

**남강유역에서의 추계학적 강우변동 생성기법과  
연계한 2차원 침수해석**  
**Two-dimensional Inundation Analysis using Stochastic Rainfall  
Variation in Nam-River Basin**

**안기홍\*, 이진영\*\*, 한건연\*\*\*, 조완희\*\*\*\***  
**Ki Hong Ahn, Jin Young Lee, Kun Yeun Han, Wan Hee Cho**

.....  
**요 지**

지구온난화에 따른 이상기후 현상으로 불확실성에 대한 고려가 더욱 중요해진 지금 설계빈도의 무조건적인 상향조정에 의존하기보다는 추계학적 방법을 도입한 수문량의 확충 및 매개변수의 불확실성을 고려하기 위한 연구가 활발히 진행 중이다. 본 연구에서는 강우발생의 불확실성을 반영하여 제내지에서의 침수범위를 GIS 상에서 검토하기 위해 log-ratio 방법, Johnson 시스템, 직교변환을 활용한 다변량 Monte Carlo 기법으로 추계학적 시간에 따른 강우변동을 생성하였다. 생성된 강우변동 결과를 토대로 수문분석, 홍수위 분석 등을 실시하고 FLUMEN 모형을 적용하여 해당유역에 대한 홍수범람시 침수범위를 산정하였다. 본 연구결과는 실제 강우의 불확실성을 반영하고 있어 시·공간적 강우특성이 반영된 유역별 주민대피지도, 홍수위험지도 등을 제작하는데 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

**핵심용어 : 강우양상, 침수해석, Monte Carlo, FLUMEN, 남강**

---

**1. 서론**

최근의 강우양상은 강우일수는 감소하고, 강우강도는 증가하는 집중호우의 형태로 지역적인 홍수가 빈발하고 있다. 이러한 집중호우를 수공구조물의 설계에 반응하기 위해서는 일반적으로 설계홍수량을 산정할 때 가능최대 강우량을 도입하거나, 설계빈도를 상향조정한다. 이렇게 설계빈도를 상향조정할 경우 수공구조물의 규모는 증대되고 이는 인근 주민과의 마찰과 환경 문제의 발생을 내포하게 된다. 본 연구에서는 지역적 강우발생의 불확실성을 고려한 강우양상을 생성하고 이를 토대로 FLUMEN 모형을 이용한 2차원 침수해석을 실시하여 해당 결과를 GIS 상에 도시하였다.

**2. 연구 내용**

**2.1 추계학적 강우양상 생성 기법**

강우의 발생양상은 발생지역의 지형에 따라, 발생 시기에 따라 다양한 형태를 보인다. 따라서

---

\* 정회원 · 한국수자원공사 댐·유역관리처 위촉연구원 · E-mail : khahn@kwater.or.kr  
\*\* 비회원 · 한국수자원공사 K-water연구원 위촉연구원 · E-mail : atlantis426@hotmail.com  
\*\*\* 정회원 · 경북대학교 토목공학과 교수 · E-mail : kshanj@knu.ac.kr  
\*\*\*\* 정회원 · 경북대학교 토목공학과 박사수료 · E-mail : jobbaeng@hanmail.net

실제 강우량 자료로 강우의 변동양상을 비교·구분하기 위해서는 각 강우량 자료의 장소와 시간의 다양성을 통일시킬 필요가 있다. 이를 위해 무차원화를 실시하고 강우량의 최대분위 발생시기에 따라 4가지 형태로 분류를 실시하였다. 무차원화된 누가강우량 곡선의 각 절점은 상관관계를 가지고 0보다 크고 전체의 합이 1이어야 되는 제약조건을 가지며 비정규분포형태를 띄게 된다. 결국 강우변동 생성을 위해서는 앞서 말한 제약조건을 극복하면서 비정규분포형태의 변량을 생성할 수 있어야 한다. 이를 위해 본 연구에서는 Aitchison(1986)이 제안한 log-ratio 기법과 Johnson 분포, 직교변환 등을 도입하여 비정규분포의 형태를 갖는 다변량 Monte Carlo 모의를 실시하였다. 결국 무차원 누가강우량 곡선을 생성과정은 다음과 같이 정리할 수 있다.

- (i) 무차원 누가강우량 곡선의 절점자료의 log-ratio 변환을 위해  $i^*$ 와  $P_{i^*}$  선정
- (ii) log-ratio  $Y_i$ 의 통계적 모멘트와 상관계수 산정
- (iii)  $Y_i$ 별 적정 Johnson 분포 결정( $i \neq i^*$ )
- (iv) 제약조건이 없는 다변량 비정규분포의 확률변수 생성
- (v) 역변환을 통한 무차원 누가강우량 곡선의 절점자료  $P_1, P_2, \dots, P_k$  생성

## 2.2 2차원 침수해석 모형

제내지의 범람양상은 시간에 따른 침수심, 유속 등의 다양한 요소로 출력되어야 하므로 범람해석의 특성상 다차원 모형의 부정류로 모의하는 것이 바람직하다. 따라서 본 연구에서는 2차원 범람해석 상용 프로그램인 FLUMEN(FLUvial Modeling ENgine) 모형을 사용하였다. FLUMEN 모형의 지배방정식은 수심 적분된 비선형 천수방정식으로서 보존형으로 나타내면 식 (1)과 같다.

$$\frac{\partial \mathbf{U}}{\partial t} + \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial x} + \frac{\partial \mathbf{G}}{\partial y} + \mathbf{S} = 0 \quad (1)$$

이 때,  $\mathbf{U}$ 는 보존형 변수 벡터,  $\mathbf{E}$ ,  $\mathbf{G}$ 는  $x$ 축 및  $y$ 축의 flux 벡터,  $\mathbf{S}$ 는 소스벡터로서 각각은 식 (2)와 같다.

$$\mathbf{E} = \begin{pmatrix} q \\ \frac{q^2}{h} + \frac{g}{2}h^2 \\ \frac{qr}{h} \end{pmatrix}, \quad \mathbf{G} = \begin{pmatrix} r \\ \frac{qr}{h} \\ \frac{r^2}{h} + \frac{g}{2}h^2 \end{pmatrix}, \quad \mathbf{S} = \begin{pmatrix} 0 \\ gh \frac{\partial z_b}{\partial x} + \frac{\tau_{bx}}{\rho} \\ gh \frac{\partial z_b}{\partial y} + \frac{\tau_{by}}{\rho} \end{pmatrix} \quad (2)$$

이 때,  $q$ 와  $r$ 은 각각  $x$ ,  $y$  방향의 단위폭당 비유량,  $g$ 는 중력가속도,  $\rho$ 는 유체의 밀도,  $z_b$ 는 하상고,  $\tau_b$ 는 하상전단력이다

## 3. 실제 유역에 대한 적용

본 연구에서는 낙동강의 주요 지류중 하나이고 국가하천인 남강유역의 남강댐 하류에서 낙동강 합류부까지의 유역에 대해 시간에 따른 강우변동을 생성하였다. 진양, 함안, 진주관측소의 강우자료를 수집해 강우양상을 생성하였고 2차원 침수해석 대상 지역은 남강 하류 지역 중에서도 2002

년 백산제 붕괴로 인한 홍수 피해를 입은 지역이다. 그림 1은 각 분위별로 생성된 강우변동의 예를 나타내고 있다. 생성한 각 형태별 강우양상은 50%의 발생 확률을 갖는 무차원 누가 강우곡선의 양상을 따르고 있고, 실측강우의 10~90%의 범위 내에 존재하여 실제 강우사상을 반영하고 있다고 판단된다.

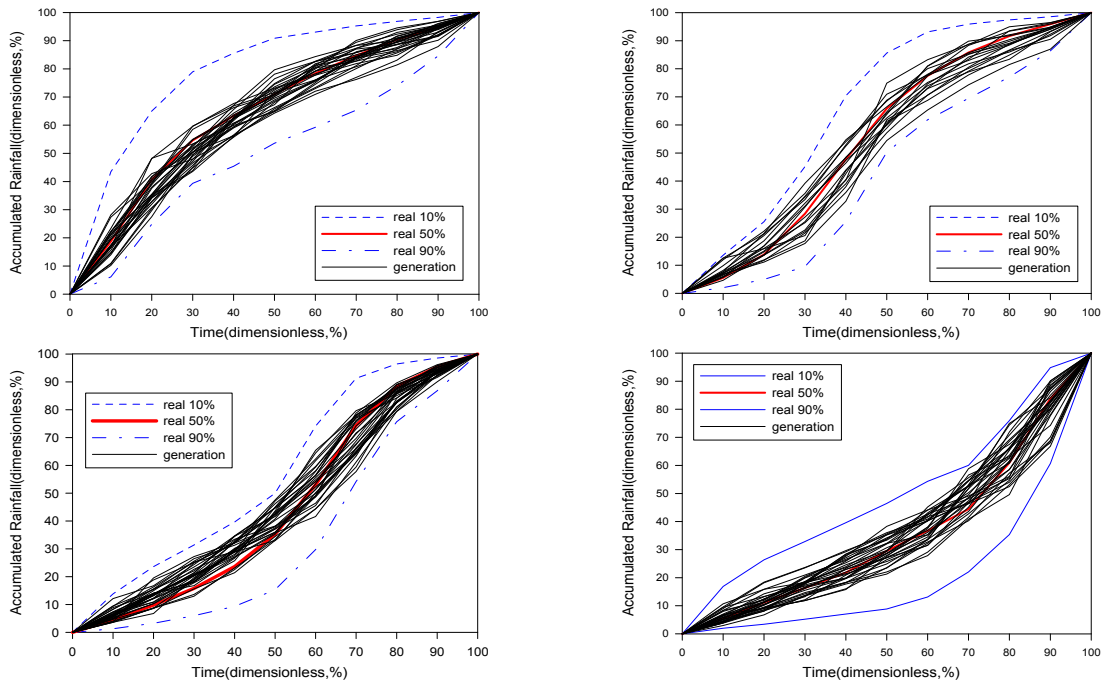


그림 1. 생성된 4가지 형태의 강우양상(좌, 우, 상, 하순)

남강하천정비기본계획안(2009)상의 남강유역 Huff 최빈분위가 2분위이므로 앞서 생성한 Type II의 강우양상에 대해 홍수량 및 홍수위를 산정해 그림 2, 3과 같이 FLUMEN의 경계조건으로 활용하였다. 그리고 하상의 조도계수는 남강하천정비기본계획안(2009)의 값을 적용하였고, 제내지 조도계수는 홍수지도 제작지침(2001)의 범람모형 매개변수 산정절차에 의거하여 토지이용에 따른 점유면적을 바탕으로 조도계수를 산출하는 합성등가조도계수를 적용하였다.

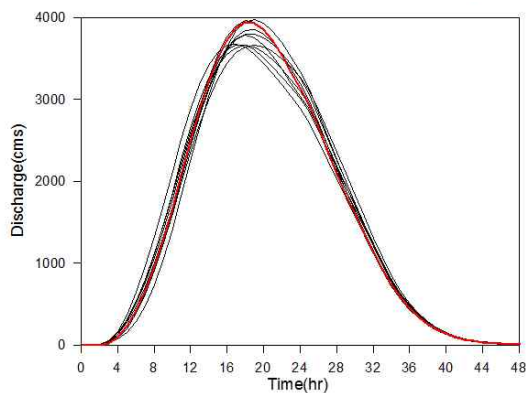


그림 2. 상류단 경계조건

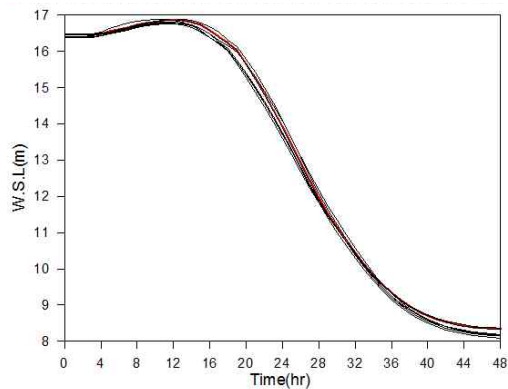


그림 3. 하류단 경계조건

그림 4은 2002년 홍수발생 당시의 침수흔적도(건설교통부, 2004)이고, 그림 5는 100년 빈도 계획 홍수량 발생시의 침수양상을 나타내고 있다. 전체 침수면적의 경우 다소 차이가 발생되나 이는 당시 해당구역에는 평균적으로 300mm 이상의 강우량이 발생하여 하천홍수량이 급증하여 제방 설계 빈도를 상회하는 홍수량이 발생했기 때문이다. 하지만 전체적인 침수양상의 형태가 실제 침수흔적도와 매우 유사하여 100년 빈도 계획홍수량을 이용한 모의결과를 기초로 하여 본 연구결과와 비교·검토를 실시하였다.

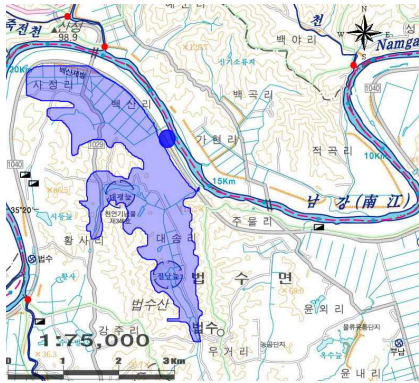


그림 4. 침수흔적도

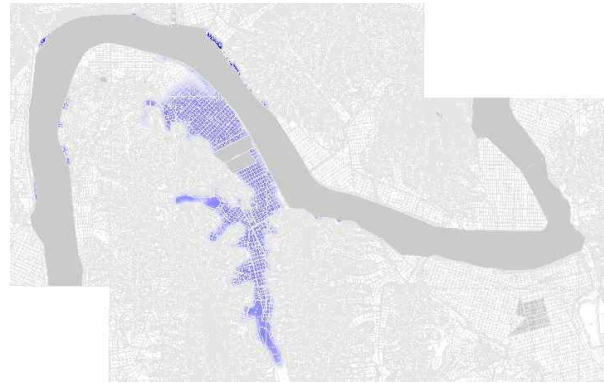


그림 5. 계획홍수량(100yr)에 의한 범람도

표 1은 본 연구에서 생성된 강우변동을 이용하여 GIS와 연계모의한 침수범위 산정결과이다. 계획홍수량시의 침수면적은 총 38954.59m<sup>2</sup>로 나타났으며, 각 case별 침수면적을 이와 비교할 때 크기는 약 4.62%에서 작게는 약 0.53%까지의 차이를 보이고 있다. 이는 시간에 따른 강우변동의 불확실성과 지형자료의 오차 등으로 인해 발생되었을 것으로 판단된다. 해당 구역에 대한 제방고 및 제내지 표고를 제대로 반영할 수 있는 정밀한 수치지도 확보 및 제내지에서의 적정 조도계수 산정 등 해석상의 불확실성을 줄일 수 있는 방안이 뒷받침된다면 보다 신뢰성 높은 침수해석 결과를 얻을 수 있을 것으로 기대된다.

표 1. 범람면적 비교

case	범람면적 (m <sup>2</sup> )	계획홍수량에 의한 범람면적과의 비교 (%)
계획홍수량	38954.59	-
case1	37155.35	-4.62
case2	38294.21	-1.70
case3	40086.69	2.91
case4	39284.36	0.85
case5	40175.55	3.13
case6	39665.96	1.83
case7	40570.40	4.15
case8	40534.61	4.06
case9	37658.58	-3.33
case10	38748.23	-0.53

#### 4. 결 론

본 연구에서는 남강댐 하류지역의 강우의 무차원 누가곡선이 가지는 특성을 반영해 유역에서 발생가능한 무차원 누가강우곡선을 생성하였고 이를 활용하여 침수위험 범위를 산정하였다. 본 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 다변량 Monte Carlo 기법을 이용하여 무차원 누가강우량 곡선을 생성하였다. 이를 위해 log-ratio 기법, Johnson 시스템, 직교변환 등을 이용하였으며 생성된 무차원 누가강우량 곡선은 실제 무차원 누가강우량 곡선의 10%와 90%범위 안에 존재하였다.
- (2) 무차원 누가강우량 곡선 생성결과를 GIS와 연계하여 2차원 침수해석을 실시하였다. 본 연구결과의 검증에 위해 2002년 홍수 발생 시의 침수흔적도와 계획홍수량을 이용한 침수해석결과를 비교분석하였다. 본 연구결과는 해당 유역의 제한된 자료를 사용했음에도 불구하고 계획홍수량과 0.53~4.62%의 침수면적 차이를 보여 실제 침수면적에 대한 높은 재현성을 보여주었으며 가능 침수범위를 나타내었다.
- (3) 본 연구결과는 해당 유역에 특화된 홍수위험지도 제작 및 주민대피계획 수립에 활용될 수 있으며 수공구조물 위험도분석과 연계되어 홍수보험, 침수위험도 산정 등 그 활용성이 매우 클 것으로 판단된다.

#### 감 사 의 글

본 연구는 소방방재청 자연재해저감기술개발사업(NEMA-09-NH-01)의 연구비 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

#### 참 고 문 헌

1. 건설교통부 (2001). 홍수지도 제작지침.
2. 건설교통부 (2004). 낙동강 유역종합치수계획 보고서.
3. 국토해양부 (2009). 남강 하천정비기본계획(안).
4. 김기욱, 유철상 (2008). 시간적 군집특성을 고려한 강우모의모형의 선정. 한국 수자원학회 논문집, 제41권 제7호, pp. 785-790
5. 안기홍, 한건연 (2009). 다변량 Monte Carlo 기법을 이용한 추계학적 강우 변동 생성기법에 관한 연구. 한국방재학회 논문집, 제9권 제3호, pp.127-133.
6. Aitchison, J. (1986). Statistical analysis of compositional data, Chapman & Hall Inc., NY, USA.
7. Johnson, N.L. (1949). Systems of Frequency Curves generated by methods of translation. Biometrika, 36:149-176.