

충주호가 주변지역의 안개 특성에 미친 영향

-충주와 제천을 중심으로-

이 승 호*

The Impacts of the Chungju Lake on the Fog Characteristics of Its Surrounding Area

Seungho Lee*

요약 : 본 연구에서는 충주호가 그 주변지역의 안개 특성 변화에 미친 영향을 파악하고자 하였다. 충주호 하류에 위치하는 충주와 상류의 제천지역을 사례로 안개일수, 안개 발생·소산시간, 안개 발생 전일의 바람과 일교차 및 기압배치, 상층의 바람 등을 분석하였다.

충주댐 건설 후 두 지역의 안개일수가 크게 증가하였는데, 제천에서는 상대습도와 수증기압이 증가하였으나 충주의 경우는 감소하였다. 또한 충주지역에서는 안개 발생시간이 빨라졌는데, 북서풍계 바람이 불 경우 더욱 뚜렷하며 안개의 빈도도 증가하였다. 안개 소산시간은 충주에서는 빨라졌으나 제천에서는 늦어졌다. 일교차는 충주에서는 감소하였고, 제천지역에서는 증가하였다. 제천의 안개 증가가 충주호에서 공급되는 수증기에 의한 것인데 반하여, 충주의 그것은 방류수의 수온과 기온 차이에 의한 것이다. 이에 따라 충주에서는 동절기에는 증발현상에 의한 안개가, 하절기에는 수면에서의 기온역전에 의한 안개가 크게 늘었다.

주요어 : 충주호, 안개일수, 안개 발생·소산시간, 방류수 수온, 증발현상, 기온역전

Abstract : This paper examined the impacts of the Chungju lake on fog characteristics over its surrounding areas. The number of foggy days, fog occurrence and dissipation time, weather elements (wind and temperature) of the previous day of foggy days at Chungju and Chechon, atmospheric pressure patterns and upper-level wind were analyzed.

After the construction of Chungju dam, the number of foggy days increased over Chungju and Chechon areas, and the relative humidity and water vapor pressure increased at Chechon while decreased at Chungju. Also, fog formed and dissipated earlier especially having northwest winds at Chungju. The daily temperature range was lower at Chungju while was higher at Chechon than before the dam construction. The foggy day increased over the Chechon area due to the addition of water vapors supplied from Chungju lake while over the Chungju area due to the difference between air and outlet water temperatures. The increase of foggy days mainly resulted from evaporation during the colder seasons and in temperature inversion over water surface during the warmer seasons.

Key Words : Chungju lake, the number of foggy days, fog occurrence and dissipation time, the outlet water temperature, evaporation, temperature inversion

1. 서 론

안개는 매우 국지적인 기상현상으로서, 발생 지역의 지형과 안개 현상일의 기상 조건 등에 따라서 그 특성이 다양하다. 국토 면적이 비교적 좁은

우리 나라에서도 이러한 경향이 잘 나타난다. 안개는 시정과 일사를 차단하므로 주민생활에 미치는 영향이 크다. 그리고 작물의 성장을 제한하며, 심할 경우 냉해나 상해를 초래하기도 한다. 안개로 인한 시정의 감소는 각종 산업활동을 제한하며 도로교통은 물론 항공, 해상교통의 주요 방해요인이

* 건국대학교 지리학과 조교수(Assistant Professor, Department of Geography, Kon-Kuk University)

된다. 짙은 안개)는 고속도로에서 평균 교통량의 20%정도를 감소시키는 역할을 하며(Perry and Symons, 1991), 활주로에서의 비행기 이착륙을 방해한다. 그러므로 농작물의 생산성을 높이거나, 도로·항만·공항 등을 건설하고자 하는 경우는 그 입지 선정에 있어서 안개의 특성을 정확하게 파악하는 것이 필수적이다.

최근 건설된 인공 댐은 그 주변지역의 안개 특성 변화에 끼친 영향이 크다. 즉, 댐 건설 후 안개일수의 증가(이종범, 1981)와 더불어 안개 발생시각이 빨라지고, 소산시각이 늦어져 지속시간이 증가하고 안개가 짙어졌다(홍성길, 1982; 양문석, 1993). 이종범(1981)은 춘천지방의 안개를 분석하여, 안개일수 변화에는 그 지역을 둘러싸고 있는 의암호의 영향보다 춘천에서 10km정도 상류 쪽에 위치한 소양호의 영향이 더 크다고 하였다. 즉, 소양댐으로부터의 방류수에 의하여 수온이 변화하였는데, 이런 수온 변화가 안개 발생에 영향을 미친 것이라고 하였다. 홍성길(1982)은 안동댐이 공급하는 수증기가 댐 건설 전에 비하여 10일 이상이나 안동지방의 안개일수를 증가시켰다고 하였다. 이종범 외(1990)와 윤진

일 외(1997)는 인공호 건설이 극지기후에 미치는 영향을 분석하여, 각각은 인공호가 안개일수의 증가를 초래하였으며, 기온, 강수량, 운량 등의 변화에도 영향을 미친다고 하였다. 특히 윤진일 외(1997)는 인공댐의 건설로 인한 안개일수 등 기후조건 변화가 주변지역의 작물의 성장에도 영향을 미친다고 하였는데, 최근 충주호 주변 지역에서는 댐 건설로 인한 농작물 피해와 관련된 민원이 상당수 제기되고 있다.

본 연구에서는 충주호의 하류와 상류에 위치하고 있는 충주와 제천에서 발생하는 안개 특성을 비교하여, 양자간의 차이를 밝히고 충주호가 안개의 발생에 미치는 영향을 규명하고자 하였다.

2 연구자료 및 방법

본 연구에 이용된 주요 자료는 기상청 통계자료(한국의 기후표, 기상연보, 기상월보, 고층기상월보, 기상관측원부 등)의 안개일수와 안개 발생일의 최저기온, 그 전일의 최고기온, 풍향, 풍속, 평균상대

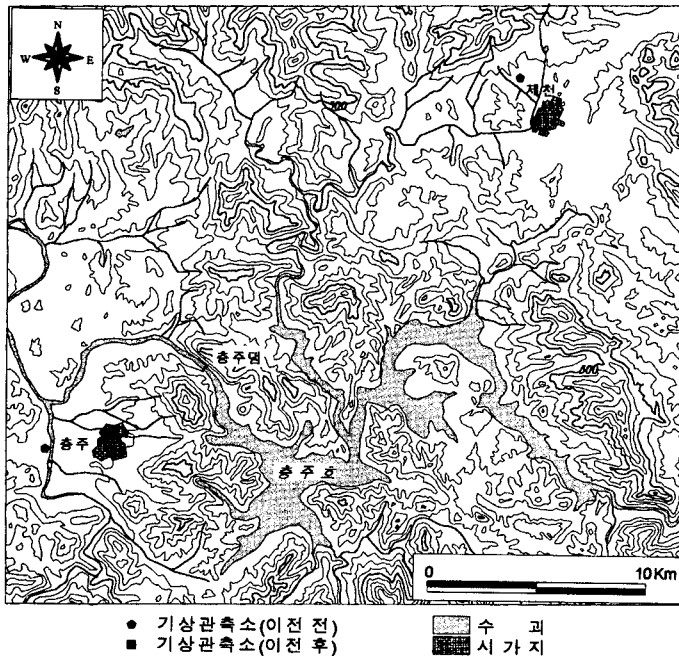


그림 1. 연구지역의 범위와 기상관측지점의 위치

습도, 최소상대습도, 강수량, 상층(850hPa)의 바람 자료 및 안개 발생일과 그 전일의 지상 일기도 등이다. 기상 자료의 분석기간은 1972년부터 1997년까지이다. 또한 충주호의 표면과 수심 50m의 수온 자료(1997년)²⁾, 답사 중 기상 관측자 등 지역 주민과의 면담자료도 연구지역의 안개를 이해하는 데 참고 자료가 되었다. 자료의 분석 대상지역은 충주호의 하류지역인 충주와 상류지역인 제천이며, 연구지역은 그림 1과 같다. 충주 기상관측소는 충주댐에서 남서쪽으로 5km 지점에 위치한다. 우리나라의 주풍향인 서풍계 바람에 대하여 충주호의 풍상지역에 해당하며, 남한강(조정지댐)과 달천, 계명산(775m)과 남산(620m)으로 둘러싸여 있다. 제천 기상관측소는 충주호 상류인 금성면 구룡리에 서 북북동쪽으로 약 10km 떨어진 곳에 위치하며, 충주호의 풍하지역이다.

연구지역의 안개일수 특성을 파악하기 위하여 기상연보에서 충주와 제천 기상관측소의 안개일수 자료를 발췌, 월별로 충주댐 건설 전후의 시계열 변화를 분석하였다. 충주댐은 1985년 12월 20일에 완공되었지만 발전을 위하여 방류가 시작된 것은 1985년 6월 14일이므로, 1972년 1월부터 1985년 6월까지의 댐 완공 이전 기간으로 그리고 그 이후부터는 댐 완공 이후의 기간으로 정하였다. 그러나 연간 안개일수의 산정에는 1985년까지는 댐 완공 이전 기간으로, 1986년 이후는 댐 완공 이후 기간으로 간주하였다.

안개의 발생 및 소산시각은 충주와 제천 기상관측소의 기상 관측원부의 기사란에서 발췌하고 지속시간을 산출하였다. 두 지역간의 안개 특성의 차이를 분석하기 위하여 각각의 빈도를 매 1시간 간격으로 구하였다. 충주댐 완공 후의 안개 변화 특성은 댐 완공일 이전과 이후로 나누어 빈도를 구하여 비교하였다. 계절별 발생시각과 소산시각, 지속시간도 매 월별로 빈도를 구하여 비교하였다.

기상 특성에 따른 안개의 발생 및 소산 특성을 파악하기 위하여 안개 발생일과 전일의 지상 일기도, 상대습도, 풍향, 풍속 및 상층의 바람을 분석하여 안개 발생 조건을 비교하였다. 안개 발생일 혹은 발생일 전일의 기압배치형별로 안개 발생시각, 소산시각, 지속시간의 빈도도 구하였다. 기압배치형은 한대 고기압형, 이동성 고기압형, 북태평양

고기압형, 저기압형, 정체전선형으로 구분하였다. 이동성 고기압형인 경우는 고기압 중심의 위치에 따라서 안개 발생 유무가 다르기 때문에, 이동성 고기압의 중심 위치가 한반도의 북서쪽, 서쪽, 남서쪽, 북동쪽, 남동쪽에 위치하는 경우로 구분하고, 각 경우마다 안개의 특성이 어떠한지를 살펴보았다. 저기압의 경우는 한반도가 그 중심의 전면에 놓이는 경우와 후면에 놓이는 경우로 구분하였다.

충주호 주변에서의 안개 증가 원인을 규명하기 위하여 충주댐에 인접한 지점의 수심 50m의 수온을 충주의 기온과 비교하였다.

3. 안개일수의 분포

안개는 매우 국지적인 현상으로서 지역별로 차이가 크다. 우리나라의 연평균 안개일수는 대체로 내륙지역에서 많고 해안지역에서 적다(그림 2). 대관령(120.7일)과 같은 산악지역과 순천(86.8일), 양

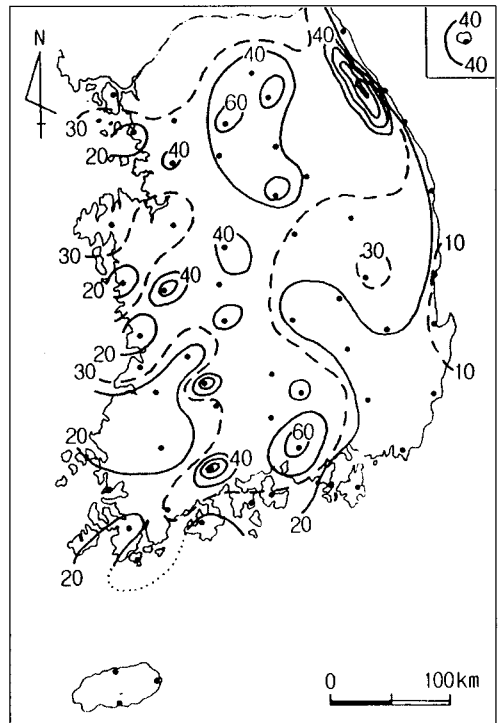


그림 2. 우리나라의 안개일수 분포 (한국의 기후표를 이용하여 필자 작성)

평(73.1일), 임실(71.5일), 진주(71.4일) 등 대규모의 수증기 공급원이 있고 복사냉각이 활발히 일어날 수 있는 인공호수에 인접한 내륙지역에서 비교적 안개 발생 빈도가 높다.

본 논문의 연구지역인 충주와 제천의 연평균 안개일수도 각각 62.4일과 38.4일로 안개가 끼는 날이 많은 편이다. 두 지역의 안개일수는 충주댐 건설 이후 건설 전보다 크게 증가하였다. 충주는 댐 건설 후에 건설 전(43.1일) 보다 82.1%가 증가한 78.5일이며, 제천은 건설 전(28.6일)보다 71.0%가 증가한 48.9일이다(표 1). 계절별로는 안개 빈도가 높은 가을철보다 빈도가 낮은 여름철의 증가율이 높다. 봄과 겨울철에도 역시 증가하였다. 양문석(1993)은 충주지방의 안개일수가 증가한 것은 댐 건설 후 수면 확대에 의한 수증기 공급량의 증가 때문이라고 결론지었다. 그러나 충주댐 건설 전과 후의 상대습도 변화를 보면, 충주의 경우는 오히려 모든 계절에 걸쳐서 감소하였으며, 제천에서는 약간 상승하는 경향을 보인다(표 2). 이와 같은 경향은 실제 대기에 존재하는 수증기의 양을 나타내어 줄 수 있는 수증기압의 경우도 비슷하다. 그러므로 제천의 안개 증가는 호수면적의 확대에 의한 수증기 공급량의 증가에 기인한

다고 할 수 있으나, 충주지방에서의 안개 증가 현상은 제천과는 다른 요인이 개입하였을 것이라 생각된다.

그림 3과 4는 각각 충주댐 건설 전후의 충주와 제천의 월별 안개일수 변화를 나타낸 것이다. 두 지점에서 모든 달에 걸쳐서 1~6일의 증가를 나타내었으나 월별 증가폭은 다른 특성을 보이고 있다. 충주의 경우는 댐의 수위가 상승한 8, 9, 10월에 각각 5일 내외, 제천에서는 5월부터 8월 사이에 3일 내외씩 증가하였다. 그림 5는 충주의 수증기압 변화를 나타낸 것인데, 이 지역의 안개일수 변화와는 다른 특성을 보인다. 즉, 4월부터 8월까지의 5~15hPa의 큰 폭의 감소를 보였고, 9월부터 다음해 2월까지의 3hPa내외의 증가를 기록하였다. 연평균 수증기압은 약 3hPa이 감소하였다. 그러나 제천의 경우는 4월과 10월을 제외하고는 월별로 5hPa정도 증가하여 연평균 3hPa정도 증가하였다. 이는 앞에서 논의한 바와 같이 제천의 안개 증가는 충주호에서의 수증기 공급량 증가에 기인한 것이라고 할 수 있지만, 충주의 경우는 제천에서와 같이 단순하지 않음을 보여준다. 그림 6은 1997년 충주호의 충주댐 부근 수심 50m³)에서 관측한 수온과 충주의 월평균 최저기온을 비교한 것이다. 10

표 1. 충주와 제천의 계절별 안개일수(일) 변화

지점	구분	봄	여름	가을	겨울	전년
충주	1972 - 1996	7.2	12.5	31.3	11.5	62.4
	댐 건설 전	5.1	7.2	24.5	8.7	43.1
	댐 건설 후	9.7	17.9	38.1	14.5	78.5
	전후의 차이	4.6	10.7	13.6	5.8	35.4
제천	1972 - 1996	4.5	11.4	18.4	4.4	38.4
	댐 건설 전	1.9	7.1	16.1	3.6	28.6
	댐 건설 후	7.5	15.3	20.8	5.3	48.9
	전후의 차이	5.6	8.2	4.7	1.7	20.3

* 전후의 차이는 댐 건설 전과 후의 차이임.

표 2. 충주와 제천의 상대습도(%) 변화

지점	구분	봄	여름	가을	겨울	전년
충주	댐 건설 전	73.8	69.1	76.8	77.9	74.4
	댐 건설 후	73.5	63.4	74.9	77.1	72.2
제천	댐 건설 전	68.0	63.7	75.1	73.6	70.1
	댐 건설 후	73.8	65.8	78.1	75.5	73.3

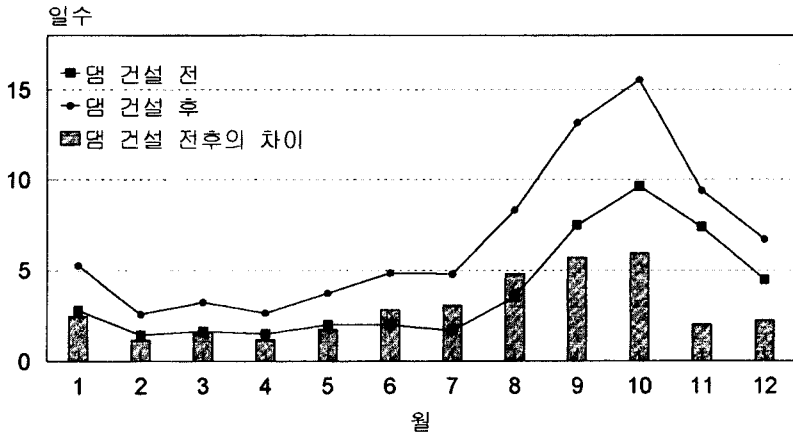


그림 3. 충주지방의 월별 안개일수 변화

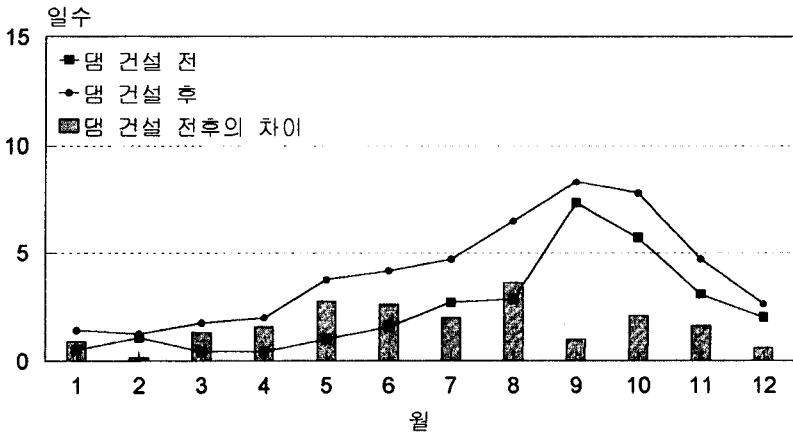


그림 4. 제천지방의 월별 안개일수 변화

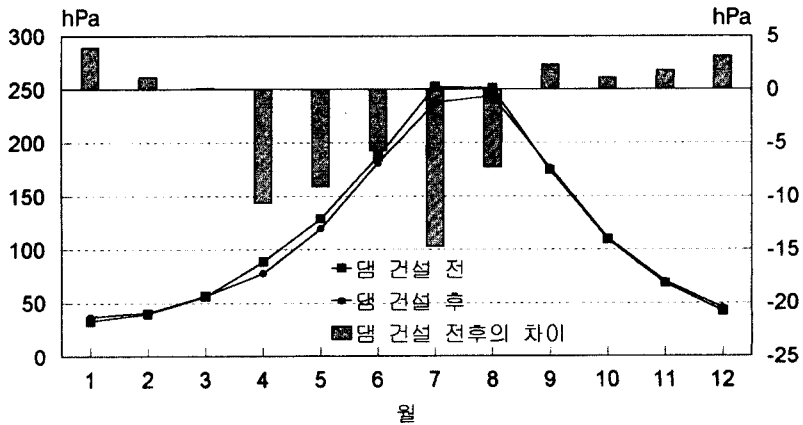


그림 5. 충주지역의 수증기압의 변화

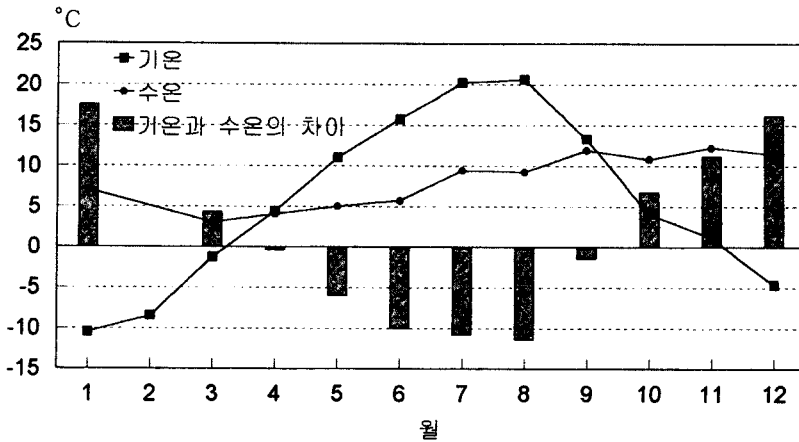


그림 6. 충주호의 월평균 수온(수심 50m)과 월평균 최저기온의 비교

월부터 3월까지의 수온이 기온보다 높은 상태를 유지하며, 12월과 1월에는 수온과 기온의 차이가 15°C에 이른다. 4월부터 9월까지의 수온이 기온보다 낮은 상태가 되며, 6, 7, 8월에는 온도의 차이가 10°C 이상에 이른다. 그러므로 10월부터 3월까지의 수면에서 증발수가 발생할 수 있는 조건이며, 4월부터 9월 사이에는 수면 부근에서 심한 기온역전현상이 나타나 안개를 형성할 수 있다⁴⁾. 이와 같이 수면에서 발생한 안개는 바람에 의하여 충주 시가지로 이동하므로 주민들은 안개가 갑자기 발생하고, 빨리 걷힌다⁵⁾고 인식하고 있다.

4. 안개의 발생 · 소산시각의 분포

1) 발생시각

안개 발생시각은 안개 현상일의 기상조건에 따라서 달라지지만, 같은 기상 조건이라 하더라도 주변의 지형이나 수괴에 의해서도 영향을 받는다. 그림 7은 연구기간 중의 충주와 제천의 안개 발생시각별 빈도를 매 1시간 간격으로 나타낸 것이다. 두 지역이 중부지방의 내륙 분지에 위치하고 있기 때문에 안개 발생시각이 일출 전 새벽 시간대에 집중되어 있는 전형적인 복사무 지역의 특성을 보인다. 그리고 안개 빈도가 많은 충주의 발생시각은

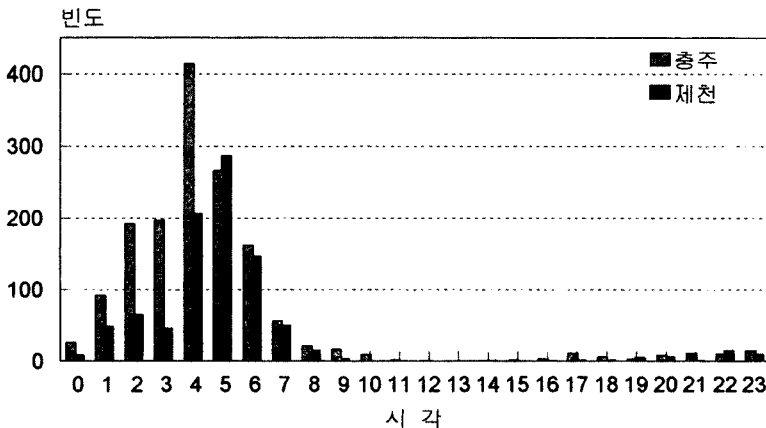


그림 7. 충주와 제천의 발생시각별 안개 빈도

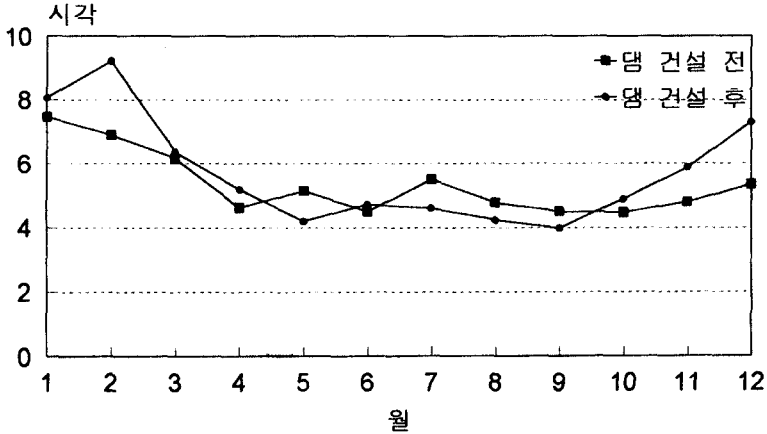


그림 8. 충주댐 건설 전과 후의 충주의 월별 평균 안개 발생시간

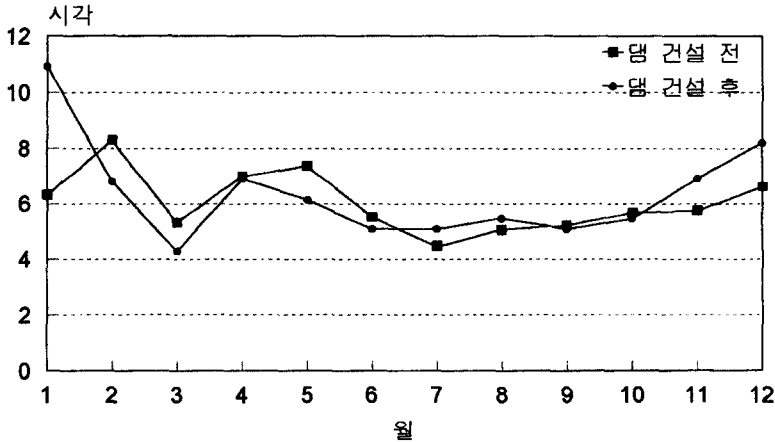


그림 9. 충주댐 건설 전과 후의 제천의 월별 평균 안개 발생시간

제천에서보다 1시간 정도 이른다. 충주에서는 새벽 4시에서 5시 사이에 극대치가 나타나며, 1시부터 6시 사이에 전체 1,526회의 안개현상 중 1,323회(86.8%)가 발생하였다. 제천에서는 1시간이 늦은 5시에서 6시 사이에 극대치가 나타나며, 2시부터 7시 사이에 전체 918회의 안개현상 중 800회(87.2%)가 집중되었다.

충주의 안개 평균 발생시간은 05시 11분이다. 그림 8은 충주의 월별 안개 발생시간을 충주댐 건설 전후로 나누어 표시한 것이다. 지표면의 기온역전 현상에 의하여 발생하는 안개는 일출 및 일몰시간과 관련이 깊다. 일출시간이 빠른 하절기에는 05시,

동절기에는 그보다 늦은 07시를 전후하여 주로 안개가 발생하였다. 충주댐 건설 전후를 비교하면, 대체로 하절기(5월-9월)에는 댐 건설 후 안개 발생시간이 빨라졌으며, 동절기(10월-4월)에는 그 반대의 현상이 나타났다. 이는 충주댐 방류수의 수온과 관련 있는 것으로 판단된다. 즉, 장마현상으로 증가한 호수의 물을 방류하는 7월~9월 새벽에는 낮은 수온 때문에 역전현상이 쉽게 발생하여 안개 발생시간이 빨라졌다⁶⁾. 겨울철에는 상대습도가 낮을 뿐만 아니라 기온이 수온보다 낮은 상태가 되므로 수면에서의 증발에 의하여 안개가 발생한다. 그러므로 댐 건설 전에 비하여 안개 발생 시간이

늦어진다고 생각된다.

제천은 안개 평균 발생시각은 05시 44분으로 충주보다 33분이 늦다. 월별 분포 특성은 충주와 비슷하여 댐의 수위가 높은 6월부터 11월 사이에는 05시, 수위가 낮아지는 겨울철에는 07시를 전후하여 주로 안개가 발생하였다. 댐 건설 전후의 차이도 충주와 비슷한 경향이다. 1월의 경우는 댐 건설 후에 안개 발생시각이 10시 55분으로 전에 비하여 늦어졌는데, 이는 총 빈도가 13회에 불과할 뿐만 아니라, 저기압이 통과하면서 발생한 전선무가 포함되어 있어 1월의 일반적인 값을 나타낸다고 할 수는 없다(그림 9).

표 3은 안개 발생 전일 21시의 850hPa고도의 풍향별 연구지역의 안개발생 시각과 발생횟수를 나타낸 것으로, 전선이나 저기압 영향하에서 발생한 안개는 분석에서 제외하였다. 850hPa고도의 풍향

별 안개 발생 빈도를 보면, 충주와 제천은 표 3에 제시된 7개7)의 풍향에 대하여 각각 86.9%, 88.5%가 집중되었다. 두 지점의 안개는 북서풍계(NW, WNW, W)의 바람이 불 경우에 각각 49.4%, 45.9%가 집중되었으며, 제천은 충주에 비하여 남서풍계(WSW, SW)의 바람에서도 빈도가 비교적 높다. 이는 남서풍이 불 경우, 충주는 충주호의 풍상 지역에 해당하나 제천은 풍하지역에 해당하여 호수로부터의 수증기 공급이 많아지기 때문이다. 두 지역의 발생시각의 차이를 보면, 북풍계(N, NNW, NW) 바람의 경우에 서풍이나 남서풍의 경우보다 그 차이가 크다. 북풍계 바람이 불 경우, 충주는 충주댐에서의 방류수로 인해 조정지댐 상류에 형성된 안개가 이동하여 안개가 일찍 형성되지만, 복사냉각에 의하여 안개가 발생하는 제천은 그보다 늦어진다고 생각한다.

표 3. 충주와 제천지역의 850hPa고도 풍향별 안개발생시각 및 풍속(1991-1996*)

지점	풍향	N	NNW	NW	WNW	W	WSW	SW	기타
충주	발생시각	03:44	03:27	04:10	04:13	04:26	03:29	04:52	03:57
	발생횟수(%)	35(8.5)	41(10.0)	75(18.2)	66(16.1)	62(15.1)	34(8.3)	44(10.7)	54(13.1)
제천	발생시각	04:22	04:32	04:41	04:18	04:31	04:21	05:11	04:40
	발생횟수(%)	19(7.0)	26(9.6)	41(15.2)	43(15.9)	40(14.8)	33(12.2)	37(13.7)	31(11.5)
발생시각의 차이**		0:38	1:05	0:31	0:05	0:05	0:52	0:19	1:17

* 850hPa 고도의 21시 바람자료를 계속하여 보유하고 있는 기간임.

** 충주와 제천의 차이임.

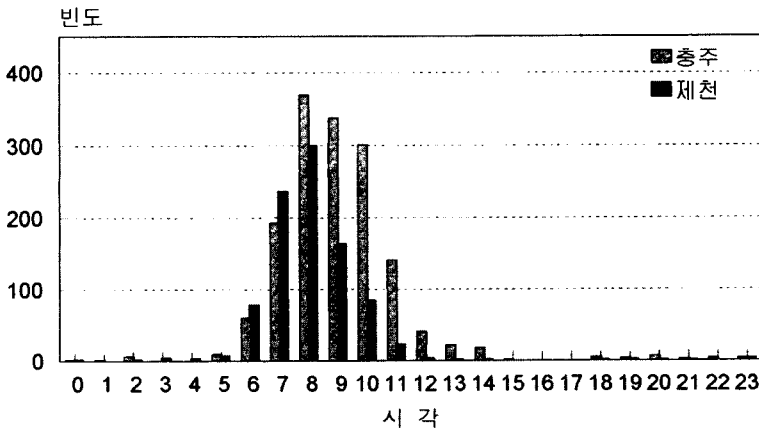


그림 10. 충주와 제천의 안개 소산시각별 빈도

2) 소산시각

일출 전 새벽에 발생한 복사무는 일반적으로 일사나 난류에 의하여 기온역전층이 파괴되면서 소산되므로 일출 후 1~3시간 후에는 거의 소산된다. 역전강도가 강한 경우에는 그 보다 지속되는 경우도 있다. 그림 10은 충주와 제천의 매 1시간별 안개 소산시각의 빈도를 나타낸 것인데, 두 지점의 안개가 07시에서 11시 사이에 집중(충주: 88.1%, 제천: 88.0%)하였으며, 08시부터 09시 사이에 극대치(충주: 24.3%, 제천: 32.7%)를 보였다. 극대치 이전 시간대에 충주는 17.7%, 제천은 36.3%의 빈도를 나타내어, 제천의 안개가 충주에서보다 일찍

소산되고 있다. 충주의 경우는 11시부터 15시 사이에도 14.4%(222회)의 빈도이다.

안개 평균 소산시각은 충주가 09시 32분이며, 제천은 08시 34분이다. 그림 11과 12는 충주와 제천의 월별 안개 소산시각을 나타낸 것이다. 두 지점 모두 여름철에 소산시각이 이르며, 겨울철로 갈수록 소산시각이 늦다. 이는 하절기에 일출시간이 이르고, 겨울철에 늦어지는 것과 관련이 있을 뿐만 아니라, 지표면이 쉽게 냉각될 수 있는 겨울철에는 기온 역전층이 두꺼워서 일단 형성된 역전층은 쉽게 파괴되지 않기 때문이다. 댐 건설 전후로 비교하면, 제천은 2월, 4월, 8월을 제외하고는 건설 후

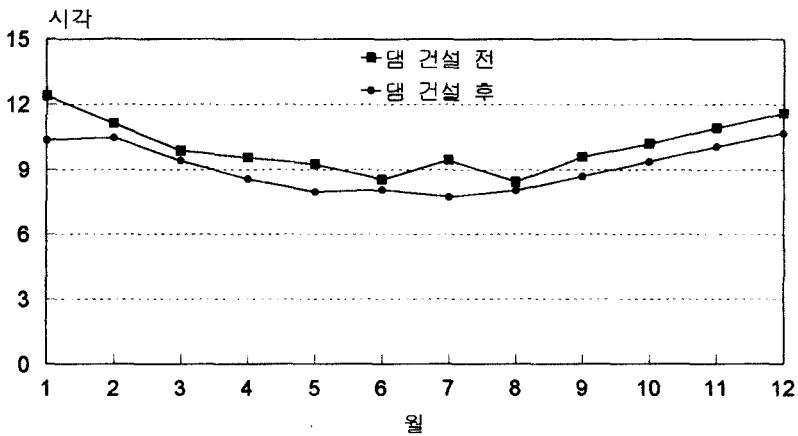


그림 11. 충주댐 건설 전과 후의 충주의 월별 평균 안개 소산시각

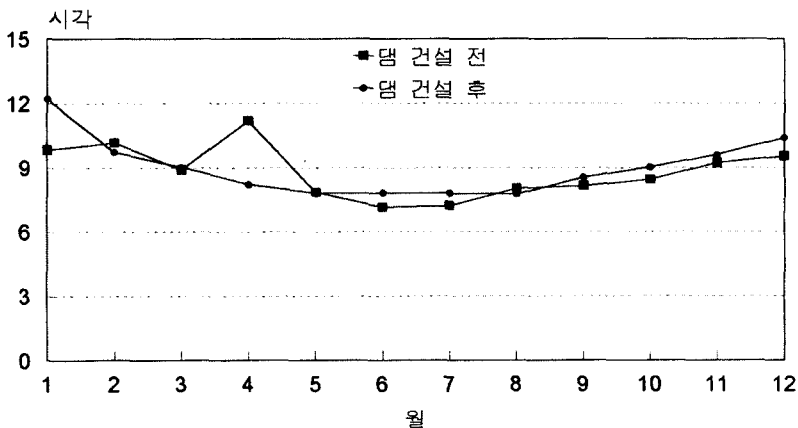


그림 12. 충주댐 건설 전과 후의 제천의 월별 평균 안개 소산시각

안개 소산시각이 늦어졌으나, 충주는 오히려 빨라졌다. 이는 댐이 두 지역의 안개 발생에 미치는 영향이 다르다는 것을 의미한다. 즉, 제천은 널리 알려진 대로 호수 때문에 상대습도가 높아져서 일단 형성된 안개는 오래 지속된다. 그러나 충주는 댐 건설 후 오히려 상대습도가 감소하여 전에 비하여 복사무의 빈도가 상대적으로 감소하였는데, 충주댐에서 발전을 위하여 방류하는 물의 온도와 기온의 차이에 의하여 조정지댐 상류에서 발생한 안개가 충주으로 이동한 이유무가 많아졌기 때문이다⁸⁾.

5. 안개 발생일의 기상 특성

안개는 대기가 안정되어 있고, 습도가 높을 때에 발생하기 쉽다. 바람은 대기의 안정에 영향을 미치며, 습도는 외부로부터 수분의 공급에 의해서 보다는 온도의 변화에 더 영향을 받는다. 따라서 본 연구에서는 안개 발생일 전날의 풍향, 풍속과 전날의 최고기온과 발생일의 최저기온의 차이⁹⁾를 비교하였다. 이 두 요소는 안개 예보에서도 이용된다. 연구지역은 일반적으로 복사무가 많이 발생하는 지역으로 알려져 있고, 전선무는 바람, 일교차 등의 기상조건과 거의 무관하게 발생하므로, 저기압이나 전선의 영향을 받고 있는 경우는 분석에서 제외하였다. 따라서 기압배치 상으로 보아 한반도가 이동성 고기압이나 북태평양 고기압의 영향을 받아 복사무가 발생할 가능성이 있는 경우만을 분석 대상으로 하였다.

1) 바람

바람은 대기의 안정도에 영향을 미칠 뿐만 아니라, 수증기와 안개를 이동시키는 역할을 하므로 안개의 형성에 중요하다. 충주와 제천의 풍향별 안개 일수의 빈도 분석에서는 전선성 안개가 발생할 수 있는 경우를 제외하였다. 표 4는 충주의 안개 발생일 전일의 최대 풍향별 안개 발생 빈도를 나타낸 것이다. 안개 발생 빈도를 풍향별로 보면, 북서풍계(WNW, NW, NNW) 바람이 부는 경우가 202일(33.6%)로 가장 높고, 남서풍계(SSW, SW, WSW) 바람이 부는 경우도 138일(23.0%)로 높은 빈도이다. 북서풍계인 경우에 안개의 빈도가 많은 것은 충주댐 건설 후에 더욱 뚜렷하다. 북서풍계의 경우 충주댐 건설 전후를 비교하면, 122일에서 275일로 크게 늘었다. 반면에 남서풍계의 경우는 138일에서 112일로 줄었다. 이밖에 서풍(86일)과 북풍(48일)인 경우도 비교적 빈도가 높으며, 각각 댐 건설 후에 3.4일, 1.7일이 증가하였다. 이와 같이 북서풍계와 북풍, 서풍의 경우 안개의 빈도가 늘어난 것은 충주의 북서쪽에 위치하는 조정지 댐과 달천 등의 영향이라 생각된다. 앞에서 논의한 것과 같이 하절기(4-9월)에는 댐 방류수의 수온이 기온보다 낮은 상태로 역전층이 형성되며, 동절기(10-3월)에는 수온이 기온보다 높은 상태이기 때문에 방류수의 수면에서 증발현상이 일어난다. 그러므로 하절기에는 역전현상에 의한 안개가 발생하고, 동절기에는 증발에 의한 안개가 발생한다. 이러한 안개가 북서풍에 의하여 충주로 이동하는 것이다. 남서풍인 경우에 발생하는 안개는 순수한 복사무라고 판단되는

표 4. 충주의 최대 풍향별 연평균 안개일수 빈도

풍향	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	
빈도 (일수)	전체	4.8	2.0	2.3	1.0	1.0	1.0	2.3	1.6	1.3	1.7	6.8	5.3	8.6	7.5	9.3	3.4
	전	3.9	1.6	3.1	1.0	1.3	0.6	1.8	0.7	1.1	1.4	7.1	2.7	6.7	3.5	6.7	2.0
	후	5.6	2.3	1.0	1.0	0.5	1.5	2.7	2.6	1.5	1.8	5.8	7.9	10.1	11.6	11.2	4.7
	차이	-1.7	-0.7	2.1	0.0	0.8	-0.9	-0.9	-1.9	-0.4	-0.4	1.3	-5.2	-3.4	-8.1	-4.5	-2.7
비율 (%)	전체	8.1	3.3	3.8	1.7	1.7	1.7	3.8	2.7	2.2	2.8	11.3	8.9	14.4	12.6	15.4	5.6
	전	8.5	3.4	6.9	2.3	2.8	1.3	3.9	1.5	2.5	3.1	15.7	6.0	14.9	7.7	15.2	4.4
	후	7.7	3.3	1.5	1.3	0.7	2.1	2.1	3.6	2.1	2.5	8.1	11.0	14.0	16.2	15.6	6.5
	차이	0.8	0.1	5.4	1.0	2.1	-0.8	1.8	-2.1	0.4	0.6	7.6	-5.0	0.9	-8.5	-0.4	-2.1

* 전은 댐 건설 전, 후는 댐 건설 후, 차이는 전과 후의 차이를 뜻함

표 5. 제천의 최대 풍향별 연평균 안개일수 빈도

풍향	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	
빈도 (일수)	전체	0.8	0.6	2.1	1.1	1.1	0.6	1.5	0.7	3.3	2.0	7.6	6.2	3.9	2.4	2.2	0.5
	전	0.4	0.8	2.1	1.0	0.8	0.4	0.3	0.4	0.9	1.0	3.8	5.5	4.6	3.0	1.7	0.3
	후	1.3	0.3	1.9	1.1	1.4	0.7	2.7	1.0	5.9	3.0	11.5	6.4	2.8	1.6	2.5	0.6
	차이	-0.9	0.5	0.2	-0.1	-0.6	-0.3	-2.4	-0.6	-5.0	-2.0	-7.7	-0.9	1.8	1.4	-0.8	-0.3
비율 (%)	전체	2.3	1.7	5.7	3.1	3.1	1.6	4.0	1.8	9.1	5.5	20.8	16.9	10.7	6.6	5.9	1.3
	전	1.4	3.0	7.7	3.8	3.0	1.6	1.1	1.4	3.3	3.8	14.0	20.8	17.0	11.0	6.6	1.1
	후	2.9	0.8	4.3	2.5	3.1	1.6	6.0	2.1	13.2	6.6	25.7	14.4	6.2	3.5	5.6	1.4
	차이	-1.5	2.2	3.4	1.3	-0.1	0.0	-4.9	-0.7	-9.9	-2.8	-11.7	6.4	10.8	7.5	1.0	-0.3

* 전은 댐 건설 전, 후는 댐 건설 후, 차이는 전과 후의 차이를 뜻함

데, 이는 충주의 상대습도 감소에 의하여 안개 빈도가 감소한 것이라 생각된다.

표 5는 제천의 안개 발생일 전일의 최대풍향별 안개 발생 빈도를 나타낸 것이다. 풍향별 안개일수의 빈도를 보면, 남서풍계(SSW, SW, WSW)의 바람이 부는 경우가 15.8일(43.2%)로 집중되어 있다. 그밖에 서풍(3.9일: 10.7%)과 남풍(3.3일: 9.1%)의 경우에도 비교적 높은 빈도이다. 충주댐 건설 전후를 비교하면, 건설 후에 남풍계(SE, SSE, S, SSW, SW)의 바람이 부는 경우는 건설 전의 6.4일에서 24.1일로 크게 증가하여 전체 안개 중에서의 비율이 30% 더 증가하였다. 이는 남풍계 바람이 불 경우 충주호에서 수증기가 공급되므로 안개 발생에 유리한 조건이 형성되기 때문이라고 생각한다. 반면에 북동풍계(NNE, NE, ENE) 바람이 부는 경우는 3.9일에서 0.6일이 감소한 3.3일이며, 북서풍계(WNW, NW, NNW)의 경우도 5.0일에서 4.7일로 감소하였다.

안개 발생일 전일의 평균 풍속은 충주는 0.78m/sec, 제천은 0.93m/sec이다. 댐 건설 전후를 비교하면, 충주는 건설 후에 0.23m/sec가 증가하였

으나 제천에서는 거의 변화하지 않았다. 일반적으로 풍속이 약할 때에 안개가 발생하는데, 충주는 안개의 빈도가 늘고, 풍속이 증가한 것은 댐 건설 후 안개의 발생기구의 변화가 있음을 나타내는 것이다.

2) 일교차

상대습도는 안개 형성에 중요한 요인이다. 그리고 기온의 변화는 상대습도를 변화시키는 중요한 요인 중의 하나이다. 전날의 최고기온에서부터 기온의 하강 정도에 따라서 노점까지 이를 수도 있거나, 그렇지 않을 수 있다. 따라서 안개 발생일의 최저기온과 전날 최고기온과의 차이는 안개 발생 가능성을 나타낼 수 있는 중요한 요소의 하나로서 실제 안개의 예보에서 중요하다.

표 6은 충주의 안개 발생일의 주요 풍향별 일교차를 나타낸 것이다. 충주댐 건설 이전에는 일교차가 12.8°C였으며, 댐 건설 이후에는 12.1°C로 줄었다. 일교차의 변화를 안개 발생 빈도가 높은 주요 풍향별로 보면, 모든 풍향마다 0.3~1.3°C의 범위에서 감소하였다. 서북서풍과 북서풍이 부는 경우에

표 6. 충주의 주요 풍향별 안개 발생일 최저기온과 전일 최고기온의 차이(°C)

풍향	N	NNE	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	전체
전체	11.5	12.6	12.5	12.7	13.0	12.8	12.5	12.0	12.4
댐 건설 전	12.0	13.1	12.8	12.9	13.5	13.8	13.3	12.2	12.8
댐 건설 후	11.1	12.2	12.1	12.6	12.6	12.5	12.0	11.9	12.1
전/후의 차이	0.9	0.9	0.7	0.3	0.9	1.3	1.3	0.3	0.7

* 빈도 20회 이상인 경우만 표시하였음.

표 7. 제천의 주요 풍향별 안개 발생일 최저기온과 전일 최고기온의 차이(°C)

풍 향	NE	SW	WSW	W	WNW	전체
전 체	10.6	12.2	12.4	12.0	12.1	12.0
담 건설 전	10.0	13.3	12.3	12.1	11.7	11.8
담 건설 후	11.5	11.9	12.4	11.8	13.0	12.2
전/후의 차이	-1.5	1.4	-0.1	0.3	-1.3	-0.4

* 빈도 20회 이상인 경우만 표시하였음.

변화폭이 커서 각각 1.3°C가 낮아졌으며, 남서풍계 바람이 불 경우는 비교적 적게 감소하였다. 월별로 보면, 0.2~2.9°C가 하강하였는데, 기온과 수온의 차이가 가장 큰 1월의 일교차가 12.1°C에서 9.2°C로 크게 줄었다. 이와 같이 일교차가 줄었음에도 불구하고 겨울철에 충주에서 안개일수가 증가한 것은 이 지점에서 관측되는 안개의 일부가 조정지댐의 상류에서 발생하여 이동한 것이기 때문이라 생각한다. 즉, 북서풍계의 바람이 부는 경우는 조정지댐 상류에서 형성된 안개가 그 바람에 의하여 충주 시가지로 이동하여 오기 때문이다.

제천에서는 안개 발생일의 일교차가 12.0°C이다. 충주댐 건설 전의 11.8°C에 비하여 건설 후에 12.2°C로 증가하여(표 7), 충주와는 반대이다. 일교차의 변화를 주요 풍향별로 보면, 댐 건설 이후에 안개 발생 빈도가 크게 증가한 남서풍과 서풍이 부는 경우에는 일교차가 각각 1.4°C, 0.3°C 씩 낮아졌고, 북동풍과 서북서풍의 경우는 1°C 이상 상승하였다. 이것도 남서풍이 부는 경우에 충주호에서 수증기가 공급되므로 일교차가 크지 않아도 기온이 쉽게 노점까지 이르러 안개가 발생하기 때문이다. 따라서 남서풍이 부는 경우 안개일수도 댐 건설 전의 3.8일에서 건설 후에 11.5일로 크게 늘었다(표 5참조).

6. 결 론

최근 대형 댐의 건설로 그 주변지역의 기상 특성이 변화하고 있는데, 본 연구에서는 충주호를 사례로 인공호수 주변지역의 안개 특성을 파악하고자 하였다. 충주호 하류의 충주와 상류의 제천의 안개일수, 안개 발생·소산시각, 안개 발생일 전날

의 바람과 일교차 등을 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

충주댐 건설 후 충주와 제천의 안개일수가 크게 늘었다. 제천의 안개 증가는 이미 알려진 바와 같이 충주호가 공급하는 수증기에 의한 것이다. 그러나 충주에서는 충주댐에서 방류하는 물의 수온과 기온의 차이가 안개 증가의 중요한 요인이다. 즉, 동절기에는 증발현상, 하절기에는 수면에서의 기온 역전이 충주의 안개 특성을 좌우하고 있다. 일사를 차단하고 시정 장애를 일으켜 안개는 농업 생산을 포함한 각종 산업 및 주민 건강의 저해 요인이 될 수 있다. 따라서 이후의 새로운 댐 건설을 위한 설계 시에는 임하댐의 경우와 같이 표면에 인접한 물을 이용하여 발전하는 방식 등 기후환경에의 영향을 최소화하기 위하여 방류수의 처리 방식을 재고할 필요가 있다.

사 사

본 논문을 세심하게 심사하시고 적절한 지적을 하여주신 심사위원과 이현영 교수님, 최영은 박사께 감사드립니다. 또한 현지답사에 동행하여 도움을 준 강대균씨와 권영아, 허인혜양에게도 감사드립니다.

註

- 1) 시정 200m이하를 말한다(Perry and Symons, 1991).
- 2) 보다 장기간의 자료가 필요하나, 수온자료가 공개되지 않아 부득이 1997년도의 것 만을 이용하였다.

- 3) 발전소를 통하여 방류되는 물의 수온을 구할 수 없으므로 수심 50m에서 측정한 값을 대신 사용하였다.
- 4) 조종사의 기상보고에 의하면, 이러한 안개는 두께가 1,500m까지 이른다고 한다(공군 중원기상대, 김성환씨 증언).
- 5) 지역주민들은 물론, 충주 기상관측소와 공군 중원기상대의 근무자들은 충주의 안개 특성을 이와 같이 증언하고 있다.
- 6) 지역 주민들과 공군 중원기상대 근무자들의 증언에 의하면, 이 기간 동안의 방류는 주로 새벽에 이루어진다고 한다.
- 7) 북풍, 북북서풍, 북서풍, 서북서풍, 서풍, 서남서풍, 남서풍을 말한다.
- 8) 내륙의 이류무는 일반적으로 복사무에 비하여 빨리 소산된다(공군 청원기상대, 1998).
- 9) 본 논문에서는 이 값을 일교차로 사용하였다.

文 獻

남재철, 신만용, 윤진일, 1995, "매시기상자료에 의한 안동지역 인공호 주변 안개 발생 판별", 한국기상학회지, 31(4), 393-398.

양문석, 1993, "충주댐 건설전후 충주지방의 안개 변화 특성", 공주대학교 교육대학원 석사학위 청구논문.

윤진일 외, 1997, "주압 다목적댐 건설에 따른 국지

기후의 변화가 농작물의 생산성에 미치는 영향", 한국기상학회지, 33(3), 409-427.

이종범, 1981, 춘천지방의 인공호에 의한 안개 및 운량의 변화, 한국기상학회지, 17(1), 18-26.

이종범, 봉종현, 조하만, 1990, "댐 건설에 따른 국지기후의 변화 실태", 기상연구논문집, 7(1), 75-81.

허인혜, 1997, "한국의 지역별 안개 특성", 건국대학교원 석사학위 청구논문.

홍성길, 1982, "안동댐 건설이후 안동지방의 안개 증가", 한국기상학회지, 18(2), 26-31.

Belhouse, H. C., 1961, An Empirical Method of Forecasting Radiation Fog and Clear-Sky Minimum Temperatures at Vancouver, British Columbia, *Bull. Ame. Meteor. Soci.* 42(5), 349-358.

Leipper, D. F. 1994, Fog on the U.S. West Cost: a Review, *Bull. Ame. Meteor. Soci.* 75(2), 229-240.

Perry, A. H. and Symons, L. J. 1991, *Highway Meteorology*, E & FN Spon, 91-130.

Telford, J. W. and Chai, S. K. 1984, Inversions, and Fog, Stratus and Cumulus Formation in Warm Air over Coller Water, *Bound.-Layer Meteor.*, 29(2), 109-137.