

지구온난화에 따른 한반도 홍수 및 가뭄의 발생빈도 예측

A Prediction of Flood and Drought Occurrence Frequency in the Korean Peninsular due to Global Warming

윤용남* · ○유철상** · 이재수*** · 안재현****

1. 서론

본 연구에서는 지구온난화의 결과로 유발되는 연 평균 또는 월 평균 강수량의 변화(즉, GCM 결과에 근거해 추정된 변화)를 이용하여 월별 또는 연중 일 강수량의 초과확률의 변화에 대해서 고찰해 보고자 한다. 이를 위해 본 연구에서는 금강유역을 대상유역으로 선정하여 유역 일 강수의 특성을 정량화 해보고, 월/년 강수량의 변화에 따른 일 강수량의 초과확률 산정을 위한 방법에 대해서 살펴보았으며, 이렇게 얻은 결과를 기존의 GCM 관련 연구결과에 적용하여 실제 일 강수의 초과확률이 어떻게 변할 수 있는지에 대해 분석해 보았다.

2. 금강유역 일 강수량 자료의 통계분석

본 연구는 대청댐이 있는 금강유역을 대상으로 하였으며, 금강유역 내에서 30년 이상 일 강수 기록이 있는 17개 관측지점(정양, 부강, 청양, 정산, 공주, 옥천, 청산, 모서, 홍산, 강경, 연산, 추풍령, 용담, 무주, 진안, 안성장, 장수)을 선정하여 분석에 이용하였다.

2.1 연 강수량과 무강수일수 및 임의깊이 이상 강수일수와의 상관분석

연 강수량이 큰 해에 상대적으로 큰 일 강수의 빈도가 크게 나타나는 것은 자명한 현상이다. 그러나 연 강수량이 과연 어느 정도의 일 강수량 깊이의 빈도와 밀접한 관계를 가질 것이냐는 그렇게 단순한 문제가 아니다. 이는 먼저 기후학적 특성을 반영하는 결과일 것이고 기후학적으로 동질인 지역 내에서도 지형학적 특성을 반영하게 될 것이기 때문이다. 본 연구에서는 금강유역의 17개 지점 일 강수자료를 이용하여 연 강수량과 일정깊이 이상의 일 강수 빈도와의 상관을 그림 1과 같이 유도해 보았는데, 금강유역의 연 강수량과 임의깊이 이상의 강수일수 사이에 어떤 뚜렷한 관계가 있음을 발견할 수 있다. 즉, 연 강수량은 대략 10mm 이상의 강수일수와 40mm 내지 50mm 이하의 강수일수에 큰 상관을 가지는 것으로 나타나고 있다. 이때의 상관계수는 대략 0.8~0.9 정도의 값을 가지는 것으로 나타나고 있으며 연 강수량과 무강수일수 또는 60mm 이상의 강수일수에 대한 상관계수는 상대적으로 작은 값을 보임으로서 연 강수량과의 정량적인 관계설정에는 적절하지 않은 것으로 판단된다. 이러한 결과는 금강유역 강수의 특성으로서 다른 유역의 특성으로 연장되지는 않으나 다른 유역에서도 유사한 상관을 발견할 수 있으리라 본다.

* 고려대학교 토목환경공학과 교수

** 고려대학교 환경공학과 조교수

*** 전주대학교 토목환경공학과 조교수

**** 고려대학교 대학원 토목환경공학과 박사과정

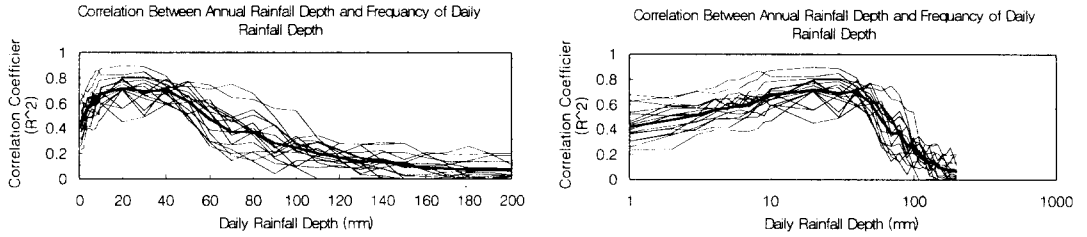


그림 1. 금강유역 연 강수량과 임의 깊이 이상 일 강수일수와의 상관 분석

2.2 월/년별 무강수일수

금강유역이 위치한 한반도의 경우 강수의 계절성이 뚜렷하여 연 강수량뿐만 아니라 월 강수량의 변화도 그 중요성이 크다고 볼 수 있다. 특히 지구온난화의 영향으로 한반도의 경우 연평균 강수량이 대략 10% 정도 증감(GCM에 따라 차이를 보임)하는 것으로 알려지고 있으나(한국과학기술연구원, 1993a, 1993b, 1994, 1995) 이러한 증가는 연중 균등한 증가로 나타나는 것이 아니라 월별 상이한 증감으로 나타나고 있어 그에 대한 분석이 필요한 실정이다.

금강유역의 연 강수량의 경우 10mm나 50mm와 같이 임의깊이 이상의 강수일수와 밀접한 관계가 있는 것으로 나타나고 있으며(그림 1) 이러한 정보는 다음 장에서 논하게 될 연/월 강수량의 변화에 따른 임의 깊이 이상 강우의 발생확률의 변화를 살펴보는데 중요한 지침이 된다. 아울러 무강수일수에 대한 정보는 강수일수의 모의에 필요한 정보로서 임의 깊이 이상 강우의 발생확률을 계산하는데 필요한 정보이며 표 1에 금강유역 17개 지점에서의 월별 및 년 평균 무강수일수를 나타내었다.

표 1. 금강유역 17개 지점의 월별 및 연평균 무강수일수

Location	Month												Annual
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Changsoo	25.8	25.5	24.3	24.3	24.2	22.7	18.3	20.3	24.1	26.4	24.8	25.0	278.7
Chungsan	26.9	27.2	25.4	26.0	24.6	23.8	19.7	21.3	25.4	27.0	26.3	26.9	293.6
Pukang	28.0	27.7	26.1	25.0	24.4	23.8	19.1	21.1	24.7	26.5	25.3	27.9	292.7
Hongsan	26.3	26.2	25.8	25.3	25.2	24.5	20.1	21.9	24.9	26.4	23.5	24.3	287.5
Chungan	26.6	26.6	25.8	25.8	25.3	24.3	19.4	21.2	24.9	26.5	25.1	25.9	290.3
Chungyang	25.8	26.3	25.5	25.2	24.3	23.7	18.4	20.4	24.2	26.7	24.2	25.0	282.7
Jungsan	27.3	27.7	26.5	26.2	25.8	24.4	20.4	22.1	25.6	27.0	26.3	26.9	299.2
Gongjoo	25.7	25.9	25.0	24.1	23.7	22.9	17.9	19.1	23.1	25.3	22.8	24.7	273.3
Okchun	24.8	24.7	23.6	23.6	23.1	22.0	17.4	19.1	23.3	25.7	23.2	24.4	267.9
Moseo	26.6	26.0	24.8	24.4	24.7	23.1	18.3	20.2	24.2	25.8	25.2	26.2	282.5
Kangyung	27.1	27.1	26.2	25.8	25.3	25.2	20.7	22.6	25.8	27.2	25.1	26.6	297.5
Yonsan	25.1	26.0	25.0	24.9	24.8	24.0	18.6	20.3	24.6	25.8	24.6	24.5	281.1
Choopoong-	25.7	25.9	25.0	24.1	23.7	22.9	17.9	19.1	23.1	25.3	22.8	24.7	273.3
Yongdam	25.4	25.4	24.1	24.1	23.9	22.4	18.4	19.4	23.7	25.3	23.6	25.3	274.2
Mooju	25.0	24.9	23.4	23.8	23.9	22.3	17.6	20.0	23.9	25.5	23.7	24.9	271.9
Jinan	23.7	23.6	22.6	23.0	23.0	21.8	16.4	18.6	21.8	23.5	21.9	23.7	256.5
Ansungiang	24.4	24.9	24.5	25.0	24.7	23.5	19.0	20.7	25.4	26.3	23.8	24.3	279.4
Mean	25.9	26.0	24.9	24.7	24.4	24.2	18.7	20.4	24.3	26.0	24.2	25.4	281.3

3. 연/월 강수량과 일 강수량 분포와 관련한 이론적 고찰

Todorovic과 Woolhiser(1975)는 10일, 20일, 30일의 지속기간의 일 강수량 강수의 발생은 이항분

포 또는 일차 마코프 과정을 이용하고 아울러 일 강수의 빈도분포는 지수분포를 따른다고 가정하여 통계적으로 분석한바 있다. 아울러 Huff(1967), Alexander(1981), Nguyen과 Rousselle(1981)의 경우는 호우기간 동안의 시 강우분포를 유사한 방법으로 분석한 바 있다. 이들의 연구는 주로 강우의 분포특성과 발생확률을 규명하는 데 있었으며 이것의 특성의 변화 가능성에는 주목하지 않았다. 본 연구에서는 이들이 사용한 이론적인 근거에 따라 연 강수량 또는 월 강수량의 변화에 따른 일 강수의 발생확률의 변화를 살펴보고, 4장에서 이를 기존의 GCM 관련 연구결과에 적용하여 실제 일 강수의 초과확률의 변화를 분석하였다.

4. 지구 온난화에 따른 연 강수량의 변화 및 일 강수량 분포 추정

4.1 기존의 연구 결과 (GCM 이용 결과) 및 이에 따른 일 강수의 분포 추정

대기중의 CO₂ 변화에 따른 한반도 강수량의 변화(오재호, 홍성길, 1995)에서는 3개의 GCM (CCC, UI 와 GFDL GCM) 모의 결과에 근거한 한반도의 연 강수량 변화를 CO₂의 배증에 따라 봄, 여름, 가을철에 10%, 13%, 24%의 증가를 겨울철에는 현재보다 약간의 감소(약 13mm/year)를 추정 한 바 있다. 사용된 방법은 혼합적인 방법으로 GCM결과와 과거 관측자료를 다중회귀 분석하여 얻은 것이다.

기후변화가 한반도에 미치는 영향과 지구환경 관련 대책 연구(한국과학기술연구원, 1994, 1995)에서는 5개의 GCM(CCC, UI, GISS, MRI 와 GFDL GCM) 모의 결과에 근거한 한반도의 연 강수량 변화를 추정하였으며 CO₂의 배증에 따라 연평균 약 -5%~25%의 증감을, 계절별로는 -30%~35%의 증감을 예측하고 있다. 이와 같은 결과는 각 GCM 모의 결과의 차이를 나타내는 것이며, 이는 각 GCM속의 역학적, 물리적 과정의 차이뿐만 아니라 전환함수를 산출하는 방법도 충분히 객관적이지 못하다는 점을 그 원인으로 생각할 수 있다. 따라서 각 GCM의 결과에는 상당한 불확실성이 내재되어 있다는데 주의할 필요가 있다. 하지만 현재까지 GCM이외에 기후변화를 예측할 수 있는 적절한 도구는 없는 실정이며 관련연구도 이러한 결과에 근거할 수밖에 없는 실정이다.

위의 두 연구결과를 월별로 요약하면, 물론 어떠한 GCM이나에 따라 그 결과가 상이하기는 하나 평균적으로는, 표 2와 같이 요약할 수 있다.

표 2. GCM에 근거한 1xCO₂와 2xCO₂상황에서의 남한내 월별 강수량의 변화

GCM	Month												Annual
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
GFDL-R30	1.1	1.1	1.0	1.1	1.0	0.9	1.0	1.2	1.7	1.2	1.2	1.3	1.13
CCC	0.7	0.6	0.9	1.0	1.0	1.2	1.2	1.0	1.5	1.4	0.7	0.7	1.04
GISS	1.0	1.1	1.1	1.2	1.4	0.7	0.9	1.2	1.2	1.0	0.9	1.2	1.06
UKMO	1.0	1.1	0.8	1.3	0.8	0.8	1.5	0.8	1.2	0.9	0.9	1.1	0.99
GFDL	1.0	0.9	1.1	0.9	1.2	0.8	1.1	1.0	0.9	0.8	1.0	1.0	0.94
Mean	0.96	0.96	0.98	1.1	1.08	0.88	1.14	1.04	1.3	1.06	0.94	1.06	1.03
(Min-Max)	(0.7-1.1)	(0.6-1.1)	(0.8-1.1)	(0.9-1.3)	(0.8-1.4)	(0.7-1.2)	(0.9-1.5)	(0.8-1.2)	(0.9-1.7)	(0.8-1.4)	(0.7-1.2)	(0.7-1.3)	(0.94-1.13)

4.2 금강유역의 일 강수 발생확률 및 지수분포 적용을 위한 매개변수추정

분포함수의 적용에 필요한 매개변수는 월별 또는 연 강수량의 특성을 반영하게 되는데 월별 평균 강수일수 및 연평균 강수일수, 월별 평균 강수량 및 연평균 강수량 등을 이용해 쉽게 추정할 수 있다. 금강유역 17개 지점에 대한 30개년 일 강우자료를 이용하여 추정한 월별 또는 연 강수발생확률(p) 및 일 강수의 분포를 지수분포로 가정하는 경우 필요한 매개변수 λ의 추정치 및 이들의 산

술평균은 그림 2와 같다. 그림 2에서 살펴볼 수 있는 것과 같이 강수발생확률의 공간적 변동폭보다는 강수 깊이의 공간적 변동폭이 훨씬 큼을 알 수 있다.

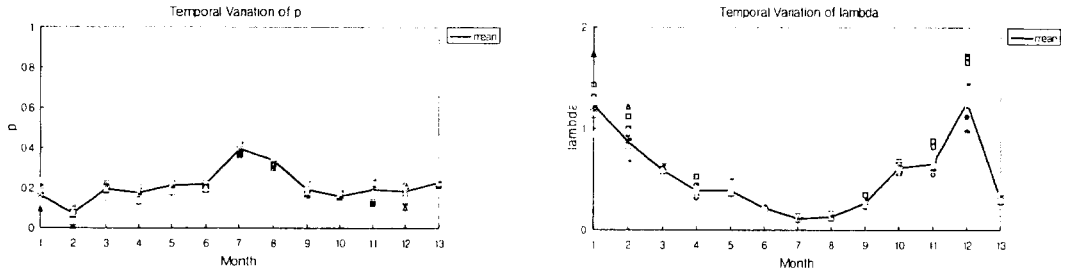


그림 2. 금강유역에 대한 매개변수 p 및 λ의 추정치(13월에 해당하는 값이 연 평균값이다)

4.3 월 강수량 및 연 강수량의 변화에 따른 매개변수의 변화

4.2절에 나타난 결과는 과거 30년의 평균에 대한 것으로서 총 강수량의 변화에 대한 각 매개변수의 변동을 나타내고 있지는 못하다. 따라서 지구환경의 변화로 인한 연/월 강수량의 변화, 아울러 이에 따른 일정깊이 이상의 일 강수 발생의 변화를 살펴보는 데는 총 강수깊이와 이에 따른 매개변수의 변화를 살펴보아야 한다.

먼저, 월 또는 연 강수량의 변화에 따른 강수확률의 변화는 과거 자료에 근거한 선형회귀식을 이용해 추정해 볼 수 있다. 연 강수량과 무강수일수와의 상관계수는 그림 7.3에서 살펴볼 수 있는 것과 같이 대략 0.3정도로 매우 작게 나타나고 있다. 하지만 전체적으로 총 강수량이 많을수록 무강수일수가 작아지는 경향을 발견할 수 있으므로 본 연구에서는 금강유역의 17개 지점에 대해 회귀분석을 각각 시행하고 이들을 평균하여 다음과 같은 회귀식을 추정하였다.

$$N_0 = 317.7 - 0.0323 P_{year} \quad (1)$$

여기서, N_0 는 무강수일수, P_{year} 는 연 강수량을 나타낸다. 아울러 강수확률, p는 다음과 같이 계산될 수 있다.

$$p = \frac{365 - N_0}{365} = \frac{47.3 + 0.0323 P_{year}}{365} \quad (2)$$

표 3. 월/년 강수량의 변화에 따른 무강수일수 및 강수확률의 변화

구분	Month.												Annual
	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	
강우변화	0.96	0.96	0.98	1.1	1.08	0.88	1.14	1.04	1.3	1.06	0.94	1.06	1.03
Mean (ratio)	(0.7-	(0.6-	(0.8-	(0.9-	(0.8-	(0.7-	(0.9-	(0.8-	(0.9-	(0.8-	(0.7-	(0.7-	(0.94-
(Min.- Max.)	1.1)	1.1)	1.1)	1.3)	1.4)	1.2)	1.5)	1.2)	1.7)	1.4)	1.2)	1.3)	1.13)
건조일수변화 Mean (days)	26.3	26.1	25.7	25.2	25.2	24.8	19.6	22.1	23.9	26.3	24.3	24.7	281
(Min.- Max.)	(26.8-26.0)	(26.5-25.9)	(26.1-25.4)	(25.6-24.9)	(25.7-24.6)	(25.2-24.1)	(20.6-18.2)	(22.8-21.5)	(25.2-22.6)	(26.9-25.6)	(25.1-23.5)	(25.2-24.3)	(284-277)
Changes in p Mean	0.152	0.068	0.171	0.160	0.187	0.173	0.368	0.287	0.203	0.152	0.190	0.203	0.193
(Min.- Max.)	(0.135-0.161)	(0.054-0.075)	(0.158-0.181)	(0.147-0.170)	(0.171-0.206)	(0.160-0.197)	(0.335-0.413)	(0.265-0.306)	(0.160-0.247)	(0.132-0.174)	(0.163-0.217)	(0.187-0.216)	(0.184-0.203)
Changes in λ Mean	1.299	0.901	0.610	0.352	0.358	0.252	0.099	0.128	0.204	0.585	0.699	1.190	0.31
(Min.- Max.)	(1.754-1.149)	(1.449-0.787)	(0.763-0.541)	(0.429-0.298)	(0.485-0.277)	(0.316-0.185)	(0.126-0.076)	(0.166-0.111)	(0.296-0.157)	(0.775-0.442)	(0.943-0.549)	(1.818-0.980)	(0.34-0.28)

배증 CO₂를 고려하는 경우에 연평균강수량은 앞에서도 언급한 바와 같이 GCM에 따라 약 -4~+13%(평균: +3%)의 변화가 예측되고 있고, 이 경우에 강수일수의 변화는 대략 +2~5일(평균: -1일)로 나타나며 이에 따른 강수확률은 약 0.184~0.203(평균: 0.193)으로 과거 30년의 평균강수확률(약 0.190)과 비교할 경우 그 차이가 크게 나타나지는 않는다. 또한, 배증 CO₂에 따른 월 강수량의 변화는 연 강수량의 경우보다 그 변화 폭이 더 큰 것으로 나타나며(약 -30~+30%), 이에 따른 무강수일수 및 강수확률도 그 변화 폭이 더 크게 나타나게 되는데 이를 정리하면 표 3과 같다.

4.4 월 강수량 및 연 강수량의 변화에 따른 갈수 및 홍수의 발생확률 변화

여기서는 갈수의 경우 강수가 발생하더라도 그 깊이가 10mm 이하일 확률과, 홍수의 경우는 50mm 이상일 확률과 관계 있다고 가정하고 월 강수량 및 연 강수량의 증감에 따른 변화를 살펴보았다. 본 연구에서 사용하고 있는 임계값이 반드시 갈수나 홍수를 완벽하게 대변하리라고 보지는 않으나 앞서의 강우자료 분석에서 살펴본 바와 같이 총 강수량의 변화와 큰 상관을 보이는 이 두 임계값을 고려함으로써 결과의 신뢰도를 높이고 아울러 이를 통해 가능한 경향의 변화를 판단해 보는데 이용하고자 하였다.

이를 위해 과거 30년 자료의 평균 및 배증 CO₂의 상황을 고려한 각 GCM 모의 결과의 평균치, 최저치 및 최고치에 대해 강수가 발생하는 경우 그 깊이가 임의의 깊이 이하일 확률을 월별 및 일년을 대상기간으로 하였을 경우로 나누어 산정하였고 그 중에서 일 강수깊이가 10mm와 50mm의 경우에 대한 것을 표 4와 5에 정리하였다. 표 4와 5에서 알 수 있듯이 확률은 건기보다는 우기의 경우에 크게 나타나고 있는데 이는 지구온난화에 따라 특히 홍수의 빈도변화가 가뭄의 빈도변화보다 크게 나타날 수 있음을 보여주는 것이라 할 수 있을 것이다.

표 4. 배증 CO₂의 상황에서 일 강수깊이가 10mm 이하일 확률의 변화

구분	Month												Annual
	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	
Based on Observed Data	0.984	0.963	0.676	0.402	0.272	0.143	0.001	0.004	0.229	0.716	0.429	0.819	0.167
Calculated Probability: Mean (Min.- Max.)	0.984 (0.965-0.993)	0.963 (0.957-0.969)	0.644 (0.524-0.824)	0.381 (0.263-0.536)	0.268 (0.131-0.493)	0.196 (0.082-0.323)	0.001 (0.000-0.002)	0.005 (0.003-0.016)	0.088 (0.024-0.294)	0.688 (0.424-0.890)	0.692 (0.426-0.917)	0.936 (0.823-0.996)	0.209 (0.154-0.273)

표 5. 배증 CO₂의 상황에서 일 강수깊이가 50mm 이상일 확률의 변화

구분	Month												Annual
	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	
Based on Observed Data	0.004	0.034	0.003	0.005	0.004	0.053	0.911	0.759	0.015	0.005	0.001	0.001	0.013
Calculated Probability: Mean (Min.- Max.)	0.004 (0.003-0.006)	0.032 (0.028-0.041)	0.003 (0.002-0.004)	0.005 (0.004-0.009)	0.004 (0.003-0.029)	0.024 (0.006-0.154)	0.954 (0.842-0.993)	0.732 (0.448-0.842)	0.114 (0.009-0.419)	0.004 (0.003-0.007)	0.002 (0.001-0.004)	0.001 (0.001-0.002)	0.013 (0.005-0.023)

5. 결론

본 연구에서는 5개의 주요 GCM모형에 의한 1CO₂와 2CO₂ 일때의 남한내 월별강수량의 변화를 이용하여 금강유역에 대한 가뭄 및 홍수의 발생빈도를 이론적으로 분석하여 보았다. 금강유역의 17

개 관측지점에 있어서의 연 강수량과 무강수일수 및 임의 깊이 이상 강수일수와의 상관분석에서는 뚜렷한 관계가 있음을 보여주고 있는데 연 강수량은 대략 10mm 이상의 강수일수와 40~50mm 이하의 강수일수에 큰 상관을 가지고 있는 것으로 나타나고 있다. 이때의 상관계수는 약 0.8~0.9 정도의 값을 가지는 것으로 나타나고 있으며 연 강수량과 무강수일수 또는 60mm 이상의 강수일수에 대한 상관계수는 상대적으로 작은 값을 보임으로서 연 강수량과의 정량적인 관계설정에는 적절하지 않은 것으로 판단된다.

또한, 본 연구에서는 과거의 월 및 연 평균 강수량 및 무강수일수를 이용하여 회귀분석을 통한 강수량과 무강수일수간의 관계식을 구하였고 이를 이용한 강수량의 변화에 따른 무강수일수의 변화 및 강수확률을 구하고 특정 일 강수깊이에 대한 발생확률을 구할 수 있는 방법을 제시하였다. 금강지역의 17개 지점에 대한 과거의 월 평균 강수량과 2CO₂일때의 5개의 GCM 모의 결과를 이용하여 월별로 강수가 특정깊이 이하일 확률이 어떻게 변하는 지를 구한 결과 CO₂가 현재상태보다 두 배로 되었을 때 우기에 해당되는 6~9월에 홍수의 빈도가 증가하는 것으로 나타나고 있다. 따라서 지구 온난화에 따라 홍수의 빈도변화가 가뭄의 빈도변화보다 크게 나타날 수 있음을 보여주고 있다.

참고문헌

- 오재호, 홍성길, 1995, 대기중 CO₂ 증가에 따른 한반도 강수량 변화, 한국수자원학회지, 제28권, 제 3호, pp. 143-157.
- 한국과학기술연구원, 1993a, 기후변화가 한반도에 미치는 영향에 관한 심포지움 : II. 해양, 수문학 분야, 기상청.
- 한국과학기술연구원, 1993b, 기후변화가 한반도에 미치는 영향에 관한 심포지움 : IV. 기후변화 예측시나리오, 기상청.
- 한국과학기술연구원, 1994, 기후변화가 한반도에 미치는 영향과 지구 환경관련 대책 연구 (I), 과학 기술처.
- 한국과학기술연구원, 1995, 기후변화가 한반도에 미치는 영향과 지구 환경관련 대책 연구(II), 과학 기술처.
- Alexander, K., 1981, Determination of Rainfall Duration Statistics for Rain-Out Model from Daily Records, Water Resources Research, Vol. 17, No. 3, pp. 521-528.
- Huff, F.A., 1967, Time Distribution of Rainfall in Heavy Storm, Water Resources Research, 3(4), pp1007-1019.
- Nguyen, V.T.V. and J. Rousselle, 1981, A Stochastic Model for the Time Distribution of Hourly Rainfall Depth, Water Resources Research, Vol. 17, No. 2, pp. 399-409.
- Todoroviv, P. and D.A. Woolhiser, 1975, A Stochastic Model of n-Day Precipitation, Journal of Applied Meteorology, Vol. 14, pp. 17-24.