

기후변화에 따른 설계강수량의 변화추정에 관한 연구

A study on the change estimation of the design rainfall according to the climate change

윤용남¹⁾ / 유철상²⁾ / 오세정³⁾ / 장수형⁴⁾
Yoon, Yong-Nam / Yoo, Chulsang / Oh, se-jeong / Jang, Su-Hyeng

요 지

본 연구에서는 년 최대치 계열을 이용한 빈도분석이 지구온난화의 영향을 반영하기 어렵다는 단점을 극복하기 위한 목적으로 혼합분포의 개념(유철상 등, 2002) 및 GCM 시나리오를 이용하여 향후 10년후에 설계강수량이 어떻게 변할 것인가 대해서 혼합감마분포에 대해서 살펴보았다. 이렇게 추정된 확률강수량의 변화폭(%)은 GUMBEL 년 최대치에 의한 확률강수량에 적용하였다. 본 연구의 결과를 정리하면 다음과 같다. (1) 혼합감마분포를 이용한 설계강수량 추정치는 GUMBEL 분포를 적용하여 년 최대치 자료를 분석한 결과 유사한 것으로 파악되었다. (2) 혼합감마분포의 매개변수와 우기 강수량간의 상관관계는 통계학적으로 유의한 것으로 파악되었다. (3) 2×CO₂ 조건에 대한 5개의 GCM 예측치를 적용한 결과 향후 10년후의 100년 빈도 설계강수량은 현재에 비해 GCM에 따라 천안(-0.011~0.021% 변동, 평균 0.005% 증가), 부여(-0.036~0.078% 변동, 평균 0.012% 증가), 보령((-0.041~0.089% 변동, 평균 0.014% 증가), 서산(-0.040~0.085% 변동, 평균 0.013% 증가)를 나타내는 것으로 파악되었다. 이러한 변화는 2×CO₂ 상황이 50-100년 사이에 도래한다는 일반적인 관측을 고려하면 아주 미미한 결과라 판단된다.

핵심용어 : 지구온난화, 혼합감마분포, GCM, 빈도분석

1. 서론

실제 설계강수량을 산정하는 것은 현재까지 강수가 가지는 특성이 앞으로 계속해서 유지된다는 가정에서 사용하게 되는 데, 기후변화의 영향으로 인해서 현재까지의 기록을 가지고 추정된 설계강수량이 10년 또는 100년이 지난후의 설계강수량과 같다는 보장이 없다. 아울러 미래의 설계강수량이 어떻게 변할 것인가에 대한 큰 의문이 남는다.

현재까지 기후변화에 따른 강수량의 변화를 추정할 수 있는 최선의 방법은 대기대순환모형(GCM)을 이용하는 것뿐이다. 따라서 본 연구에서는 실제 설계강수량을 산정시 GCM을 적용해서 향후 10년후의 설계강수량을 산정하였다.

2. 대상구역 및 자료특성

본 연구의 대상구역은 삼교천의 제 1지류인 무한천 유역(472km²)으로서, 현재 기상청 우량관측소(천안, 부여, 보령, 서산)의 우기(6~9월) 일 강수량(1973~2002년)를 선정하여 이용하였다.

천안, 부여, 보령, 서산 우기 일 강수량의 우기 30년 월 평균 별 강수량은 표 1과 같다. 30년 평균 월별 강수량의 크기는 지점별로 별 차이가 없는 것으로 나타났다.

표 1 우기(6-9월) 30년 월 평균 별 강수량

| | 6월 | 7월 | 8월 | 9월 | 30년 우기 평균강수량 |
|----|--------|--------|--------|--------|--------------|
| 천안 | 143.66 | 243.56 | 300.24 | 130.84 | 818.3 |
| 부여 | 162.03 | 282.47 | 276.33 | 133.18 | 857.0 |
| 보령 | 144.19 | 247.63 | 295.92 | 122.66 | 809.7 |
| 서산 | 132.74 | 240.23 | 285.22 | 138.68 | 796.9 |

* 정회원 · 고려대학교 토목환경공학과 교수 · E-mail : ynyoon@korea.ac.kr

** 정회원 · 고려대학교 토목환경공학과 교수 · E-mail : envchul@korea.ac.kr

*** 정회원 · 고려대학교 토목환경공학과 석사과정 · E-mail : waterkorea@korea.ac.kr

**** 정회원 · 고려대학교 토목환경공학과 박사수료 · E-mail : angel452@korea.ac.kr

3. 혼합감마분포

혼합분포란 무강수 기간과 강수기간을 동시에 고려하는 분포함수로서 이산분포(discrete distribution)와 연속분포(continuous distribution)의 혼합형태를 의미한다.(Kedem 등, 1990; Shimizu, 1993)

4. 기후변화 시나리오 적용

현재 2×CO₂ 조건만 있기 때문에 각 달(6, 7, 8, 9월)의 우기평균강수량으로 그 강수량에 GCM의 평균, 최소, 최대치에 따른 가중치로 년 강수량의 증가와 감소를 판단한 결과 지점 별(천안, 부여, 보령, 서산) 우량관측소의 30년(1973-2002) 우기평균강수량에 대해서 평균(1.08)적으로는 8%증가가 가능하고 최대(1.37) 37%증가에서 최소(0.83) 17%감소가 가능하다고 판단이 된다. 그 결과를 토대로 매개변수와 재현기간에 따른 확률강수량을 산정하였다.

표 2 GCM에 근거한 2×CO₂(지구온난화) 상황에서의 월별 강수량 변화율(한국과학기술원, 1995)

| GCM \ 월 | 6 | 7 | 8 | 9 | 우기평균 |
|----------|------|------|------|-----|------|
| GFDL-R30 | 0.9 | 1.0 | 1.2 | 1.7 | |
| CCC | 1.2 | 1.2 | 1.0 | 1.5 | |
| GISS | 0.7 | 0.9 | 1.2 | 1.2 | |
| UKMO | 0.8 | 1.5 | 0.8 | 1.2 | |
| GFDL | 0.8 | 1.1 | 1.0 | 0.9 | |
| 평균 | 0.88 | 1.14 | 1.04 | 1.3 | 1.08 |
| 최소 | 0.7 | 0.9 | 0.8 | 0.9 | 0.83 |
| 최대 | 1.2 | 1.5 | 1.2 | 1.7 | 1.37 |

4.1 우기 강수량과 매개변수 및 무강수확률의 적정 회귀식 추정 결과

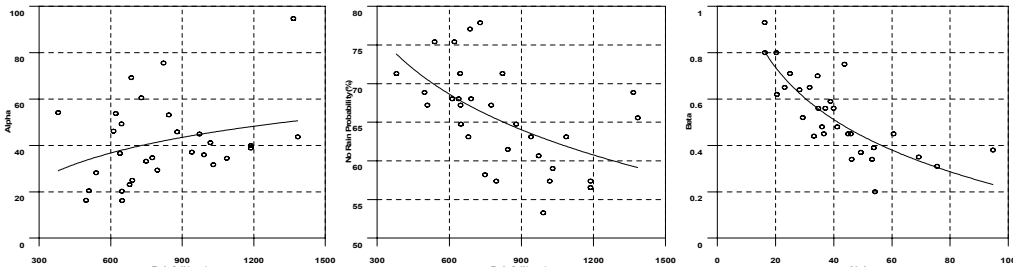


그림 1 우기강수량에 따른 매개변수 및 무강수확률의 변동성(천안)

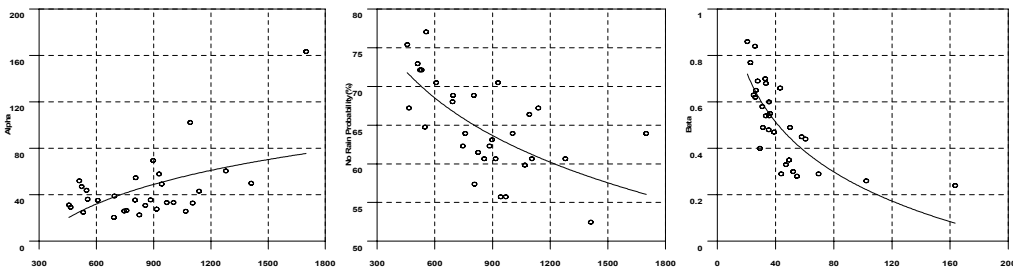


그림 2 우기강수량에 따른 매개변수 및 무강수확률의 변동성(부여)

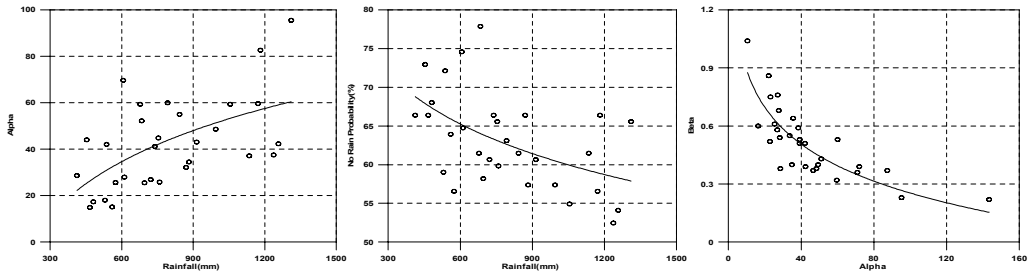


그림 3 우기강수량에 따른 매개변수 및 무강수확률의 변동성(보령)

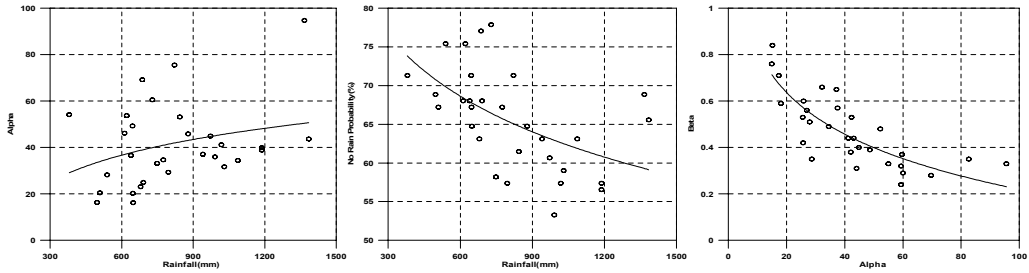


그림 4 우기강수량에 따른 매개변수 및 무강수확률의 변동성(서산)

그림 1-4는 우기 강수량 변화에 따른 매개변수 및 무강수확률의 변동특성을 나타낸 것이며, 각 그림 안의 검은색 선은 회귀곡선을 의미한다. 따라서 추정된 적정 회귀식은 표 3과 같다.

표 3 우기강수량과 매개변수 및 무강수확률의 적정 회귀식 추정결과

| | α | 무강수확률(P_0) | β / α |
|----|---|---|---|
| 천안 | $\alpha = 16.6813 \times \ln(X) - 70.0085$ | $P_0 = -11.3588 \times \ln(X) + 141.2934$ | $\beta = -0.3247 \times \ln(\alpha) + 1.7091$ |
| 부여 | $\alpha = 41.8620 \times \ln(X) - 235.7739$ | $P_0 = -11.9668 \times \ln(X) + 145.0592$ | $\beta = -0.3100 \times \ln(\alpha) + 1.6570$ |
| 보령 | $\alpha = 47.0353 \times \ln(X) + 267.3649$ | $P_0 = -8.4311 \times \ln(X) + 122.1013$ | $\beta = -0.2759 \times \ln(\alpha) + 1.5237$ |
| 서산 | $\alpha = 33.0619 \times \ln(X) - 176.8790$ | $P_0 = -9.4344 \times \ln(X) + 125.6103$ | $\beta = -0.2594 \times \ln(\alpha) + 1.4139$ |

4.2 현재 10년 후의 확률강수량 산정

표 3의 회귀식을 통해서 지구온난화에 따른 지구온난화에 따른 지구온난화(50년후 $2 \times CO_2$ 조건)에 따른 10년 뒤 확률강수량의 산정결과이다. 현재 10년 후의 확률강수량을 산정하는 특별한 방법이 없기 때문에 선형적인 방법을 쓸 수 밖에 없다. 즉, 50년 후는 결과의 1/5정도 변화, 100년 후는 결과의 1/10정도 변화한다고 가정하였다.

강수량 증가가 선형적이라고 가정해서 $2 \times CO_2$ 까지 50년(100%변화)이면 10년 뒤, 20%변화가 발생한다고 보고 강수량의 변화를 추정해서 α , β , P_0 를 계산하였다.

표 4 지구온난화(50년후 $2 \times CO_2$ 조건)에 따른 10년 뒤 확률강수량의 산정결과(천안) (단위 : mm)

| | GUM | 현재상황 | GCM(평균) | GCM(최소) | GCM(최대) |
|-----|-------|--------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 5 | 197.9 | 190.62 | 191.46(+0.004%) | 188.82(-0.009%) | 194.21(+0.019%) |
| 30 | 281.3 | 259.97 | 261.24(+0.005%) | 257.28(-0.010%) | 265.41(+0.021%) |
| 50 | 304.2 | 279.99 | 281.38(+0.005%) | 277.02(-0.011%) | 285.95(+0.021%) |
| 100 | 335.1 | 307.27 | 308.82(+0.005%) | 303.95(-0.011%) | 313.96(+0.021%) |
| 200 | 365.9 | 334.67 | 336.42(+0.005%) | 330.97(-0.011%) | 342.12(+0.022%) |

표 5 지구온난화(50년후 $2 \times CO_2$ 조건)에 따른 10년 뒤 확률강수량의 산정결과(부여) (단위 : mm)

| | GUM | 현재상황 | GCM(평균) | GCM(최소) | GCM(최대) |
|-----|-------|--------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 5 | 214.1 | 207.88 | 210.04(+0.010%) | 203.23(-0.032%) | 217.32(+0.069%) |
| 30 | 334.5 | 285.11 | 288.33(+0.011%) | 278.22(-0.035%) | 299.21(+0.075%) |
| 50 | 367.5 | 307.42 | 310.94(+0.011%) | 299.87(-0.036%) | 322.88(+0.077%) |
| 100 | 412.1 | 337.83 | 341.77(+0.012%) | 329.40(-0.036%) | 355.16(+0.078%) |
| 200 | 456.6 | 368.43 | 372.77(+0.012%) | 359.10(-0.037%) | 387.63(+0.079%) |

표 6 지구온난화(50년 후 2×CO₂조건)에 따른 10년 뒤 확률강수량의 산정결과(보령) (단위 : mm)

| | GUM | 현재상황 | GCM(평균) | GCM(최소) | GCM(최대) |
|-----|-------|--------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 5 | 208.4 | 210.81 | 213.48(+0.013%) | 205.39(-0.038%) | 221.93(+0.081%) |
| 30 | 321.7 | 289.08 | 292.98(+0.013%) | 281.16(-0.040%) | 305.41(+0.086%) |
| 50 | 352.9 | 311.68 | 315.95(+0.014%) | 303.04(-0.041%) | 329.53(+0.087%) |
| 100 | 394.9 | 342.52 | 347.27(+0.014%) | 332.88(-0.041%) | 362.46(+0.089%) |
| 200 | 436.7 | 373.51 | 378.78(+0.014%) | 362.88(-0.042%) | 395.56(+0.090%) |

표 7 지구온난화(50년 후 2×CO₂조건)에 따른 10년 뒤 확률강수량의 산정결과(서산) (단위 : mm)

| | GUM | 현재상황 | GCM(평균) | GCM(최소) | GCM(최대) |
|-----|-------|--------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 5 | 205.3 | 198.06 | 200.46(+0.012%) | 193.28(-0.036%) | 207.88(+0.076%) |
| 30 | 309.4 | 270.60 | 274.14(+0.013%) | 263.58(-0.039%) | 285.12(+0.082%) |
| 50 | 338.0 | 291.53 | 295.39(+0.013%) | 283.87(-0.039%) | 307.42(+0.083%) |
| 100 | 376.6 | 320.08 | 324.39(+0.013%) | 311.51(-0.040%) | 337.84(+0.085%) |
| 200 | 415.0 | 348.74 | 353.55(+0.014%) | 339.32(-0.040%) | 368.44(+0.086%) |

* () 안의 %는 현재상황(1.00) 대비 GCM 확률강수량의 증가(+)와 감소(-)를 나타낸다.

표 4-7의 결과로 볼 때 2×CO₂ 조건에 대한 5개의 GCM 예측치를 적용한 결과 100년 빈도 설계강수량은 현재에 비해 표 8과 같은 변화를 보였다.

표 8 향후 10년 후 100년 빈도에서의 지점 별 확률강수량의 증감

| | 평균 | 최소 | 최대 |
|----|---------|---------|---------|
| 천안 | +0.005% | -0.011% | +0.021% |
| 부여 | +0.012% | -0.036% | +0.078% |
| 보령 | +0.014% | -0.041% | +0.089% |
| 서산 | +0.013% | -0.040% | +0.085% |

따라서, 이러한 변화는 2×CO₂ 상황이 50-100년 사이에 도래한다는 일반적인 관측을 고려하면 아주 미미한 변화라고 판단된다. 위의 결과를 사용해서 설계에 사용하게 되면 다음과 같다.

4.3 설계에 사용되는 확률강수량 산정

Mixed Gamma 분포를 이용하여 확률강수량을 산정하는 것은 GUMBEL 분포와 마찬가지로 확률강수량을 산정하는 하나의 분포형에 불과하다. 따라서 연속적인 강우(Threshold 강수량 0mm이상)를 모의할 수 있는 Mixed Gamma 분포를 사용해서 얻어진 확률강수량은 실제 설계에 이용되는 것이 아니고 단지 GCM이 적용되었을 때 지구온난화(50년 후 또는 100년 후 2×CO₂조건)에 따른 10년 뒤의 확률강수량의 변화폭(%)만 GUMBEL 년 최대치에 적용해서 설계에 이용하게 된다.

GUMBEL 년 최대치에 의해 산정된 확률강수량에 Mixed Gamma분포에 2×CO₂조건이 최소 50년 후에 온다는 가정에 의한 GCM을 적용했을 때 확률강수량의 증가 혹은 감소한 변화폭(%)를 적용해 줌으로써 다음의 설계강수량을 얻을 수 있다.

표 9 지구온난화(50년 후 2×CO₂조건)에 따른 Modified GUMBEL 확률강수량의 산정결과(천안)

| GCM적용 재현기간 | GUM | Modified GUM(평균) | Modified GUM(최소) | Modified GUM(최대) |
|---------------|-------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 5 | 197.9 | 198.69 | 196.90 | 200.64 |
| 30 | 281.3 | 282.71 | 279.88 | 285.76 |
| 50 | 304.2 | 305.72 | 302.36 | 308.71 |
| 100 | 335.1 | 336.78 | 333.07 | 340.07 |
| 200 | 365.9 | 367.73 | 363.68 | 371.69 |

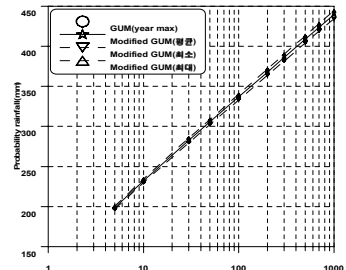


그림 5 지구온난화(50년 후 2×CO₂조건)에 따른 Modified GUMBEL 확률강수량의 산정결과 비교(천안)

표 10 지구온난화(50년 후 2×CO₂조건)에 따른 Modified GUMBEL 확률강수량의 산정결과(부여)

| GCM적용 재현기간 | GUM | Modified GUM(평균) | Modified GUM(최소) | Modified GUM(최대) |
|---------------|-------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 5 | 214.1 | 216.32 | 207.16 | 228.95 |
| 30 | 334.5 | 338.27 | 322.77 | 359.74 |
| 50 | 367.5 | 371.71 | 354.42 | 395.70 |
| 100 | 412.1 | 416.91 | 397.18 | 444.34 |
| 200 | 456.6 | 461.97 | 439.86 | 492.88 |

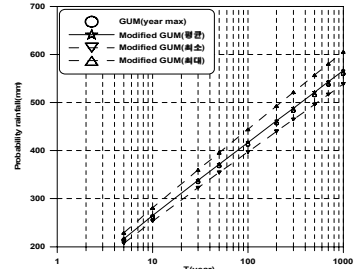


그림 6 지구온난화(50년 후 2×CO₂조건)에 따른 Modified GUMBEL 확률강수량의 산정결과 비교(부여)
표 11 지구온난화(50년 후 2×CO₂조건)에 따른 Modified GUMBEL 확률강수량의 산정결과(보령)

| GCM적용 재현기간 | GUM | Modified GUM(평균) | Modified GUM(최소) | Modified GUM(최대) |
|---------------|-------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 5 | 208.4 | 211.03 | 200.50 | 225.18 |
| 30 | 321.7 | 326.04 | 308.73 | 349.44 |
| 50 | 352.9 | 357.74 | 338.48 | 383.75 |
| 100 | 394.9 | 400.38 | 378.54 | 429.99 |
| 200 | 436.7 | 442.87 | 418.36 | 476.03 |

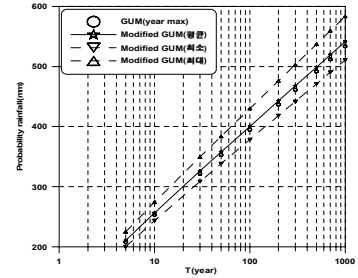


그림 7 지구온난화(50년 후 2×CO₂조건)에 따른 Modified GUMBEL 확률강수량의 산정결과 비교(보령)
표 12 지구온난화(50년 후 2×CO₂조건)에 따른 Modified GUMBEL 확률강수량의 산정결과(서산)

| GCM적용 재현기간 | GUM | Modified GUM(평균) | Modified GUM(최소) | Modified GUM(최대) |
|---------------|-------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 5 | 205.3 | 207.79 | 197.95 | 220.81 |
| 30 | 309.4 | 313.44 | 297.49 | 334.68 |
| 50 | 338.0 | 342.48 | 324.82 | 366.04 |
| 100 | 376.6 | 381.67 | 361.65 | 408.43 |
| 200 | 415.0 | 420.72 | 398.29 | 450.62 |

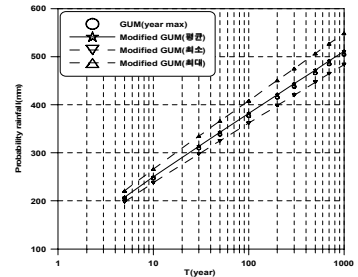


그림 8 지구온난화(50년 후 2×CO₂조건)에 따른 Modified GUMBEL 확률강수량의 산정결과 비교(서산)

5. 결론

본 연구의 결과를 정리하면 다음과 같다. (1) 혼합감마분포를 이용한 설계강수량 추정치는 GUMBEL 분포를 적용하여 년 최대치 자료를 분석한 결과 유사한 것으로 파악되었다. (2) 혼합감마분포의 매개변수와 우기 강수량간의 상관관계는 통계학적으로 유의한 것으로 파악되었다. (3) 2×CO₂ 조건에 대한 5개의 GCM 예측치를 적용한 결과 향후 10년후의 100년 빈도 설계강수량은 현재에 비해 GCM에 따라 천안(-0.011~0.021% 변동, 평균 0.005% 증가), 부여(-0.036~0.078% 변동, 평균 0.012% 증가), 보령((-0.041~0.089% 변동, 평균 0.014% 증가), 서산(-0.040~0.085% 변동, 평균 0.013% 증가)를 나타내는 것으로 파악되었다. 이러한 변화는 2×CO₂ 상황이 50-100년 사이에 도래한다는 일반적인 관측을 고려하면 아주 미미한 결과라 판단된다.

참고 문헌

1. 한국과학기술연구원(1995). 기후변화가 한반도에 미치는 영향과 지구 환경관련 대책연구(II), 과학기술처.
2. 유철상, 정광식, 강인주(2002). 지구온난화에 따른 일 강수분포의 변화 평가, 대한토목학회논문집, 제22권 제3-B호, pp. 291-299.
3. Kedem, B., and Chiu, L.S., and Karni, Z. (1990) An analysis of the threshold method for measuring area-average rainfall, J. Appl. Meteor., Vol. 29, pp. 3-20.
4. Shimizu, K. (1993) A bivariate mixed lognormal distribution with an analysis of rainfall data. J. Appl. Meteor., Vol. 32, pp. 161-171.