

기준증발산 산정방법 비교

Compaision of Reference Evapotranspiration Estimation Approaches

임창수

Chang-Soo Rim

요 지

본 연구에서는 과거 제안된 5가지의 기준증발산식으로부터 산정된 증발산량과 pan 증발량을 이용하여 상관분석을 실시하였고 pan 계수를 산정하였다. 또한 우리나라 21개 기상관측지점에서 과거 제안된 5가지의 기준증발산식들을 비교하고 그 유사성을 알아보았다. 비교 검토된 기준증발산식은 4가지 방법으로 분류하였으며, 분류된 방법 중에서 각기 대표적인 기준증발산량 산정식을 선정하여 적용하였다. 적용된 기준증발산식은 에너지와 공기동력항의 조합법에 근거한 Penman 식, 단일근원법에 근거한 FAO Penman-Monteith(FAO P-M) 식, 복사자료를 이용한 방법인 Makkink 식과 Priestley-Taylor 식, 그리고 기온자료에 근거한 방법인 Hargreaves 식 등이다. 연구지역 선정 을 위하여 기상관측지점이 있는 지역의 지리 및 지형조건을 고려하였다. 사용된 기상자료는 1970년부터 5년 간격으로 8개년의 일별 기상자료를 사용하였다. 적용결과는 수치 및 시계열 도시방법을 통하여 비교하였다. 분석결과에 의하면 대부분의 지역에서 기준증발산식과 pan 증발량과는 0.9 이상의 높은 상관관계를 보이고 있으나, pan 증발량 과 비교하여 회귀식의 경사가 1.0보다 크거나 작은 경향을 보이고 있다. 전국 21개 연구지역 중에서 12개 지역에서 대기온도자료에 기초한 Hargreaves 식이 FAO P-M 식과 가장 유사한 것으로 나타났는데, 이들 지역은 대구지역 을 제외하고 해안지역에 위치하고 있다. 반면에 내륙에 위치한 8개 지역에서 복사량자료에 기초한 Priestley-Taylor 식이 FAO P-M 식과 유사한 것으로 나타났다.

핵심용어 : 도시화, 기준증발산, 기후변화

* 정희원·청운대학교 철도행정토목학과 부교수-E-mail : csrim@chungwoon.ac.kr

1. 서론

증발산현상을 규명하는 것은 효율적인 물관리와 수문기상학적 현상을 규명하는 데 매우 중요하다. 따라서 과거 많은 연구자들에 의해서 수많은 증발산량 산정공식들이 제안되고 그리고 발전되어 왔다. 현재까지 제안된 증발산량 산정공식은 물수지방법, 공기동력학적 방법, 에너지와 공기동력항의 조합 방법, 복사에 기초한 방법 그리고 기온에 기초한 방법 등과 같이 크게 5가지 방법으로 구분될 수 있다. 이러한 다양한 증발산량 산정 방식 중에서 사용 가능한 기상자료를 이용하여 지형 및 지리적 조건에 적당한 증발산량 공식을 선정하는 것은 매우 중요하면서도 어려운 일이다.

본 연구에서는 다양한 지리 및 지형적 조건을 고려하여, 국내 21개 기상관측지점에서 기존에 널리 사용되고 있는 기준증발산량 산정식들을 비교 검토하였다. 연구결과는 특정지역에 기상자료가 충분하지 않거나, 혹은 기상자료 관측의 효율성을 위하여 일부 기상자료를 생략하여 기준증발산량을 산정하고자 하는 경우에 활용할 수 있다. 본 연구에서 적용 검토된 증발산식은 잔디를 기준작물로 가정하여 증발산량을 산정하도록 개발된 기준증발산(reference evapotranspiration)식들로서 기존의 잠재증발산(potential evapotranspiration) 정의와는 다소 차이가 있다. 기존의 잠재증발산은 기준작물을 설정하지 않고, 매우 모호한 개념의 키 작은 녹색작물로부터의 증발산을 의미하였으나, 이후 기준증발산은 대상 작물을 구체적으로 0.12m 높이의 잔디로 정의함으로써 증발 대상이 되는 식생조건을 보다 명확하게 명시하였다.

2. 연구 지역 및 자료

본 연구를 위하여 사용된 기상자료는 기상청에서 운영하는 서울, 인천, 수원, 청주, 대전, 포항, 전주, 부산, 목포, 여수, 제주, 서귀포, 진주 등 21개 지역에서 관측된 일별 최저기온, 최고기온, 풍속, 상대습도, 일조시간, 가조시간 등이다. 연구 분석을 위하여 가급적 장기간의 기상자료를 이용하여 증발산의 시간적 변화를 분석하고자 하였으나, 21개 연구지역에 대해서 일별 기상자료를 이용하여 분석하는 경우, 분석자료가 방대하여 국가수자원관리 종합시스템의 토지피복도 자료와 기간이 일치하는 1970년부터 2004년까지 5년 간격(1970, 1975, 1980, 1985, 1990, 1995, 2000, 2004년)의 8개년 자료를 사용하였다.

연구 지역을 선정하기 위하여 수문기상자료의 가용성을 검증하고, 검증된 결과를 바탕으로 기상관측지점을 중심으로 21곳의 연구 지역을 선정하였다. 연구 지역을 선정하기 위하여 다음과 같은 사항을 고려하였다. 첫째, 수문기상자료 관측지점의 지리 및 지형특성이 증발산에 미치는 영향을 판단하기 위하여 전체 면적에 대한 주거지 면적비를 이용하여 도시화율을 구분하였다. 둘째, 해안과의 근접성이 증발산에 미치는 영향을 파악하기 위하여 관측지점의 해안 근접성을 고려하였다. 셋째, 관측지점 인근에 호소 등 수역조건과 연구 지역의 평균경사 등의 지형적 조건이 증발산에 미치는 영향을 고려하였다. 선정된 21개의 연구지역은 우리나라 한반도 전역에 걸쳐서 해안지역 및 내륙지역에 고르게 위치하고 있으며, 또한 연구지역의 지형특성이 평야, 산악, 호소 등에 고르게 분포하여 지리 및 지형조건이 증발산량 산정에 미치는 영향을 고려할 수 있다.

한강 등 4대강 유역조사(건교부, 한국수자원공사) 결과로 국가수자원관리 종합정보시스템에서 제공되고 있는 자료를 활용하여 수지표고자료와 토지피복도에 대한 분석을 실시하였고, 1975년도부터 2000년도까지 6개 년도에 대한 토지피복도를 분석하였다. 1975년도 및 1980년도의 경우 Landsat MSS를 이용한 자료이며, 1985년도, 1990년도 및 1995년도의 경우 Landsat TM, 그리고 2000년도의 경우에는 Landsat ETM를 이용하여 분석된 자료이다. 선정된 21개 연구 지역에 대해서 기상관측지점을 중심으로 반경 10km 범위의 314km²에 대해서 GIS분석을 실시하였다. 기상자료와 동일한 기간을 적용하는 것이 타당하나 1970년 및 2004년 자료의

경우 GIS분석을 위하여 토지피복현황자료 사용에 어려움이 있어 분석자료에서 제외하였다.

3. 분석 및 결과

3.1 분석방법

기준증발산식으로부터 산정된 증발산량과 pan 증발량과의 상관성을 분석하였고, 기준증발산 산정식들을 비교하기 위하여 월평균 일증발산량의 평균값 (MET)과 표준오차 (SD)를 계산하였다. 또한 평균오차 (ME), 제곱평균오차 (RMSE) 그리고 평균 절대오차 (MAE) 등을 적용하였다 (Fox, 1981).

Fox (1981)에 의하면 MAE는 극한 값에서 RMSE보다 덜 민감하며, 직관적으로 인위적인 제곱근을 적용하지 않았다는 면에서 더 선호될 수 있으나, RMSE가 일반적으로 수리 및 통계학적 분석에서 심층적으로 적용될 수 있다. 하지만 RMSE나 MAE는 둘 다 혹은 하나만으로도 만족스러운 결과를 얻을 수 있다. 여기서 RMSE나 MAE가 0에 가까울수록 유사한 결과를 의미한다. 또한 적용된 기준증발산식들을 비교하기 위하여 적용된 식들로부터 산정된 연별 기준증발산량들에 대해서 시계열적 비교를 실시하였다. ME의 경우 각각의 검토된 기준증발산식으로부터 산정된 증발산량 값이 FAO P-M 식으로부터 얻어진 기준증발산량과 비교하여 평균적으로 크게 산정되는지 혹은 작게 산정되는지 등의 경향을 판단할 수 있다. 예를 들어 ME값이 양(+)의 값을 가지는 경우 계산치의 과다추정에 해당하는 것을 의미하며, 음(-)의 값을 가지는 경우는 계산치의 과소추정에 해당하는 것을 의미한다.

3.2 pan 증발량과 기준증발량과의 상관관계

상관분석을 실시한 결과에 의하면 대부분의 식들이 pan 증발량과 높은 상관관계를 보이고 있다. FAO P-M식의 경우 다른 식들과 비교하여 상대적으로 대부분의 지역에서 pan 증발량과의 회귀식에서 경사가 1.0보다 작으나 1.0에 가까운 경향을 보이고 있다. 또한 9개 연구지역으로부터 FAO P-M 식을 적용하여 산정된 pan계수는 0.74에서 0.93사이의 범위를 보이고 있다. Penman 식의 경우 다른 증발식과 비교하여 상대적으로 큰 pan 계수 값을 보이고 있으며 일부지역(대전, 부산, 목포)에서는 pan 계수가 1.0을 초과하고 있는 것으로 나타났다. 또한 pan 증발량과의 회귀식에서 경사가 1.0보다 작으나 1.0에 가까운 경향을 보이고 있다. Makkink 식의 경우 pan 증발량과 높은 상관관계를 보이고 있으며, 부산지역을 제외하고 대부분의 지역에서 pan 증발량과의 회귀식에서 경사가 1.0보다 작은 경향을 보이고 있다. 반면에 Priestley-Taylor 식의 경우 모든 지역에서 pan 증발량과의 회귀식에서 경사가 1.0보다 큰 경향을 보이고 있다. 또한 Hargreaves 식의 경우 제주지역을 제외하고 모든 지역에서 pan 증발량과의 회귀식에서 경사가 1.0보다 큰 경향을 보이는 것으로 나타났다.

분석결과 Makkink 식이 가장 작은 연평균 일 증발산량을 보여주고 있다. Penman 식의 경우 부산지역에서는 모든 년에서 pan 증발량을 초과하고 있는 것으로 나타났으며, 수원지역을 제외하고 다른 지역의 일부 년에서도 pan 증발량을 초과하는 경향을 보이고 있다. 대부분의 지역에서 pan 증발량은 증발산 식으로부터 산정된 증발산량을 초과하고 있는 것으로 나타났다.

3.3 기준 증발산량 산정식 비교

8개년간의 월평균 일 기준증발산량(mm/day)의 평균값을 비교분석한 결과 속초를 비롯한 16개 지역(속초,

서울, 인천, 서산, 대전, 추풍령, 포항, 군산, 대구, 울산, 부산, 통영, 목포, 여수, 제주, 서귀포)에서 Penman 식이 가장 큰 값을 보였고, 수원을 비롯한 5개 지역(수원, 청주, 전주, 광주, 진주)에서 Hargreaves 식이 가장 큰 값을 보였다. FAO P-M 식의 경우 여수지역이 가장 큰 월평균 일 기준증발산량을 보이고 있고, 반면에 수원지역이 가장 작은 월평균 일 기준증발산량을 보였다.

8개년간의 월평균 일 기준증발산량(mm/day)의 최고값을 비교 분석한 결과 인천을 비롯한 13개 지역(속초, 인천, 청주, 대전, 포항, 대구, 울산, 광주, 부산, 목포, 여수, 제주, 서귀포)에서 조합법(combination approach)인 Penman 식이 최대 값을 보였으며, 서산을 비롯한 3개 지역(서산, 군산, 통영)에서 복사자료에 기초한 Priestley-Taylor 식이 최대값을 보였고, 서울을 비롯한 5개 지역(서울, 수원, 추풍령, 전주, 진주)에서 기온자료에 기초한 Hargreaves 식이 최대값을 보였다. FAO P-M 식의 경우 제주에서 최대 값을 보이고 있다. 8개년간의 월평균 일 기준증발산량(mm/day)의 최소값을 비교 분석한 결과 제주에서 Makkink 식이 최소 값을 보인 것을 제외하고 그 이외의 20개 모든 지역에서 Priestley-Taylor 식이 최소값을 보였다. FAO P-M 식의 경우 대전지역에서 최소 값을 보이고 있다.

ME값을 비교 검토한 결과 Penman 식의 경우 모든 지역에서 산정된 증발산량 값이 FAO P-M 식으로부터 산정된 증발산량과 비교하여 평균적으로 양(+)의 값을 보이고 있으며, Makkink 식의 경우 21개 지역 모두에서 음(-)의 값을 보이고 있다. Priestley-Taylor 식의 경우 10개 지역(인천, 수원, 서산, 청주, 대전, 군산, 전주, 광주, 통영, 진주)에서 양(+)의 값을 보이고 있다. Hargreaves 식의 경우 12개 지역(서울, 수원, 서산, 청주, 대전, 추풍령, 군산, 대구, 전주, 울산, 광주, 진주)에서 양(+)의 값을 보이고 있다.

21개 지역 대부분에서 Penman 식의 경우 대개 4월과 5월에서 FAO P-M 식과 가장 큰 양(+)의 차이를 보이고, 12월과 1월에서 가장 작은 양(+)의 차이를 보이고 있으며, 매년 주기적인 경향을 볼 수 있다. Makkink 식의 경우 FAO P-M 식과 비교하여 대개 음(-)의 차이를 보이며, 7, 8월에 최대 차이를 보이고 있다. Priestley-Taylor 식의 경우 FAO P-M 식과 여름철에는 가장 큰 양(+)의 차이를 겨울철에는 가장 큰 음(-)의 차이를 보이며 매년 주기적인 경향을 보이고 있다. Hargreaves 식의 경우 해안에 위치한 도시지역에서 여름철에 가장 큰 양(+)의 차이를 보이고 겨울철에 가장 큰 음(-)의 차이를 보였다. 또한 대구를 제외한 육지 지역에서는 대개 양(+)의 차이를 보이며, 주기적인 경향을 보이고 있다.

분석결과에 의하면 RMSE를 기준으로 하는 경우 전국 21개 연구지역 중에서 11개의 지역(속초, 인천, 포항, 군산, 대구, 울산, 부산, 통영, 목포, 제주, 서귀포)에서 그리고 MAE를 기준으로 하는 경우 여수를 추가하여 12개 지역에서 대기온도자료에 기초한 Hargreaves 식이 FAO P-M식과 가장 유사한 것으로 나타났는데, 이들 지역은 대구지역을 제외하고 해안지역에 위치하고 있다.

반면에 내륙에 위치한 8개 연구지역(서울, 수원, 청주, 대전, 추풍령, 전주, 광주, 진주)에서 복사량자료에 기초한 Priestley-Taylor 식이 FAO P-M 식과 유사한 것으로 나타났다. 서산지역의 경우 복사량자료에 기초한 Makkink 식이 가장 FAO P-M 식과 유사한 것으로 나타났으며, 에너지수지와 공기동력학적 방법에 근거한 Penman 식은 여수지역에서 RMSE 값을 기준으로 FAO P-M 식과 가장 유사한 것으로 나타났을 뿐 그 이외의 지역에서는 FAO P-M 식과 상이한 결과를 보이는 것으로 판단된다.

도시화율이 20% 이상인 대도시(서울, 인천, 수원, 대전, 대구, 광주, 제주)의 경우, 서울은 Priestley-Taylor 식, 인천은 Hargreaves 식, 수원은 Makkink 식(MAE기준)과 Priestley-Taylor 식(RMSE기준), 대전은 Priestley-Taylor 식, 대구는 Hargreaves 식, 광주는 Priestley-Taylor 식, 제주는 Hargreaves 식이 가장 FAO P-M 식과 유사한 것으로 나타나서 도시화율을 기준으로 하는 경우, Priestley-Taylor 식과 Hargreaves 식이 FAO P-M 식과 유사한 것으로 나타났다. 5 % 이하 경사면적이 20 % 이하인 지역 중 내륙지역에 위치한 추풍령의 경우 Priestley-Taylor 식이 그리고 해안지역에 위치한 통영과 여수의 경우 Hargreaves 식이 가장 FAO P-M 식과 유사한 것으로 나타났다. 5 % 이하 경사면적이 60 % 이상인 지역 중 내륙지역에 위

치한 서울의 경우 Priestley-Taylor 식이, 해안지역에 위치한 인천, 군산 그리고 제주의 경우 Hargreaves 식이 가장 FAO P-M 식과 유사한 것으로 나타났다. 저수지나 하천, 습지 등의 면적이 10 % 이상인 지역 중에서 내륙지역에 위치한 서울의 경우 Priestley-Taylor 식, 해안지역에 위치한 인천, 군산, 부산 그리고 목포의 경우 Hargreaves 식이 FAO P-M 식과 유사한 것으로 나타났다. 따라서 기준증발량 산정식은 연구지역의 도시화율보다는 해안 및 내륙의 위치에 더 영향을 받는 것으로 나타났고, 경사도 5% 이하의 면적이 차지하는 비율과도 거의 관계가 없는 것으로 나타났다.

4. 결론

본 연구에서는 과거 제안된 5가지의 기준증발산식으로부터 산정된 증발산량과 pan 증발량을 이용하여 상관분석을 실시하였고 pan 계수를 산정하였다. 또한 우리나라 21개 기상관측지점에서 측정된 일별 기상자료를 이용하여 과거 제안된 기준증발산식들을 비교하고 그 유사성을 알아보았다. 적용된 대표적인 기준증발산량 산정식은 Penman 식, FAO P-M 식, Makkink 식과 Priestley-Taylor 식 그리고 Hargreaves 식 등이다. 기준증발산량과 pan 증발량과의 상관분석을 실시한 결과에 의하면 대부분의 식들이 pan 증발량과 높은 상관관계를 보이고 있다. 또한 9개 연구지역으로부터 FAO P-M 식을 적용하여 산정된 pan계수는 0.74에서 0.93사이의 범위를 보이고 있다.

기준증발산식들을 비교한 결과에 의하면 전국 21개 연구지역 중에서 12개의 지역에서 대기온도자료에 기초한 Hargreaves 식이 FAO P-M 식과 유사한 것으로 나타났는데, 이들 지역은 대구지역을 제외하고 해안지역(속초, 인천, 포항, 군산, 울산, 부산, 통영, 목포, 여수, 제주, 서귀포)에 위치하고 있다. 반면에 내륙에 위치한 8개 연구지역(서울, 수원, 청주, 대전, 추풍령, 전주, 광주, 진주)에서 복사량자료에 기초한 Priestley-Taylor 식이 FAO P-M 식과 유사한 것으로 나타났다. 단지 서산지역만 복사량자료에 기초한 Makkink 식이 FAO P-M 식과 유사한 것으로 나타났다. 따라서 기준증발량 산정식은 연구지역의 도시화율보다는 해안 및 내륙의 위치에 더 영향을 받는 것으로 나타났고, 경사도 5% 이하의 면적이 차지하는 비율과도 거의 관계가 없는 것으로 나타났다.

감사의 글

본 연구는 2006년도 청운대학교 학술연구조성비 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다. 또한, 국토해양부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁 시행한 2003년도 건설기술혁신사업(03산학연C01-01)에 의한 도시홍수재해관리기술연구사업단으로부터 일부 연구비를 지원받아 수행한 연구성과입니다.

참고문헌

1. Fox, D.G. (1981). "Judging air quality model performance: A summary of the AMS workshop on dispersion model performance." Bull. Am. Meteorol. Soc., No. 62 pp. 599-609.