

## 강우강도를 고려한 도달시간 산정식

## The Time of Concentration Considering the Rainfall Intensity

유 동 훈\* / 김 종 희\*\* / 이 민 호\*\*\* / 이 상 호\*\*\*\*

Yoo, Dong Hoon / Kim, Jong Hee / Lee, Min Ho / Lee, Sangho

## Abstract

The rainfall intensity is a very essential factor which must be considered for the estimation of the time of concentration. The rainfall intensity, however, is not fully considered for the estimation of the time of concentration due to the complexity of the equation of rainfall intensity. To increase accuracy of the time of concentration, the rainfall intensity and return period were included in the derivation of the time of concentration equations in this study. The equation of rainfall intensity is Sherman type and the regional coefficients were estimated from the rainfall intensity readings on the probability rainfall maps published by Ministry of Construction and Transportation. For simple calculation of rainfall intensities, the contour maps were drawn that expresses coefficients of the Sherman type equation. By substituting the Sherman type equation of rainfall intensity in the equation of the time of concentration, a relatively simple equation with no repeated calculation has been derived. From the study results, in order to include the influence of the rainfall intensity for the estimation of the time of concentration, it is highly recommended that the Sherman type equation of rainfall intensity be used. When one knows a location in Korea and a return period, he can estimate the coefficients of the rainfall intensity equation and calculate the time of concentration considering the rainfall intensity.

**Keywords** : Time of concentration, Rainfall intensity, Return period, Sherman type equation, Regional coefficient

## 요 지

도달시간 산정식에서 강우강도는 고려되어야 할 매우 중요한 요소이지만 일반적으로 강우강도식의 복잡함 때문에 도달시간 산정에서 강우강도를 충분히 고려하지 못하고 있는 실정이다. 본 연구에서는 도달시간 계산의 정확성을 높이기 위하여 강우강도와 재현기간을 도달시간 산정식의 유도에 포함시켰다. 강우강도식으로는 Sherman형 식을 사용하였고, 건설교통부에서 발행한 확률강우량도에서 독취한 강우강도 값으로 수식의 지역상수를 추정하였다. 그리고 확률강우량을 간결하게 계산하기 위하여 Sherman형 식의 지역상수를 등치선도로 나타냈다. 기존의 연구에서는 일반형 강우강도식을 대입하여 반복계산으로 도달시간을 산정하였지만, 본 연구에서는 Sherman형 강우강도식을 도달시간 수식에 대입함으로써 반복계산이 필요 없는 간단한 도달시간 식이 유도되었다. 연구 결과로부터, 도달시간 계산에 강우강도의 영향을 반영

\* 전 아주대학교 환경건설교통공학부 교수 (e-mail: dhyoo@ajou.ac.kr)

Prof., Division of Environmental, Civil & Transportation, Ajou Univ., Suwon 443-749, Korea

\*\* 교신저자, 아주대학교 대학원 건설교통공학과, 현 지오매니아 공공사업부 (e-mail: jhkim2@geomania.com)

Corresponding Author, MS, Dept. of Civil & Transportation Engrg., Ajou Univ., Suwon 443-749, Korea

\*\*\* 국토해양부 한강홍수통제소 하천정보센터 시설연구사 (e-mail: leeminho@korea.kr)

Researcher, River Information Center, Han River Flood Control Office, Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, Seocho-gu, Seoul 137-049, Korea

\*\*\*\* 부경대학교 토목공학과 교수 (e-mail: peterlee@pknu.ac.kr)

Prof., Civil Eng., Pukyong National Univ., Busan 608-737, Korea

하기 위하여 Sherman형 식의 사용을 추천한다. 그리고 재현기간과 우리나라에서 위치가 정해지면, 강우강도식의 지역상수를 간편하게 추정할 수 있고, 강우강도가 고려된 도달시간을 계산할 수 있다.

**핵심용어** : 도달시간, 강우강도, 재현기간, Sherman형 식, 지역상수

## 1. 서론

도달시간은 하천 분류를 따라 유역의 가장 먼 곳에서부터 유역 출구까지 물이 유하하는데 소요되는 시간을 말한다. 도달시간은 크게 지표면 흐름에서의 소요시간과 하도에서의 소요시간으로 나눌 수 있다. 강우가 지상에 도달하면 손실을 제외한 유효강우는 지표로 흐르게 된다. 지표면 흐름이 계속되면서 자연히 수로가 형성되므로 이러한 현상에 따라 도달시간은 지표면 흐름에서의 소요시간과 하도 흐름에서의 소요시간을 합한 것으로 정의할 수 있다(선우중호, 2006).

도달시간 산정에 있어 고려되어야 할 요소에는 유역형상과 흐름상태, 강우강도 등이 있다. 도달시간의 개념이 도입된 초기는 유역형상에 의한 영향을 도달시간 산정에 반영하였지만 공간과 시간에 따라 달라지는 강우의 특성을 적절히 고려하지 못하였다. 반면, 현재 널리 알려진 공식인 Kirpich 산정식은 이러한 점을 보완하여 강우 특성에 대한 여러 요소를 반영하였다. 그러나 Kirpich 산정식은 매우 제한적인 조건에서 적용해야 하는 단점이 있는 산정식이다. 또한 Izzard 산정식을 개선하여 Butler (1977)가 제시한 산정식은 다양한 흐름상태와 강우에 의한 영향을 도달시간 산정식에 반영하였으나 유역형상에 의한 영향은 고려하지 않았다. 이와 같이 기존 도달시간 산정식들은 도달시간 산정에 고려되어야 하는 여러 요인들을 제한적으로 고려하고 있다. 따라서 기존 산정식들을 실무에 적용할 경우 혼돈의 우려가 많으며 각 산정식의 산정결과가 많은 차이를 보이고 있다.

Singh (1976)은 지표면 흐름을 kinematic wave 이론으로 해석하였으며 유역형상을 평면형상과 수렴형상, 발산형상으로 분류하여 유역형상에 따른 도달시간 산정식을 제시하였다.

한편, 유동훈과 전우용 (2000)은 불투수층 사면에 대하여 일반형 강우강도식으로 도달시간 산정식을 유도한 다음 강우강도식의 근사해를 대입하는 방법을 제시하였다. 근사식의 사용 이유는 일반형 강우강도식이 복잡하기 때문이다. 본 연구에서는 Sherman형 강우강도식으로 지역상수를 산정하고 수식에 의한 강우강도 계산값과 지역상수 추정에 이용된 강우강도 값의 차이가 작음을 확인하였다. 그리고 도달시간 산정식의 유도과정에서 Sherman형

강우강도식을 대입하여 반복시산이 없는 비교적 간단한 형태의 도달시간 산정식을 도출하였다. 또한 우리나라 63개 강우관측소의 확률강우량을 분석하여 Sherman형 강우강도식의 지역상수  $a$ ,  $b$ ,  $n$ 을 산정하였고, 그 지역상수의 분포도를 도시하여 제시하였다.

## 2. 도달시간의 이론적 해석

도달시간 산정식은 일반형 도달시간 산정식을 기초로 층류, 완난류, 전난류 등으로 분류되는 개수로 흐름 상태 (Fig. 1)에 따라 도출되었다. 개수로 흐름 상태에 따른 분석은 지표면 유출이 수로조건 및 조도에 따라 흐름이 좌우되는 개수로 흐름과 유사하기 때문이다. 홍수유출의 도달시간 산정식은 연속방정식으로부터 추정할 수 있으며, 지표면 흐름에서 단위폭당 유량을 고려하면 연속방정식은 다음과 같이 표현할 수 있다 (Singh, 1976).

$$\frac{\partial h}{\partial t} + u \frac{\partial h}{\partial x} + h \frac{\partial u}{\partial x} = I(x, t) \quad (1)$$

$$q = uh = \eta(x)h^m \quad (2)$$

$$u = \eta \cdot h^{m-1} \quad (3)$$

여기서,  $h$ 는 수심,  $u$ 는 평균유속,  $q$ 는 단위폭당 유출량,  $I(x, t)$ 는 유효강우강도,  $\eta$ 는 마찰관계항,  $m$ 은 상수이다.  $h(x, 0) = 0$ ,  $h(0, t) = 0$ 의 경계조건에서 특성곡선법 (method of characteristics)을 적용하면 (Singh, 1996)

$$\frac{dt}{dx} = \frac{1}{m\eta(x)h^{m-1}} \quad (4)$$

한편, 단위폭당 유출량  $q$ 는 다음과 같은 적분식의 형태로 나타낼 수 있다.

$$q = \eta(x)h^m = \int_0^x I(\xi, t(\xi))d\xi \quad (5)$$

$$h(x) = \left[ \frac{1}{\eta(x)} \int_0^x I(\xi, t(\xi))d\xi \right]^{\frac{1}{m}} \quad (6)$$

마찰관계항 ( $\eta$ )과 강우강도 ( $I$ )가 일정하다고 가정하고 Eq. (6)을 Eq. (4)에 대입하여  $0 \sim L$ 구간에서 적분하면 다음과 같은 일반형 도달시간 산정식이 유도된다.

$$t_c = I \frac{1-m}{m} \left( \frac{L}{\eta} \right)^{\frac{1}{m}} \quad (7)$$

여기서,  $t_c$ 는 도달시간이며,  $L$ 은 유역길이이고 마찰관계항 ( $\eta$ )은 유역경사( $S$ )를 포함하고 있다. 따라서 일반형 도달시간 산정식은 강우강도 ( $I$ ), 유역길이 ( $L$ ), 유역경사 ( $S$ )를 포함한다.

## 2.1 지수형 마찰계수 산정식

개수로 흐름에서 Chezy의 평균유속공식은 다음과 같다.

$$V = \sqrt{\frac{gHS}{C}} \quad (8)$$

여기서,  $H$ 는 동수반경,  $S$ 는 수로경사,  $C$ 는 마찰계수이다.

Fig. 1에 제시된 바와 같이 Bazin이나 Varwick의 개수로 관측 자료를 검토하면 레이놀즈수에 대한 마찰계수 분포가 관수로의 완난류 마찰계수 분포 경향과 마찬가지로 일정한 기울기를 가지며 감소하는 경향을 보이고 있다. 그러나 조도 또는 조고에 따라 평행이동하고 있음을 알 수 있다. 따라서 기울기에 해당하는 지수를 구간별로 고정하고 비례상수를 조고의 함수로 정하여 마찰계수를 결정할 수 있다.

유역의 형상을 직사각형의 2차원 공간으로 가정할 수

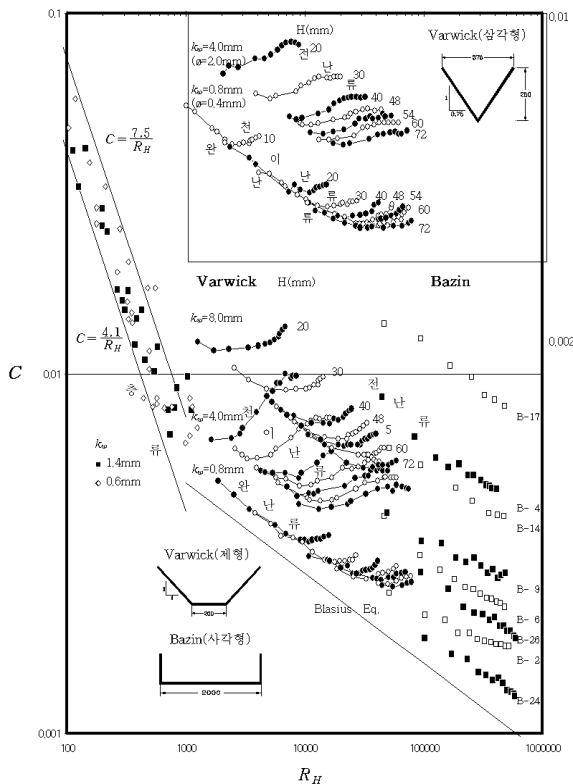


Fig. 1. Distributions of Friction Factors in Open Channels

있기 때문에 광폭수로의 흐름과 같으며 동수반경  $H$ 는 수심  $h$ 라고 할 수 있다. 층류 또는 완난류 흐름의 경우 레이놀즈수  $R_h$ 의 함수로 표기하면 다음과 같다(유동훈과 이민호, 2000)

$$C = \alpha R_h^\beta H_r^\zeta \quad (9)$$

여기서,  $\alpha$ 는 조고와 수로형상에 따라 변이하는 상수,  $\beta$ 와  $\zeta$ 는 흐름특성에 따라 결정되는 상수이며,  $R_h$ 는 수심의 레이놀즈수로 Eq. (10)과 같으며  $H_r$ 은 Eq. (11)과 같다.

$$R_h = \frac{Vh}{\nu} \quad (10)$$

$$H_r = \frac{h}{k_w} \quad (11)$$

여기서,  $V$ 는 유속,  $\nu$ 는 물의 점성계수,  $k_w$ 는 등가조고이다.

## 2.2 복합형 도달시간 산정식의 유도

Eq. (7)의 마찰관계항 ( $\eta$ )과 상수 ( $m$ )를 구하기 위하여 Chezy 평균유속공식에 개수로 마찰계수 지수함수식을 대입하여 일반형 도달시간 산정식을 변형시킬 수 있다.

지수형 마찰계수 산정식에서 층류흐름일 때  $\zeta=0$ 이고  $\beta=-1$ 로서

$$C = \frac{\alpha}{R_h} \quad (12)$$

Chezy의 평균유속공식 Eq. (8)과 Eq. (12)를 연립하여

$$u = \sqrt{\frac{ghS}{\alpha \left( \frac{uh}{\nu} \right)^{-1}}} = \left( \frac{gS}{\alpha \nu} \right) \cdot h^2 = \eta \cdot h^{m-1} \quad (13)$$

Eq. (3)과 비교하여 정리하면 다음과 같은 관계식을 얻을 수 있다.

$$\eta = \frac{gS}{\alpha \nu}, \quad m = 3 \quad (14)$$

Eq. (14)를 일반형 도달시간 산정식 Eq. (7)에 대입하여 정리하면 도달시간은 다음과 같다.

$$t_c = I \frac{1-m}{m} \cdot \left( \frac{L}{\eta} \right)^{\frac{1}{m}} = \left( \frac{\alpha \nu L}{g I^2 S} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (15)$$

한편, 유동훈과 전우용 (2000)은 일반형 강우강도식을 적용하여 도달시간 산정식을 유도하였으며, 일반형 강우강도식은 다음과 같이 표기된다.

$$I = \frac{M}{t_c^n + N} \quad (16)$$

여기서,  $M$ ,  $N$ ,  $n$ 은 지역상수이며  $M$ 과  $N$ 은 재현기간  $T$ 의 함수이다.

Eq. (16)을 층류조건 일반형 도달시간 산정식 (15)에 적용하면

$$t_c = \left[ \frac{1}{M} t_c^n + \frac{N}{M} \right]^{\frac{2}{3}} \cdot t_L \quad (17)$$

$$t_L = \left( \frac{\alpha \nu L}{gS} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (18)$$

여기서, Eq. (18)의  $t_L$ 은 층류조건 고유도달시간 (intrinsic time of concentration for laminar flow condition)이라 칭한다. 고유도달시간은 특정지역의 고유치인 유역길이, 유역경사, 조고상수 등을 종합해 놓은 것으로 유역별 지형학적 특성을 나타내는 인자이다.

Eq. (17)은 다음과 같이 정리된다.

$$t_c^{1.5} - \frac{1}{M} t_L^{1.5} t_c^n - \frac{N}{M} t_L^{1.5} = 0 \quad (19)$$

여기서,  $N$ 은 소수 둘째자리 이하의 미소한 수치이므로 식의 간결성을 위해 생략하여 정리하면,

$$t_c = \left( \frac{1}{M} t_L^{1.5} \right)^{\frac{2}{3-2n}} \quad (20)$$

Eq. (20)을 다시 Eq. (17) 대입하여 정리하면 다음과 같은 층류조건 복합형 도달시간의 2차 근사식이 유도된다.

$$t_c = \left[ \frac{1}{M} \left( \frac{1}{M} t_L^{1.5} \right)^{\frac{2n}{3-2n}} + \frac{N}{M} \right]^{\frac{2}{3}} \cdot t_L \quad (21)$$

지금까지의 유도과정과 같이 일반형 강우강도식을 적용할 경우 도달시간의 산정이 매우 복잡하게 표현되며 수회의 반복계산이 필요하다. Eq. (16)과 같은 일반형 강우강도식을 사용할 경우 도달시간에 대해 Eq. (20)은 1차 근사해이고 Eq. (21)은 2차 근사해이다.

Butler (1977)의 실험관측자료와 비교하였을 때 1차 근사해는 11% 정도의 오차가 발생하였으며 2차 근사해는 4% 이상의 오차가 발생한다 (유동훈과 전우용, 2000). 그러나 Sherman형 강우강도식을 적용하면 반복이 필요 없는 간단한 도달시간 산정식이 도출된다.

Sherman형 강우강도식은 다음과 같다.

$$I = \frac{M}{t_c^n} \quad (22)$$

Eq. (22)를 Eq. (15)에 대입하여  $t_c$ 에 관하여 정리하면 다음과 같다.

$$t_c = \left( \frac{\alpha \nu L}{gM^2 S} \right)^{\frac{1}{3-2n}} \quad (23)$$

이와 같은 방법으로 완난류 조건과 전난류 조건에서의 도달시간 산정식을 유도하여 정리하면 Table 1과 같다.

### 3. 일반형 강우강도식의 비교 분석

지금까지 강우강도식은 지역 특성 및 재현기간에 따라 Talbot형, Sherman형, Japanese형 등 몇 가지 형태로 구분되어 개발되어 왔으며, 이러한 형태 구분은 확률강우량의 정밀도를 높이는 데 필요하다. 본 연구에서는 Talbot형, Sherman형, Japanese형 등 대표형 강우강도식과 일반형

Table 1. Time of Concentration by Flow Condition

Condition \ Type	General Eq.	Approximate Composite Eq.	
		Type 4 ( $I = M / \sqrt{t_c}$ )	Type 6 ( $I = M / t_c^n$ )
Standard Eq.	$I^{\frac{1-m}{m}} \left( \frac{L}{\eta} \right)^{\frac{1}{m}}$	$\left[ \left( \frac{M}{\sqrt{t_c}} \right)^{m-1} \frac{L}{\eta} \right]^{\frac{1}{m}}$	$\left[ \left( \frac{M}{t_c^n} \right)^{m-1} \frac{L}{\eta} \right]^{\frac{1}{m}}$
Turbulent Flow ( $\beta = -1$ )	$\left( \frac{\alpha \nu^{-\beta} L^{2+\beta}}{g I^{1-\beta} S} \right)^{\frac{1}{3}}$	$\left( \frac{\alpha \nu L}{g M^2 S} \right)^{\frac{1}{2}}$	$\left( \frac{\alpha \nu L}{g M^2 S} \right)^{\frac{1}{3-2n}}$
Smooth Flow ( $\beta = -1/4$ )	$\left( \frac{\alpha L^2}{g I S} \right)^{\frac{1}{3}} \left( \frac{\nu}{L I} \right)^{\frac{-\beta}{3}}$	$\left( \frac{\alpha L^2}{g M S} \right)^{\frac{8}{19}} \left( \frac{\nu}{L M} \right)^{\frac{2}{19}}$	$\left( \frac{\alpha L^2}{g M S} \right)^{\frac{4}{12-5n}} \left( \frac{\nu}{L M} \right)^{\frac{1}{12-5n}}$
Laminar Flow ( $\zeta = -1/3$ )	$\left( \frac{\alpha L^2 k_w^{-\zeta}}{g I^{1-\zeta} S} \right)^{\frac{1}{3-\zeta}}$	$\left( \frac{\alpha L^2 k_w^{1/3}}{g M^{4/3} S} \right)^{\frac{3}{8}}$	$\left( \frac{\alpha L^2 k_w^{1/3}}{g M^{4/3} S} \right)^{\frac{3}{10-4n}}$

강우강도식을 비교하기 위하여 Table 2와 같이 6가지 유형으로 강우강도식을 분류하였으며, 건설교통부 (2000)에서 발표한 확률강우량도 (Fig. 2)에서 재현기간 5년, 10년, 20년, 50년 지속시간 30분, 1시간, 2시간 총 12개의 확률강

우량값을 독취한 후 회귀 분석하여 지역상수를 산정하였다. 또한 유형별 강우강도식을 비교하기 위하여 서울, 대

Table 2. Equation of Rainfall Intensity by Type

Type	Equation of Rainfall Intensity
1	$I = \frac{a + blnT}{\sqrt{t} + c + dlnT}$
2	$I = \frac{a + blnT}{\sqrt{t} + c}$
3	$I = \frac{a + blnT}{t^{0.6} + c}$
4	$I = \frac{a + blnT}{\sqrt{t}}$
5	$I = \frac{a + blnT}{t^{0.6}}$
6	$I = \frac{a + blnT}{t^n}$

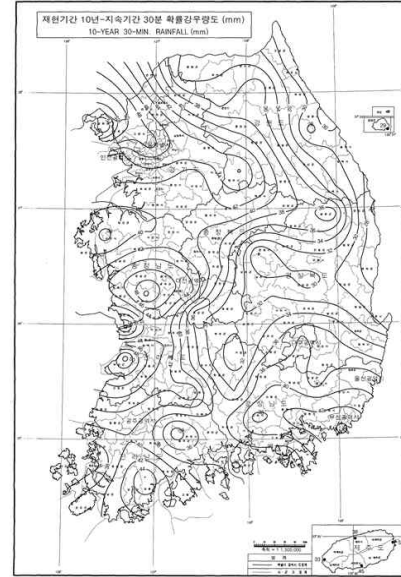


Fig. 2. Probability Rainfall Map (MCT, 2000)

Table 3. Comparison of Rainfall Intensity by Type

Regional Coefficient		a	b	c	d	n	Average Error Rate(%)
Seoul	Type 1	43.11	15.76	0.23	0.02	0.60	1.8
	Type 2	28.31	14.73	0.05	0.00	0.50	3.0
	Type 3	38.13	18.86	0.20	0.00	0.60	2.0
	Type 4	30.40	15.82	0.00	0.00	0.50	3.5
	Type 5	28.36	14.76	0.00	0.00	0.60	7.8
	Type 6	29.97	15.59	0.00	0.00	0.52	2.8
Daejeon	Type 1	48.54	14.44	0.29	0.01	0.60	1.9
	Type 2	39.50	12.30	0.07	0.00	0.50	3.6
	Type 3	47.76	15.24	0.29	0.00	0.60	2.3
	Type 4	31.58	13.77	0.00	0.00	0.50	4.6
	Type 5	36.53	14.02	0.00	0.00	0.60	5.8
	Type 6	34.72	11.31	0.00	0.00	0.51	2.3
Daegu	Type 1	29.15	9.93	0.06	0.01	0.60	2.0
	Type 2	19.41	9.00	0.15	0.00	0.50	3.0
	Type 3	25.60	10.57	0.01	0.00	0.60	2.9
	Type 4	26.78	10.70	0.00	0.00	0.50	7.0
	Type 5	24.81	10.66	0.00	0.00	0.60	3.3
	Type 6	25.21	10.60	0.00	0.00	0.59	2.8
Wonju	Type 1	39.95	13.26	0.17	0.02	0.60	1.3
	Type 2	28.46	12.97	0.06	0.00	0.50	1.7
	Type 3	32.53	15.52	0.10	0.00	0.60	1.5
	Type 4	31.27	14.06	0.00	0.00	0.50	2.7
	Type 5	33.29	13.22	0.00	0.00	0.60	2.9
	Type 6	30.06	14.00	0.00	0.00	0.53	1.6

Note : 오차율(%)은  $\left( \frac{\text{실제값} - \text{수식값}}{\text{실제값}} \right) \times 100(\%)$ 로 정의, 실제값 : 확률강우량도 독취한 값, 수식값 : 유형별 강우강도식에 의한 값

진, 대구, 원주를 선택하여 강우강도식의 지역상수와 평균 오차율을 Table 3과 같이 정리하였다.

서울의 경우 일반형 강우강도식으로 대표되는 1형 강우강도식의 평균오차율은 1.8%로 산정되었고 Sherman형 강우강도식으로 대표되는 6형 강우강도식의 평균오차율은 2.8%로 산정되어 그 차이가 크지 않았다. 그 외 지역의 경우에도 1형 강우강도식과 6형 강우강도식의 평균오차율이 3% 미만으로 그 차이가 무시될 정도로 미미하다.

Fig. 3은 지역별로 5년, 10년, 20년, 50년 재현기간의 유형별 강우강도식을 비교하여 그래프로 나타낸 것이다. 도시된 바와 같이 재현기간 별 그래프에서도 강우강도식 유도에 사용된 강우강도값과 수식의 계산값이 차이가 작음을 확인할 수 있다.

#### 4. Sherman형 강우강도식의 지역상수 분포도의 작성

지역상수 분포도를 작성하면 임의 지점의 홍수유출량 산정시 경위도 좌표에 따라 지역상수  $a$ ,  $b$ ,  $n$ 을 선형 내삽하여 강우강도를 산정할 수 있고, 최종적으로 계획홍수량을 간단히 산정할 수 있다.

건설교통부 (2000)에서는 확률가중모멘트법을 이용하여 지속시간 30분, 1, 2, 3, 6, 12, 24시간과 재현기간 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200년의 총 49개의 확률강우량을 제공하였다. 본 연구에서는 우리나라 63개의 강우관측소의 확률강우량을 분석하여 각 관측소에 대한 지역상수  $a$ ,  $b$ ,  $n$ 을 산정하였다.

Table 4는 우리나라 강우관측소의 Sherman형 강우강도식 지역상수를 산정하여 정리한 표이다. 각 계수는 지속시간  $t_R$ 의 단위를 hour로 취하고 재현기간  $T$ 는 year로 취한 수치이다. 대부분 관측소에서 결정계수 ( $R^2$ )가 0.99 이상으로 어느 정도 신뢰성 있는 지역상수가 산정된 것으로 판단된다.

지역상수 분포도를 작성하기 위하여 우리나라 전역에 대해 6' 간격으로 격자망을 구성한 후 Table 4의 지역상수를 토대로 역거리법 (inverse distance weighted method, IDW)을 사용하여 각 격자망의 지역상수를 산정하였다. Fig. 4는 우리나라 전역에 대한 지역상수  $a$ ,  $b$ ,  $n$ 의 분포도를 도시한 결과이다.

위 결과를 도달시간 산정식과 연관 지으면 다음과 같다. 경위도가 주어지면 Sherman 강우강도식의 상수  $a$ ,  $b$ ,  $n$ 을 구할 수 있고, 여기에 재현기간이 주어지면 6형의 도

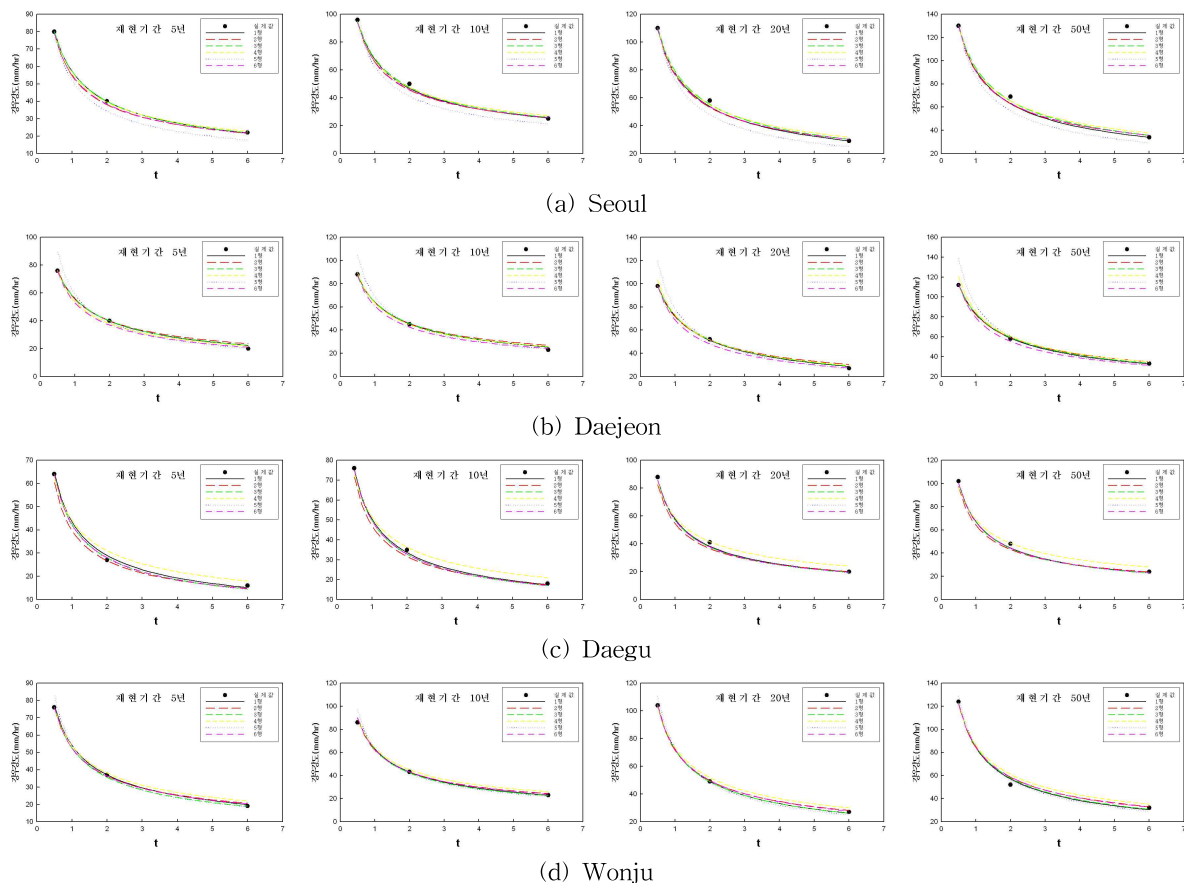


Fig. 3. Comparison of Rainfall Intensity by Type

Table 4. Regional Coefficient of Sherman Type Equation

No.	Code	Name	$a$	$b$	$n$	$R^2$	No.	Code	Name	$a$	$b$	$n$	$R^2$
1	90	속초	22.41	8.70	0.41	0.997	33	212	홍천	29.98	9.97	0.54	0.996
2	95	철원	28.73	9.13	0.39	0.997	34	216	태백	26.48	9.66	0.43	0.991
3	100	대관령	21.37	8.27	0.35	0.988	35	221	제천	23.86	14.55	0.55	0.999
4	101	춘천	25.85	10.37	0.51	0.999	36	223	충주	26.38	14.03	0.55	0.982
5	105	강릉	21.96	10.01	0.45	0.999	37	226	보은	28.26	11.59	0.48	0.992
6	108	서울	30.94	16.66	0.53	0.991	38	232	천안	26.97	12.90	0.53	0.994
7	112	인천	29.43	14.55	0.50	0.991	39	235	보령	34.84	13.51	0.47	0.987
8	114	원주	30.39	13.99	0.55	0.999	40	236	부여	33.59	16.40	0.53	0.994
9	119	수원	34.06	12.07	0.45	0.990	41	238	금산	29.46	8.76	0.52	0.990
10	129	서산	28.23	10.40	0.50	0.998	42	243	부안	28.94	17.43	0.64	0.997
11	130	울진	17.89	8.54	0.43	0.996	43	244	임실	27.86	11.38	0.59	0.997
12	131	청주	29.19	10.89	0.57	0.998	44	245	정읍	29.50	12.25	0.62	0.998
13	133	대전	35.00	12.55	0.51	0.993	45	247	남원	25.84	13.05	0.68	0.995
14	135	추풍령	23.06	8.43	0.58	0.998	46	248	장수	27.07	9.83	0.56	0.982
15	136	안동	20.01	8.61	0.66	0.995	47	256	순천	27.33	9.19	0.43	0.992
16	138	포항	21.26	8.85	0.54	0.997	48	260	장흥	32.57	14.17	0.49	0.997
17	140	군산	28.92	9.62	0.48	0.990	49	261	해남	28.47	13.30	0.45	0.998
18	143	대구	24.76	11.39	0.59	0.999	50	262	고흥	29.50	13.61	0.46	0.986
19	146	전주	30.50	13.31	0.54	0.993	51	271	봉화	30.22	11.95	0.45	0.982
20	152	울산	24.32	13.70	0.47	0.995	52	272	영주	24.49	12.35	0.51	0.990
21	155	마산	31.10	14.80	0.44	0.977	53	273	문경	21.81	7.24	0.53	0.999
22	156	광주	29.10	11.05	0.55	0.997	54	277	영덕	21.23	6.97	0.48	0.999
23	159	부산	27.71	16.13	0.49	0.990	55	278	의성	21.37	8.74	0.54	0.991
24	162	통영	24.37	12.43	0.43	0.994	56	279	구미	20.82	8.78	0.66	0.996
25	165	목포	26.80	9.25	0.53	0.999	57	281	영천	22.72	10.80	0.61	0.994
26	168	여수	27.56	12.11	0.49	0.995	58	284	거창	24.02	8.87	0.51	0.988
27	170	완도	32.44	14.03	0.39	0.963	59	285	합천	22.76	13.69	0.53	0.994
28	192	진주	32.28	12.23	0.52	0.995	60	288	밀양	24.40	13.45	0.48	0.981
29	201	강화	33.38	18.97	0.54	0.996	61	289	산청	26.54	11.55	0.38	0.981
30	202	양평	31.91	14.52	0.50	0.992	62	294	거제	32.07	12.08	0.39	0.994
31	203	이천	28.92	11.08	0.54	0.995	63	295	남해	32.78	9.88	0.41	0.988
32	211	인제	24.52	11.01	0.55	0.997							

달시간 (Table 1)을 산정할 수 있다. 즉, 경위도와 재현기간을 결정하면 도달시간을 산정할 수 있다.

### 5. 도달시간 산정식의 적용

다음은 독자의 이해를 돕기 위하여 예제로 풀이하였다.

【예제】 강릉의 어느 소유역의 유로연장이 1.8km이고, 유

역경사가 37 %이다. 1시간 동안 재현기간 2년 빈도의 강우가 내렸을 때 출구점까지의 도달시간을 산정하시오 (강릉의 대표 위도는 128°54'07" 경도는 37°45'39"이고, 조도상수  $\alpha=0.5$ ).

Sol) Fig. 4에서 강릉의 지역상수  $a, b, n$ 을 구하면  $a=21, b=10, n=0.45$

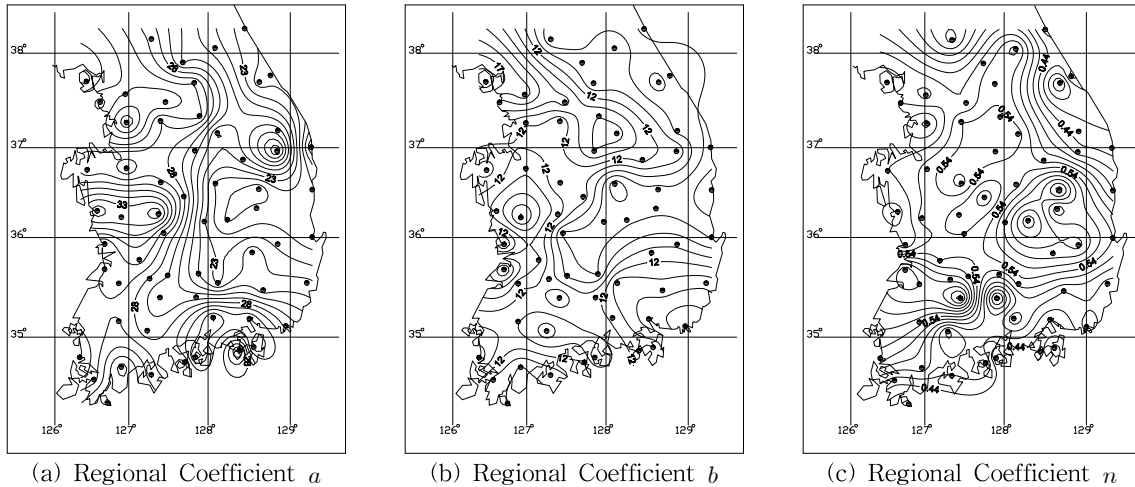


Fig. 4. Contour Maps of Regional Coefficients of Sherman Type Equation

$$\begin{aligned} \nu &= 10^{-6} \text{ (m}^2\text{/sec)} = 3,600 \text{ (mm}^2\text{/hr)} \\ g &= 9.8 \text{ (m/sec}^2\text{)} = 12.7 \times 10^{10} \text{ (mm/hr}^2\text{)} \\ L &= 1.8 \text{ (km)} = 1.8 \times 10^6 \text{ (mm)} \\ M &= a + b \ln T = 27.93 \end{aligned}$$

완난류 흐름으로 가정하면,

$$\begin{aligned} t_c &= \left( \frac{\alpha L^2}{gMS} \right)^{\frac{4}{12-5n}} \left( \frac{\nu}{LM} \right)^{\frac{1}{12-5n}} \\ &= \left( \frac{0.5 \times (1.8 \times 10^6)^2}{12.7 \times 10^{10} \times 27.93 \times 0.37} \right)^{0.41} \left( \frac{3,600}{1.8 \times 10^6 \times 27.93} \right)^{0.10} \\ &= 0.42 \text{ (hr)} = 25.18 \text{ (min)} \end{aligned}$$

가정의 성립여부를 확인하면,

$$\begin{aligned} I &= \frac{M}{t^n} = \frac{27.93}{1^{0.45}} = 27.93 \text{ (mm/hr)} \\ V &= \frac{1,800}{25.18 \times 60} = 1.19 \text{ (m/sec)} \end{aligned}$$

유역 흐름에서 동수반경  $H$ 는 수심  $h$ 가 된다. 강우강도를 고려하여 수심  $h$ 를 대략  $0.01m$ 라고 가정하면 Reynolds 수는 다음과 같다.

$$R_H = \frac{VH}{\nu} = \frac{1.19 \times 0.01}{10^{-6}} = 11,900$$

그러므로 완난류 흐름의 가정이 성립한다.

## 6. 결론

도달시간 산정식에서 강우강도는 고려되어야 할 중요

한 요소이지만 지금까지 강우강도식에 관한 연구는 도달시간 산정식과 함께 연구되지 못하고 통계분석의 정확성에만 치중되었다. 본 연구에서는 비교적 간단한 형태의 강우강도식인 Sherman형 식의 지역상수를 산정하고, 수식에 의한 강우강도 계산값과 상수 추정에 이용된 강우강도값의 차이가 작음을 확인하였다.

도달시간 산정식을 유도하는 수식에 Sherman형 강우강도식을 대입하여 간단한 형태의 도달시간 산정식을 도출하였다. 이는 강우강도가 고려된 도달시간 산정식으로 소하천 및 중소유역 하천의 수공구조물 설계와 저수지의 설계에 유용하게 사용될 수 있을 것으로 판단되며, 또한 돌발홍수와 같은 산악지형에서 발생하는 홍수의 대피시간을 예측하는데 도움이 될 것으로 판단된다.

Sherman 강우강도식을 사용하는 전제 아래, 우리나라에서 경위도와 재현기간 등이 주어지면 도달시간이 간편하게 산정될 수 있다. 즉 도달시간의 주요 지배인자는 위치와 재현기간, 유역의 조도와 경사, 길이이다. 또한, 도달시간을 강우의 지속기간으로 하면 Sherman 강우강도식으로 강우강도를 산정할 수 있고, 유출계수가 주어지면 합리식의 홍수량 구할 수 있는데, 향후 이에 대한 연구가 필요하다.

본 연구에서는 이론적인 접근 방법을 통하여 도달시간 산정식을 유도하였는데 추후 연구에서는 강우-유출 자료가 있는 시험유역을 선정한 후 도달시간 산정식을 검증하여 발표할 예정이다.

## 감사의 글

본 연구는 소방방재청의 2010년 재난안전기술개발기반 구축 사업 중 “암거수리 설계를 위한 상용프로그램 개발”



연구과제 내용 중 일부입니다. 연구비지원에 심심한 감사의 뜻을 표합니다.

### 참고문헌

건설교통부 (2000). 한국 확률강우량도.  
신우중호 (2006), 수문학, 동명사, pp. 286-296  
유동훈, 이민호 (2000) “지수형 개수로 마찰계수 산정식.”  
**대한토목학회논문집**, 대한토목학회, 제20권, 제1-B호, pp. 1-10.  
유동훈, 전우용 (2000). “불투수층 사면에서의 도달시간.”  
**한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제33권, 제2

호, pp. 195-205.  
Singh, V.P. (1976). “Derivation of time of concentration.” *Journal of Hydrology*, Vol. 30, pp. 147-165.  
Singh, V.P. (1996). Kinematic wave modeling in water resources. Wiley Interscience.  
Butler, S. (1977). “Overland-flow travel time versus Reynolds number.” *Journal of Hydrology*, Vol. 32, pp. 175-182.

논문번호: 11-040	접수: 2011.04.15
수정일자: 2011.05.13/06.27	심사완료: 2011.06.27