

인천지방 확률강우강도식의 유도 Derivation of Probable Rainfall Intensity Formulas at Incheon District

최 계 운* / 안 태 진** / 권 영 식***
Choi, Gye Woon / Ahn, Tae Jin / Kwon, Young Sik

Abstract

This paper is to derive the probable rainfall depths and the probable rainfall intensity formulas for Incheon Metropolitan district. The annual maximum rainfall data from 10 min. to 6 hours have been collected from the Incheon weather station. Eleven types of probability distribution are considered to estimate probable rainfall depths for 12 different storm durations at the Incheon Metropolitan district. Three tests including Chi-square, Kolmogorov-Smirnov and Cramer Von Mises with the graphical analysis are adopted to select the best probability distribution. The probable rainfall intensity formulas are then determined by the least squares method using the trial and error approach. Five types of Talbot type, Sherman type, Japanese type, Unified type I, and Unified type II are considered to determine the best type for the Incheon rainfall intensity. The root mean squared errors are computed to compare the accuracy from the derived formulas. It has been suggested that the probable rainfall intensities having Unified type I for the short term duration should be the most reliable formulas by considering the root mean squared errors and the difference between computed probable rainfall depth and estimated probable rainfall depth.

Keywords: frequency analysis, probable rainfall intensity formulas, Unified type I, Unified type II, design rainfall intensity

요 지

본 논문은 인천지방에서의 확률강우량과 확률강우강도식을 유도하기 위하여 인천기상대에서 관측된 자료로부터 강우 지속기간 10분 ~ 6시간까지의 연최대강우량을 선정하였다. 12개 강우지속기간별 확률강우량을 추정하기 위하여 11개 확률분포형을 적용하였으며 Chi-square 검정방법, Kolmogorov-Smirnov 검정방법, Cramer Von Mises 검정방법으로 적합도 검정과 함께 도시적 해석법으로 가장 적합한 분포형을 결정하였다. 확률강우강도식은 최소자승법을 사용하여 Talbot 형, Sherman 형, Japanese 형의 3가지로 분석하고, 최소자승법과 함께 시산법을 사용하여 통합형 I과 통합형 II의 형태로 결정하였다. 표준제곱근오차와 계산된 강우강도와 추정된 강우강도와의 차이를 분석하여 단기 강우 지속기간에 관한 통합형 I의 확률강우강도식을 인천지방 강우강도공식으로 제안하였다.

핵심용어 : 빈도해석, 확률강우강도식, 통합형 I, 통합형 II, 설계강우강도

* 인천대학교 토목공학과 부교수

Assoc. Prof., Dept. of Civil Engrg., Univ. of Incheon, Incheon 402 749, Korea
(gyewoon@lion.incheon.ac.kr)

** 한경대학교 토목공학과 조교수

Asst. Prof., Dept. of Civil Engrg., Hankyong National Univ., Ansong, Kyonggi 456-749, Korea

*** 인천대학교 토목공학과 대학원

M.S., Dept. of Civil Engrg., Univ. of Incheon, Incheon 402-749, Korea

1. 서 론

확률강우량은 도시하수도 계획, 중소하천의 배수계획, 내수배제계획 등 각종 수자원사업에서 가장 널리 사용되고 있는 수문량이다. 계획강우량은 기존에 제안되어 있는 공식으로부터 구하거나 과거의 강우자료를 수집하여 빈도해석을 통하여 결정할 수 있다. 확률강우량 산정을 위한 최적확률분포형은 자료의 특성을 나타낼 수 있는 만큼 충분한 장기 관측량으로부터 각 확률분포형의 적합성 검토를 실시하여 결정되어야 한다.

인천지방의 확률강우강도 공식에 관한 연구로서, 최영박과 박종훈(1966)은 1952년부터 1965년의 14개년의 자료를 이용하여 대수정규법, Gumbel-Chow법 등으로부터 Talbot형이 적합한 것으로 발표하였고, 이원환(1967)은 강우량자료를 강우지속기간 120분 미만과 4시간이상 24시간까지로 구분하여 확률강우강도식과 확률강우량을 제시하였으며, 10~20년에는 Japanese형이 20~100년 사이에는 Talbot형이 적합한 것으로 제안하였다. 최영박과 이선근(1968)은 임의 지속기간별 강우강도를 일우량의 강도비로 산출하여 강우강도식을 유도하였으며, 이원환과 변근주(1969)는 순서통계학 및 확률이론을 적용하여 지속기간이 120분 미만인 단기간 확률강우강도식을 최소자승법에 의하여 유도하였다. 이원환(1980)은 인천지방의 경우 27개년의 자료를 이용하여 최소자승법에 의해 확률강우강도식을 제안하였으며, 최근까지 인천지방의 수자원계획 수립시 그의 강우강도식이 주로 사용되고 있다. 그러나 이러한 공식들은 20여년 전에 제안된 것이므로 그대로 이용하는 것은 바람직하지 못한 것으로 판단된다.

인천지방의 확률강우량에 관한 많은 연구가 진행되어 왔으나 모두 분석결과만 발표되었고 해석시 사용된 지속기간별 연최대강우량자료는 공개되지 않았다. 연구방법에 따라 분석 결과는 다를지라도 이를 위한 기초 자료는 일관성을 유지하여야만 상호비교분석이 가능한데 실제로는 그렇지 못한 실정이다. 그 동안 인천기상대에서 관측한 인천지방 강우량자료를 살펴보면, 1904년부터 관측이 시작되었으나 1952년까지의 자료는 제대로 보관되어 있지 않고 최근 자료에 비하여 신뢰성 또한 떨어지는 것으로 알려지고 있어 실제로는 1952년부터의 자료가 이용되고 있다. 그 동안 강우자료의 정리 작업은 학계, 연구소, 용역업체 등에서 많이 이루어져 왔으나 그 값은 상호 검증되지 못하여왔다. 이러한 점을 감안하여 최계운 등(1999)은 최근의 강우특성을

반영할 수 있도록 연최대강우량자료를 1952년부터 1997년까지 13개 지속기간별(10분, 20분, 30분, 40분, 50분, 60분, 90분, 120분, 3시간, 4시간, 5시간, 6시간, 24시간)로 정리하였다.

본 연구에서는 수집된 강우자료의 최적확률분포형을 매개변수 적합성 조건, 적합도 검정 및 도시적인 방법을 통하여 선정하였으며, 선정된 확률분포형으로부터 확률강우량을 결정하고 새로운 확률강우강도식을 제안하였다.

2. 기존 확률강우강도식의 비교 평가

일반적으로 계획배수량 산정은 기존에 제안되어 있는 확률강우강도식에 유역 면적과 유출계수를 고려하여 침투유출량을 계산하는 방법과 과거 강우자료를 수집하고 확률분석을 실시하여 직접 구하고 있는데, 최근과 같이 엘러노, 라니나 등의 이상 기후 변화가 발생하고 년간 강우의 편차가 클 경우, 기존의 확률강우강도식을 이용하여 유출량을 구하는 경우 새로이 확률분석에 의하여 유출량을 구하는 값과는 차이가 발생하게 된다.

표 1은 그 동안 인천지방에서 사용되어온 기존 공식을 발표자별로 정리한 것이며, 최근까지 인천지역에서는 이원환(1980)이 제안한 공식을 사용하여 각종 수공구조물 설계에 활용되고 있고, 건설부(1988)에서 제안한 확률강우량은 확률강우강도식이 제시되어 있지 않아 부분적으로만 사용되고 있을 뿐이다. 표 1에서 강우지속기간 t 의 단위는 분(min)이다.

그림 1~4는 재현기간 10년, 20년, 50년 및 100년에 대하여 강우지속기간에 따른 강우강도의 변화를 보여주고 있다. 그림 1~4에서 보는 바와 같이 지속시간이 1시간을 넘는 경우에 5개 공식에 의하여 산출된 강우강도에 차이는 작게 나타나나 지속시간이 작을수록 그 차이는 크다. 특히 재현기간 10년 또는 20년의 경우 이원환(1980)의 공식에 의한 강우강도가 다른 공식에 의한 것에 비하여 상당히 크다.

그림 5는 인천지방에서 주로 사용되고 있는 이원환 공식에 의한 빈도별 강우강도를 보여주고 있다. 이원환(1980)은 1시간, 2시간, 4시간, 6시간, 12시간 및 18시간의 지속기간에 관한 연최대 강우량을 기준으로하여 확률강우강도식을 하나의 형태가 아닌 재현기간별로 Japanese형, Talbot형 및 Sherman형으로 제안하였다. 이원환(1980)의 확률강우강도식은 재현기간 5년의 5분지속 강우강도가 30년의 5분지속 강우강도보다

표 1. 기존 공식들의 비교

재현 기간 (년)	발표된 연도, 발표자 및 강우강도식				
	공식 1	공식 2	공식 3	공식 4	공식 5
	최영박, 박종훈(1966)	이원환(1967)	최영박, 이선근(1968)	이원환, 변근주(1969년)	이원환(1980)
I ₂	-	$\frac{270}{\sqrt{t+0.79}}$	-	$\frac{290}{\sqrt{t+0.89}}$	$\frac{289}{\sqrt{t+0.58}}$
I ₃	$\frac{4925}{52+t}$	$\frac{350}{\sqrt{t+0.92}}$	$\frac{367}{\sqrt{t+1.145}}$	$\frac{310}{\sqrt{t+1.31}}$	$\frac{343}{\sqrt{t+0.5}}$
I ₅	$\frac{6299}{56+t}$	$\frac{430}{\sqrt{t+0.94}}$	$\frac{5,888}{t+51.401}$	$\frac{485}{\sqrt{t+1.61}}$	$\frac{400}{\sqrt{t+0.39}}$
I ₁₀	$\frac{8017}{59+t}$	$\frac{560}{\sqrt{t+1.12}}$	$\frac{7,598}{t+54.333}$	$\frac{615}{\sqrt{t+1.84}}$	$\frac{474}{\sqrt{t+0.34}}$
I ₂₀	$\frac{9668}{61+t}$	$\frac{8460}{t+48}$	$\frac{9,042}{t+54.254}$	$\frac{740}{\sqrt{t+2.01}}$	$\frac{529}{\sqrt{t+0.15}}$
I ₃₀	$\frac{10632}{62+t}$	$\frac{9350}{t+47}$	$\frac{9,959}{t+54.523}$	$\frac{810}{\sqrt{t+2.08}}$	$\frac{9,826}{t+60}$
I ₅₀	$\frac{11790}{63+t}$	$\frac{10640}{t+48}$	$\frac{11,136}{t+54.915}$	$\frac{895}{\sqrt{t+2.15}}$	$\frac{10,504}{t+58}$
I ₇₀	-	-	-	$\frac{955}{\sqrt{t+2.19}}$	$\frac{10,930}{t+57}$
I ₁₀₀	$\frac{13381}{64+t}$	$\frac{12170}{t+48}$	$\frac{12,717}{t+55.299}$	$\frac{1,015}{\sqrt{t+2.23}}$	$\frac{11,371}{t+56}$
I ₂₀₀	-	-	-	$\frac{1,135}{\sqrt{t+2.32}}$	$\frac{12,216}{t+53}$
I ₃₀₀	-	-	-	-	$\frac{12,653}{t+52}$
I ₅₀₀	-	-	-	-	$\frac{13,215}{t+50}$
I ₁₀₀₀	-	-	-	-	$\frac{13,950}{t+48}$
I ₂₀₀₀	-	-	-	-	$\frac{1,112}{t^{0.54}}$
I ₅₀₀₀	-	-	-	-	$\frac{1,248}{t^{0.55}}$
사용 자료	1952~1965 (14개년)	1952~1964 (13개년)	-	1952~1967 (16개년)	1952~1978 (27개년)

더 크며, 재현기간 10년의 5분지속 강우강도가 30년의 5분지속강우강도 보다 더 크고 100년의 5분지속강우강도와 아주 근소한 차이를 보이고 있다. 이와 같이 최근까지 인천지방에 가장 많이 적용되고 있는 확률강우강도 공식(이원환, 1980)은 강우지속기간별 확률강우강도의 일관성을 유지하지 못하고 있는 단점이 있다.

3. 확률강우량의 산정

인천지방의 실제 강우의 형태를 살펴보기 위해서 46개년 자료의 각 지속기간별 합, 최대치, 최소치 및 평균의 개형은 그림 6~그림 9와 같다. 그림 6에서 각 지속기간별로 46개년의 실제 강우의 합의 형태를 보면 지속기간 120분까지는 경사가 급하고, 120분에서 240분까지는 완만하다가 240분에서 360까지 다시 경사가

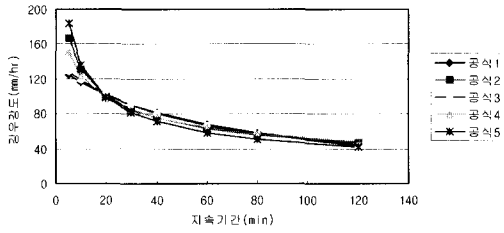


그림 1. 재현기간 10년에서 강우지속기간 변화에 따른 강우강도

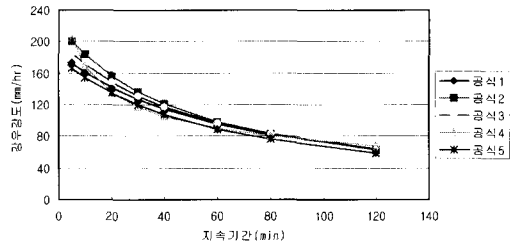


그림 3. 재현기간 50년에서 강우지속기간 변화에 따른 강우강도

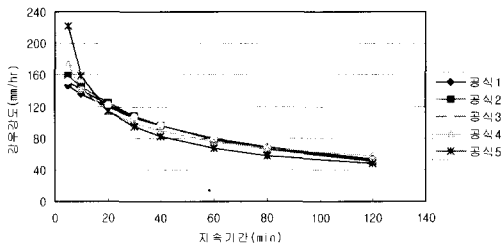


그림 2. 재현기간 20년에서 강우지속기간 변화에 따른 강우강도

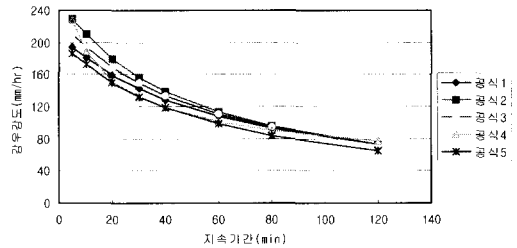


그림 4. 재현기간 100년에서 강우지속기간 변화에 따른 강우강도

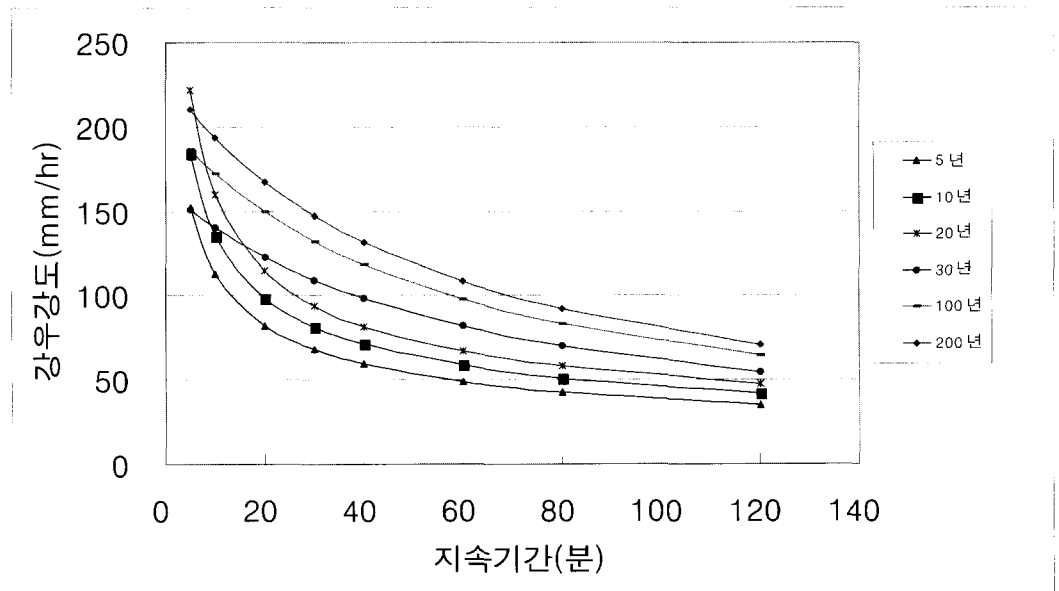


그림 5. 재현기간 및 지속기간별 강우강도의 비교 (이원환, 1980)

커지고 있음을 알 수 있다. 그림 7은 46개년 자료의 최대치를 나타낸 것이며 지속기간 90분까지는 경사가 급하고, 90분에서 300분까지는 완만하다가 300분에서

360까지 다시 경사가 커지고 있음을 보여 주고 있다. 그림 8은 46개년 자료의 최소치를 나타낸 것이며 지속기간 90분까지는 경사가 급하고, 90분에서 240분까지

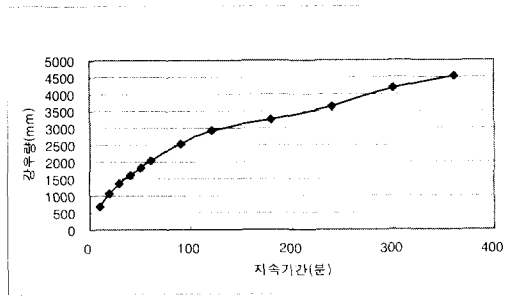


그림 6. 46개년 자료의 각 지속시간별 합계의 변화

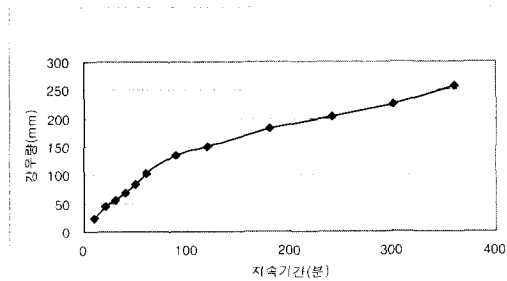


그림 7. 46개년 자료의 각 지속시간별 최대치

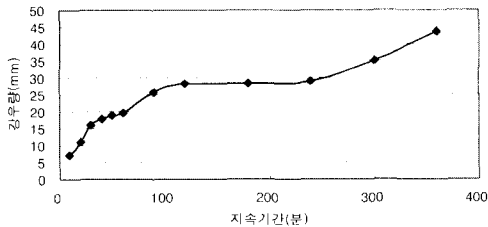


그림 8. 46개년 자료의 각 지속시간별 최소치

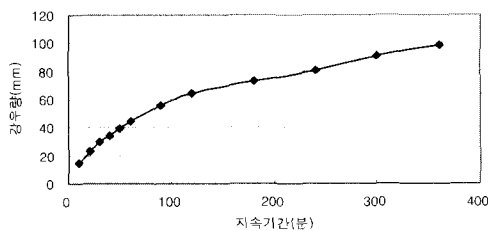


그림 9. 46개년 자료의 각 지속시간별 평균

는 완만하다가 240분에서 360까지 다시 경사가 커지고 있음을 보여 주고 있다. 그림 9는 46개년 자료의 평균치를 나타낸 것이며 지속시간 120분까지는 경사가 급하고, 120분에서 240분까지는 완만하다가 240분에서 360까지 다시 경사가 커지고 있음을 알 수 있다.

확률강우량 결정을 위하여 채택한 확률분포는 2변수 Gamma분포(GAM2), 3변수 Gamma분포(GAM3), General Extreme Value 분포(GEV), Gumbel 분포(GUM), 2변수 Log-Gumbel 분포(LGU2), 3변수 Log-Gumbel 분포(LGU3), 2변수 Log-normal 분포(LN2), 3변수 Log-normal 분포(LN3), Log-Pearson Type III 분포(LP3), 2변수 Weibull 분포(WBU2) 및 3변수 Weibull 분포(WBU3)이며, 각 분포의 매개변수는 모멘트법, 최우도법, 확률가중 모멘트법으로 추정하고, 추정된 매개변수의 적합성을 확인하였다. 그리고 각 확률분포형별로 추정된 매개변수에 관하여 Chi-square(χ^2) 검정, Kolmogorov-Smirnov(K-S) 검정, Cramer von Mises(C-V-M) 검정방법으로 확률분포형의 적합도 검정을 실시하였다. 이승재 등(1995)은 적합도 검정결과, 확률밀도함수 및 누가분포함수를 비교·분석함으로써 최적확률분포형을 결정하였으며, 허준행 등(1999)은 매개변수 적합성 조건, 도시적 해석, 분리효과 및 적합도 검정을 종합적으로 검토하여 최적확률분포형을 결정하였다. 본 연구에서는 확률분포형의 매개변수 적합성과 적합도 검정 결과 및 도시적인 방법으로 최적확률분포형을 하였다(인천시, 1999).

인천기상대에서 소장하고 있는 자기우량기록지와 기상연보 및 기상월보(1952-1997)로부터 1952년부터 1997년까지 46개년 동안에 지속시간별 연최대강우량을 조사하였으며, 강우지속시간은 10분, 20분, 30분, 40분, 50분, 60분, 90분, 120분, 180분, 240분, 300분 및 360분으로 하였다(최계운 등, 1999). 표 2a ~ 표 2c는 인천지방의 각 확률분포형의 매개변수 적합성 판정 여부와 적합도 검정결과를 χ^2 검정, K-S 검정, C-V-M 검정방법별로 분류해서 각 지속시간별로 나타내고 있다. 표 3은 채택한 각 확률분포형별로 χ^2 검정, K-S 검정, C-V-M 검정검정을 통과하는 강우지속시간의 개수를 표시한 것이며, 이를 근거로 매개변수 추정방법별로 1차 선별 후 채택된 확률분포형은 표 4와 같다.

표 4와 같이 모멘트방법에서는 6개의 분포형이 1차

표 2a. 모멘트법에 의한 적합성 판정

확률분포형	GAM2	GAM3	GEV	GUM	LGU2	LGU3	LN2	LN3	LP3	WBU2	WBU3	
모 멘 트 법	10분	○	×	○	○	×	×	○	○	×	○	○
	20분	○	×	○	○	×	×	○	○	×	○	○
	30분	○	×	○	○	×	×	○	○	×	(1)	(1)
	40분	○	×	○	○	×	×	○	○	×	(1)	○
	50분	○	×	○	○	×	○	○	○	×	(1)	×
	60분	○	×	○	○	×	○	○	×	×	(1)	×
	90분	○	×	○	○	×	○	○	×	×	○	×
	120분	○	×	(1)	(1)	×	(1)	(1)	(1)	×	○	×
	180분	○	×	(1)	○	×	(1)	○	×	×	(1)	×
	240분	○	×	○	○	×	○	○	×	×	○	×
	300분	○	×	○	○	×	○	○	×	×	(1)	×
360분	○	×	○	○	×	○	○	×	×	○	×	

주) ○ : 매개변수 및 x^2 , K-S, C-V-M 검정에서 적합. × : 매개변수의 부적합.
 (1) : 매개변수는 적합하나 x^2 검정은 부적합.

표 2b. 최우도법에 의한 적합성 판정

확률분포형	GAM2	GAM3	GEV	GUM	LGU2	LGU3	LN2	LN3	LP3	WBU2	WBU3	
최 우 도 법	10분	○	○	○	○	(1)	×	○	○	×	○	×
	20분	○	○	○	○	(1)	×	○	○	×	○	×
	30분	○	○	○	○	○	×	○	○	×	(1)	×
	40분	○	○	○	○	○	×	○	○	×	(1)	×
	50분	○	○	○	○	○	×	○	○	×	(1)	×
	60분	○	○	○	○	○	×	○	○	×	(1)	×
	90분	○	○	○	○	○	×	○	○	×	○	×
	120분	○	○	(1)	○	(1)	×	(1)	(1)	×	○	(1)
	180분	○	○	(1)	○	(1)	×	○	(1)	(2)	(1)	×
	240분	○	○	○	○	○	○	○	○	(2)	○	×
	300분	○	○	○	○	○	×	○	○	×	(1)	×
360분	○	○	○	○	○	×	○	○	×	○	×	

주) ○ : 매개변수 및 x^2 , K-S, C-V-M 검정에서 적합. × : 매개변수의 부적합.
 (1) : 매개변수는 적합하나 x^2 검정은 부적합. (2) : 매개변수는 적합하나 K-S와 C-V-M 검정은 부적합.

표 2c. 확률가중 모멘트법에 의한 적합성 판정

확률분포형	GAM2	GAM3	GEV	GUM	LGU2	LGU3	LN2	LN3	LP3	WBU2	WBU3	
확 률 가 중 모 멘 트 법	10분	(4)	×	○	○	(2)	×	○	○	(3)	○	○
	20분	(4)	×	○	○	(1)	×	○	○	×	○	○
	30분	(4)	×	○	○	○	×	○	○	(3)	(1)	○
	40분	(4)	×	○	○	○	×	○	○	(3)	○	×
	50분	(4)	×	○	○	○	×	○	○	(3)	(1)	×
	60분	(4)	×	○	○	○	×	○	○	(3)	○	×
	90분	(4)	×	○	○	○	×	○	○	(3)	○	×
	120분	(4)	×	(1)	(1)	(1)	×	○	(1)	(3)	○	(1)
	180분	(4)	×	(1)	(1)	(1)	×	○	(1)	(3)	○	×
	240분	(4)	×	○	○	○	○	○	○	(3)	○	×
	300분	(4)	×	○	○	○	×	○	○	(3)	○	×
360분	(4)	×	○	○	○	×	○	○	(3)	○	×	

주) ○ : 매개변수 및 x^2 , K-S, C-V-M 검정에서 적합. × : 매개변수의 부적합.
 (1) : 매개변수는 적합하나 x^2 검정은 부적합. (2) : 매개변수는 적합하나 x^2 와 K-S 검정은 부적합.
 (3) : 매개변수는 적합하나 K-S와 C-V-M 검정은 부적합. (4) : 매개변수는 적합하나 x^2 , K-S, C-V-M 검정은 부적합.

표 3. 검정방법별 적합도를 통과하는 강우지속기간의 개수

매개변수추정방법	GAM2	GAM3	GEV	GUM	LGU2	LGU3	LN2	LN3	LP3	WBU2	WBU3
모멘트법	12	0	10	11	0	6	11	5	0	6	3
최우도법	12	12	10	12	8	1	11	10	0	6	0
확률가중모멘트법	0	0	10	10	8	1	12	10	0	10	3

표 4. 1차 선별 후 채택된 확률분포형

모멘트법	최우도법	확률가중모멘트법	비고
GAM2	GAM2	GEV	
GEV	GAM3	GUM	
GUM	GEV	LGU2	
LGU3	GUM	LN2	
LN2	LGU2	LN3	
WBU2	LN2	WBU2	
	LN3		
	WBU2		

선별에서 채택되었으며 이 중에서 3변수 Log-Gumbel (LGU3) 분포형은 지속기간 10분, 20분, 30분, 40분, 120분, 180분 등의 확률강우량의 분석이 이루어지지 않았고, 2변수 Weibull(WBU2) 분포에서도 지속기간 30분, 40분, 50분, 60분, 180분, 300분 등의 확률강우량 분석이 이루어지지 않았다. 나머지 분포형들도 한, 두 지속기간의 확률강우량 분석이 이루어지지 않아서, 최적 분포형의 선정에서 모멘트법은 제외시켰다.

최우도법에서 1차선별된 8개의 분포형중에서 2변수 Log-Gumbel(LGU2) 분포으로는 지속기간 10분, 20분, 120분 및 180분의 지속기간의 확률강우량의 분석이 이루어지지 않았으며, 30년 빈도 이상의 모든 재현 기간에서 240분 지속기간의 확률강우량이 300분의 지속기간 확률강우량보다 크게 분석되었다. 2변수 Weibull(WBU2) 분포는 지속기간 30분, 40분, 50분, 60분, 180분, 300분의 지속기간의 확률강우량 분석이 이루어지지 않았다. 3변수 Gamma(GAM3) 분포에 의한 10분 지속기간 2년빈도 확률강우량이 음수값일 뿐만 아니라, 추정된 확률강우량은 실제 강우량과의 전체적인 개형과 잘 일치하지 않는다. GEV 분포에 의한 확률강우량도 실제 강우량과의 전체적 개형이 맞지 않으며, 50분, 60분 지속기간의 확률강우량의 차이가 너무 근소하다. 3변수 Log-normal(LN3) 분포에서 30분, 40분, 50분, 60분 지속기간들의 확률강우량의 개형은 실제 강우량의 개형과 잘 일치하지 않으며, 300분, 360분 지속기간의 경사가 너무 급하다. 2변수 Gamma(GAM2) 분포에 의한 확률강우량은 너무 작

을 뿐만 아니라 2년 빈도의 값이 제대로 산정이 되지 않고 있다. 따라서, 최우도법에서 2차 선별 후 남게되는 분포형은 Gumbel (GUM)분포와 2변수 Log-normal (LN2) 분포이다.

확률가중모멘트법에서는 1차 선별에서 6개의 분포형이 선별되었으며, 13개의 재현기간 중에서 5년, 50년, 100년, 500년 4개의 재현기간만 선택하여 분포형들의 지속기간-강우량-빈도 곡선은 그리면 그림 10~13과 같다. 그림 10~13에서 보는 바와 같이 2변수 Log-Gumbel(LGU2) 분포형으로는 10분, 20분, 120분, 180분의 지속기간 확률강우량이 분석되지 않았으며 다른 분포형에 비해 과대하게 분석되고 있다. GEV 분포형에 의한 확률강우량은 90분 지속기간 이후로 경사가 급할 뿐만 아니라, 120분과 180분 지속기간에 대한 확률강우량 분석이 되지 않고 있다. 3변수 Log-normal(LN3) 분포형으로는 120분, 180분 지속기간의 확률강우량이 분석되지 않았으며, 90분 이후 지속기간의 경사가 너무 급하며, 다른 분포형에 비해 과대하게 분석되고 있다. 2변수 Weibull(WBU2) 분포형으로는 30분과 50분 지속기간의 확률강우량이 분석되지 않았으며, 다른 분포형에 비해 과소하게 분석되고 있다. 따라서, 확률가중모멘트법에서 2차 선별 후 남게 되는 분포형은 Gumbel(GUM) 분포와 2변수 Log-normal(LN2) 분포형이다.

최종적으로 남은 최우도법의 Gumbel 분포와 2변수 Log-normal 분포 그리고 확률가중 모멘트법의 Gumbel 분포와 2변수 Log-normal 분포 중에서, 실제 강우 자료의 전체적인 개형과 가장 잘 일치하고, 모든 지속기간에 대해 확률강우량 분석이 제대로 이루어지고 있는 확률가중모멘트법의 2변수 Log-normal 분포를 최적 확률 분포형으로 채택하였다. 선정된 확률 분포형인 확률가중모멘트법의 2변수 대수정규분포의 빈도별 지속기간별 확률강우량은 표 5와 같다.

4. 확률강우강도식의 결정

일반적으로 강우관측소의 강우특성과 재현기간에 따라 영향을 받는 강우강도와 지속기간의 관계를 나타내

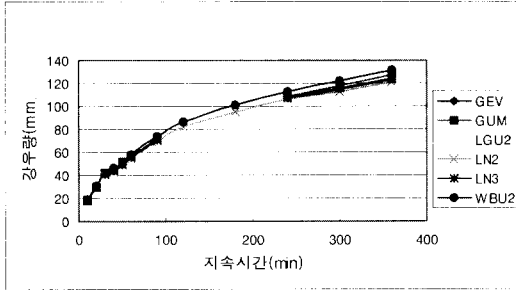


그림 10. 확률가중모멘트법에서 1차 선별되어진 분포형들의 지속시간-강우량-빈도곡선(5년)

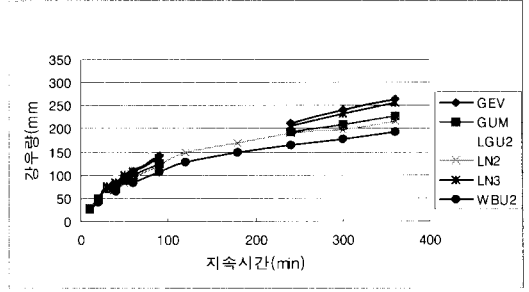


그림 12. 확률가중모멘트법에서 1차 선별되어진 분포형들의 지속시간-강우량-빈도곡선(100년)

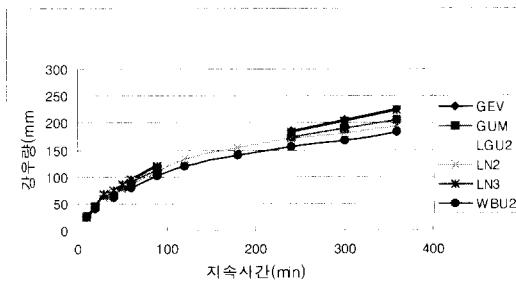


그림 11. 확률가중모멘트법에서 1차 선별되어진 분포형들의 지속시간-강우량-빈도곡선(50년)

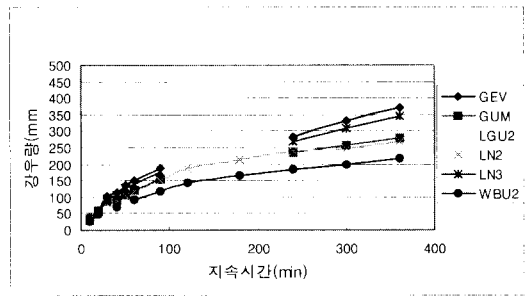


그림 13. 확률가중모멘트법에서 1차 선별되어진 분포형들의 지속시간-강우량-빈도곡선(500년)

표 5. 인천지방의 빈도별 지속기간별 확률강우량(mm)

지속기간 (분)	재현기간(년)												
	2	3	5	10	20	30	50	70	80	100	200	300	500
10	14.8	16.8	19.1	21.9	24.4	25.9	27.7	28.9	29.4	30.1	32.5	33.9	35.7
20	22.3	25.9	29.8	34.8	39.4	42.1	45.5	47.6	48.5	50.0	54.5	57.1	60.5
30	30.2	35.1	40.5	47.2	53.6	57.3	61.9	64.9	66.1	68.1	74.3	77.9	82.6
40	31.8	37.1	42.9	50.1	57.0	61.0	65.9	69.2	70.5	72.6	79.3	83.3	88.3
50	36.1	42.1	48.9	57.3	65.4	70.0	75.8	79.6	81.1	83.6	91.5	96.2	102.1
60	39.9	46.8	54.5	64.2	73.5	78.8	85.5	89.9	91.7	94.6	103.8	109.2	116.1
90	50.2	59.0	69.0	81.5	93.6	100.5	109.2	115.0	117.3	121.1	133.1	140.2	149.3
120	58.2	69.3	81.9	97.9	113.4	122.4	133.8	141.4	144.4	149.5	165.4	174.8	186.9
180	67.8	80.4	94.6	112.7	130.1	140.3	153.0	161.5	164.9	170.5	188.2	198.7	212.2
240	75.9	90.1	106.0	126.3	145.9	157.2	171.6	181.0	184.8	191.2	211.0	222.9	237.9
300	81.5	96.2	112.7	133.5	153.6	165.2	179.8	189.4	193.3	199.7	219.8	231.7	247.0
360	87.3	103.1	121.0	143.6	165.4	178.0	193.9	204.4	208.6	215.6	237.5	250.5	267.1

는 확률강우강도식은 다음 식 (1)~(5)와 같은 유형의 경험공식으로 표시된다(Wenzel, 1982).

$$\text{Talbot형} : I = \frac{a}{t + b} \quad (1)$$

$$\text{Sherman형} : I = \frac{a}{t^n} \quad (2)$$

$$\text{Japanese형} : I = \frac{a}{\sqrt{t + b}} \quad (3)$$

$$\text{통합형 I : } I = \frac{a}{t^n + b} \quad (4)$$

$$\text{통합형 II : } I = \frac{a}{(t + b)^n} \quad (5)$$

여기서, I는 강우강도(mm/hr), t는 강우지속기간(min.), a, b 및 n은 지역 및 강우특성에 따라 달라지며 회귀분석에 의하여 결정되는 상수들이다.

서울시(1991)는 하천연안 수공구조물 안전진단 및 관리대책 조사연구에서 강우지속기간 120분을 기준으로 단기간 및 장기간으로 구분하여 확률강우강도식을 유도하였다. 한편 이재준 등(1993)은 서울지방에서 우수관거 설계를 위한 계획강우의 임계지속기간을 30분 및 60분으로 추정하였으며, 이종태 등(1993)은 서울지방에서 우수지 기능이 추가 될 경우에는 임계지속기간을 60분으로 추천하였다. 따라서 본 연구에서는 강우지속기간 10분부터 6시간까지의 전체 강우지속기간 자

표 6. 6시간 강우지속기간에 대한 재현기간별 확률강우강도식

재현기간	Talbot형	Sherman형	Japanese형	통합형 I	통합형 II
2년	$I = \frac{5384}{59.85 + t}$ (4.53)	$I = \frac{317}{t^{0.51}}$ (3.04)	$I = \frac{298}{\sqrt{t - 0.08}}$ (2.92)	$I = \frac{753}{t^{0.651} + 3.97}$ (1.336)	$I = \frac{493}{(t + 8.11)^{0.592}}$ (1.342)
3년	$I = \frac{6476}{63.41 + t}$ (4.99)	$I = \frac{355}{t^{0.50}}$ (3.81)	$I = \frac{356}{\sqrt{t + 0.06}}$ (3.49)	$I = \frac{951}{t^{0.663} + 4.80}$ (1.575)	$I = \frac{591}{(t + 9.65)^{0.593}}$ (1.574)
5년	$I = \frac{7712}{66.59 + t}$ (5.59)	$I = \frac{397}{t^{0.49}}$ (4.56)	$I = \frac{422}{\sqrt{t + 0.19}}$ (4.02)	$I = \frac{1149}{t^{0.666} + 5.36}$ (1.866)	$I = \frac{687}{(t + 10.66)^{0.591}}$ (1.871)
10년	$I = \frac{9300}{70.05 + t}$ (6.30)	$I = \frac{449}{t^{0.48}}$ (5.55)	$I = \frac{506}{\sqrt{t + 0.34}}$ (4.73)	$I = \frac{1422}{t^{0.671} + 6.08}$ (2.251)	$I = \frac{814}{(t + 11.91)^{0.59}}$ (2.232)
20년	$I = \frac{10882}{73.47 + t}$ (6.83)	$I = \frac{495}{t^{0.47}}$ (6.64)	$I = \frac{589}{\sqrt{t + 0.48}}$ (5.53)	$I = \frac{1758}{t^{0.681} + 7.14}$ (2.651)	$I = \frac{955}{(t + 13.59)^{0.592}}$ (2.652)
30년	$I = \frac{11787}{74.95 + t}$ (7.20)	$I = \frac{522}{t^{0.47}}$ (7.21)	$I = \frac{637}{\sqrt{t + 0.54}}$ (5.96)	$I = \frac{1936}{t^{0.684} + 7.54}$ (2.896)	$I = \frac{1030}{(t + 14.20)^{0.592}}$ (2.895)
50년	$I = \frac{12948}{76.88 + t}$ (7.62)	$I = \frac{554}{t^{0.47}}$ (7.99)	$I = \frac{697}{\sqrt{t + 0.61}}$ (6.55)	$I = \frac{2186}{t^{0.689} + 8.16}$ (3.227)	$I = \frac{1131}{(t + 15.14)^{0.593}}$ (3.22)
70년	$I = \frac{13723}{78.12 + t}$ (7.89)	$I = \frac{575}{t^{0.46}}$ (8.46)	$I = \frac{738}{\sqrt{t + 0.66}}$ (6.89)	$I = \frac{2341}{t^{0.691} + 8.48}$ (3.424)	$I = \frac{1195}{(t + 15.67)^{0.593}}$ (3.424)
80년	$I = \frac{14028}{78.50 + t}$ (8.03)	$I = \frac{584}{t^{0.46}}$ (8.64)	$I = \frac{754}{\sqrt{t + 0.68}}$ (7.02)	$I = \frac{2393}{t^{0.691} + 8.54}$ (3.506)	$I = \frac{1218}{(t + 15.79)^{0.593}}$ (3.507)
100년	$I = \frac{14558}{79.43 + t}$ (8.16)	$I = \frac{597}{t^{0.46}}$ (9.05)	$I = \frac{781}{\sqrt{t + 0.72}}$ (7.36)	$I = \frac{2555}{t^{0.696} + 9.05}$ (3.685)	$I = \frac{1274}{(t + 16.43)^{0.596}}$ (3.677)
200년	$I = \frac{16197}{81.74 + t}$ (8.70)	$I = \frac{639}{t^{0.45}}$ (10.12)	$I = \frac{866}{\sqrt{t + 0.81}}$ (8.17)	$I = \frac{2938}{t^{0.702} + 9.88}$ (4.147)	$I = \frac{1421}{(t + 17.64)^{0.597}}$ (4.141)
300년	$I = \frac{17184}{83.10 + t}$ (8.99)	$I = \frac{663}{t^{0.45}}$ (10.74)	$I = \frac{917}{\sqrt{t + 0.86}}$ (8.63)	$I = \frac{3169}{t^{0.705} + 10.35}$ (4.388)	$I = \frac{1509}{(t + 18.35)^{0.597}}$ (4.386)
500년	$I = \frac{18436}{84.57 + t}$ (9.42)	$I = \frac{695}{t^{0.45}}$ (11.55)	$I = \frac{982}{\sqrt{t + 0.92}}$ (9.26)	$I = \frac{3477}{t^{0.709} + 10.94}$ (4.78)	$I = \frac{1620}{(t + 19.12)^{0.598}}$ (4.777)
평균재유출량 오차의 합	(94.25)	(97.36)	(80.53)	(39.732)	(39.718)

료를 활용하여 분석한 결과와 10분부터 2시간까지의 강우지속기간만을 고려하여 분석한 결과를 비교하였다.

4.1 6시간 강우지속기간인 경우

앞에서 추정한 인천지방의 강우지속기간별 확률강우량을 이용하여 6시간 강우지속기간에 대한 확률강우강도식을 구하면 표 6과 같다.

Talbot형, Sherman형, Japanese형은 최소자승법을 이용하여 구하였으며, 통합형 I과 통합형 II는 최소자승법과 시산법을 이용하여 구하였다. 표 6에서 괄호안의 숫자는 식 (6)과 같이 표현되는 평균제곱근오차를 나타내며 단위는 mm/hr이다.

$$\text{평균제곱근오차} = \sqrt{\frac{\sum (X - \hat{X})^2}{N}} \quad (6)$$

여기서, X는 결정된 강우강도 공식에 의하여 산출된 강우강도이며 \hat{X} 는 빈도분석에 의하여 구한 확률강우강도이고 N은 각 재현기간별 강우지속기간의 개수이다.

표 6을 살펴보면 5가지 공식 모두 재현기간이 증가할수록 평균제곱근오차가 증가하고 있으나, 통합형 I과 통합형 II의 평균제곱근오차가 다른 3가지 공식보다 현저히 작음을 알 수 있다. 따라서 6시간 강우지속기간 자료를 이용한 분석결과는 통합형 I과 통합형 II가 나

머지 3가지 공식보다 적절한 것으로 판단된다.

4.2 2시간 강우지속기간인 경우

빈도분석에 의하여 산출된 확률강우량에 접근되는 공식을 산정하기 위하여 2시간 강우지속기간에 대한 확률강우강도식은 표 7과 같다. 6시간 강우지속기간에 관한 확률강우강도식과 비교·평가하기 위하여, 표 7의 평균제곱근오차는 결정된 2시간 강우지속기간에 관한 확률강우강도식을 강우지속기간 6시간까지 확장하여 계산한 값으로 수록하였다.

표 7에서 보는 바와 같이 2시간 강우강도공식의 평균제곱근오차는 재현기간이 증가할 수록 증가함을 알 수 있고, 이는 표 6의 6시간 강우지속기간인 경우와 같이 통합형 I과 통합형 II가 나머지 3가지 공식보다 적절한 것으로 나타났다.

4.3 인천지방 강우강도식 선정 및 기존 공식과 비교

앞절에서 검토한 바와 같이 통합형 I, II가 Talbot형, Sherman형, Japanese형보다 인천지방 강우형태를 잘 나타내고 있으므로 통합형 I, II를 기준으로 인천지방 확률강우강도식이 결정되는 것이 바람직하다. 그림 14는 앞절에서 구한 50년 빈도 확률강우강도식 통합형 I, II에 의한 지속기간별 강우강도를 표시한 것

표 7. 2시간 강우지속기간에 대한 재현기간별 확률강우강도식

지속기간	통합형 I	통합형 II	지속기간	통합형 I	통합형 II
2년	$I = \frac{660}{t^{0.627} + 3.17}$ (1.35)	$I = \frac{387}{(t + 5.40)^{0.539}}$ (1.48)	70년	$I = \frac{1652}{t^{0.620} + 5.26}$ (3.66)	$I = \frac{711}{(t + 8.38)^{0.484}}$ (4.39)
3년	$I = \frac{829}{t^{0.635} + 3.88}$ (1.59)	$I = \frac{450}{(t + 6.46)^{0.535}}$ (1.76)	80년	$I = \frac{1671}{t^{0.618} + 5.23}$ (3.75)	$I = \frac{720}{(t + 8.38)^{0.482}}$ (4.54)
5년	$I = \frac{936}{t^{0.624} + 3.92}$ (1.93)	$I = \frac{491}{(t + 6.57)^{0.519}}$ (2.18)	100년	$I = \frac{1792}{t^{0.624} + 5.61}$ (3.91)	$I = \frac{746}{(t + 8.80)^{0.483}}$ (4.68)
10년	$I = \frac{1113}{t^{0.621} + 4.24}$ (2.34)	$I = \frac{553}{(t + 7.01)^{0.507}}$ (2.73)	200년	$I = \frac{1981}{t^{0.622} + 5.84}$ (4.45)	$I = \frac{795}{(t + 9.11)^{0.475}}$ (5.41)
20년	$I = \frac{1323}{t^{0.623} + 4.77}$ (2.79)	$I = \frac{616}{(t + 7.76)^{0.499}}$ (3.29)	300년	$I = \frac{2084}{t^{0.620} + 5.94}$ (4.75)	$I = \frac{821}{(t + 9.26)^{0.47}}$ (5.84)
30년	$I = \frac{1428}{t^{0.622} + 4.92}$ (3.06)	$I = \frac{649}{(t + 7.97)^{0.495}}$ (3.59)	500년	$I = \frac{2241}{t^{0.620} + 6.15}$ (5.17)	$I = \frac{857}{(t + 9.44)^{0.465}}$ (6.44)
50년	$I = \frac{1588}{t^{0.624} + 5.26}$ (3.41)	$I = \frac{694}{(t + 8.39)^{0.49}}$ (4.07)	합 계	(42.16)	(50.40)

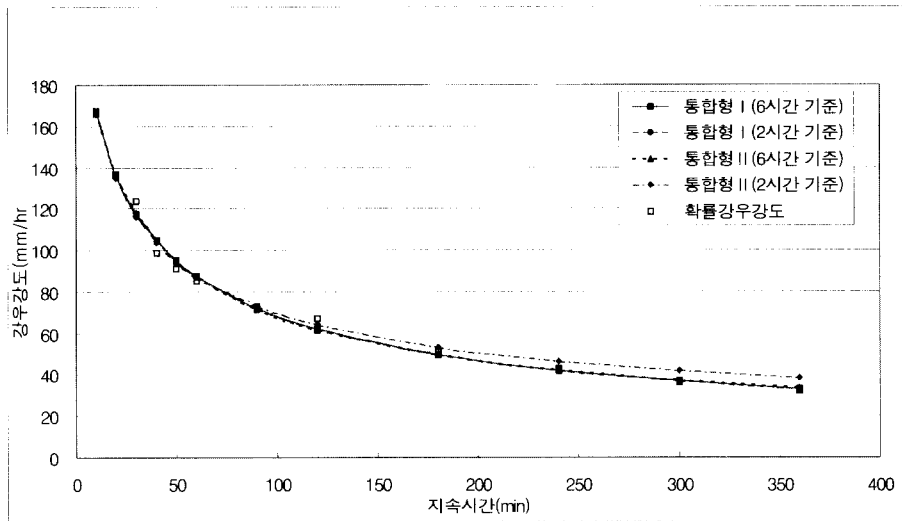


그림 14. 지속기간별 50년빈도 확률강우강도

이다. 표 6 및 표 7에서 보는 바와 같이 6시간 강우지속기간에 관한 확률강우강도식 통합형 II의 평균제곱근 오차 누계가 가장 작음을 알 수 있다. 그러나 통상 실무에서 확률강우강도식을 사용하여 계산된 강우강도가 빈도해석에 의하여 추정된 확률강우강도보다 작은 값이 많아 과소산정하는 경우가 있어왔다. 또한 그림 14에서 보는 바와 같이 2시간 지속기간에 관한 확률강우강도식 통합형 I을 6시간까지 확장한 경우, 평균제곱근오차의 누계는 약간 커지지만 추정된 확률강우강도보다 작은 값이 제일 작으므로, 수공구조물의 안정성을 고려하는 측면에서 2시간 강우지속기간 통합형 I이 인천지방의 강우강도공식으로 가장 적합하다고 판단된다. 표 8은 본 논문에서 제안된 인천지방의 확률강우강도 공식을 나타내고 있다.

결정된 확률강우강도식인 2시간 강우지속기간에 관한 통합형 I의 평균제곱근오차와 현행 사용되고 있는 강우강도식(이원환, 1980)의 평균제곱근오차를 비교하면 표 9와 같다. 물론 이원환(1980)의 공식은 강우결

표 8. 본 논문에서 제안된 인천지방 강우강도공식

지속 기간	통합형 I	지속 기간	통합형 I
2년	$I = \frac{660}{t^{0.627} + 3.17}$	70년	$I = \frac{1652}{t^{0.620} + 5.26}$
3년	$I = \frac{829}{t^{0.635} + 3.88}$	80년	$I = \frac{1671}{t^{0.618} + 5.23}$
5년	$I = \frac{936}{t^{0.624} + 3.92}$	100년	$I = \frac{1792}{t^{0.624} + 5.61}$
10년	$I = \frac{1113}{t^{0.621} + 4.24}$	200년	$I = \frac{1981}{t^{0.622} + 5.84}$
20년	$I = \frac{1323}{t^{0.623} + 4.77}$	300년	$I = \frac{2084}{t^{0.620} + 5.94}$
30년	$I = \frac{1428}{t^{0.622} + 4.92}$	500년	$I = \frac{2241}{t^{0.620} + 6.15}$
50년	$I = \frac{1588}{t^{0.624} + 5.26}$		

정시 1시간이상의 자료를 적용하여 결정하였으므로 본 연구에서의 공식과 단순 비교하기는 무리일수도 있으

표 9. 결정된 강우강도식과 현행 사용강우강도식의 평균제곱근 오차(mm/hr)

재현기간	2년	3년	5년	10년	20년	30년	50년	70년	100년	200년	300년	500년
현행 사용 강우강도식 (이원환, '80)	6.61	5.97	5.53	5.67	7.15	6.75	6.76	7.01	7.35	8.37	9.13	10.55
본 연구 강우강도식	1.35	1.59	1.93	2.34	2.79	3.06	3.41	3.66	3.91	4.45	4.75	5.17

나, 표 9에서 보는 바와 같이 모든 재현기간에 있어 본 연구에서 결정된 강우강도공식의 평균제곱근오차가 이원환(1980)의 공식에 비하여 상당히 작음을 알 수 있다.

허준행 등(1999)은 1950년부터 1991년까지 8개 지속기간(5분, 30분, 1시간, 2시간, 3시간, 6시간, 12시간, 24시간)에 관한 연최대강우 자료로부터 인천지방의 확률강우강도식을 제안하였으며, 이재준과 이정식(1999)은 1961년부터 1996년까지 12개 지속기간(10분, 1시

간, 2시간, 3시간, 4시간, 5시간, 6시간, 8시간, 10시간, 12시간, 18시간, 24시간)의 연최대강우 자료로부터 인천지방의 확률강우강도식을 발표하였다. 최근에 발표된 위의 공식들과 본 연구에서의 공식들과의 비교는 각각 채택한 강우지속기간과 강우량 자료년수가 서로 상이하여 비교 평가하기는 어려우나 단순히 지속기간 60분인 경우 재현기간별 강우강도식에 의해 강우량을 계산하면 다음 표 10과 같다. 표 10에서 보는 바와 같이 60분 강우지속기간인 경우 허준행 등(1999)의 공식과

표 10. 재현기간별 강우강도에 의해 산정된 강우량(60분지속기간)

	강우강도식에 의해 산정된 강우량(60분 지속기간), mm							
	2년	5년	10년	20년	30년	50년	100년	200년
허준행 등(1999)	39.8	55.5	66.5	76.7	82.3	89.1	97.8	106.0
이재준과 이정식(1999)	39.7	51.4	58.6	65.5	69.2	74.2	80.4	86.8
본 연구	40.7	55.8	65.6	75.2	80.8	87.6	96.9	106.5
확률강우량(표 5 참조)	39.9	54.5	64.2	73.5	78.8	85.5	94.6	103.8

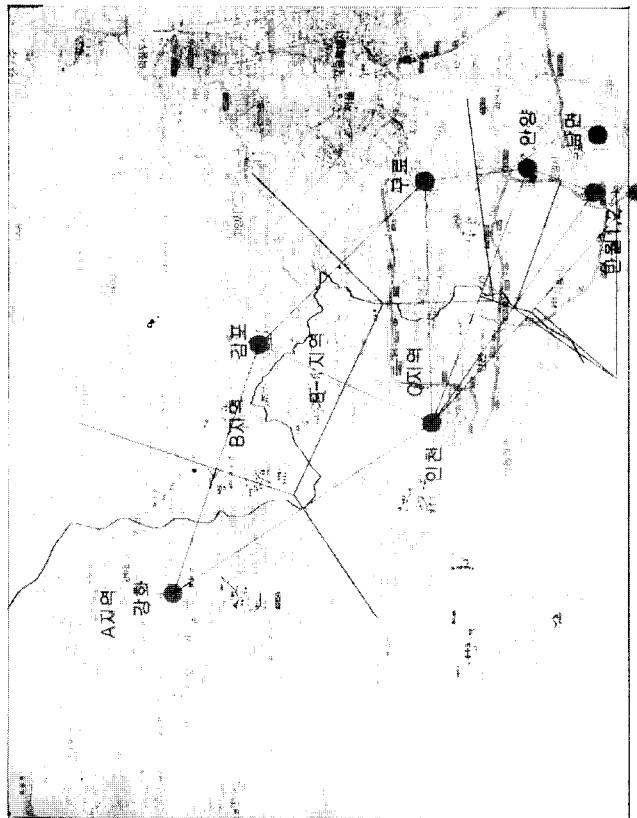


그림 15. Thiessen망을 이용한 우량관측소별 영향권역

본 연구의 공식에 의한 재현기간별 강우량은 표 5의 강우지속기간 60분인 경우 확률강우량에 근접하나 허준행 등의 공식에 의한 값이 조금 크고, 이재준과 이정식(1999)의 공식에 의한 확률강우량은 추정된 확률 강우량보다 작게 나타나고 있다.

5. 제안된 강우강도식의 공간적 적용범위

인천기상대 관측자료를 활용하여 도출된 강우강도식을 인천지역에 단순히 적용하기보다는 주변의 관측소와의 관계를 고려하여 적절한 지역에 한하여 적용되는 것이 바람직하다. 인천지역 및 인천광역시 인근의 강우 관측소는 인천지역내 위치한 인천기상대와 인천지역 인근에 위치한 강화관측소, 김포관측소, 구로관측소, 안양관측소, 남면관측소, 반월1관측소 및 반월2관측소가 위치해 있으며 각각의 관측소를 Thiessen법을 이용하여 영향권역을 구분하면 그림 15와 같다. 그림 15에서 보는 바와 같이 C지역은 인천관측소 영향권이며, A지역은 강화관측소 영향권, B지역 중 B-1지역은 김포관측소 영향권임을 알 수 있다. 그밖에 구로, 안양, 남면, 반월1, 반월2 관측소의 영향권에 있는 지역도 있지만 인천시 전체면적을 고려하면 무시할 수 있다. 그러나 B-1지역에 해당하는 굴포배수구역에서 계산일부지역과 계양1지역, 계양2지역 그리고 검단배수구역에서 검단지역, 계양지역, 나진포지역은 인천기상대보다 김포관측소의 영향권에 있는 것으로 나타나고 있다. 그러나 현재 사용되고 있는 이들 지역에 적용되고 있는 강우강도식은 인천기상대에서 추정된 강우자료로 제안된 강우강도식이므로, 적절한 계획빈도를 결정하더라도 계획 강우량의 산출이 잘못될 가능성이 있다. 따라서 이들 지역은 김포관측소의 강우자료로 제안된 강우강도식을 이용하여 빈도별 우량을 산출하는 것이 타당하다고 판단되며 본 강우강도식의 공간적 적용범위는 C지역에 한하는 것이 바람직하다. 다만, 현재 김포우량관측소의 경우 강우강도식을 제안하기에 충분한 자료가 확보되어 있지 않으므로 충분한 자료 확보까지는 본 공식을 활용하는 것이 불가피할 것으로 사료된다.

6. 요약 및 결론

본 연구에서는 인천지방 확률강우강도식을 결정하기 위하여 인천기상대에서 관측된 자료를 검토하여 지속 시간 10분~6시간까지의 연최대강우량을 선정하고 선정된 연최대강우량을 분석하여 확률강우량 및 확률강우강도를 결정하였다. 확률강우량은 2변수 Gamma 분

포 등 11개의 분포형에 대한 매개변수를 추정한 후 Chi-square 검정방법, Kolmogorov-Smirnov 검정방법, Cramer Von Mises 검정방법을 실시하고, 도시적인 분석과 함께 적정 분포형을 결정하여 산정하였다. 확률강우강도식은 최소지승법을 사용하여 Talbot형, Sherman형, Japanese형의 3가지로 분석하고, 최소지승법과 시산법을 사용한 통합형 I과 통합형 II를 분석하여 인천지방 강우강도공식을 제안하였다.

인천지방에 대한 현행 강우강도식으로부터 계산된 강우강도는 급변에 분석하여 추정된 확률강우강도에 훨씬 못 미치고 있어 설계 적용시 무리가 있음을 알 수 있었다. 본 연구에서 결정된 강우강도는 몇 개에 한해서 추정된 확률강우강도보다 약간 작은 값이 있기는 하지만 그 차이가 아주 미미하며, 평균제곱근오차를 살펴보면 현행강우강도식보다 모든 재현기간에 있어서 그 오차가 상당히 작음을 알 수 있다.

본 연구에서 제안된 확률강우강도식은 과거의 공식에 비하여 최근 강우특성을 잘 반영하고 있으며 확률빈도에 따라 동일형태의 강우강도식을 사용하고 있기 때문에 과거와 같이 강우강도식의 형태에 따라 강우강도의 변화가 크고 심지어는 확률빈도가 커져도 강우강도가 오히려 작아지는 등의 문제점이 해소되었다. 향후 인천지방에서의 각종 우수량이나 홍수량 등의 산정시 본 연구에서 제안된 공식을 사용하면 보다 합리적인 계획이 될 것으로 판단되며, 또한 인천시(1999)의 하수도정비 기본계획 변경보고서에 의거 인천지역 우수관거 설계시 활용될 것이다.

참 고 문 헌

- 건설부 (1988). "한국 확률강우량의 작성", 수자원 관리기법 개발 연구조사보고서, 제2권.
- 기상청 (1952~1997). 기상연보.
- 기상청 (1952~1997). 기상월보.
- 서울특별시 (1991). 하천연안 수공구조물 안전진단 및 관리대책 조사연구보고서, 서울시.
- 이승재, 서규우, 허준행, 조원철 (1995). "한강 고안 지점의 홍수위 환산과 홍수 빈도해석." 한국수자원학회논문집, 한국수자원학회, 제28권, 제5호, pp. 191~204.
- 이원환 (1967). "국내 지역별 강우특성과 확률강우량 산정에 관한 연구." 대한토목학회지, 대한토목학회, 제15권, 제3호, pp. 28~38.
- 이원환 (1980). "도시하천 및 하수도 개수계획상의

- 계획강우량 설정에 관한 추계학적 해석.” 대한토목학회지, 대한토목학회, 제28권, 제4호, pp. 81~93.
- 이원환, 변근주 (1969). “중소하천 및 도시하수도 계획설계에 필요한 확률강우강도식의 유도.” 대한토목학회지, 대한토목학회, 제16권, 제4호, pp. 1~11.
- 이종태, 윤세의, 이재준, 윤용남 (1993). “유수지 설계를 위한 계획강우의 임계지속기간, -서울지역을 중심으로”, 대한토목학회논문집, 대한토목학회, 제26권, 제1호, pp. 115~124.
- 이재준, 이정식, 전병호, 이종태 (1993). “우수관거설계를 위한 계획강우의 임계지속기간, -서울지역을 중심으로”, 대한토목학회논문집, 대한토목학회, 제26권, 제2호, pp. 49~56.
- 이재준, 이정식 (1999). “우리나라 도시배수시스템 설계를 위한 확률강우강도식의 유도.” 한국수자원학회논문집, 한국수자원학회, 제32권 제4호, pp. 403~415.
- 인천기상대 (1952~1997). 강우자기기록지
- 인천시 (1999). 하수도정비기본계획 변경보고서 부록
- 확률강우강도식 연구보고서.
- 최계운 등 (1999). “인천지방의 지속기간별 연최대강우량 자료 조사”. 한국수자원학회지, 한국수자원학회, 제32권, 제3호, pp. 60~64.
- 최영박, 박종훈 (1966). “한국주요도시의 강우강도식형의 지역적 특성연구.” 대한토목학회지, 대한토목학회, 제14권, 제1호, pp. 15~29.
- 최영박, 이선근 (1968). “한국 각지방의 강우강도와 강도비 C치의 산정에 대하여.” 대한토목학회지, 대한토목학회, 제16권, 제2호, pp. 61~73.
- 허준행, 김경덕, 한정훈 (1999). “지속기간별 강우자료의 적정분포형 선정을 통한 확률강우강도식의 유도.” 한국수자원학회논문집, 한국수자원학회, 제32권, 제3호, pp. 247~254.
- Wenzel, H. G. (1982). “Rainfall for urban stormwater design” in *Urban Stormwater Hydrology* edited by D. F. Kiber, *Water Resource Monograph 7*, American Geophysical Union, Washington, D. C.

(논문번호:99-089/접수:1999.11.19/심사완료:2000.02.19)