

# 기후변화를 고려한 IDF곡선 추정방안에 대한 연구

## The Estimation of IDF Curve Considering Climate Change

김병식\*, 경민수\*\*, 이건행\*\*\*, 김형수\*\*\*\*  
Byung Sik Kim, Min Soo Kyoung, Keon Haeng Lee, Hyung Soo Kim

### 요    지

IDF 곡선은 전통적으로 지점에서의 과거 관측 강우량 시계열 자료를 수집하여 작성하여 왔으며, 이때 과거 강우량 자료는 정상성을 지니고 있고 미래를 대변한다는 가정을 전제로 한다. 그러나 이미 많은 연구자들에 의해 기후변화가 전구적으로 발생하고 있으며 우리나라에서도 더 이상 기후변화의 사실여부는 이제 더 이상 논란거리가 아니다. 특히, 기후변화의 영향을 직접적으로 받을 수밖에 없는 수자원 분야에서는 1990년대부터 잦은 홍수와 가뭄의 반복으로 곤란을 겪고 있다. 특히, 우리나라는 협소한 국토면적과 과다한 인구로 토지나 수자원 등 국토자원 이용의 강도가 다른 나라에 비하여 현저하게 높기 때문에 지구온난화에 따른 기후변화와 같은 약간의 기후변동으로도 심각한 문제가 발생할 가능성이 내포되어 있다. 특히, 기후변화는 유역 규모의 강우 발생 패턴과 강우량의 증가 및 감소에 영향을 미치게 되며 이로 인해 강우 시계열 자료는 비정상성과 경향성을 지니게 된다. 그러나 지금까지는 IDF 곡선의 작성시 강우의 경향성을 무시해 왔다.

본 연구에서는 기후변화가 IDF 곡선에 미치는 영향을 분석하기 위하여 GCM 기후변화 시나리오를 이용하여 IDF 곡선을 작성하였다. 이를 위하여 먼저, YONU CGCM의 제한실험과 점증실험을 실시하여 전구적 규모의 기후변화 시나리오를 작성하였으며, 통계학적 축소기법과 추계학적 일기발생기법을 이용하여 대상지점의 일 수분기상 시계열을 모의하였다. 그리고 BLRP(Bartlett Lewis Rectangular Pulse) 모형과 분해(koutsoyiannis, 2000) 기법을 이용하여 모의된 일 강우 자료를 시자료로 분해하였으며 이를 이용하여 IDF 곡선을 작성하였다. 그 결과, 기후변화 시 지속기간별 재현기간별 강우량이 현재에 크게 비해 증가됨을 확인할 수 있었다.

핵심용어 : 기후변화, 시나리오, 축소기법, BLRP 모형, 분해 기법, IDF 곡선, 홍수

### 1. 서 론

산업혁명이후 화석연료를 이용하는 인간의 활동이 증가함에 따라 대기중에 존재하는 온실가스의 양을 증가시키기에 이르렀다. 이로 인하여 지구의 에너지 균형이 깨지게 되고 이는 곧 전 지구적인 기후변화를 가져왔다. 기후변동에 관한 정부간 패널(IPCC)에서 2001년 발간한 3차보고서에 의하면 향후 100년동안 평균기온이 최고 5.8°C 증가할 수 있고 이로 인해 해수면도 9~88cm 가량 증가할 수 있다고 하고 있다. 이러한 기후변화로 인한 기온의 변화는 강수의 양과 양상에도 영향을 미치고 있다. 실제로 최근 발생하고 있는 침중호우 등의 원인을 기후변화에서 찾고자 하는 다양한 연구가 진행 중이다. 얼마전까지만 해도 수자원 분야에서 기후변화에 대한 연구는 대부분 수자원에 미치는 영향 평가에 초점이 맞춰진 이수측면에서 이루어져 왔으며, 기후변화 모형이나 축소기법 등에 대한 불확실성 분석에 대한 연구가 추가적으로 이루어지고 있었다. 그러나 최근들어 기후변화가 홍수에 미치는 영향을 분석하기 위한 연구가 영국과 캐나다를 중심으로 활발하게 진행되고 있으며, 이러한 연구의 대부분은 기후변화모형의 결과를 축소기법을 이용하여 시·공간적으로 축소하여

\* 정회원 · 한국건설기술연구원 선임연구원 · E-mail : hydrokbs@kict.re.kr

\*\* 정회원 · 인하대학교 토목공학과 박사과정 · E-mail : gigatg@inha.ac.kr

\*\*\* 정회원 · 인하대학교 토목공학과 박사과정 · E-mail : ggun@inha.ac.kr

\*\*\*\* 정회원 · 인하대학교 토목공학과 교수 · E-mail : hungkim@inha.ac.kr

모의된 일 강우 시계열을 강우-유출 모형에 적용시켜 홍수량을 분석하는데 초점이 맞추어져 있다. 이때 일단 위 시계열 자료를 장기유출 모형과 함께 사용하게 됨에 따라 첨두치가 과소 추정되는 문제점이 발생하게 된다. 또한 미국과 같이 큰 유역규모를 가지는 나라에서 개발된 모형을 우리나라에 적용할 경우 이러한 문제는 더욱 심각해지게 되며, 이러한 문제점을 해결하기 위한 연구가 일부 진행 중이다. 장기유출모형이 가지는 문제를 해결하는 다른 방법은 일 단위 강우자료를 시자료로 분해하여 이벤트 모형에 적용하는 것이다. 따라서 본 연구에서는 기후변화가 고려된 강우를 이벤트 모형에 적용하여 유출분석을 하기 전단계로써 2CO<sub>2</sub> 상황에서 통계학적 축소기법과 추계학적 일기발생기법을 이용하여 모의된 일 강우 시계열 자료를 대상으로 BLRP(Bartlett Lewis Rectangular Pulse) 모형과 분해 (koutsoyiannis, 2000) 기법을 적용하여 시자료로 분해하고자 한다. 또한 모의된 시자료를 이용하여 I-D-F 곡선을 작성한 후 이를 1CO<sub>2</sub> 상황에서의 I-D-F 곡선과 비교함으로써 기후변화가 강우의 강도, 지속기간, 빈도에 미치는 영향을 분석하고자 한다.

## 2. 이론적 배경

### 2.1 축소기법

기후변화가 고려된 강우량이나 유출량 예측에 GCM을 사용하는데 가장 큰 문제점은 GCM의 시공간적 해상도이다. GCM의 공간적 해상도는 5° 내외로 거리로 환산하면 500km 이상이 된다. 따라서 우리나라와 같이 국토 면적이 작은 반도나 섬은 바다로 취급되기도 한다. 또한 GCM의 대부분의 모의 자료는 월평균치이지만, 기후의 변화에 따른 영향을 수자원측면에서 평가하기 위해서는 일자료 또는 시자료가 필요한 경우가 대부분이다. 결과적으로 이러한 시공간적 비현실성을 해결하기 위해서 축소기법을 사용해야 한다. 이러한 축소기법은 크게 지역기후모형(RCM)을 이용하는 경우와 통계를 이용하는 경우가 있으며, 통계를 이용하는 방법은 다시 전이함수를 이용하는 방법, 일기발생기를 이용하는 방법, 일기형태를 이용하는 방법이 있다.

본 연구에서는 전이함수(Transfer function) 기법을 이용하여 GCM에 의해 모의된 강수, 기온 그리고 증발량과 같은 전구 규모의 수문기상변수를 유역 규모의 수문 기상변수로 축소하였으며, 이를 이용하여 유역규모의 기후변화시나리오를 작성하였다. 이때, 통계학적 축소기법에 의해 모의된 결과를 강수-유출모형의 입력자료로써 이용하는데 있어 문제점은 경계조건인 GCM에 의해 모의된 강수량, 온도 등과 같은 수문기상자료가 실제 관측치에 비해 평활(smoothing)된 자료의 특성을 가진다는 점이다(Wilks, 1992 ; Semenv 등, 1997 ; Dubrovsky, 2001). 그러므로 축소된 모의자료를 강수-유출모형의 입력자료로 활용하기 위해서는 지역적 특성을 반영하고 평활 되지 않은 수문시계열 자료로의 재 변환이 필요하며, 본 연구에서는 일기발생(Wether Generator) 기법을 이용하여 기후변화가 반영된 일 수문기상자료를 모의 발생하였다.

#### - 전이함수 기법

대규모의 순환패턴과 대기 중의 수분과 관련된 변수들은 지역규모의 기후 매개변수들과 선형적인 관계가 있기 때문에 전이함수 기법을 이용하여 공간적으로 축소할 수 있으며, 부가적으로 전이함수에 정규분포난수를 발생시키는 추계학적 요소를 포함함으로써 축소기법으로 얻어진 일별 시계열 자료가 관측치를 잘 재현하면서도 불확실성을 고려할 수 있도록 한다. 전이함수 기법은 크게 일 강수사상, 일 강우량, 일최고 및 최저온도의 모의로 나눌 수 있다. 우선 일 강수사상의 발생 확률은 다음의 회귀식을 이용하여 매개변수를 추정하게 된다.

$$O_i = a_0 + a_{O_{i-1}} O_{i-1} + a_{SH} SH_i + a_{mslp} mslp_i + a_H H_i$$

여기서  $O_i$  = i 날에 있어 습윤일의 확률

$a$  = 최소제곱법으로부터 추정된 매개변수

$SH_i$  = 비습도 ( $gm/kg$ )

$mslp_i$  = 평균해면기압 ( $hpa$ )

위에서 일 강수가 발생된다고 했을 경우 세 개의 매개변수와 지역 강수량간의 간의 관계를 다음의 회귀식을 이용하여 추정한다.

$$R_i = \exp(\beta_0 + \beta_{SH} SH_i + \beta_{mslp} mslp_i + \beta_H H_i + \zeta_i)$$

여기서  $R_i$  = 강수량

$\beta_H$ ,  $\beta_{SH}$ ,  $\beta_{mslp}$ ,  $\beta_H$  = 최소제곱법으로부터 추정된 매개변수

SH = 비습도 ( $gm/kg$ )

$mslp_i$  = 평균해면기압

H = 500 hpa 고도자료 (m)

$$E(R_i) = \Phi C_R \text{EXP}(\beta_0 + \beta_{SH} SH_i + \beta_{mslp} mslp_i + \beta_H H_i)$$

여기서  $\Phi$  = 무작위적 규모인자(random scaling factor)

$C_R$  = 경험적 보정비(empirically derived correction ratio)

마지막으로 특정일  $i$ 에 대한 일 최고 및 최저온도는  $SH$ ,  $mslp$  그리고 H의 3가지 GCM 격자별 기상변수와  $i-1$ 의 최고 및 최저온도를 독립변수로 하여 축소가 된다. 일 온도의 시계열은 식 (3-17)과 (3-18) 같은 회귀식에 의하여 모형화 될 수 있다.

$$TMAX_i = \delta_0 + \delta_{TMAX_{i-1}} TMAX_{i-1} + \delta_{SH} SH_i + \delta_{mslp} mslp_i + \delta_H H_i + \zeta_i$$

$$TMIN_i = \gamma_0 + \gamma_{TMIN_{i-1}} TMIN_{i-1} + \gamma_{SH} SH_i + \gamma_{mslp} mslp_i + \gamma_H H_i + \zeta_i$$

여기서  $\delta, \gamma$  = 최소제곱법으로부터 추정된 매개변수

$\zeta_i$  = 정규분포의 난수

### - 일기발생기

WGEN 모형은 크게 나누어 강수사상 모형, 강수량 모형, 온도 및 태양복사량 모형으로 구성하였다. 강수사상 모형은 1차 마코브 체인모형에 의해 강수사상을 모의 발생하고, 강수량 모형은 강수사상의 발생여부에 따라 습윤일에 대하여 감마분포형을 이용하였다. 온도 및 태양복사량 예보 모형은 최고 및 최저온도와 일별 태양복사량을 모의 발생하는 모형으로써 Richardson(1981)이 제안한 잔차계열과 상관계수를 이용하여 구성하였다. 각각의 모형에 대한 내용은 김병식(2005)에 자세히 설명되어 있다.

## 2.2 BLRP(Bartlett Lewis Rectangular Pulse) 모형

분해기법(Disaggregation)은 일 단위 자료를 시 단위자료로 변환하는데 가장 널리 사용되고 있는 방법이며, 이 방법은 월 단위로 제공되는 GCM 자료를 월 단위 보다 작은 시간적 단위로 분해하는데도 사용할 수 있다. 또한 이러한 분해기법은 대부분 현재의 시계열 자료의 통계적 특성을 이용하도록 되어 있다. 본 연구에서는 현재 가장 널리 사용되고 있는 BLRP모형을 이용하여 축소기법을 통해서 축소된  $2CO_2$  에서의 일 강우 시계열 자료를 시간단위로 분해하였다. 다음 그림은 BLRPM의 기본 개념을 보여준다.

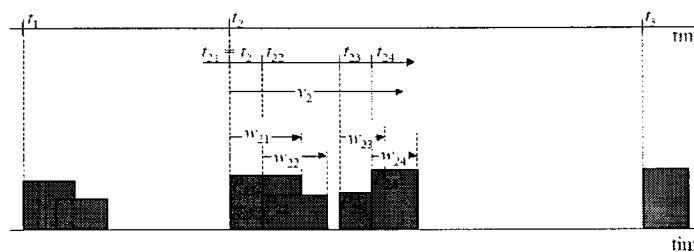


그림 1. Synopsis of Bartlett Lewis Rectangular Pulse Model

BLRPM은 기본적으로  $\lambda$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ,  $\pi$ ,  $P_{ij}$ 와 같이 5개의 값을 가지고 강우를 발생시킨다. 우선  $\lambda$ 는 시간  $t_i$ 에서 강우가 발생하는 비율을 의미하며,  $\beta$ 는 하나의 강우의 집합(cluster)에서 단위(cell) 강우  $t_{ij}$ 가 발생할 비율을 의미한다.  $\gamma$ 는 각 집합에서 강우의 지속기간  $v_i$ 를 나타내며 지수

분포를 가지는 매개변수이다. 매개변수  $\eta$ 는 각각의 단위 강우의 지속기간인  $w_{ij}$ 와 관련이 있으며, 역시 지수분포를 따른다. 마지막으로  $P_{ij}$ 는 각각의 단위 강우의 강우강도를 나타내고 강우에 따른 적합한 분포형을 가지게 된다.

### 3. 적용 및 결과

#### 3.1 Down scaling 결과

전이함수(Transfer function)기법을 이용하여 용담댐 유역의 기후변화 시나리오를 작성하였으며 이를 통해 YONU GCM에 의해 모의된 강수량, 증발량, 온도 등의 수문기상자료들을 유역규모로 축소하였다. 다음 그림은 전구적 기후변화모의 결과를 유역규모로 축소한 연구내용 중 일부인 용담댐 유역의 축소한 결과를 보여준다.

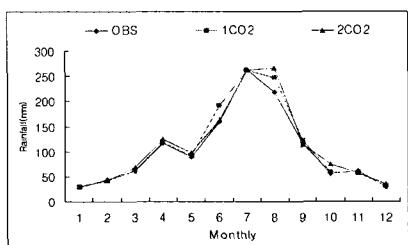


그림 2. 월 평균 강수량

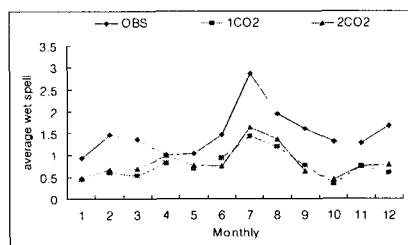


그림 3. 월 평균 습윤 지속기간

#### 3.2 BLRP모형의 매개변수 추정

BLRP모형의 매개변수를 추정하기 위하여 우선, 강릉지점을 대상으로 1h단위의 관측값을 가지고 24h 자료, 48h 자료를 생성한 후, 생성된 1h, 24h, 48h 시간자료에 대한 자기공분산, 평균, 건조일의 비율, 분산을 각각 산정하였다. 또한 매개변수 최적화 기법인 Pattern search를 이용하여 BLRP모형의 매개변수를 추정하고 추정된 매개변수를 이용하여 모의값에 해당하는 자기공분산, 평균, 건조일의 비율, 분산을 산정하여 관측치와 비교하였으며, 목적함수로는 상대제곱근 오차를 사용하였다.

BLRP모형의 경우 월별로 매개변수를 추정하게 된다. 그러나 보유하고 있는 모든 자료를 이용하여 매개변수를 추정할 경우, 매개변수 추정이 불가능하다. 이는 매년 강우의 특성이 다르기 때문에 모든 강우의 특성을 반영하는 매개변수들을 추정하기가 현실적으로 불가능하기 때문이다. 따라서 각 월에 해당하는 매개변수를 1년 단위로 추정하여 적절한 매개변수를 제시하지 못하는 경우는 제외하고 적합한 매개변수를 제시하는 년도의 1h단위 시계열 값을 하나의 시계열로 합성한 후 다시 매개변수를 추정하였다. 다음의 표는 강릉지점8월 강우 자료를 대상으로 제시된 BLRP모형의 매개변수를 보여준다.

표 1. BLRP모형의 8월달에 해당하는 매개변수

	$\lambda$	$\kappa = \beta/\eta$	$\phi = \gamma/\eta$	$\alpha$	$v$	$\mu_x$	$\sigma_x$	best fit
1990년	0.21343	2.4781	0.082488	7.7571	1.3505	3.3347	3.3347	1.8125
1991년	0.66263	3.8304	0.099546	8.7656	0.059203	48.858	48.858	1.8162
1992년	1.271	4.9998	0.088679	9.9998	0.07425	23.559	23.559	1.457
1993년	0.82278	3.1453	0.099546	9.999	0.056273	82.834	82.834	1.9374
1994년	4.9996	0.16165	0.03073	7.7571	0.32314	3.3347	3.3347	3.0099
1995년	0.45242	0.27713	0.099178	9.9134	1.0674	53.433	53.433	0.5873
1996년	0.43042	0.012443	0.099161	3.2613	1.0118	32.098	32.098	0.4295
1997년	0.74273	0.15286	0.021209	7.7571	1.5365	3.3347	3.3347	2.7465
1998년	0.86966	2.7679	0.099546	8.2188	0.059203	44.608	44.608	1.4598
1999년	0.34499	0.17166	0.099178	9.9554	1.919	74.668	74.668	0.5211
2000년	1.7212	0.07669	0.019255	7.7571	1.5485	3.3347	3.3347	2.9225
2001년	0.99468	0.11478	0.099334	9.9914	0.38173	28.225	28.225	2.4
대표매개변수	0.31374	0.24783	0.09918	9.3362	1.4815	57.59	57.59	0.49

1990년부터 2001년 자료를 대상으로 최적화 기법을 이용하여 매개변수를 산정하였으며, 표에서 best fit 값은 최종적으로 계산된 RMSE를 보여준다. 1995, 1996, 1999년 사상을 제외하고는 통계값의 모의치와 관측치의 차이가 매우 크게 산정되었다. 따라서 1995, 1996, 1999년 사상을 하나의 사상으로 묶어서 매개변수를 추정하였으며, 그 결과를 강릉지점의 8월 1h자료의 대표 매개변수로 선정하였다. 다음 그림은 제시된 매개변수를 (Koutsoyiannis, 2000)에서 제안한 모형에 적용하여 추정한 강우자료와 관측강우의 통계적 특징을 보여준다.

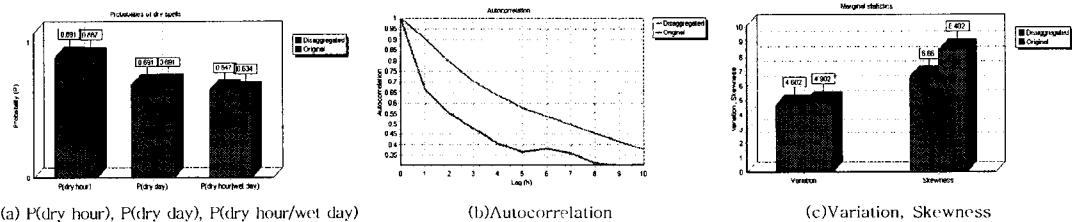


그림 4. 모의값과 관측값의 통계특성 비교

### 3.3 IDF 곡선

앞 절에서 제시된 매개변수를 이용하여  $2CO_2$  상황의 강릉 지점 8월의 일 강우를 시자료로 분해하였다. 이 결과를 이용하여 IDF 곡선을 작성하여  $1CO_2$  상황에서 계산한 IDF곡선과 비교하였다. 비교결과 지속기간이 1시간, 2시간인 강우의 경우  $1CO_2$ 에서의 강우강도가  $2CO_2$ 에서의 강우강도 보다 크게 분석이 되었다. 그러나 지속기간이 길어질수록  $2CO_2$ 에서의 강우강도는 증가함을 알 수 있었다.

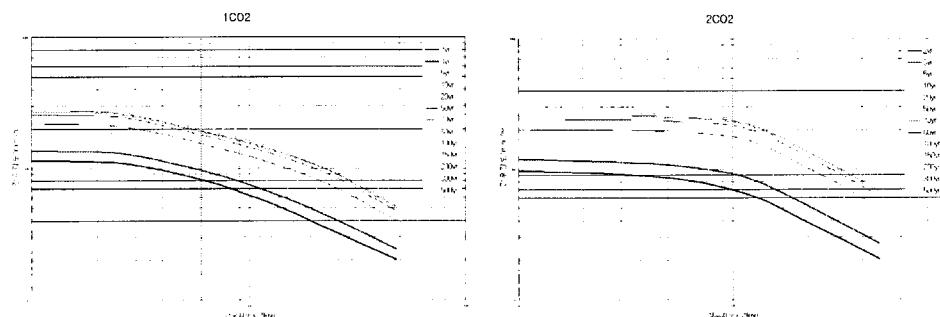


그림 4. 모의값과 관측값의 통계특성 비교

#### 4. 결 론

본 연구에서는 전이함수(Transfer function)기법을 이용하여 YONU GCM의 결과를 유역규모로 축소하고 일 단위 시계열 강우자료를 모의하였다. 모의된 일 단위 시계열 강우자료를 BLRP모형을 이용하여 시 단위로 분해한 후, 빈도분석을 통하여 IDF 곡선을 산정하였다. 산정결과 기후변화시 지속기간이 1h, 2h 인 강우강도는 감소하는 것으로 분석되었다. 그러나 지속기간이 24h, 48h인 경우, 강우강도가 매우 커짐을 확인할 수 있었다. 이는 기후변화가 24h, 48h 의 지속시간을 가지는 강우의 강우강도에 상당한 영향을 주는 것으로 보여진다.

#### 감 사 의 글

본 연구는 건설교통부 한국건설교통기술평가원의 이상기후대비시설기준강화 연구단에 의해 수행되는 2005 건설기술기반구축사업(05-기반구축-D03-01)에 의해 지원되었습니다.

#### 참 고 문 헌

1. 김병식(2005). 기후변화에 따른 유역의 수문요소 및 수자원영향 평가 , 박사학위논문, 인하대학교
2. Dubrovsky, M. (2001). "Interdiurnal And Interannual Variability in Stochastic Daily Weather Generator.: Modelling and the Role in Agricultural And Hydrologic Studies.", 8th international Meeting on the Statistical.
3. Koutsoyiannis, D.(2000). A generalized mathematical framework for stochastic simulation and forecast of hydrologic time series, Water Resources Research, Vol. 36(6), pp. 1519-1534
- 4 Richardson, C.W. (1981). "Stochastic Simulation of Daily Precipitation, Temperature and Solar radiation.", Water Resources Research., Vol. 17, pp. 182-190.
5. Semenov, M.A., Barrow, E.M. (1997). "Use of A Stochastic Weather Generation in the Development of Climate Change Scenarios.", Climate Research, Vol. 35, pp. 397-414.
6. Wilks, D.S. (1992). "Adaptive Stochastic Weather Generation Algorithms Climate Studies.", Climate Change., Vol. 22, pp. 67-84.