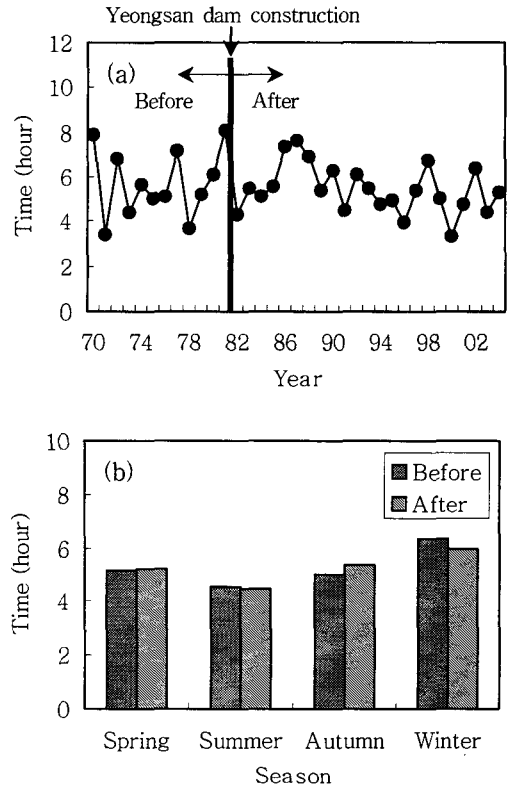


Fig. 7. Yearly (a) and seasonal (b) variation of fog duration time before and after Yeongsan dam construction.

Table 2. Meteorological characteristics of fog days before and after Yeongsan dam construction

Meteorological Characteristics	Before	After
Main Direction of Wind	N, NNW, NW (32%) SW, SSW, S (28%) SSE, SE, ESE (10%)	N, NNW, NW (22%) SW, SSW, S (21%) SSE, SE, ESE (20%)
Wind Speed (m/s)	2.3	2.1
Precipitation (%)	41	43
Relative Humidity (%)	94.1	92.2
T _H - T _L (°C)	7.2	8.3
T - T _d (°C)	1.1	1.5

T: Temperature at fog occurrence

T_d: Dew point temperature at fog day

T_H: Highest temperature at the day before fog day

T_L: Lowest temperature at fog day

Precipitation: Precipitation frequency before 12hours from fog occurrence

남동풍계열의 바람의 발달은 영산호로부터 목포 시가지로의 수증기의 공급을 증대시키는 역할을 하여 목포지역의 안개발생에 유리한 조건을 형성한다고 할 수 있다^{23,36}. 강수현상이 안개발생에 영향을 미치는 정도는 하구둑 건설 전·후, 41%에서 43%로 거의 변동을 보이지 않았다. 이는 영산호에 의한 대기 내의 수분의 증가로 인해 국지적으로 강수가 증가할 수도 있으나 강수는 일반적으로 종관규모나 지구규모의 기상상태에 영향을 받기 때문에 댐 건설이 강수량에 미치는 영향은 거의 없으며³¹, 더욱이 3.2절에서 서술했듯이 강수와 안개발생과의 상관성이 명확하지 않기 때문이라고 할 수 있다¹⁵. 하구둑 건설 전·후의 안개발생일의 상대습도는 94.1%에서 92.2%로 1.9%정도 감소했다. 이것은 하구둑 건설로 인한 하천수의 담수로 건설 전에 비하여 기상대가 위치한 하천 하류부의 유량이 상대적으로 감소하였기 때문이라고 사료되며, 이는 단순히 수증기 공급의 증가만으로는 안개발생의 증가를 완벽히 설명할 수 없다는 것을 말해 준다¹³. 그러나 양자 모두 90% 이상의 높은 상대습도에서 안개가 발생하여 기본적으로 목포지역의 안개발생에 상대습도가 미치는 영향이 크다고 할 수 있으며, 또한 1.9%의 극소한 감소율로부터 하구둑 건설이 상대습도에 미치는 영향은 미미하다고 할 수 있다. 이것은 목포지역이 연안 지역으로서 하구둑 건설 전에도 주변해역 및 영산강으로부터 충분한 수증기의 공급을 받고 있었기 때문이라고 사료된다. 기온교차는 하구둑 건설 전 7.2°C에서 건설 후 8.3°C로 1.1°C 증가하여 기온의 하강 정도가 커짐으로서 안개발생에 유리한 조건을 형성했으며, 기온과 이슬점온도와의 차이는 전 1.1°C에서 건설 후 1.5°C로 약 0.5°C 증가했지만 수증

기가 포화되어 안개가 발생하기에 충분히 작은 값이라고 할 수 있다^{19,22}.

이상의 결과로부터 영산강 하구둑 건설로 인한 영산호의 형성은 국지적 풍계를 변화시켜 영산호로부터 목포 시가지로의 남동풍계열의 바람을 증대시켰으나, 그 외 안개발생일의 기상조건에는 그리 큰 영향을 미치지 않았음을 알 수 있었다. 이것은 영산강 하구둑이 용수공급을 위한 담수를 목적으로 건설된 댐이기 때문에 발전을 위한 주기적인 방류를 하지 않아 방류수로 인한 수온변화의 영향이 적기 때문이라고 사료되며, 이러한 결과는 발전을 목적으로 한 충주댐과 용수공급을 목적으로 한 주암댐의 경우를 비교·검토한 이승호와 허인혜¹³의 연구에서도 밝혀진 바 있다.

5. 흑산도 해무가 목포 연안지역에 미치는 영향

연안지역은 인근해상 및 도서지역에서 발생하는 해무의 영향을 많이 받으며, 바다로부터 이루어 들어오는 수증기의 공급은 연안지역의 안개발생빈도를 증가시킨다^{4,15,27}. 특히, 서해안은 조석간만의 차가 크고 해수면 온도가 낮기 때문에 이슬점온도와의 차이가 커져서 안개발생이 더욱 잦다^{14,37,26}. 이 연구에서는 일반적으로 발생빈도가 높고 지속시간이 긴 해무의 특성^{18,22,38}을 고려하여 인근해역 보다 먼 바다에서 발생한 해무가 연안지역에 영향을 미칠 가능성을 검토하기 위하여, 목포지역으로부터 서쪽 약 92km지점에 위치한 흑산도에서 발생한 해무가 목포연안지역에 미치는 영향정도를 안개 및 기상관측자료를 토대로 한 통계학적 기법에 의하여 유추하여 보았다.

흑산도는 전형적인 해무다발지역으로 안개발생일

목포연안지역의 안개특성에 관한 연구

수는 1997년부터 2004년까지 총 535일로 연간 약 67 일이며, 안개발생은 일중 고르게 분포하지만 대체로 00시부터 08시 사이에 집중적으로 발생하며 연평균 발생시각은 06시 19분이었다. 지속시간은 연평균 15 시간 37분으로 상당히 길었으며 40시간 지속되는 경우도 26회나 되어 안개발생의 국지적인 특성을 보였다. 또한, 90%이상의 높은 습도와 평균 5.2m/s 의 어느 정도의 바람이 불어야 안개가 발생하는 이류무의 성격이 강하였다. 이러한 특성을 가지는 흑산도의 안개 중에서, 일차적으로 풍계와 안개지속시간의 자료를 이용하여 목포지역에 영향을 미칠 것으로 예상되는 안개발생일을 선별하였다. 우선, 흑산도에서 목포 방향의 서풍계열의 바람이 부는 날

을 선별하고, 다음으로 안개이동거리(풍속×지속시간)가 목포까지의 거리인 92km 이상이 되는 날을 선별하여 그 결과를 Table 3에 정리하였다. 총 안개 발생일수 중 매우 적은 4.3%에 해당되는 23일이 선별되었으며, 이것은 흑산도의 안개는 대부분 저기압이나 기압골의 영향으로 서해상의 Warm advection 이 형성되어 따뜻한 공기가 찬 해수면 위를 이동함에 따라 냉각되어 발생하는 이류무로 봄철과 여름철의 남풍계열의 바람이 부는 날에 집중적으로 발생하기 때문이라고 할 수 있다²²⁾. 선별된 흑산도 안개발생일을 각각 Case01~Case23으로 명명하였으며, 계절별로 분류하여 Case01~Case07은 봄철, Case08~Case21은 여름철, Case22~Case23은 겨울

Table 3. Effect of Heuksando-fog on occurrence of Mokpo-fog

Season	Case	Heuksando-Fog			Mokpo-Fog		Mokpo-Fog at the next day	
		Occurrence Time (LST)	Duration Time (hour)	Predicted Arrival Time (LST) to Mokpo	Occurrence Time (LST)	Duration Time (hour)	Occurrence Time (LST)	Duration Time (hour)
Spring	01	0000	2.9	0236	No Fog		No Fog	
	02	0000	24.5	0930	0000	14.6	No Fog	
	03	1230	16.0	1454	1455	0.8	0750	0.6
	04	0545	13.3	1003	No Fog		No Fog	
	05	0515	20.5	1039	No Fog		No Fog	
	06	0300	40.0	0824	0325	14.0	0020	10.8
	07	0251	4.8	0657	No Fog		No Fog	
Summer	08	0000	40.0	1412	0000	13.1	No Fog	
	09	0445	5.8	1003	0715	2.4	No Fog	
	10	0240	8.3	2358	No Fog		No Fog	
	11	0525	8.2	1137	0516	5.1	No Fog	
	12	0037	18.6	0713	No Fog		22.13	1.1
	13	0230	28.9	2348	No Fog		No Fog	
	14	0138	25.4	1426	No Fog		0542	2.7
	15	0232	28.7	2050	0542	2.7	No Fog	
	16	0242	12.0	1024	0825	7.2	1318	1.5
	17	0530	8.8	1206	0635	7.9	No Fog	
	18	0842	14.2	2130	1120	0.7	0047	10.8
	19	0300	15.6	0736	2310	1.4	0000	3.2
	20	0300	26.3	1042	No Fog		No Fog	
	21	0215	30.1	0739	0530	2.9	No Fog	
Autumn		No Case						
Winter	22	1315	6.1	1821	1915	7.9	0000	14.0
	23	0300	17.8	0742	No Fog		No Fog	

철의 경우를 나타내었고, 가을철은 해당일이 없었다. 계절별 분류로부터도 안개발생빈도가 높은 봄철과 여름철의 흑산도의 안개가 목포지역에 영향을 미칠 가능성이 높음을 알 수 있다. 또한, 각 Case에 해당하는 당일과 다음날의 목포지역의 안개발생을 비교·검토하여 흑산도의 안개가 목포지역에 미치는 영향을 상세히 고찰하였다.

Case01, 04, 05, 07, 10, 13, 20, 23의 경우는 당일뿐만 아니라 다음날에도 목포지역에 안개가 발생하지 않았다. Case02, 06, 16, 17의 경우는 풍속으로부터 산출한 목포까지의 예상도달시각으로부터 목포 안개발생 후에 흑산도안개가 도달하여 지속시간에 영향을 미친 것으로 생각되며, 이 경우 대체로 흑산도와 목포지역의 안개발생시간이 비슷하며 목포안개의 지속시간이 길었다. 예를 들어, Case06의 경우 흑산도안개가 03시에 발생되어 5시간 24분 후인 08시 24분경에 목포에 도달하였으며 이 때 목포는 03시 25분에 발생한 안개가 지속 중이었고, 흑산도안개 도달 후 9시간이 지속되어 총 14시간의 지속시간을 보였다. Case03, 22의 경우는 목포안개발생 전에 흑산도안개가 도달하여 목포의 안개발생에 영향을 미친 것으로 생각되며, 예를 들어 Case03의 경우 흑산도안개가 12시 30분에 발생되어 2시간 24분 후인 14시 54분경에 목포에 도달하였으며, 도달 직후인 14시 55분에 목포안개가 관측되었다. 또한 그 지속시간은 48분으로 매우 짧았다. 그 외 Case들로부터는 흑산도안개와 목포안개와의 상관성을 찾을 수 없었다. 또한, 흑산도에서 야간에 발생한 안개가 목포지역의 새벽 및 이른 아침에 발생하는 안개에 영향을 미칠 것이라 예상하였으나, 선별된 Case중에 이에 상당하는 경우는 없었다. 이상의 결과로부터 목포지역에 영향을 미칠 것이라 예상되는 흑산도의 안개발생일은 Case02, 03, 06, 16, 17, 22로 총 6개의 Case밖에 없었으며, 이것은 전체 안개발생일수 중 약 1%에 해당하며 흑산도안개가 목포지역에 영향을 미칠 가능성은 거의 없다고 할 수 있다.

그러므로 안개는 매우 국지적인 기상현상으로 대상지역의 기상학적·지리학적 요인에 의존도가 높기 때문에 제자리에서 발생하는 경우나 가까운 수원지로부터의 수증기 및 이류무 등의 유입에 영향을 받을 수는 있지만, 일사나 난류에 의해 소멸되기 때문에 장거리 이동은 거의 이루어지지 않는다고 할 수 있다^{4-6,13-15}. 목포지역의 경우도 마찬가지로 흑산도와 같은 서해 먼 바다에서 발생하는 해무로부터의 영향은 거의 받지 않으며 연안지역으로서 인접해상이나 가까운 주변지역으로부터의 영향을 받기 때문에, 앞으로 목포지역을 둘러싸고 있는 신안군, 영암군, 무안군, 해남군 등의 안개 및 기상자

료를 수집·보완하여 목포지역과 인접주변지역에서 발생하는 안개와의 상호영향관계를 검토해야 할 필요성이 있다고 사료된다.

6. 결 론

이 연구에서는 서남권역인 목포지역의 안개예측을 위한 선행연구로서 안개 및 기상관측자료의 분석을 통하여 안개특성을 파악하였다. 그 결과 목포지역의 안개는 이동성 고기압이나 북태평양 고기압의 영향에 의해 주로 봄철과 여름철에 집중해서 발생하며, 국지적 특성으로서 북서풍계열 및 남풍계열의 바람이 우세한 가운데 복사냉각뿐만 아니라 주변해역 및 영산호로부터의 충분한 수증기와 안개의 이류, 전선무 등이 복합적으로 작용하는 연안안개의 특징을 나타내었다. 또한, 영산강 하구둑 건설이 목포지역의 안개발생에 미치는 영향을 규명하기 위해 하구둑 건설 전·후의 안개특성변화를 분석한 결과, 영산호 수면 부근에서의 기온역전층 형성 및 증발무의 발생 등에 의해 안개발생일수는 증가하였으나, 영산강 하구둑이 용수공급을 위한 담수를 목적으로 건설된 댐이기 때문에 방류수로 인한 수온변화의 영향이 적어서 하구둑 건설이 안개발생일의 기상조건에는 큰 영향을 미치지 않고 있음을 알 수 있었다. 뿐만 아니라, 이 연구에서는 해무 다발지역인 서해 먼 바다에 위치한 흑산도에서 발생한 해무가 목포연안지역에 영향을 미칠 가능성에 대하여 검토하였다. 그러나 안개는 매우 국지적인 기상현상으로서 인접해상 및 주변지역에서 발생하는 안개와의 상호영향관계는 고려할 필요성이 있다고 사료되나, 먼 바다에서 발생하는 해무에 의한 영향 가능성은 극히 희박하였다.

목포지역의 잦은 안개발생은 연안에 위치한 항구 및 공항뿐만 아니라 해안선을 따라 건설된 서해안 고속도로의 시정장애 원인으로 목포지역의 교통 및 각종 산업활동을 방해하는 요인으로 작용한다. 그러므로 목포지역의 안개발생 및 관련기상특성의 예측·예보는 매우 중요하다고 할 수 있다. 이 연구는 목포지역 안개발생의 명확한 해석과 수치모의를 위한 선행연구로서 앞으로의 목포지역 안개메커니즘의 역학적 해석과 예측모델의 개발에 있어서 많은 도움이 될 것으로 기대된다.

감사의 글

이 연구는 기상청 기상지진기술개발사업(CATER 2006-1101)의 지원으로 수행되었습니다.

참고 문헌

- 1) George, J. J., 1960, Weather forecasting for

- aeronautics, Academic Press, 667pp.
- 2) Perry, A. H. and L. J. Symons, 1991, Highway meteorology, E & FN Spon, 91-130.
 - 3) Taylor, G. I., 1917, The formation of fog and mist, Quart. J. Roy. Meteor. Soc., 43, 241-268.
 - 4) Leipper, D. F., 1994, Fog on the U.S. west coast: A Review, Bull. Amer. Meteor. Soc., 75, 229-240.
 - 5) Gerber, H. E., 1981, Microstructure of a radiation fog, J. Atmos. Sci., 38, 454-458.
 - 6) Roach, W. T., R. Brown, S. J. Caughey, J. A. Garland and C. J. Readings, 1976, The physics of radiation fog: I. A field study, Quart. J. Roy. Meteor. Soc., 102, 313-333.
 - 7) Koziara, M. C., R. J. Renard and W. J. Thompson, 1983, Estimating marine fog probability using a model output statistics scheme, Mon. Wea. Rev., 111, 2333-2340.
 - 8) Roach, W. T., 1976, On some quasi-periodic oscillations observed during a field investigation of radiation fog, Quart. J. Roy. Meteor. Soc., 102, 355-359.
 - 9) Fisher, E. L. and P. Caplan, 1963, An experiment in numerical prediction of fog and stratus, J. Atmos. Sci., 20, 425-437.
 - 10) Guedalia, D. and T. Bergot, 1994, Numerical forecasting of radiation fog: Part II. A comparison of model simulation with several observed fog events, Mon. Wea. Rev., 122, 1231-1246.
 - 11) Musson-Genon, L., 1987, Numerical simulation of a fog event with a one-dimensional boundary layer model, Mon. Wea. Rev., 115, 592-607.
 - 12) Brown, R. and W. T. Roach, 1976, The physics of radiation fog: II. A numerical study, Quart. J. Roy. Meteor. Soc., 102, 335-354.
 - 13) 이승호, 허인혜, 2003, 대형 댐 건설이 주변 지역의 안개 특성에 미친 영향: 주암댐과 충주댐을 사례로, 환경영향평가, 12, 109-120.
 - 14) 원덕진, 김상윤, 김경익, 민경덕, 2000, 황해상 해무 발생시의 기상 및 해양 요소의 특성 분석, 한국기상학회지, 36, 631-642.
 - 15) 허기영, 하경자, 2004, 한반도 연안 안개의 발생과 연관된 종관 기압계 분류, 한국기상학회지, 40, 541-556.
 - 16) 이종범, 1981, 춘천지방의 인공호에 의한 안개 및 운량의 변화, 한국기상학회지, 17, 18-26.
 - 17) 남재철, 신만용, 윤진일, 1995, 매시기상자료에 의한 안동지역 인공호 주변 안개 발생 판별, 한국기상학회지, 31, 393-398.
 - 18) 변관수, 2004, 인천공항주변의 해무특성 분석을 통한 시정예보 활용성 연구, 기상연구소 예보관과정 수료논문, 6, 389-417.
 - 19) 이화운, 이귀옥, 백승주, 김동혁, 2005, 춘천의 안개발생과 관련된 기상특성분석 및 수치모의, 한국대기환경학회지, 21, 303-313.
 - 20) 서장원, 오희진, 안중배, 윤용훈, 2003, 동해의 해무 예측 시스템 연구, 한국해양학회지, 8, 121-131.
 - 21) 안중배, 남재철, 서장원, 이해진, 2002, 해무 예측 모듈 개발과 울릉도 해무 사례 적용 연구, 한국기상학회지, 38, 155-164.
 - 22) 유근기, 김성우, 2002, 흑산도 부근바다의 안개 특성 분석, 한국기상학회, 대기(한국기상학회보), 12(1), 298-302.
 - 23) 이승호, 1998, 충주호가 주변지역의 안개 특성에 미친 영향: 충주와 제천을 중심으로, 대한지리학회지, 33, 165-177.
 - 24) 김성삼, 이내영, 1970, 한국 안개기후구 설정에 관하여, 한국기상학회지, 6, 1-15.
 - 25) 안중배, 남재철, 서장원, 이해진, 2002, 한반도 안개 특성 연구, 한국기상학회, 대기(한국기상학회보), 12(1), 616-618.
 - 26) Seung, Y. H., J. H. Chung and Y. C. Park, 1990, Oceanographic studies related to the tidal front in the Mid-Yellow Sea of Korea: Physical aspects, J. Oceanol. Soc. Korea, 25, 84-95.
 - 27) Byers, H. R., 1959, General meteorology, 3rd Edition, McGraw-Hill, 540pp.
 - 28) Croft, P. J., R. L. Pfost, J. M. Medlin and G. A. Johnson, 1997, Fog forecasting for the southern region: A conceptual model approach, Wea. Forecasting, 12, 545 - 556.
 - 29) 민경덕 외, 2003, 대기과학개론, 시그마프레스, 93-96.
 - 30) Mass, C. F. and M. D. Albright, 1987, Coastal southerlies and alongshore surges of the west coast of North America: Evidence of mesoscale topographically trapped response to synoptic forcing, Mon. Wea. Rev., 115, 1707-1738.
 - 31) 전병일, 김일곤, 이영미, 2002, 낙동강 수계 중의 댐 건설에 의한 주변의 국지기상환경 변화: I. 댐 건설 전·후의 기상변화 분석, 한국환경과학회지, 11, 161-168.
 - 32) 이종범, 봉종현, 조하만, 1990, 댐 건설에 따른

- 국지기후의 변화 실태, 기상연구논문집, 7(1), 75-81.
- 33) 홍성길, 1982, 안동댐 건설이후 안동지방의 안개 증가, 한국기상학회지, 18, 26-32.
- 34) Pagowski, M., I. Gultepe and P. King, 2004, Analysis and modeling of an extremely dense fog event in southern Ontario, J. Appl. Meteor., 43, 3-16.
- 35) Hill, G. E., 1988, Fog effect of the Great Salt Lake, J. Appl. Meteor., 27, 778-783.
- 36) Eichenlaub, V. L., 1979, Weather and climate of the Great Lakes region, University of Nohre Dam Press, 335pp.
- 37) Cho, Y. K., M. O. Kim and B. C. Kim, 2000, Sea fog around the Korean Peninsula, J. Appl. Meteor., 39, 2473-2479.
- 38) Lewis, J. M., D. Korain and K. T. Redmond, 2004, Sea fog research in the United Kingdom and United States: A historical essay including outlook, Bull. Amer. Meteor. Soc., 85, 395-408.