

연구논문

수질영향평가의 신뢰수준 향상을 위한 기상자료의 검정

이길하* · 조홍연**

대구대학교 토목공학과*, 한국해양연구원 해양환경보전연구부**

(2011년 2월 7일 접수, 2011년 7월 13일 승인)

Climate Data Qualification for Water Quality Impact Assessment

Khil-Ha Lee* · Hongyeon Cho**

Department of Civil Engineering, Daegu University*

Marine Environment & Conservation Research Department, Korea Ocean R&D Institute**

(Manuscript received 7 February 2011; accepted 13 July 2011)

Abstract

This study is focused on a climate data integrity to improve water quality assessment due to the social development projects. The study is in an attempt to calculate both extreme ranges of weather data measurements and partly provide means to assess qualification of data which fall within the extremes at the 23 meteorological weather stations. Generally speaking, maximum temperature, minimum temperature, relative humidity, dew point temperature are in the range of reasonable accuracy. However, there found some outliers of the brightness sunshine hours in Cheonan station. Also some years in Gwangju, Seoul, Wonju, Busan, and Jeju never reach to their upper limit and perhaps the calibration of the equipment is doubtful. The users need to take cautions in using the brightness sunshine hour data in preparation of water resources planning and management by estimating evapotranspiration and river discharge, and/or growth rate of the algae (phytoplankton).

Keywords : climate data qualification, outlier, quality check, water quality assessment

1. 서 론

1. 연구의 배경과 목적

다양한 개발사업에 대한 환경영향평가는 주로 대기, 수질, 생활(소음·진동) 환경에서의 예측모델링 기법 등을 이용하여 수행되고 있다. 우리나라는 계절 변동이 뚜렷하기 때문에 보다 정확하고 신뢰할 만한 환경영향평가를 수행하기 위해서는 개발사업에 의한 환경부하의 영향과 더불어 계절변화를 유발하는 기상인자의 변화도 고려하여야 한다. 계절변화를 고려한 환경영향평가는 수치모델링 기법으로 수행되고 있으며, 모형에서 요구하는 입력 자료로서 기상자료는 필수적이다. 신뢰할만한 모델링 예측결과를 도출하기 위해서는 관측 자료를 이용한 모형의 보정 및 검증 과정과 더불어 신뢰할만한 모형 입력자료 확보가 매우 중요하다(Martin and McCutcheon, 1999).

본 연구는 개발사업에 대한 수질환경영향평가를 보다 정확하게 수행하기 위한 기상 입력자료의 검정에 중점을 두고 수행되었다. 기상인자는 직접적·간접적으로 수질인자의 변동에 영향을 미치고 있다. 강수량과 더불어 기본적인 기상자료를 이용하여 추정되는 기준 증발산량 자료는 어떤 유역에서의 수량(유출량)에 영향을 미치고, 수량은 수질에 직접적으로 영향을 미친다. 기온은 수온에 영향을 미치고, 수온은 대부분의 수질항목의 반응계수에 영향을 미친다(Snoeyink and Jenkins, 1980). 또한 수온예측을 위한 열수지(heat budget) 분석과 부영양화, 적조 및 녹조와 관련되어 있는 식물플랑크톤 밀도 예측에 일사량 및 일조시간이 직접적으로 영향을 미친다(Taylor, 2005; Thomann and Mueller, 1987). 따라서 기상자료에 대한 적절한 검정없이 기상자료를 바로 수질예측모형의 입력자료로 사용하는 경우에는 자료의 품질이 의심되는 특정시기 및 특정지점에서는 예측결과에 큰 오차가 포함될 수 있다. 기상자료는 비교적 품질이 양호한 수준으로 인식되고 있으나, 개발사업에 대한 수질환경영향평가는 대부분 특정기간, 특정지점의 기상자료를 사용하기 때문에

기상자료의 품질 검정은 매우 중요하다. 또한 기상자료는 지역에 따라 매우 다른 특성(지역성)을 가지고 있기 때문에 시간적인 변화양상과 더불어 공간적인 변화양상이 적절하게 사업 지역의 특성을 반영하고 있는가를 검토하여야 한다. 본 연구에서는 대표적인 기상자료 검정 기법 등을 사용하여 우리나라의 기상자료 검정을 수행하였다. 검정 기법 자체는 본 논문에서 개발하거나 제안하는 방법은 아니지만 우리나라의 공간적인 특성이 반영된 자료에 대한 검정의 관점에서 의미가 있다고 할 수 있다.

어떤 유역에서의 하천 수량에 중요한 영향을 미치는 기준 증발산량은 기상자료의 품질에 좌우되기 때문에 기상자료의 품질 관리는 매우 중요하다(Lee, 2009). 그러나 우리나라의 경우 기상관측소 및 자동 기상관측소(AWS) 등에서 수집한 기상 자료의 품질 관리에 대한 노력은 상대적으로 부족하다. 기본적인 기상자료는 풍부한 반면 증발산량, 태양복사열 등은 관측이 곤란하고, 장기관측으로 인한 인력·비용 문제로 인하여 자료가 상대적으로 매우 부족한 실정이다. 따라서 자료부족의 한계를 극복하기 위하여 가용한 다른 기상요소를 이용하여 추정하는 방법이 제안되어 왔으며, 기준 증발산량의 경우 단지 하나의 기상자료(온도)만을 이용하여 추정함에도 불구하고 적정 수준의 정확도를 제공해 주는 Hargreaves 공식(Hargreaves and Samani, 1985)이 사용되고 있다(Hargreaves and Allen, 2003). 또한 증발산량 측정기기를 이용한 관측 대신 물리이론에 바탕을 두고 기준 증발산량을 산정하는 Penman-Monteith (PM) 공식을 정해의 대안으로 추천하는 상황에서 태양복사열, 풍속, 온도, 습도와 같은 다양한 기상자료를 필요로 하는 PM 공식 등을 이용하기 위해서는 기상자료의 품질관리는 선행되어야 한다.

2. 연구의 범위 및 방법

미국의 경우, 실시간 기상자료의 품질관리에 대한 기준(guideline)에는 한계범위를 벗어나는 이상자료(outliers)에 대한 적절한 처리 방법은 제시되어 있으나 한계 범위 내에 들어가는 자료에 대한 품

질관리는 대안이 없는 실정이다(CIMIS, 1989).

따라서 본 연구는 이상자료에 대한 적절한 처리와 더불어 부분적으로 한계 범위 내에 들어가는 자료에 대한 품질관리를 이론적인 그리고 전반적인 변화양상을 반영하는 제약조건(constraints) 등을 이용하는 Allen(1996), Irmak *et al.*(2003) 방법에 기초하고 있다. 이 방법으로 우리나라 주요 기상관측 지점에 대한 전반적인 기상자료 품질 관리를 수행하였으며, 품질관리에서 문제가 되는 자료의 처리방법도 제안하였다. 최근에는 탐구적 자료분석(EDA, exploratory data analysis)의 관점에서 다양한 시각적인 자료 분석이 시도되고 있다(Martinez and Martinez, 2005). 따라서 다양한 형태의 시각정보를 제시하는 기법을 이용하여 기상자료 등을 검증하는 방법도 유용할 것으로 판단하여, 기상인자의 간단한 치환 또는 환산과정을 산포도, 시계열도, 막대그래프 등을 이용하는 시각적인 검정 방법도 병행하였다.

II. 기상자료 검정에 관한 선행연구 고찰

기상자료를 이용한 연구는 기상자료가 다양한 분야에 영향을 미치기 때문에 매우 다양하다. 대표적인 기상자료 활용연구는 복사량 추정연구(이변우 등, 1991; 이관호 · 심광열, 2010; Lee, 2010), 결로 추정 연구(윤진일 등, 1998), 물수지 연구(양해근, 2007), 수량-수질변화 연구(박종윤 등, 2008; 김도희, 2007) 등으로 매우 다양하다. 그러나 기상자료 검정에 관한 내용은 미흡하며, 기상자료를 그대로 사용하는 경우가 대부분이다. 김도희(2007)의 논문에서는 건기와 우기의 수질변화에 관한 분석을 다루고 있으나, 강우자료에 대한 검정 내용은 생략되어 있다. 또한 박종윤 등(2008)의 논문에서도 미래의 토지이용(land use) 변화가 수량 및 수질에 미치는 영향을 분석하고 있으나 수량에 직접적으로 영향을 미칠 수 있는 강수량 및 증발량 자료의 검정에 관한 내용은 미흡한 실정이다.

기상자료 검정에 관한 연구는 Meek & Hatfield

(1994), Allen(1996), Irmak *et al.*(2003) 등의 연구가 대표적이다 (Meek & Hatfield, 1994; Allen, 1997; Allen *et al.*, 2006; Irmak *et al.*, 2003; Lee, 2009; Lee, 2010). Meek & Hatfield (1994) 논문에서는 기본적인 기상인자(일사량, 기온, 지중온도, 바람 및 강수량, 습도, 대기압 등)에 대한 검정규칙을 제시하고 있다. 한편 Allen(1996)의 연구에서는 주로 일사량에 중점을 두어 수행되었다. 즉 구름이 없는 조건에서의 최대가능 일사량을 이론적으로 산정하여 관측일사량과 이론적으로 계산된 일사량의 포락곡선(envelope curve)을 비교하여 관측일사량의 검정 및 조정(adjustment) 방법을 제안하고 있다.

사용한 기상자료가 이상이 없는 경우에는 연구결과를 신뢰할 수 있다. 그러나 기상자료의 영향이 중요한 경우, 기상자료에서 오류가 발견되는 경우에는 그 연구결과도 오류가 될 가능성이 매우 크기 때문에 기상자료를 활용하는 연구는 기상자료에 대한 품질검정이 매우 중요한 부분을 차지한다고 할 수 있다.

이어지는 기상 자료 검정 결과에서 볼 수 있는 바와 같이 기상자료는 전반적으로는 양호하지만 적지 않은 지역에서 의심이 가는 자료가 발견되고 있다. 따라서 본 논문은 새로운 기법을 제안하는 논문이라기보다는 우리나라의 기상자료에 대한 기본적인 검정방법과 그 검정결과를 제시하는 논문이다. 향후 기상자료를 활용하는 다양한 연구에서 기상자료가 가질 수 있는 오차를 미리 감지하고 처리하여 보다 향상된 연구 성과를 도출할 수 있는 기본적인 방법을 제안하는 연구이다. 특히 기상인자의 영향을 크게 받는 수질환경영향평가는 기상자료에 대한 검정이 매우 중요하므로 수치모델을 이용한 예측이전에 모형 입력 자료에 해당하는 기상자료의 신뢰수준 검정이 선행되어야 하며, 기본적이고 표준적인 검정방법이 제시되어야 한다. 국내 연구에서는 연구자가 자료에 대한 기본적인 검정은 수행하고 있을 것으로 판단되나, 논문에서 기상자료 검정에 관한 내용이 미흡하기 때문에 검정수준은 매우 큰 격차를 가지게 될 수 있다. 따라서 전반적인 기상자료 검정연구와 더불어 보다 다양한 환경영향평가 관련 자료에 대한

신뢰구간과 오차범위를 판단할 수 있는 자료검정 연구가 수행되어야 할 것으로 판단한다.

기상인자가 수질에 미치는 영향에 관한 민감도 분석연구는 오염물질이 하천이나 호소에서의 수질에 미치는 영향연구에 비하면 매우 미흡한 실정이다. 강우에 의한 수량변화가 수질에 미치는 영향분석 연구는 김도희(2007), 박종윤 등(2008)에 의하여 수행된 바 있으나, 기상인자가 다양한 수체(water body)에서 다양한 수질항목에 미치는 민감도 분석 사례는 매우 단편적으로 수행되고 있는 실정이다.

III. 수질영향평가 항목에 영향을 미치는 기상인자

기상인자가 수질항목에 미치는 영향경로는 다양하고 매우 중요하다. 본 논문에서는 기본적인 기상자료로 제공되는 기상인자, 즉 기온, 습도, 일조시간, 일사량 등을 중심으로 자연적인 수질환경변화의 영향경로를 중심으로 특정 현상 등을 중심으로 분석을 수행·제시하였다.

1. 기온

가장 풍부하고 품질관리 상태가 좋은 기상자료이다. 기온과 수온은 매우 높은 상관관계를 가지고 있으나, 보통 수질환경영향평가를 위하여 사용되는 수온자료는 일사량 자료 등을 에너지 보존방정식을 이용하여 추정하는 방법이 바람직하고 널리 이용되고 있으나, 에너지 보존방정식을 이용하여 수온을 예측하기 위해서는 바람, 일사량, 증발량, 수증기압, 습도 등 추가적인 기상정보를 필요로 하기 때문에 기상정보가 부족한 지역(대부분의 경우 기온정보에 비하여 추가 기상정보는 부족한 상황)에서는 기온정보를 이용하여 추정하는 경우도 빈번하다. 따라서 기온이 수온에 영향을 미친다는 간단한 영향경로 개념을 근거로 보면 수온이 영향을 미치는 모든 반응요소 및 생물의 성장 및 호흡활동에 기온이 영향을 미친다고 할 수 있다. 기온 정보의 품질 검증은 최고기온, 최저기온 자료와 같이 연 변화를 도시하면 그림

으로도 자료의 품질 수준을 쉽게 파악할 수 있다. 가장 당연하고 기본적인 기준은 [최저기온 $\leq$ 평균기온 $\leq$ 최고기온] 조건으로 표현할 수 있다.

2. 상대습도 및 이슬점 온도

습도 정보를 직접적으로 수질모델링에서 사용하는 경우는 거의 없으나, 습도는 열에너지 수지분석, 증발량 추정 과정에서 기본적으로 사용되는 정보이다. 상대습도이기 때문에 최대는 100%, 최소는 0% 한계(경계)를 가지게 되고, 우리나라는 여름의 습한 기후와 겨울의 건조한 기후조건 양상을 반영하여 전체적인 연간 변화 양상이 적절한 수준인가를 판단하는 방법이 가능하다.

3. 일사량(태양복사량) 및 일조시간

본 연구에서 가장 중심을 두고 취급한 항목이며, 기온, 강수량 등의 정보에 비하여 상대적으로 미흡한 기상인자이지만 수질환경영향평가에서는 매우 중요하고 민감한 영향인자이다. 일사량은 에너지원으로서 기온과 수온변화를 주도하기도 하지만, 광합성을 하는 식물플랑크톤의 성장에 영향을 미치는 기상인자이다. 특히 식물플랑크톤의 성장은 최근 중요한 문제로 부각되는 적조, 녹조 등의 환경문제와 직결되어 있기 때문에 적절한 수질환경영향평가를 수행하기 위해서는 일사량 및 일조시간 자료의 검정은 필수적이다. 수질모델 입력자료로서 일사량 자료는 매우 중요하지만 일사량 자료가 미흡한 지역에서는 일조시간 자료를 이용하여 일사량을 추정하는 방법을 이용한다. 또한 일사량은 증발량에도 직접적인 영향을 미치기 때문에, 강수량과 더불어 수질환경영향평가의 주요 대상이 되는 하천 수량에 영향을 미치게 되고, 하천 수량은 오염물질의 반응 및 희석 등의 관점에서 수질에 직접적으로 영향을 미치게 된다.

본 연구에서는 일조시간을 중심으로 자료의 검정을 수행하였으나 그 기본과정 및 개념은 일사량에도 적용가능하다. 일조시간 자료 검증을 위한 기본 개념은 청정한 하늘(clear sky)에서 가능한 최대일조시간 개념으로, 태양의 고도(위도의 함수) 및 연

중 시기 정보를 이용하여 계산할 수 있다. 실질적으로는 구름 등의 영향으로 일조시간이 계산된 시간보다는 항상 적게 나타나고 있으나 구름이 없는 맑은 날도 발생하는 경우가 있기 때문에 연간 일조시간 변화 양상에서 보이는 포락선(envelope)은 최대 일조시간에 도달하여야 한다. 전체적인 포락선 변화양상이 이론적인 가능 최대일조시간과 차이를 보이는 경우에는 관측기기의 검정문제라고 판단하는 것이 합리적이다.

4. 바람, 강수량, 대기압 등

바람 정보는 호소에서 수질모델링과정에서 공기전달(air transfer aeration)에 영향을 미치는 중요한 인자이며, 강수량은 수량, 대기압은 습도 등과

기본적인 기상정보이기는 하지만 수질모델을 이용한 환경영향평가에서 직접적인 입력 자료로는 사용되지 않고 있기 때문에 본 연구에서는 제외하였다. 그러나 최근 풍력발전에 대한 수요가 증가하면서 바람자료에 대한 검정이 중요한 항목으로 부각되고 있다. 또한 대기압은 해수면 상승을 분석하는 과정에서 조석에 의한 영향과 기상영향을 분석하는 중요한 자료로서의 역할이 있다. 강수량은 기온과 더불어 매우 관리가 잘 되는 그리고 수문분야의 유역유출(rainfall-runoff) 해석에서 매우 중요한 자료이기 때문에 자료 검정이 상대적으로 우수한 기상인자에 해당한다. 본 연구에서는 제외하였으나 기상자료는 용도에 따라 하나하나 모두 중요한 자료이다.

표 1. 기상관측소의 기본 정보.

순번	지점	위도(°)	경도(°)	온도계 지상고도 (m)	풍속계 지상고도 (m)	일조시간 (hour)	풍속 (m/s)	상대습도 (%)	최저기온 (°C)	최고기온 (°C)
1	안동	36.57	128.70	1.5	15.5	5.90	1.57	65.44	6.68	18.15
2	천안	36.77	127.12	1.5	22.0	6.33	1.69	68.46	6.36	17.80
3	청주	36.63	127.43	1.5	10.0	5.86	1.81	64.71	8.18	18.31
4	춘천	37.90	127.73	1.6	9.8	5.68	1.28	70.03	6.21	17.71
5	추풍령	36.22	127.98	1.5	20.7	5.85	2.53	66.06	6.73	17.80
6	대구	35.88	128.62	1.5	18.2	6.10	2.37	59.14	10.05	19.60
7	대전	36.37	127.37	1.6	22.8	5.86	1.92	67.22	8.41	18.52
8	대관령	37.67	128.72	1.8	10.0	5.79	4.29	74.22	2.62	12.16
9	광주	35.17	126.88	1.5	17.5	5.56	2.09	67.15	9.72	19.33
10	전주	35.82	127.15	1.5	18.4	5.50	1.79	68.04	9.17	19.31
11	진주	35.15	128.03	1.5	10.0	6.09	1.61	67.67	7.93	20.05
12	서울	37.57	126.95	1.5	10.0	5.10	2.17	62.64	9.11	17.43
13	수원	37.27	126.98	1.5	20.0	5.80	1.89	65.33	8.09	17.57
14	원주	37.33	127.93	1.6	10.0	5.32	1.08	67.94	6.62	17.89
15	부산	35.10	129.02	1.7	17.8	6.08	3.47	63.73	11.62	19.20
16	강릉	37.75	128.88	1.7	13.8	5.82	2.81	59.11	9.58	17.84
17	흑산도	34.68	125.45	1.5	25.0	5.33	5.70	77.82	11.22	16.18
18	인천	37.47	126.62	1.4	11.0	6.15	2.47	67.65	9.11	17.38
19	제주	33.50	126.52	1.8	12.3	5.06	3.23	68.16	13.37	19.36
20	제주고산	33.28	126.15	1.8	10.0	5.40	7.42	74.39	13.07	18.67
21	목포	34.82	122.37	1.5	15.5	5.92	3.82	71.20	10.55	18.35
22	포항	36.02	129.37	1.6	13.2	6.12	2.72	61.85	10.88	19.02
23	서산	36.77	126.48	1.4	20.2	5.81	2.60	72.71	7.23	17.55

(주) 위치구분 : 내륙관측소(순번 1-14), 해안 관측소(순번 15-23)

IV. 기상자료의 검정

1. 기상자료의 기본정보

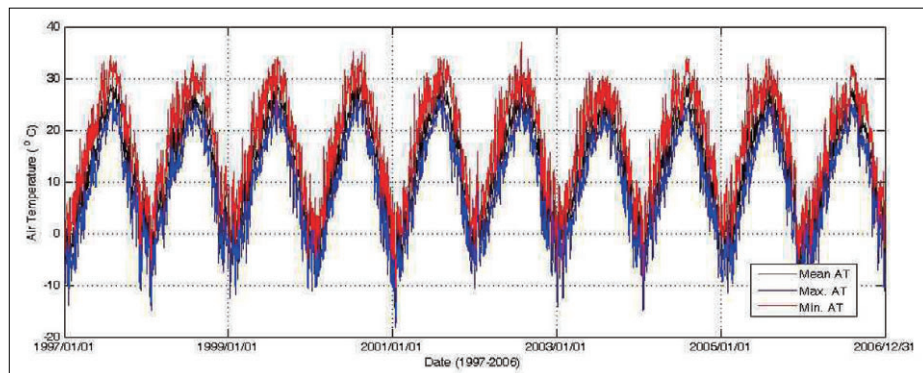
본 연구에서는 기상청의 23개 기상대에서 관측한 1997년부터 2006년까지 10년 동안의 일평균 기상 자료이다. 관측 자료의 개수(n)는 10년 동안의 일 자료이기 때문에 총 3,652개로 구성되어 있으며, 천안 기상대는 결측자료(missing data) 때문에 총 3,617 개이다. 본 연구는 기상자료의 장기 변동 분석이 아니라 자료의 검정에 있기 때문에 분석 자료의 기간은 중요하지 않지만 최소한 1년 이상의 자료를 이용하여야 이상자료와 더불어 전체적인 변화양상의 이상유무로 자료 품질을 검정하는 것이 가능하다.

기상 자료는 바다와의 인접거리를 고려하여 내륙 14개 지점과 해안(도서 포함) 9개 지점으로 구분하였으며, 관측위치 및 관측기기의 기본 고도 정보,

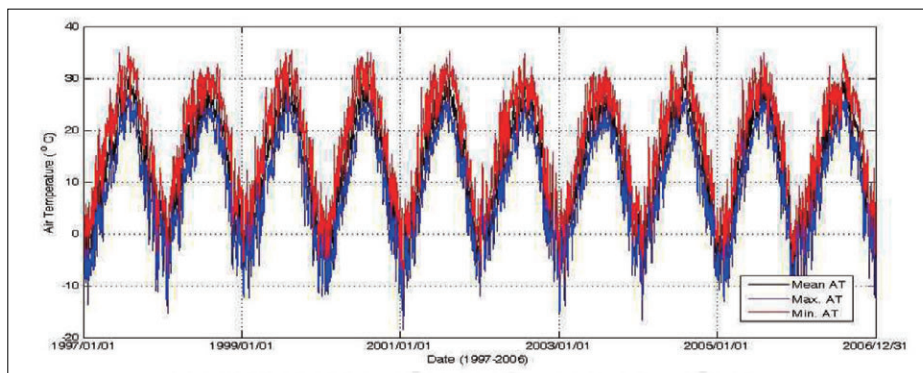
분석기간 동안의 기상인자 평균자료를 표 1에 정리·제시하였다. 우리나라는 동계 건조시기와 하계 습윤 시기가 뚜렷하게 구분되는 온대기후이며, 강우의 70% 정도가 여름에 발생한다. 습도와 풍속은 해안 지역이 다소 높으나, 일교차(DTR, Diurnal Temperature Range)는 해안 지역이 약 7℃로 내륙지역보다 약 3℃ 정도 낮다.

2. 기상자료의 검정

기상자료의 검정은 우리나라 모든 기상대의 자료를 이용하여 수행하였으며 각각의 기상인자에 대한 검정결과는 지점별로 차이를 보이고 있다. 본 논문에서 제시하는 결과는 검정결과가 다소 불량한 지점 및 우수한 다수의 지점을 대표할 수 있는 지점을 선택하여 제시하였다. 따라서 기상인자별로 제시하는 지점이 차이를 보이고 있으나, 본 논문에서 제시



(a) 인천



(b) 서울

그림 1. 평균기온 및 최대·최저기온의 변화양상 (1997~2006)

되지 않은 지점은 기본적인 기법을 이용한 자료검정 결과가 우수한 자료로 간주할 수 있다.

1) 기온

기온 자료의 검정 과정은 다음과 같다. 일반적으로 기온측정은 상당한 정확도와 신뢰도를 가지고 있기 때문에 간단한 도식(plot)만으로도 이상자료를 판단할 수 있다. 그러나 기온은 변동성분(fluctuation)이 크기 때문에 간단한 시계열도(time-series plot)를 이용한 자료검정은 전반적인 변화양상을 파악에는 적절하지만, 부분적인 이상자료 판단에는 그림 1에서 보이는 바와 같이 매우 곤란하다. 따라서 분석자료의 적절한 처리 또는 변환을 이용한 분석이 유용할 수 있다(Atkinson, 1985). 본 연구에

서는 우선 1997년부터 2006년까지의 10년 동안의 자료를 동일 일자에 대하여 평균한 일최고기온($T_{\max}$)과 일최저기온($T_{\min}$), 일평균기온($\bar{T}$)을 산정하고, 산정된 일최고기온과 일최저기온을 비교하여 이상자료(outlier)를 도식적으로 선별하며, 동시에 일평균기온이 한계 범위(최고기온과 최저기온의 사이)에 드는지를 판단하였다(그림 2 참조). 그림에서는 각각 해안과 내륙의 대표 지점인 인천, 서울의 장기 최고기온, 최저기온, 평균기온의 연변화 양상 및 최고기온-평균기온, 최저기온-평균기온, 일교차(Diurnal Temperature Range, DTR) 정보를 볼 수 있다. 봄과 가을에 해당하는 시기에 일교차가 약 10℃ 정도로 가장 크게 나타나고 있음을 알 수 있으며, 매년 다른 지점의 기온도 비교한 결과, 기온

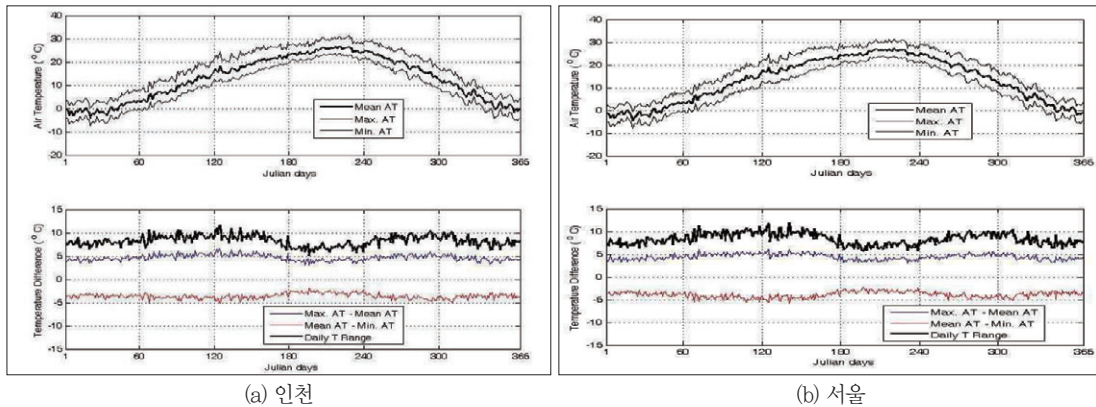


그림 2. 인천과 서울지점의 10년 평균 연간 기온 및 기온차이

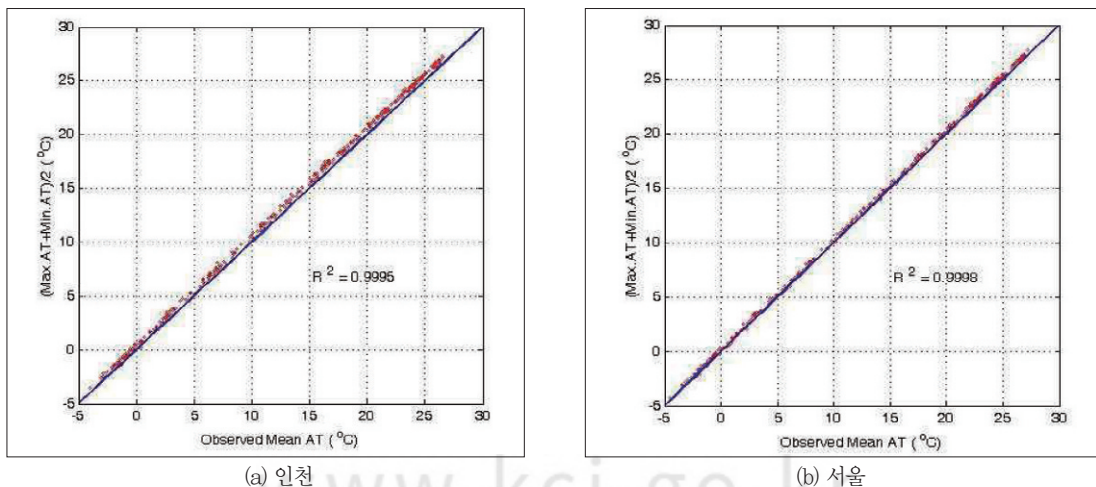


그림 3. 관측평균기온과 계산평균기온의 상관관계

자료는 아주 양호한 것으로 파악되었다. 한편 기온 자료의 기본적인 특성 분석을 위하여 최고기온과 최저기온을 평균한 기온과 평균기온의 상관관계를 분석하였다. 높은 상관관계가 예상되며, 실제로 분석한 결과 그림 3에서 보이는 바와 같이 상관계수가 0.99 이상으로 매우 높은 것으로 나타났다. 이러한 특성은 이상 자료를 판단하는 간단한 기법의 하나로 활용 가능할 것으로 판단된다.

2) 상대습도

온대 습윤 기후에서 상대습도의 최대치는 90%를

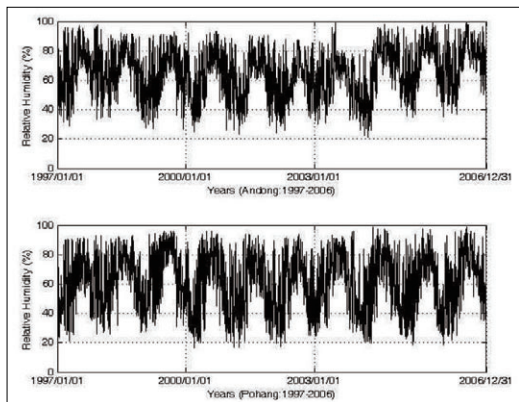


그림 4. 상대습도의 연간 변화 양상 (위 : 안동, 아래 : 포항)

상회하는 게 일반적이다. 우리나라의 경우 여름은 습윤기후이며, 겨울은 건조기후로 간주할 수 있다. 건조기후인 경우 상대습도의 최소치는 25~30%를 넘어선다. 따라서 습윤 기후에서는 상대 습도의 최소치는 25~30% 범위를 상회하게 될 것이다. 그림 4는 내륙 지점과 해안 지점을 대표하는 안동과 포항의 일평균 상대 습도를 보여준다. 습도자료도 기온과 같이 매우 변동성이 크기 때문에 전반적인 변화 양상을 제외하고는 이상자료 등을 감지하기 위해서는 자료의 적절한 변환이 필요하다. 이러한 분석은 최근 탐구적 자료분석(Exploratory Data Analysis)에서 활용되는 방법으로 새로운 분석방법이나 이상자료 추출방법으로 활용이 가능하다(Martinez and Martinez, 2005). 본 논문에서는 습도의 일간 변화 및 습도와 일조시간, 강수량 등과의 상관관계 분석을 수행하였으나 이상자료 추출에는 적절하지 못한 것으로 판단되었다. 그러나 습도분포는 어떤 지역의 기후 특성을 판단하는 인자이기 때문에 장기간의 습도자료의 분포 특성을 이용하여 특정기간의 분포특성을 비교·분석하는 방법이 적절할 것으로 파악되어, 안동과 포항의 습도 빈도분포를 분석하였다(그림 5 참조). 지역에 따라 분포형태가 뚜렷

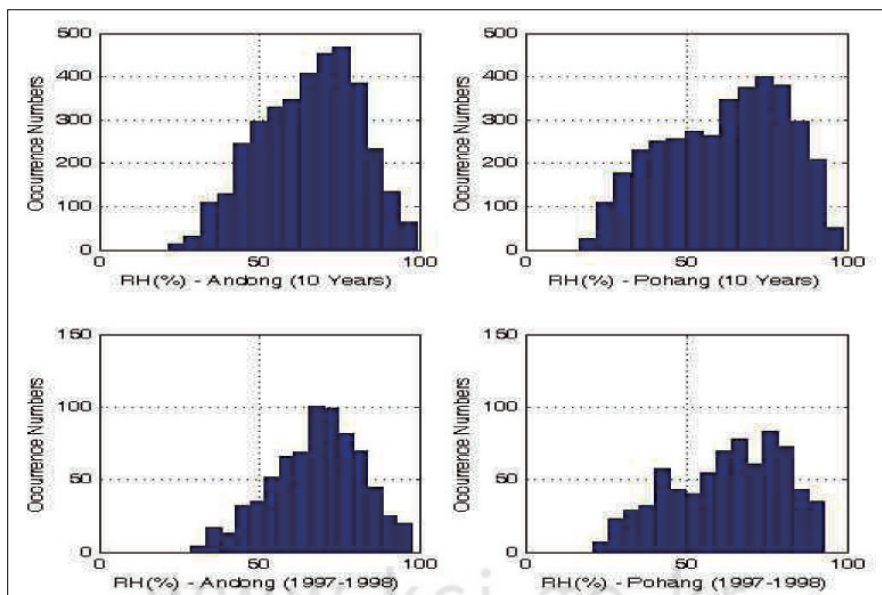


그림 5. 상대습도의 빈도분포

하게 차이가 나고 있는 것으로 파악되기 때문에, 분포형태가 변형·왜곡되는 것을 이상자료를 감지하는 방법으로 활용할 수 있을 것으로 판단된다. 전반적으로 해안 지역의 상대습도가 약간 높게 나타나는데 이는 해양으로부터의 수분 공급이 원활하기 때문이다. 평균 상대습도는 내륙과 해안이 약 40~90%의 범위로 양호한 것으로 판단할 수 있으며, 계절적인 경향을 뚜렷하게 보이고 있다. 이러한 경향은 전체적인 자료변화 양상을 이용한 자료 품질 검증에서 매우 중요한 기준으로 사용할 수 있을 것으로 판단된다.

3) 일조시간 및 태양복사량(일사량)

태양에너지와 관련된 기상자료는 두 가지 형태로 나눌 수 있다. 하나는 태양복사량(일사량, 복사열에너지, MJ/m²-day)이고 다른 하나는 일조시간(hours)이다. 일사량 자료가 없는 지점에서는 일조시간을 이용하여 일사량을 추정하는 경우가 많고, 다양한 경험공식이 제안되고 있기 때문에 일사량과 더불어 일조시간 자료의 검증은 수질모델링, 수온 모델링, 증발산량 산정 등 다양한 영역에서 매우 중요한 위치에 있다(Lee, 2010). 일사량과 일조시간 모두 구름이 없는 맑은 날씨를 가정하여 가능한 최대값을 계산하여 품질관리에 이용하는데 본 연구에서는 일조시간을 점검하였다. 일 최대 가능 일조시간(N)은 다음과 같이 계산된다.

$$N = 24\omega/\pi \quad (1)$$

여기서, ω 는 시간각도(radian 단위)로 태양기울기(δ , radian 단위)와 위도(ϕ)의 함수로서 표현되며, 태양기울기는 Julian Day(J)의 함수로 다음과 같이 표현된다.

$$\omega = \cos^{-1}[-\tan(\phi) \cdot \sin(\delta)] \quad (2)$$

$$\delta = 0.4093 \cdot \sin\left(\frac{365}{2\pi J} - 1.405\right) \quad (3)$$

한편 일조시간과 마찬가지로 일사량도 맑은 하늘 조건에서의 최대가능 일사량을 이론적으로 유도하는 식이 제안되어 있기 때문에 일사량의 검증도 가능하다. 지구 대기 상부에서의 이론적인 일사량

(Extra-terrestrial solar radiation, R_a [MJ/m²-day])은 다음과 같다(Allen, 1996; <http://www.fao.org/docrep/X0490E/x0490e07.htm>).

$$R_a = 0.0864 K \frac{G_{sc}}{\pi} d[\omega_s \sin(\phi) \sin(\delta) + \cos(\phi) \cos(\delta) \sin(\omega_s)] \quad (4)$$

$$d = 1 + 0.033 \cos(2\pi J/365) \quad (5)$$

여기서, G_{sc} 는 태양상수(1,367W/m²), d 는 지구와 태양의 상대거리(astronomical units, 식 (5) 참조, 식 (3)과 유사), K 는 대기상층에서 지표면으로의 맑은 하늘 조건에서의 전달계수로 0.7~0.8 정도의 범위(Allen, 1996; 본 연구에서는 0.75 적용)이다.

그림 6은 10년 동안의 주요 지점의 일조시간 변화양상과 일사량 변화양상을 최대 가능 일조시간과 일사량을 중첩하여 도시하고 있다. 기온과 상대 습도같이 상대적으로 정확도가 높은 기상인자에 비해 일조시간은 흔히 오차나 오류를 쉽게 발견할 수 있다. 일조시간은 근처에 큰 나무가 있는 경우 센서에 그늘이 쳐서 장기적인 오차가 발생하거나 센서에 새가 앉는다거나 이물질이 센서를 가려서 일시적으로도 쉽게 오차를 발생시키기 때문에 꾸준하면서도 지속적인 관리가 필요한 인자이다. 또한 이러한 오류 발생 가능성이 크기 때문에 자료의 검증도 필수적이며 매우 중요하다.

그림에서 보면 봄과 가을에는 관측된 일조시간이 가능 최대 일조시간에 도달하는 경우가 빈번하지만 여름철에는 최대값에 미치지 못한다. 이는 우리나라의 기후 특성상 여름철에 강우가 잦고 구름이 많이 발생하므로 설득력이 있어 보인다. 그러나 간헐적으로 이상영역이 발견되는데 천안 2001년 자료는 최대일조시간에 도달하고 있으나 자료 기간과는 매우 다른 양상을 보이고 있으며, 광주 2000~2003, 서울 1997~2002, 원주 1997~2006, 부산 2000~2004, 제주 1997~2000 기간에서는 일년 내내 꾸준히 최대값에 미치지 못하는데 이런 지점은 장비의 보정(calibration)이 의심된다. 또한 일조시간이 최대 일조시간에 도달하는 기간과는 일사량이 최대 일사량이 도달하지 못하는 기간은 서로 다르게 나타나고 있는 것으로 파악되었다. 이는 일조시간 관

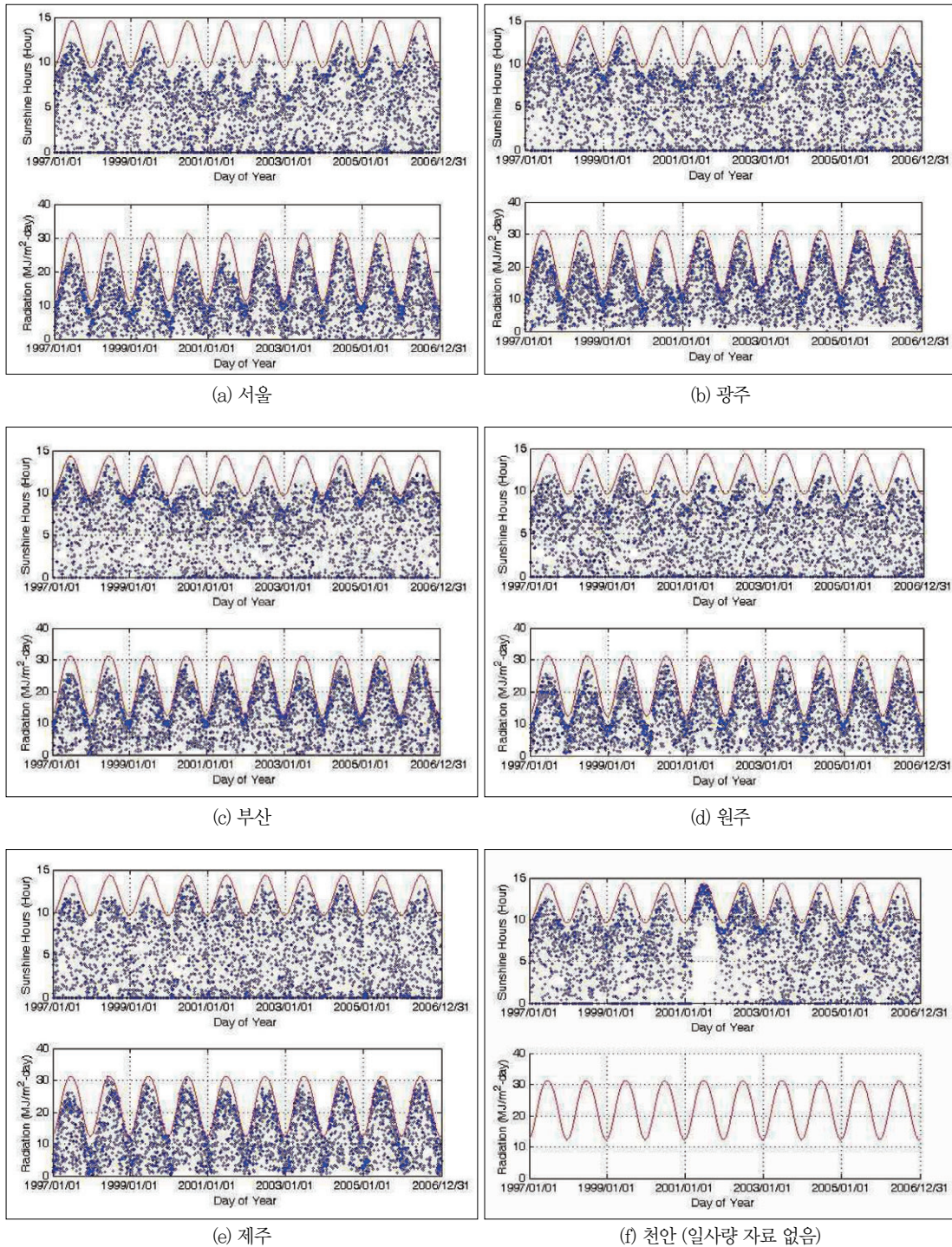


그림 6. 관측 및 최대가능 일조시간과 일조량의 변화

측 장비의 이상 및 일사량 관측 장비의 이상이 서로 독립적으로 발생하고 있기 때문으로 판단된다.

따라서 일조 시간 및 일사량 자료를 이용하는 연구자는 일조시간 자료의 품질문제를 인식하여야 하

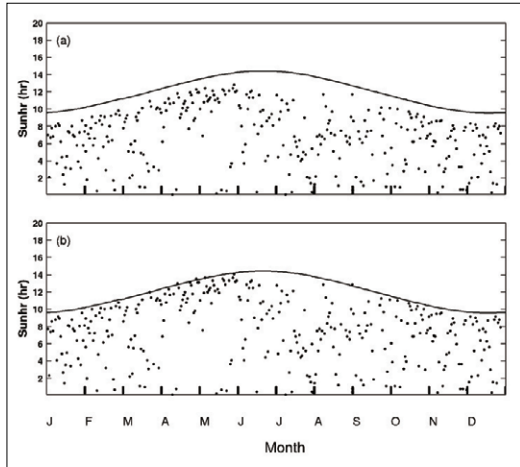


그림 7. 보정계수를 이용한 전주(1999) 일조시간 자료의 보정(환산계수=1.1)

며, 적절한 기법을 이용하여 일조시간 자료를 보정(adjustment)하여 사용하여야 한다(Allen, 1997). 본 연구에서는 간단하게 일정한 환산계수를 곱하여 일사량 자료를 보정하는 방법을 제안하며, 천안 지점에 대하여 보정 전과 보정 후의 결과를 그림 7에 제시하였다. 일조시간과 일사량은 상관관계가 매우 높은 것으로 보고되고 있으며, 각각 독립적으로 관측되기 때문에 상관관계 분석은 또 하나의 검정 방법으로 판단된다. 그러나 일조시간에 비하여 일사량 자료가 상대적으로 미흡하기 때문에 일조시간을 이용하여 필요한 지점의 일사량을 추정하는 경우가 빈번하다. 따라서 일조시간의 검정은 일사량을 입력자료로 이용하는 수질모델링, 수온모델링, 증발산량 산정 등에 있어서 매우 중요한 위치를 차지하고 있다.

4) 이슬점온도와 최저기온

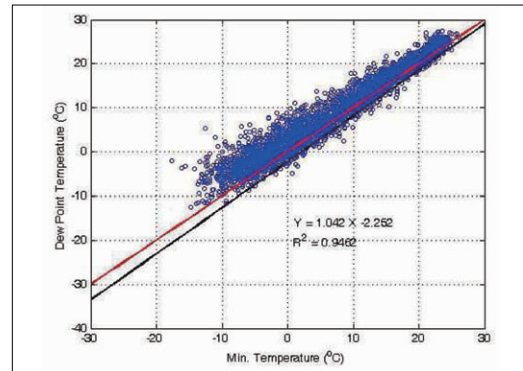
일반적으로 최저기온($T_{\min}$)와 이슬점온도(T_{dew})는 상관관계가 상당히 높은 것으로 알려져 있어 습윤 지역에서는 이슬점온도의 관측값 대신에 최저기온을 사용하기도 한다. 최저기온과 이슬점온도의 차이는 대부분에서 3~4 °C를 벗어나지 않는데 그림 8은 광주와 목포 지점의 최저기온과 이슬점온도의 상관관계를 보여준다. 이슬점 온도는 평균기온과 상대

습도의 함수로 표현되며, 다음과 같은 관계식을 이용하여 계산한 이슬점 온도를 계산하여 상관관계 분석에 이용하였다(<http://www.srh.noaa.gov>).

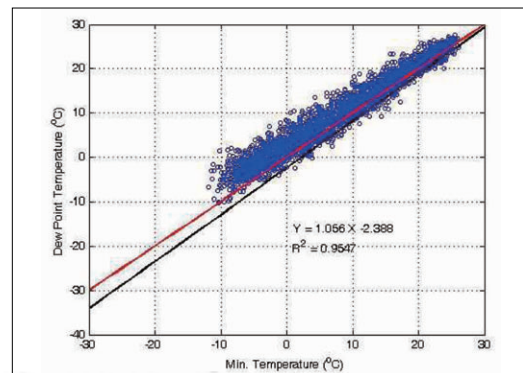
$$e = \frac{e_s \cdot RH}{100} = 6.112 \cdot e^{\left(\frac{17.67 \cdot T}{T + 243.3}\right)} \cdot \frac{RH}{100} \quad (6)$$

$$T_{\text{dew}} = \frac{243.5 \cdot \ln\left(\frac{e}{6.112}\right)}{17.67 - \ln\left(\frac{e}{6.112}\right)} \quad (7)$$

여기서 e , e_s 는 각각 실제 수증기압, 포화수증기압이며, RH(%)는 상대습도, T는 평균기온이다. 최저기온과 이슬점온도의 상관관계는 작게는 0.87에서 크게는 0.95로 나타났으며, 본 논문의 그림으로 제시한 광주와 목포지점에서는 0.95 정도로 추정되었다(그림 8. 참조). 또 최저기온과 이슬점온도는 부분적으로 3~4°C를 벗어나나 중요부분(여름철)에서는 범위 내에 들어 전반적으로 양호한 것으로 파악되었다.



(a) 광주



(b) 목포

그림 8. 최소기온과 이슬점온도의 상관관계 산포도

V. 결론 및 제언

개발사업에 대한 수질환경영향평가를 하기 위해서는 자연적인 변동성분과 인위적인 변동성분을 구별하는 것이 중요하다. 본 연구에서는 수질의 자연적인 변동성분과 인위적인 변동성분에 직접적·간접적인 영향을 미치는 기상인자의 검정을 수행하였다. 수질모델링의 결과에 영향을 미치는 주요한 인자, 기준증발산량을 이용한 하천 수량 산정, 일사량 자료 등을 이용한 식물플랑크톤의 성장률 산정 등은 기상자료의 품질 그 자체에 따라 좌우되기 때문에 기상자료의 관리는 수질변화예측 모델링에서 가장 우선적으로 수행되어야 한다. 본 연구에서는 기상자료에 대한 적절한 처리와 더불어 부분적으로 한계 범위 내에 들어가는 자료에 대한 품질관리를 기상인자의 변화 특성을 고려한 제약조건을 이용하여 우리나라 23개(내륙 14개, 해안 9개 지점) 기상 관측 지점의 기상자료를 이용하여 수행하였다. 전반적으로 최고기온, 최저기온, 상대습도, 이슬점온도 등은 양호한 것으로 나타났으나, 일조 시간에서는 천안을 포함한 여러 지점에서 기상자료가 발견되었다. 서울, 광주, 원주, 부산, 제주 지역에서는 일년 내내 꾸준히 최대값에 미치지 못하는 부분이 발견되는데 이런 지점은 장비의 보정(calibration)이 의심된다. 이 자료를 이용하여 기준 증발산량을 계산하여 하천수량을 추정하거나 식물플랑크톤의 성장률을 계산하는 경우 오차가 수반될 수 있기 때문에 자료의 적절한 보정과정을 통하여 사용할 필요가 있다.

한편 본 연구에서 수행한 자료관리가 신뢰할 만한 관측장비의 정확도, 정기 점검, 적절한 장비 보정, 불량 장비 대체 등과 같은 기본적인 하드웨어적인 문제는 해결할 수 없으나 관측자료의 환경적인 문제와 관측결합에 대한 사후 관리 정도의 문제는 처리할 정도로 판단된다. 본 연구에서 제시한 기상자료 검정기법은 매우 기본적인 방법으로 기상자료를 활용한 다양한 연구(복사량 추정연구, 증발산량 추정연구, 식물플랑크톤의 성장률 추정연구, 유역의 유출 추정연구 등)에서 기본적으로 수행하여야

하는 과정으로서 활용되어야 한다. 일반적으로 기상자료를 활용하는 연구는 기상자료에 대한 완전한 신뢰를 기반으로 하고 있다. 그러나 모든 자료는 관측장비의 오작동, 인위적인 실수, 일시적인 충격 등 다양한 원인에 의하여 오차가 포함될 수 있기 때문에 기상자료를 포함한 모든 자료는 가능한 방법으로 신뢰수준을 검정하는 과정이 필요하다.

감사의 글

본 연구는 한국해양연구원 창의과제 연구사업(PE-9853D)의 지원을 받아 수행되었습니다. 본 논문에서 사용한 기상 자료를 제공해 주신 기상청에 감사드립니다.

참고문헌

- 김도희, 2007. 건기와 우기시 화원면 주변 해역의 수질비교, 한국해양환경공학회지, 10(4), 193-200.
- 박종윤, 이미선, 이용준, 김성준, 2008. SWAT 모형을 이용한 미래 토지이용변화가 수문-수질에 미치는 영향분석, 대한토목학회논문집, 28(2B), 187-197.
- 양해근, 2007. 기후변화에 따른 유역의 물수지 변화, 대한지리학회지, 42(3), 405-420.
- 윤진일, 조경숙, 황헌, 박은우, 조성인, 1998. 표준 기상자료에 의한 벼 군락내 기온, 습도 및 결로 추정, 한국기상학회지, 34(2), 216-221.
- 이관호, 심광열, 2010. 국내 주요도시의 일조시간데이터를 이용한 시간당 전일사량 산출 및 분석, 한국태양에너지학회 논문집, 30(2), 16-21.
- 이변우, 김병찬, 명을재, 1991. 종관(綜觀)기상자료에 의한 순복사량 추정, 한국작물학회지, 36(3), 204-208.
- Allen, R. G., 1996. Assessing integrity of weather data for reference evapotranspiration estimation, J. of Irrigation and Drainage

- Engineering, ASCE, 122(2), 97-106.
- Allen, R. G., 1997. Self-calibrating method for estimating solar radiation from air temperature, J. of Hydrologic Engineering, ASCE, 2(2), 56-67.
- Allen, R. G., Trezza, R. and Tasumi, M., 2006. Analytical integrated functions for daily solar radiation on slopes, Agricultural and Forest Meteorology, 139, 55-73.
- Atkinson, A. C., 1985. Plots, Transformations, and Regression, An introduction to graphical methods of diagnostic regression analysis, Clarendon Press.
- CIMIS, 1988. California irrigation management and information system quality control criteria, Department of Water Resources, Water Conservation Office, Sacramento, California, USA
- Hargreaves, G. H. and Allen, R. G., 2003. History and Evaluation of Hargreaves Evapotranspiration, Journal of Irrigation and Drainage Engineering - ASCE, 129(1), 53-63
- Hargreaves, G. H. and Samani, Z. A., 1985. Reference crop evapotranspiration from temperature, Applied Engineering in Agriculture, 1(2), 96-99
- Irmak, S., Allen, R. G., and Whitty, E. B., 2003. Daily grass and alfalfa-reference-Evapotranspiration calculations as part of the ASCE standardization effort, Journal of Irrigation and Drainage Engineering - ASCE, 129(5), 360-370
- Lee, K., 2010. Constructing a non-linear relationship between the incoming solar radiation and bright sunshine duration, International Journal of Climatology, 30, 1884-1892.
- Lee, K., 2009. Predicting Incoming Solar Radiation and Its Application to Radiation-based Equation for Estimating Reference Evapotranspiration, J. Irrigation and Drainage Engineering - ASCE, 135(5), 609-619.
- Martin, J.L. and McCutcheon, S.C., 1999. Hydrodynamics and Transport for Water Quality Modeling, Lewis Publishers.
- Martinez, W.L. and Martinez, A.R., 2005. Exploratory Data Analysis with MATLAB®, Computer Science and Data Analysis Series, Chapman & Hall/CRC
- Meek, D.W. and Hatfield, J.L., 1994. Data quality checking for single station meeteorological databases, Agricultural and Forest Meteorology, 69, 85-109.
- Morid, S., Gosain, A.K. and Keshari, A.K., 2002. Solar Radiation Estimation using Tempered-based, Stochastic and Artificial Neural Networks Approaches, Nordic Hydrology, 33(4), 291-304.
- Snoeyink, V.L. and Jenkins, D., 1980. Water Chemistry, John-Wiley & Sons.
- Taylor, F.W., 2005. Elementary Climate Physics, Oxford Univ. Press.
- Thomann, R.V. and Mueller, J.A., 1987. Principles of Surface Water Quality Modeling and Control, Harper Collins Publishers.
- <http://www.srh.noaa.gov/images/epz/wxcalc/rhTdFromWetBulb.pdf>
- <http://www.fao.org/docrep/X0490E/x0490e07.htm>
- http://clearskycalculator.com/ASCE_memo.pdf