

ORIGINAL ARTICLE

낙동강 구미 보의 증기 안개에 관한 연구

김해동* · 조창범¹⁾ · 서광수²⁾

계명대학교 지구환경학과, ¹⁾국립기상과학원 응용기상연구과, ²⁾부산대학교 지구과학교육과

On the Steam Fog in the Gumi Reservoir of Nakdong River

Hae-Dong Kim*, Chang-Bum Cho¹⁾, Kwang-Su Seo²⁾

Department Of Global Environment, Keimyung University, Daegu 42601, Korea

¹⁾Applied Meteorology Research Division, National Institute of Meteorological Research, Jeju 63568, Korea

²⁾Department of Earth Science Education, Pusan National University, Busan 46241, Korea

Abstract

We analyzed the characteristics of fog formation in the Gumi Reservoir of Nakdong river with the field observation data for recent 2 years (1 April 2013~31 March 2015) collected by the national institute of meteorological research, KMA. In early morning, we frequently observe the steam rising from the water surface. The fog occurs from adding water vapor into the air. We call the fog as steam fog. Steam fogs occur when cold, dry air mixes with warm, moist air above a water surface. The steam fog appears mainly in autumn under the following conditions; (1) sensible heat is positive values (10~20 W/m²), (2) latent heat is more positive values (25~35 W/m²) than sensible heat, (3) cloudless nights with light winds (about 1.5 m/s), (4) under condition(3), mountainous winds easily blows into the reservoir.

Key words : Steam fog, Sensible heat, Latent heat, Mountainous wind

1. 서론

기온이 하강하거나 노점온도가 상승한 결과로 기온이 노점온도와 거의 같아지면 안개가 발생한다. 이렇게 발생하는 안개의 분류는 기온과 노점온도의 변화 방향 및 강도에 따라서 이루어진다(Asakura et al., 1992). 기온이 하강하는 원인에는 단열팽창과 비단열적 가열 등이 있으며, 노점의 상승은 공기 중의 수증기량 증가로 이루어진다.

강수로 지면이나 대기 중에서 많은 증발이 발생하거나 냉기류가 온난한 수면 위로 지날 때에 수면으로부터 강한 증발이 발생하는 경우가 후자에 속하는 전형적인

사례이다(Harami, 1969; Kim, 1997; Okawa, 2003). 성질이 다른 2개의 기단이 혼합하여 안개가 발생하더라도 애초에 수증기량이 적었던 기단은 수증기량이 증가한 것이 되므로 후자로 인한 안개 발생으로 간주할 수 있다(Kodama, 1995). 이런 안개는 주로 야간에 고지대에서 복사냉각으로 냉각된 저온의 공기가 중력류의 형태로 저지대의 수면 위로 흘러 들어갈 때에 잘 관찰되는 것으로 증기 안개의 범주에 포함시켜 왔다(Aguado and Burt, 2001). 반면에 일본에서는 이렇게 발생하는 안개를 혼합무로 구별하여 부르고 있다(Sawai, 1993). 이 연구에서는 안개 발생에 혼합과정이 우세하게 기여한 경우에도 증기 안개로 지칭하기로 한다.

Received 27 October, 2015; Revised 10 December, 2015;

Accepted 22 December, 2015

*Corresponding author : Hae-Dong Kim, Department of Global Environment, Keimyung University, Daegu 42601, Korea
Phone: +82-53-580-5930
E-mail: khd@kmu.ac.kr

© The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.
© This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

국내에서 수행된 주요한 안개 연구로 다음과 같은 사례를 들 수 있다. Byun et al.(1997)과 Kim(1998)은 장기적인 기후 통계자료를 이용하여 한반도 주변에서 발생하는 해무의 특성을 고찰하고, 통계모형의 활용 가능성을 제시하였다. 이들은 서해상에 발달하는 안개는 조석간만의 차이에 의한 해수온의 변동성이 중요하며, 이 때 발생하는 안개는 연안 가까이에서 더욱 강화되는 경향을 갖는다고 지적하였다. Choi(2001)는 연안지역에서 형성되는 안개는 일반적인 해무와 달리 해륙풍과 산곡풍과 같은 복잡한 중규모 순환에도 영향을 받는다는 사실을 보고하였다. 이러한 연안지역의 안개는 해상의 운송에서 매우 중요한 요인으로 연안지역의 대기 경계층의 복잡성과도 밀접한 관련이 있다.

내륙의 안개는 공항을 중심으로 연구가 이루어져 왔다. Choi and Lee(2003)는 데이터 마이닝 기법을 이용하여 공항 내 안개 예보에 적용하였으며, Bang et al.(2008)은 2003년부터 2006년까지 한반도 내 지역 공항에서 발생한 48개 안개 사례를 바탕으로 안개와 시정예보를 위한 연구를 실시하였다. 이들은 3년간의 통계자료를 수치모형에 적용시켜, 안개의 예보가능성을 제시하였다. Yoo et al.(2005)은 인천 공항 내 지상관측자료를 이용하여 안개의 경계 값을 산출하는 방법을 제시하였다. 그러나 이 방법은 역전층이 형성될 때 안개를 탐지하지 못하는 단점이 있다. Lee(2010)는 1997년부터 2008년까지 충청남북도 기상관청에서 관측한 자료를 바탕으로 지역 내 안개 발생 경향성을 분석하였는데, 다양한 통계기법을 적용하여 통계적 안개 예측 가능성을 평가하였다.

Jeon et al.(2002)은 낙동강 수계 중의 댐 건설에 따른 주변의 국지기상 환경변화를 조사하였는데, 안동댐 건설 후 가을철 안개 발생일수가 대폭 증가한 것을 확인하였다. Kim(2003)은 대구의 장기적 도시기후 변동을 조사하였는데, 최근 10여년에 걸쳐서 도시 안개가 지속적으로 감소하고 있음을 지적하고 그 주요 원인으로 도시의 포장화로 인한 야간 기온상승을 지적하였다. Park and Kim(2007)도 대구의 도시건조화 특성을 조사하여, 도시건조화와 그에 따른 도시안개 감소가 도시의 야간 기온상승에 주로 기인한다는 사실을 밝힌 바 있다. 한편 KMA(2012)에서는 우포늪을 대상으로 관측기반의 겨울철 증기안개 발생 메커니즘 연구를 수행한 바 있다. 이 연구에서 우포늪에서 겨울철에 발생하는 안개의 약 20%가 증기안개에

해당한다는 결론을 얻고 있다. Park et al.(2015)는 낙동강 강정고령 보 부근 수변지역에서 발생하는 안개의 발생 특성을 발생 유형별로 분석한 바 있다. 이 연구에서 그들은 강정고령 보에서는 주로 가을철에 증기 안개의 형태로 나타나고, 일반적인 증기 안개보다 지속시간이 길게 나타나는 특징이 있다고 지적하였다. 이와 같이 우리나라에서 수행된 안개연구는 기상청을 제외하면 대부분이 현장관측을 통한 연구보다는 기상관서에서 관측된 장기간의 기후자료를 분석하는 것에 제한되어 있었다.

이러한 배경에서 이 연구에서는 국립기상연구소에서 구미 보에 AWS(Automatic Weather System)와 시정계를 설치하여 얻은 기상 및 수온자료를 이용하여 안개의 발생 특성을 분석해 보고자 한다. 특히 안개 발생의 대부분을 차지하는 가을철 이른 아침 시간에 발생하는 증기안개에 주목하여 안개 발생의 특성을 조사해 보고자 한다. 이 연구의 결과는 국내 댐 건설에 따른 안개 발생 증가현상을 이해하는 데에 중요한 역할을 할 수 있을 것으로 판단된다. 향후 구미 보와 칠곡 보 및 강정고령 보의 자료를 추가로 상세히 분석하면 관측 기반의 안개 발생 메커니즘 이해 및 수변개발이 안개 발생에 미치는 영향을 평가하는 정량적 기법을 만드는 데에 도움이 될 것으로 기대된다.

2. 자료와 연구방법

2.1. 자료

Fig. 1에 낙동강 구미 보 주변의 토지이용도와 기상관측 지점의 전개상황을 나타내었다. 여기서 AWS(O)는 기온, 습도, 풍향, 풍속을 관측하는 자동기상관측, AWS & Flux(O, G4, G7)는 자동기상관측장치의 기상관측요소와 지표면 플럭스를 동시에 관측, Water Temp (▲, GW1, GW2)는 수온관측이 이루어지고 있는 장소를 가리킨다. 이 연구에서 사용한 수온은 GW1지점, 기온 및 상대습도 그리고 풍속은 G5와 G12지점의 최근 2년간(2013년 4월 1일~2015년 3월 31일)의 자료를 사용하였다. 또 이 연구에 사용된 안개 발생과 지속시간의 산출은 G3과 G8에서 관측된 시정자료를 이용하였다. 시정계는 Biral사 제품(SWS-200)이고, 멀티센서(온습도 및 풍향 풍속)는 Vaisala사 제품(WXT-520)으로 구성되었다.

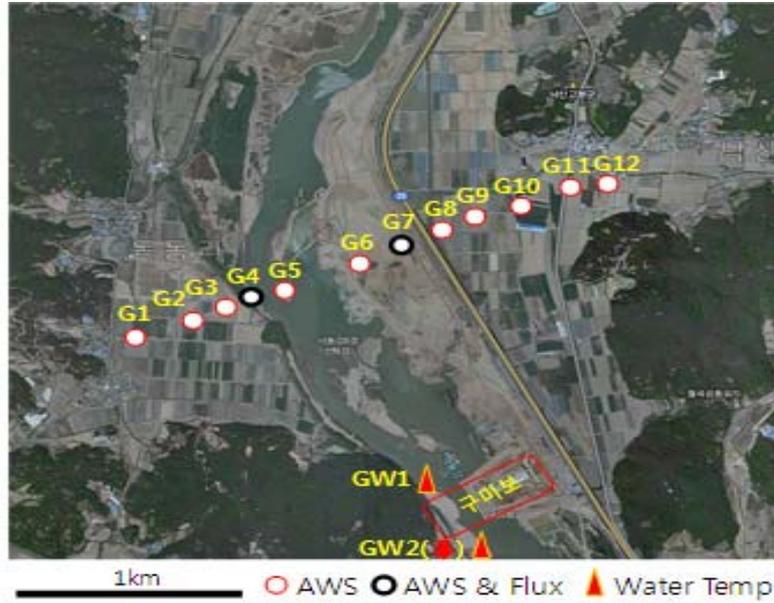


Fig. 1. The locations of the meteorological observation system around Gumi reservoir in Nakdong river.

2.2. 연구방법

안개 발생의 주요인이 공기의 냉각, 수증기의 보급 또는 공기의 혼합에 있는지를 판단하기 위하여 수면-대기 간의 현열(식(1))과 잠열(식(2))을 계산하였다. 계산은 Kondo(1999)를 따라서 다음과 같은 bulk 방법으로 이루어졌다.

$$H = c_p \rho C_H U (T_s - T) \tag{1}$$

$$IE = l \rho \beta C_H U (q_s - q) \tag{2}$$

여기서, $c_p \rho$ 는 단위체적 공기의 열용량(c_p 와 ρ 는 공기의 정압비열과 밀도), l 은 증발잠열(2.51×10^6 J/kg), ρ 는 공기 밀도(1.27 kg/m³)이다. β 는 지표면의 증발효율(습윤도라고 부르기도 한다.)인데 0~1의 값을 갖는다. 수면과 적설면에서는 $\beta=1$ 이다. C_H 와 C_E 는 현열과 잠열의 bulk 수송 계수로 풍속과 안정도의 함수이지만, Kondo(1994)는 C_H 와 C_E 가 풍속의 의존성이 약하고 수면 상에서는 지면가열에 의한 급속한 대기안정도의 변화가 작다는 점을 근거로 $C_E \approx C_H = 1.2 \times 10^{-3}$ 의 사용을 제안한 바 있다. 이 연구에서도 계산과정의 단순화를 위하여 이 근사 값을 이용하였다. T_s 는 지표면온도, q_s 는 T_s 에 대한 포화비습, T 와 q 는 기

온과 대기의 비습이다. q 와 q_s 는 Kim et al.(1993)과 같은 방법으로 계산하였다.

또 안개 발생 시의 국지풍순환의 영향을 평가하기 위하여 계곡을 따라서 관측망이 설치된 낙동강에서 동쪽으로 전개되어 있는 지점의 자료를 이용하여 안개 발생 전후의 바람과 기온의 변화 특성을 조사하였다. 또 증기 안개 발생을 가져오는 국지풍 발생 조건에 부합하는 맑고 바람이 약한 날(3 m/s 이하)을 대상으로 풍향의 시간변화를 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

최근 2년 동안(2013년 4월 1일~2015년 3월 31일) 구미 보 부근 수변지역에서의 연중 무강수일의 안개 발생일수를 월별로 정리하여 Fig. 2에 제시하였다. 총 73회의 무강수 안개가 발생하였는데 9월에 17회, 10월에 24회, 11월에 9회가 발생하여 전체의 약 70%가 이 기간에 집중되었다. 이것은 수온과 기온간의 차이가 가장 큰 계절(현열플럭스가 큰 계절)에 안개가 집중적으로 발생하였다는 것을 의미한다.

무강수 안개의 발생과 소멸 시간대를 Fig. 3에 나타내

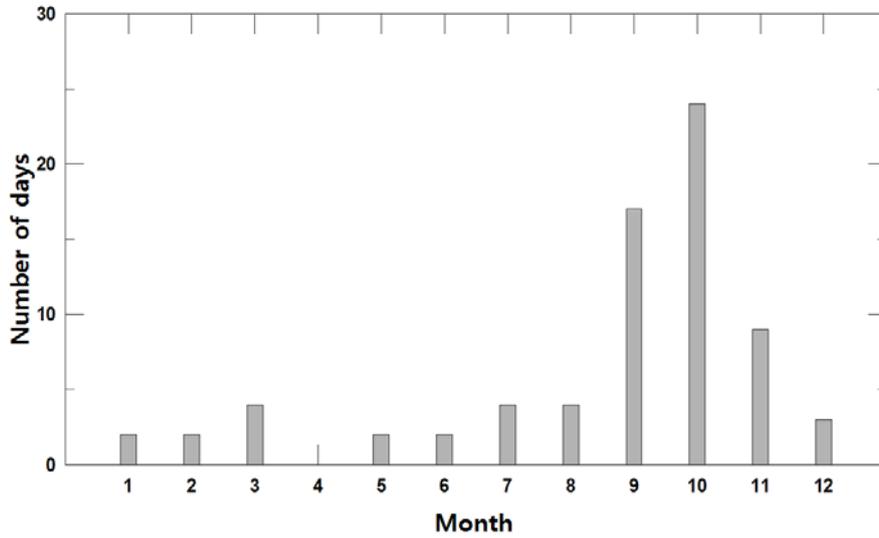


Fig. 2. Frequency distribution of no-rain fog during recent 2 years (2013. 04~2015. 03).

었다. 오전 10시 이후에는 안개가 거의 발생하지 않았으며 대부분이 03시에서 08시 사이에 집중되었다. 그리고 안개의 소멸은 08시에서 10시 사이에 집중되었다. 그 결과 안개 발생 피크 시간대(05~07시)에서 안개 소산 피크 시간대(8~10시)까지는 2~5시간이 된다. 낙동강 강정령 보에서 발생한 증기안개의 지속시간이 다른 지역에서

발생한 증기 안개(일반적으로 2시간 내외로 지속)에 비하여 길다는 Park et al.(2015)의 지적은 구미 보에서도 유효한 것으로 판단된다.

무강수 안개 발생일에 대한 기류의 영향을 알아보기 위하여 구미 보의 동쪽에 위치한 G10 지점에서 관측된 시간대별 풍향 빈도를 Fig. 4에 제시하였다. 검은 네모의

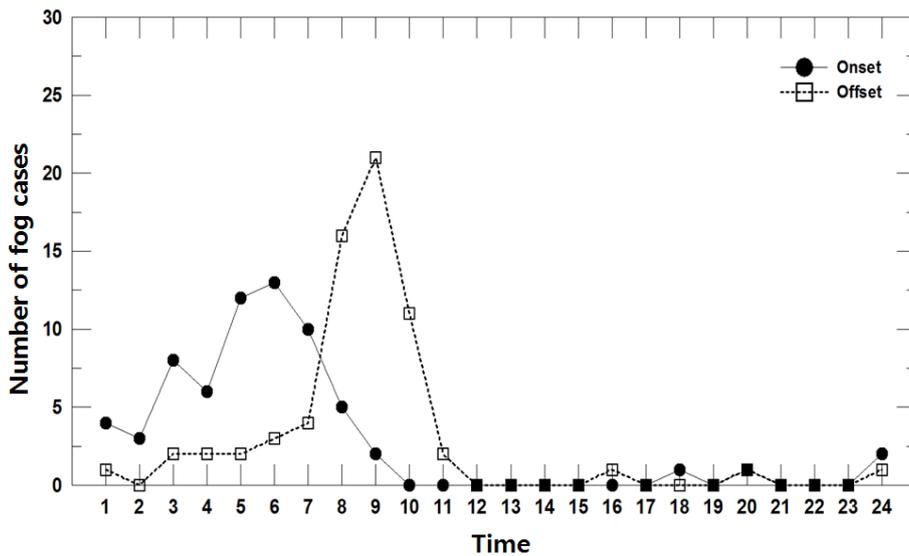


Fig. 3. Time distribution of no-rain fog occurrence and dissipation.

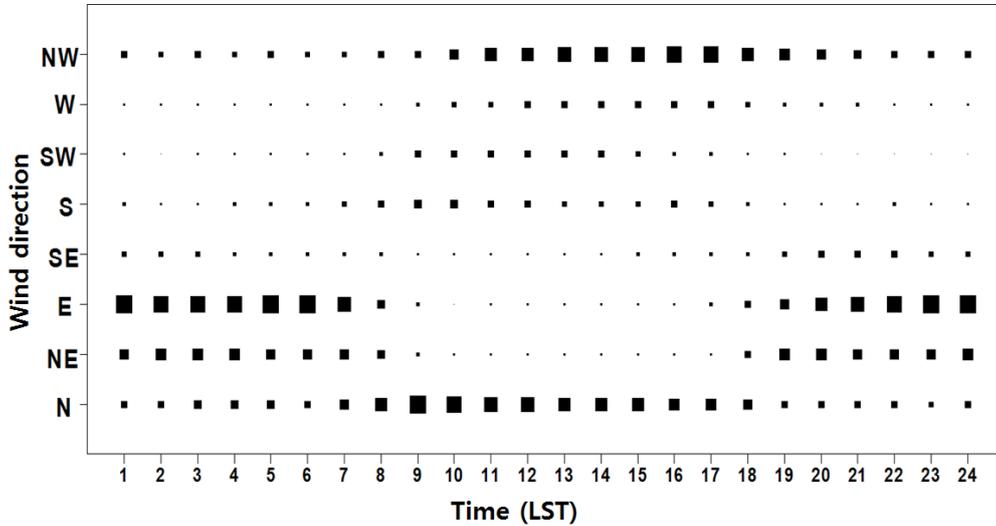


Fig. 4. Time variation of the prevailing wind in no-rain fog occurrence days.

면적은 풍향 발생빈도에 비례한다. 일사가 없는 야간 시간대(20~07시)에는 구미 보의 동쪽에 위치한 산지에서 생성된 냉기류가 흘러 들어오고, 낮 시간대(11~18시)에는 구미 보에서 산지로 불어가는 바람(국지순환풍)이 탁월함을 확인할 수 있다. 구미 보 부근 수변지대에서 관측되는 무강수일 안개 집중 발생 시간대는 냉기류가 가장 탁월한 시간대와 대체로 일치한다는 것을 알 수 있다.

안개 발생 원인을 판별하기 위하여 Shiota(1980)의 방법을 따라서 Fig. 5에 구미 보의 GW1 지점의 수온(T_w)과 수면에 인접해 있는 G5 지점과 강에서 가장 멀리 이격되어 있는 육상 지점(G12)의 기온(T) 및 이슬점 온도(T_d)와의 관계를 제시하였다. Shiota(1980)는 일본 내해에서 발생하는 안개에 대해서 이러한 분류를 시도해 본 결과, 증기 안개는 3상한에 위치하며 가로와 세로축의

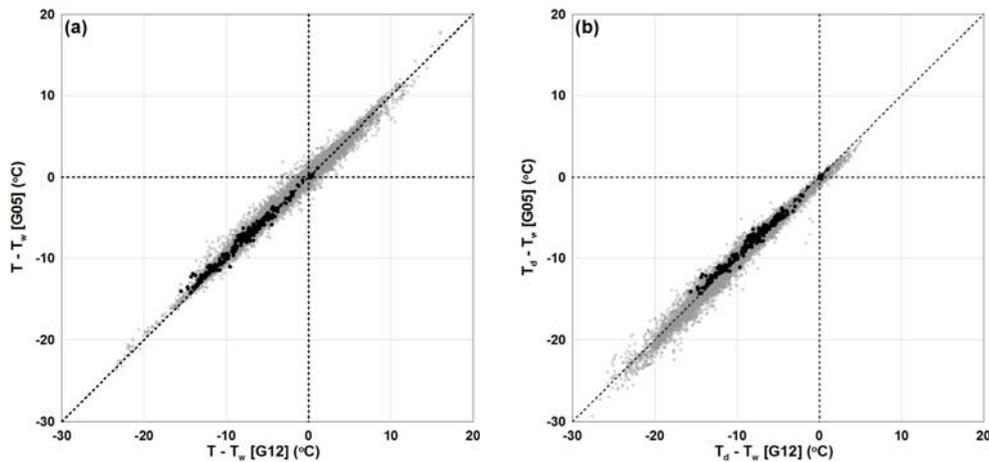


Fig. 5. Relation of (a) temperature on land surface (G12) and to temperature on water surface temperature (GW1) during recent 2 years. (b) Relation of dew point temperature same as (a). Black points indicate the case of no-rain fog formation.

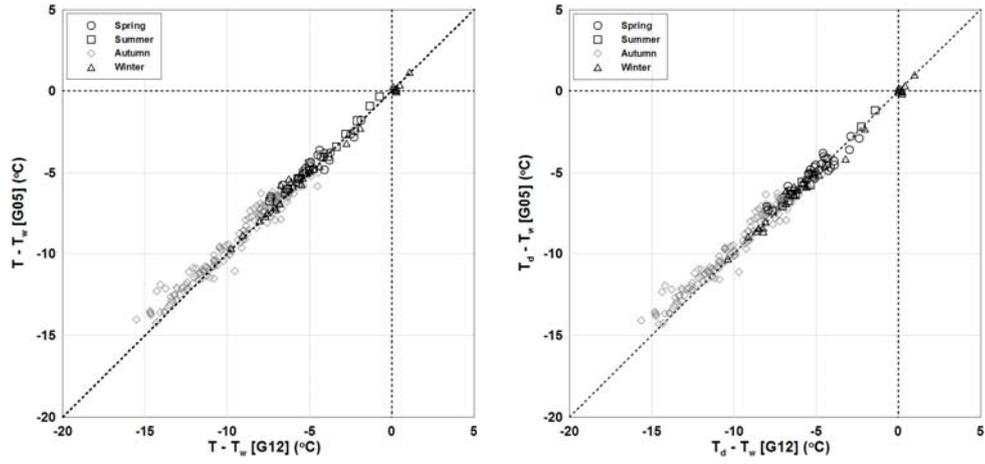


Fig. 6. Same as Fig. 5, except for by season.

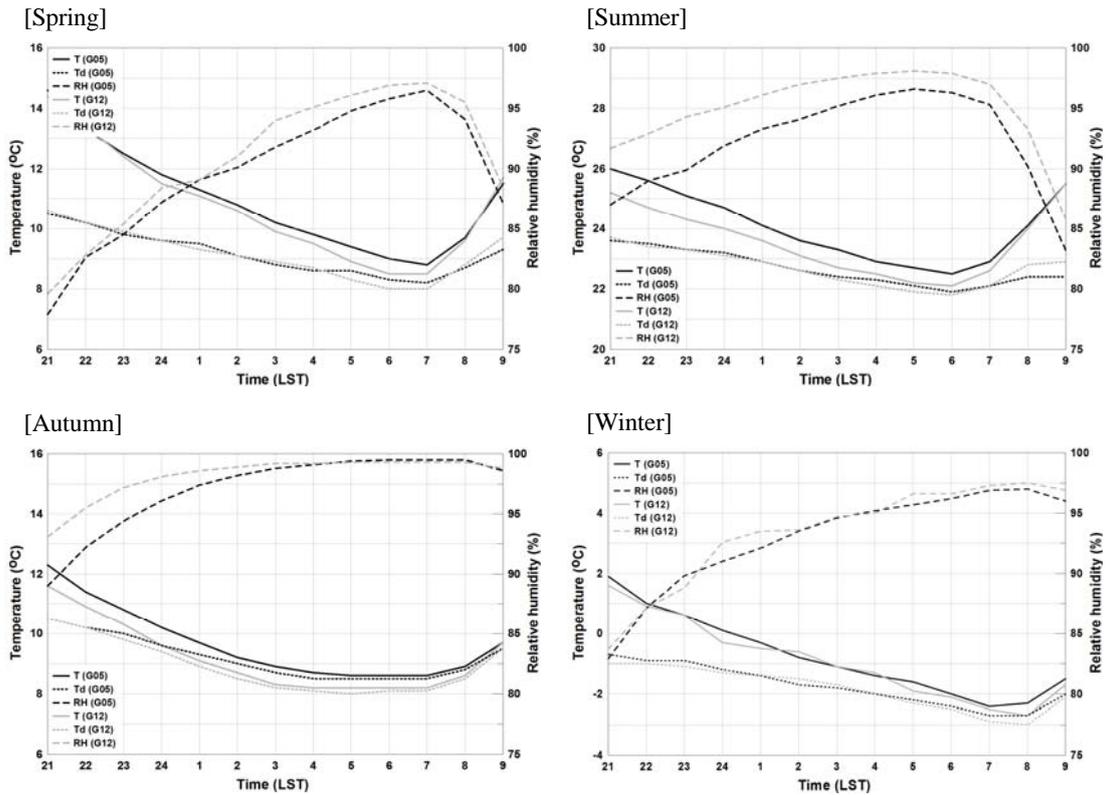


Fig. 7. Time variations of several meteorological elements (temperature, relative humidity, dew-point) at two points (G5, G12) by season. Black and gray indicates the values of G5 and G12, respectively (— : temperature, : dew-point, --- : relative humidity).

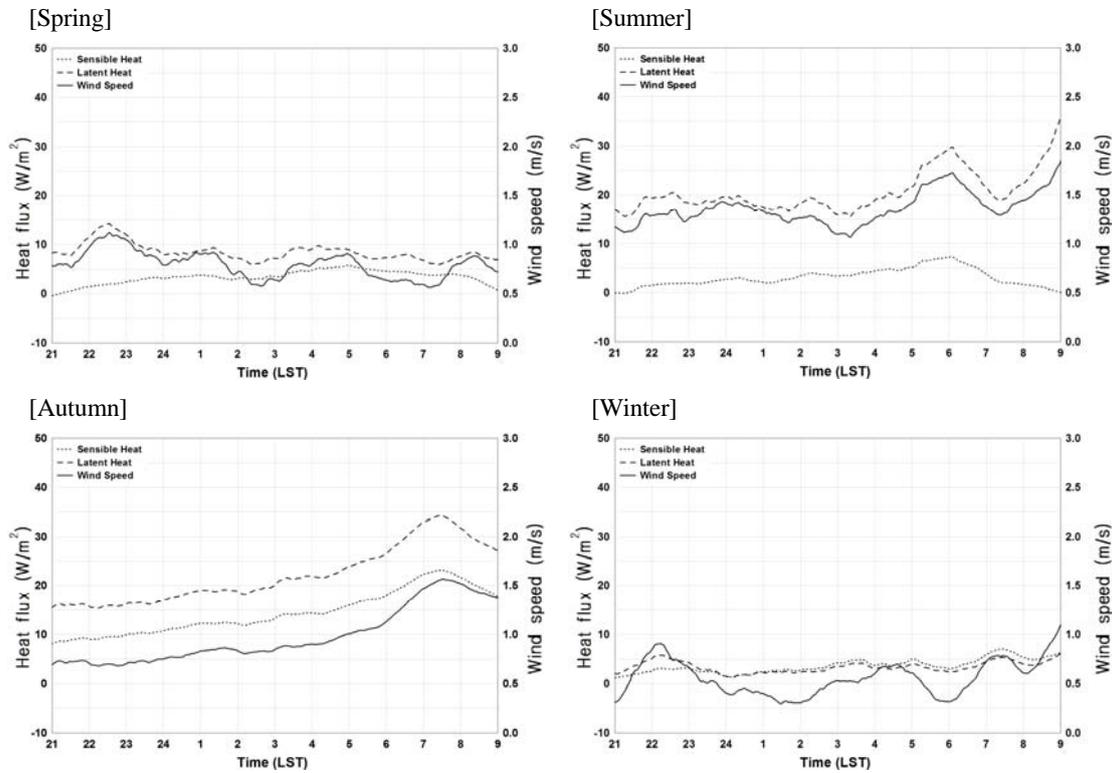


Fig. 8. Time variations of sensible, latent heat and wind speed over Gumi reservoir (GW1) by season (— : wind speed, : sensible heat, --- : latent heat).

값이 $-10^{\circ}C$ 내외인 구간에 집중된다고 지적하였다. 이 연구에서는, 내해 상의 지점으로 G5, 내해의 풍상 측을 G12로 간주하여 자료를 분석하였다. Harami(1969)도 우리나라 동해안의 증기안개에 대하여 수온이 기온보다 $10^{\circ}C$ 정도 높은 해역에서 안개 발생이 집중된다고 지적한 바 있다.

Fig. 5에서 구미 보의 무강수 안개 발생은 가로와 세로축의 값이 $-5 \sim -13^{\circ}C$ 구간에 집중되어 있는 것으로부터 안개의 종류는 증기 안개가 많은 부분을 차지한다는 것을 알 수 있다.

구미 보에서 발생하는 무강수 안개의 계절에 따른 기온-수온간의 관계를 알아보기 위하여 Fig. 6에 4계절로 나누어 그 관계를 제시하였다. 가을철의 안개는 가로와 세로축의 값이 $-5 \sim -15^{\circ}C$ 의 범위에, 봄철은 $-3 \sim -7^{\circ}C$ 의 범위에 존재하여 증기 안개의 성격이 강하게 나타난다. 가을철의 조건은 Harami(1969)가 한랭한 시기에 해상에서 발생하는 증기

안개의 출현 조건이 수온이 기온보다 $10^{\circ}C$ 이상 높은 환경이라는 지적에 부합한다. 그 차이가 $10^{\circ}C$ 에 이르지 못하는 조건 하에서는, Sawai(1993)가 지적하고 있듯이, 육상의 복사냉각으로 기류가 저온 다습해지기는 하지만 포화에까지 도달되지 못한 채로 수면으로 불어 들어가서 수면 상에 존재하던 고온다습한 공기와 혼합되어 안개가 발생하는 것으로 추정된다. 겨울철에는 원점을 포함하는 제1상한과 가을철과 중복되는 2개 범위에서 안개가 발생하는 것을 볼 수 있다. 시베리아 한기의 확장이 나타나는 겨울에는 수면이 이미 충분히 냉각되어 있기도 하고, 풍속이 강해서 증기 안개 발생에 불리한 환경이 된다.

여름철 안개는 발생횟수가 적는데, 제3상한의 $-5^{\circ}C$ 이내에서 발생하고 있다. 따라서 여름철 안개는 증기 안개의 성격보다는 복사 안개의 성격이 강한 것으로 판단된다.

Fig. 7에 계절별로 안개 발생일의 G5와 G12 지점의

기온, 이슬점 및 상대습도를 계절별로 조사하여 제시하였다. 자정 이후에는 구미 보 수변지대에서 내륙으로 가장 멀리 떨어져 있는 G12 지점에서도 봄철을 제외한 모든 계절에서 상대습도가 90% 이상에 이르고 있음을 알 수 있다. 이는 Lee et al.(2010)이 부산 성지곡수원지에서 산풍을 관측하여, 산풍의 상대습도가 90% 이상으로 매우 높다고 지적한 바와 같이, 산지에서 야간 복사냉각으로 저온 다습해진 산풍의 특성을 잘 나타내고 있다. 이렇게 이미 포화에 가까운 저온의 내륙 공기가 구미 보로 유입되어 추가적인 가습과 혼합을 받아 안개가 발생하는 것으로 추정할 수 있다.

무강수 안개 발생일의 풍속과 수면-대기 간 열 교환 특성을 알아보기 위하여 풍속, 현열, 잠열의 시간변화를 Fig. 8에 나타내었다. 안개 발생 집중시간대(05-07시)에서 풍속은 1.5 m/s 이하였으며, 현열은 가을에 10~20 W/m² 내외이고, 그 이외의 계절에서는 5 W/m² 내외로 작았다. 잠열은 가을과 여름에 25~35 W/m², 봄과 겨울은 10 W/m² 이하로 작았다. 이러한 사실로부터 구미 보의 주변 산지와 들판으로부터 수면으로 유입되는 저온 다습한 냉기류가 구미 보에서 가습되어 포화에 도달하여 증기안개가 발생하기도 하고, 냉기가 수면으로부터 현열을 공급받아 하층대기가 불안정화 되어 수면 상에서 상대적으로 고온다습해져 있던 공기와 혼합하여 안개가 발생하기도 한 것으로 추정된다. 혼합효과가 우세하게 작용하여 발생한 안개는, Sawai(1993)가 지적하고 있듯이, 일본기상청에서는 이를 혼합 안개라고 분류하지만 이 연구에서는 Aguado and Burt(2001)의 분류를 따라서 증기 안개로 분류하기로 한다. 일단 안개가 발생하면, Pilie et al.(1975)과 Kim(1997)이 지적하고 있듯이 안개 상층에서 강한 복사냉각(9℃/h 정도)이 발생하여 기층이 더욱 불안정화 되면서 안개 층이 발달되어가는 메커니즘이 작동하는 것으로 추정된다.

4. 결론

이 연구에서는 구미 보에서 최근 2년(2013년 4월 1일~2015년 3월 31일)간 관측된 기상 및 수온자료를 이용하여 보 주변에서 발생하는 안개의 특성을 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 낙동강 구미 보의 안개는 가을철에 맑고 바람이 약

한 날의 아침 시간대에 발생하여 지속되는 빈도가 탁월하였다. 이 시기에 보의 수면 상에서 발생하는 안개는 육상 냉기류의 온도가 수온보다 5~15℃ 정도 낮은 범위에서 집중되었다(수온 20℃, 기온 5℃ 내외). 육상의 안정적인 냉기가 수면으로 유입되면 현열을 받아 하층 대기 온도가 상승되고, 수증기의 보급으로 가습되어 기층이 불안정하게 된다. 이로 인해서 고온 다습한 수면상의 공기와 혼합하여 안개가 발생되어 점차 주변으로 파급되어 갈 것이다. 안개의 생성 이후 발달에는 Pilie et al.(1975)과 Kim(1997)이 지적하고 있듯이 9℃/h 내외의 강한 장파복사 냉각이 기여할 수 있다.

(2) 구미 보에서 안개 발생 집중 시간대(05~07시)에 수면에서 대기로 방출되는 현열은 가을에 10~20 W/m² 정도이고, 그 이외의 계절에서는 5 W/m² 내외로 아주 작았다. 가을철의 높은 현열 값은 수면으로 유입되는 안정적인 냉기류의 하층대기를 가열하여 대류를 유발하여 공기 혼합을 조장하여 안개 발생을 쉽게 할 수 있다. 같은 시간대에서 잠열은 가을과 여름에 25~35 W/m² 정도이고, 봄과 겨울에는 10 W/m² 이하로 작았다. 이러한 잠열의 계절적 차이도 가을철에 구미 보에서 증기 안개 발생이 집중되는 현상(연중 안개 발생의 약 70%)을 뒷받침하는 것으로 판단된다. 계절별로 하루 중의 잠열 방출량의 크기를 비교해 보면, 가을-겨울-여름-봄의 순서로 나타났다(그림 생략).

(3) 잠열의 계절별 크기를 근거로 구미 보의 열적 연직 규모를 Yamamoto(1968)를 따라서 판단해 보면, 한랭한 계절에 현열과 잠열의 방출이 많은데, 겨울보다는 가을에 더 많아서 중간 규모 깊이의 호소에 해당하는 것으로 판단된다. 보의 건설에 따른 열적 깊이 변화는 한랭한 계절에 증기 안개 발생 빈도와 강도에도 영향을 미치는 것으로 추정되지만, 정량적으로 그 효과를 판단하기 위해서는 관측의 축적을 바탕으로 보다 세밀한 분석과 수치실험을 통한 메커니즘 규명이 추가로 수행되어야 할 것으로 판단된다.

감사의 글

이 연구는 국립기상연구소 주관의 『응용기상기술개발연구』의 지원으로 이루어졌습니다.

REFERENCES

- Aguado, E., Burt, J. E., 2001, Weather and climate, Prentice hall press, 90-117.
- Asakura, M., Nita, T., Ninomiya, K., Tachihei, R., Sekine, R., 1992, Meteorological technology - investigation of meteorology -, Asakusa Press, 207-211.
- Bang, C. H., 2007, Study on airport visibility and numerical simulation of fog with WRF, Master thesis of Yonsei University.
- Byun, H. R., Lee, D. K., Lee, H. W., 1997, Analysis on the characteristics and predictability of the marine fog over and near the East Sea, J. Kor. Meteor. Soc., 33, 41-62.
- Choi, H., 2001, Numerical prediction on fog formation affected by the Yellow Sea and mountain, J. Kor. Meteor. Soc., 37, 261-282.
- Choi, J. H., Lee, S. H., 2003, Study on the fog forecast methods with data mining technique, Data Base Research, 19, 89-100.
- Harami, K., 1969, On the steam fog in the Japan sea, Umi and Sora, 44, 9-15.
- Jeon, B. I., Kim, I. G., Lee, Y. M., 2002, A change of local meteorological environment according to dam construction of Nakdong river - 1. meteorological data analysis before and after dam construction, J. Environ. Sci., 13, 161-168.
- Kim, H. D., 1997, Numerical experiment on the sea-fog formation at the East coast of Korean peninsula in early summer, J. Kor. Meteor. Soci., 33, 337-348.
- Kim, M. O., 1998, Characteristics on the marine distribution near Korean peninsula, master thesis of Chonnam University.
- Kim, H. D., 2003, Study on the long-term change of urban climate in Daegu, J. Environ. Sci., 12, 697-704.
- Kodama, Y., 1995, Physical processes of low clouds in Yamase event, Meteorological research note published by Meteorological Society of Japan, 183, 49-66.
- Kondo, J., 1994, Hydro-meteorology, Asakusa Press, 161.
- Kondo, J., 1999, Boundary layer meteorology: (III) Heat budget and meteorology, Tenki, 46, 769-777.
- Korea Meteorological Administration, 2012, Observation base study on the mechanism of fog occurrence, Seoul, Korea.
- Lee, K. M., 2010, Study on the characteristics of fog occurrence and its prediction methods in Chungcheong region, Master thesis of Gongju University.
- Lee, S. H., Kim, H. D., 2010, Modification of nocturnal drainage flow due to urban surface heat flux, A-P J. Atmos. Sci., 46, 453-465.
- Okawa, T., 2003, Fogs of Okhotsk sea and Yamase event in Hokaido, Meteorological research note published by Meteorological Society of Japan, 214, 47-73.
- Park, M. H., Kim, H. D., 2007, A study on the characteristics of urban dryness in Daegu, J. Environ. Sci., 16, 171-178.
- Park, J. S., Lim, Y. K., Kim, K. R., Cho, C. B., Jang, J. Y., Kang, M. S., Kim, B. J., 2015, Atmospheric characteristics of fog incidents at the Nakdong river: Case study in Gangeong-Goryung weir, J. Environ. Sci. Inter., 24, 657-670.
- Pilie, R. J., Mack, E. J., Kocmond, W. C., Rogers, C. W., Eadie, W. J., 1975, The life cycle of valley fog. Part I: Micro-meteorological characteristics, J. Appl. Meteor., 14, 347-363.
- Sawai, T., 1993, On the condition and predictability of fog formation, Technical note on the forecast, Japan Meteor. Agency, Tokyo, Japan, 13-24.
- Shiota, T., 1980, An Investigation of the natures and causes of fog formation over Bisan-Seto Sea area, Umi and Sora, 55, 69-77.
- Yamamoto, G., Kondo, J., 1968, Evaporation from Lake Nojiri, J. Meteor. Soci. of Japan, 46, 166-177.
- Yoo, J. M., Kim, Y. M., Ahn, M. H., Kim, Y. S., Chung, C. Y., 2005, Characteristics of MODIS satellite data during fog occurrence near the Incheon international airport, J. Kor. Earth Sci. Soc., 26, 149-159.