

## RUSLE을 위한 반월 주기 강우가식성인자 산정

### Computing the Half-Month Rainfall-Runoff Erosivity Factor for RUSLE

강 문 성\* · 박 승 우\*\* · 임 상 준\*\*\* · 김 학 관\*\*\*\*

Kang, Moon-Seong · Park, Seung-Woo · Im, Sang-Jun · Kim, Hak-Kwan

#### Abstract

The objective of the paper is to compute the half-month rainfall-runoff erosivity factor for revised universal soil loss equation (RUSLE). RUSLE is being used to develop soil conservation programs and identify optimum management practices. Rainfall-runoff erosivity factor (R) is a key input parameter to RUSLE. Rainfall-runoff erosivity factor has been calculated for twenty six stations from the nationwide rainfall data from 1973 to 2002 in south Korea. The average annual Rainfall-runoff erosivity factor at the analyzed stations is between 3,130 and 10,476 (MJ/ha)·(mm/h). According to the computation of the half-month Rainfall-runoff erosivity factor for locations, 66-85% of the average annual R value has occurred during the summer months, June-August. The half-month R values from this study can be used for RUSLE.

*Keywords : Rainfall-runoff erosivity factor, RUSLE, Half-month, Isoerodent map, Soil erosion*

#### I. 서 론

강우에 의한 토양유실은 농지의 표층을 침식시키고 Gully를 만들어 생산성을 저하시키며 영농을 어렵게 한다. 또한, 국토 곳곳에서 진행 중인 공사현장이나 골프장 등의 대규모 토지개발지역은 비점원

오염원으로서 많은 유사를 발생시켜 환경문제를 야기하고, 식생 등의 토양피복상태에 큰 변화를 가져오기도 한다. 또한, 하류로 이송된 유사는 하천이나 저수지를 혼탁하게 하고 바닥에 퇴적되어 수공구조물의 기능을 저하시키거나 수명을 단축시키며, 토립자 등과 함께 전달된 영양물질은 호소나 연안해안에서 부영양화를 초래하여 수질을 악화시키기도 한다 (Her, 2002)

이러한 토양유실 저감을 위한 대책을 세우기 위해서 토양유실량 추정을 위한 식이나 모형이 개발되었다. 대표적인 토양유실량 추정식은 장기간의 토양유실량을 추정하기 위하여 개발된 범용토양유실량추정식 (Universal Soil Loss Equation, USLE)

\* 서울대학교 농업생명과학연구원  
\*\* 서울대학교 농공학과  
\*\*\* Virginia Tech. Biological System Engr. Dept  
\*\*\*\* 서울대학교 대학원  
\* Corresponding author. Tel.: +82-31-290-2371  
fax: +82-31-292-6807  
E-mail address: kms97@phoenix1.snu.ac.kr

이다.

범용토양유실량추정식은 그 정의가 간단하여 비교적 쉽게 토양유실량을 추정할 수 있으나, 단일 강우에 대한 토양유실량을 추정하는 데 부적당한 단점을 가지고 있다. 또한, 퇴적, 침전, 걸리침식 등을 고려할 수 없는 한계가 있어서 실제 적용에 많은 주의가 요구된다. 따라서 미국의 SCS에서는 침식예측기술의 개선이 필요하다는 인식에 따라 USLE의 대대적인 개선을 통해 RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation)가 등장하게 되었다 (Toy et al., 1998).

RUSLE는 광산지, 건설공사장, 개간지 등에 적용할 수 있도록 USLE를 개선한 것으로서, 기존의 USLE에 비하여 훨씬 다양한 포장조건에 적용될 수 있으며, 지역화된 피복관리인자값을 제공한다. RUSLE는 다양한 지역적 관리조건 등을 수용하도록 하였으며, 오목형 사면 (concave profile)의 유수량 추정이 가능하게 되었다. RUSLE는 DOS 버전으로 그래픽 기능 등 사용자 편의성 측면에서 부족한 점이 많으며, 이를 개선하기 위해서 소위 RUSLE2로 칭하는 Window 버전 RUSLE가 발표되었다. 미농무성 농업연구청에서는 RUSLE2의 사용자지침서<sup>1)</sup>를 제시하고, 당초의 RUSLE를 RUSLE1으로 하여 구분하고 있으며, 이후 사용자들은 토양유실량의 추정과 보전대책 등의 목적으로 RUSLE2의 이용을 권하고 있다.

토양유실량 측정자료의 분석결과 토양유실은 RUSLE의 강우가식성인자<sup>2)</sup> (rainfall-runoff erosivity factor, R)와 직접적으로 비례하는 것으로 나타났다 (Toy et al., 1998). 또한, RUSLE에서는 1년을 24주기로 구분하여 각 반월 (15일)의 EI

분포를 나타내는 EI 곡선번호 (EI curve number)를 CITY 파일로 데이터베이스화하여 제시하고 있다. EI 분포곡선의 이용은 계절적 변화를 고려한 토양유실량 추정이 가능하다고 할 수 있다.

따라서, 우리나라에서도 RUSLE2 등의 새로운 기법을 적용하기 위해서는 우리나라의 강우특성을 반영할 수 있는 주기별 강우가식성인자의 값이 제시되어야 할 것이다.

외국의 연구사례로서, Wischmeier (1959)는 미국 록키산맥 동쪽 주의 37개 주에 대한 R의 등강우가식도 (isoerodent map)를 제시하였고, Wischmeier와 Smith (1978)는 미국 전역에 걸쳐 등강우가식도를 확대 적용하였다. 미국 TRB(1980)의 NCHRP에서는 임의 재현기간의 임의 지속시간 설계호우에 대한 강우가식성인자를 산정한 바 있으며, Yu(2001)는 추계학적 기상발생기 모형을 이용하여 월별 강우가식성인자를 추정하였다.

국내에서의 강우가식성인자에 대한 연구는 강원도 지방과 일부 지역에서 조사 보고되었고 (박정환 등, 2000), 신재성 등(1983)에 의하여 강우가식성인자 값이 계산되었고, 정필균 등 (1983)에 의하여 기상청 산하 51개 관측소의 1960~1980년대에 걸쳐 6~21년의 강우자료분석에 의한 R값 추정이 이루어졌었다. 또한, 박정환 등(2000)은 전국의 R값을 제시한 바 있으며, 김창완 등(1999)은 지속시간과 재현기간에 따른 확률강우량을 계산하고 이를 이용하여 빈도별 24시간 설계호우의 지점별 강우가식성인자를 구하여 침사지 등의 설계에 이용할 수 있음을 보여주었다. 허용구 (2002)는 단일 호우에 대한 토양유실량을 산정하기 위하여 강우분포를 고려하여 R값을 산정하였다.

본 연구의 목적은 전국의 26개 주요 관측소를 대상으로 1973~2002년까지의 10분 및 1시간 강우자료에 대해서 강우에너지를 계산하여 관계식을 수립하고, 실무에서 RUSLE의 활용이 가능하도록 우리나라의 24주기 강우가식성인자를 산정하여 등강우가식성인자도를 제시하는 데 있다.

1) Foster G. R et al., 2002. User's guide-Revised Universal Soil Loss-Equation Version 2 (RUSLE2), USDA ARS, Washington, D.C. 165p.

2) 가식성(加飾性): 침식을 일으키는 물(또는 바람)의 침식능을 계량적으로 표시한 것으로, USLE에서는 강우가식성으로 정의하였으나, RUSLE에서는 강우-유출가식성으로 나타낸다 (Toy et al., 1998).).

## II. 연구방법

### 1. RUSLE 모형

RUSLE는 침식 이론과 10,000 포장-년 (plot-year) 이상의 자연강우 시험포장 자료, 그리고 수많은 인공강우 시험포장 자료 등으로부터 개발되었다. RUSLE는 그동안 널리 사용되어 왔던 기법인 USLE (Wischmeier and Smith, 1978)의 기본 구조를 그대로 유지하고 있다. USLE는 다음 식 (1)과 같다.

$$A = R K L S C P \dots\dots\dots (1)$$

여기서  $A$  = 연평균 토양유실량(t/ha),  $R$  = 강우가식성( $10^7$ J/ha · mm/h),  $K$ =토양 수식성<sup>3)</sup>(soil erodibility, t/ha/R),  $L$ =사면장(hill slope length)인자,  $S$ =경사도(steeptness)인자,  $C$ =피복관리(cover-management),  $P$ =지원 관리방법(support practice)인자이다.

RUSLE2에서는 연중 매일의 토양유실량을 다음 식 (2)로부터 추정한다.

$$a_i = r_i \cdot k_i \cdot l_i \cdot S \cdot c_i \cdot p_i \dots\dots\dots (2)$$

여기서,  $a_i$  = 연평균 토양유실량,  $r, k, l, S, c, p$  등은 식 (1)에서와 같으며, 첨자( $i$ )는 해당일을 나타낸다.

### 2. 강우가식성인자

강우가식성인자는 토양유실량을 산정하기 위하여 강우의 운동에너지와 30분 최대강우강도와의 곱으로 표현되는 것으로서, 단순히 강우의 침식에너지만을 나타내는 것이 아니라 빗방울 낙하와 표류수에 의한 흩입자의 박리, 운반 등 강우의 가식성을

3) 수식성(受蝕性)은 일정 강우조건에서 토양이 침식당하는 조건을 말하며, 토양, 지형, 피복관리, 지원관리 등의 영향을 포함하나, 특히 토양수식성으로 제한되어 쓰이기도 한다.

종합적으로 평가하는 지수이다. 강우가식성인자의 강우 운동에너지는 다음 식 (3)과 같다.

$$e = 916 + 331 \log_{10} i \dots\dots\dots (3)$$

여기서,  $e$ 는 강우 운동에너지 (ft-tonf/acre-in),  $i$ 는 강우강도 (in/h)이다.

강우기록이 일반적으로 1시간 간격으로 계속되므로 이를 이용할 경우에는 강우가식성인자의 계산에 보편적으로 사용되는 30분 최대강우강도를 이용할 때 보다 낮게 나타날 우려가 있다 (조재필, 1998). 따라서, 시간별 강우량과 강우지속시간만의 자료가 주어지는 경우에 30분 최대강우강도를 추정하여 강우에너지를 산정하여야 한다.

조재필 (1998)은 실측된 30분 최대강우강도 및 1시간 최대강우강도를 이용하여 강우가식성인자 ( $EI_{30}, EI_{60}$ ) 간의 상관관계를 제시하였으며, 그 식은 다음과 같다.

$$EI_{30} = 1.5834 EI_{60} \dots\dots\dots (4)$$

여기서,  $EI_{30}$ 은 30분 최대강우강도에 의한 강우에너지 ((100 ft-tonf/acre) (in/h)),  $EI_{60}$ 은 1시간 최대강우강도에 의한 강우에너지 ((100 ft-tonf/acre) (in/h))이다.

Lombardi (1979)는 강우량 데이터만이 존재할 경우 대략적인 강우가식성인자를 계산하였으며, 다음 식 (5)와 같다.

$$EI_L = 8.0 \times V_R^{1.51} \dots\dots\dots (5)$$

여기서,  $EI_L$ 은 강우가식성인자 ((100 ft-tonf/acre) (in/h))  $V_R$ 은 강우량 (in)이며 회귀분석의 결정계수 ( $R^2$ )는 0.56이었다.

강우량, 지속시간 및 강우형태를 알고 있는 경우에는 Trey (1997)에 의해 제시된 다음 식 (6)을 이용하여 강우가식성인자를 계산할 수 있다.

$$EI_T = \frac{A \cdot \exp(2.119 \cdot \log(R) \cdot \exp(0.0086 \cdot \log(D)))}{\exp(B \cdot \log(D))} \dots\dots\dots (6)$$

여기서,  $EI_T$ 는 강우가식성인자 (ft-tonf/acre-in/h)  $R$ 은 강우량 (inch)이고,  $D$ 는 강우지속시간 (h)이며,  $A$ 와  $B$ 는 강우형태별 강우가식성인자의 계산에 사용되는 계수이다.

미국내 주요지점에 대한  $R$ 값의 계산 결과는 RUSLE의 데이터베이스로 구축되어 활용되고 있다. RUSLE에서의 특정일에 대한 강우가식성  $r_i$ 의 값은 연평균  $R$ 값으로부터 해당 일의 비율을 곱하여 정의하며, 다음 식 (7)과 같다.

$$r_i = f_i \cdot R \dots\dots\dots (7)$$

여기서, 비율  $f_i$ 값은 반월별  $R$ 값을 연 평균  $R$ 값으로 나눈 비율로부터 1일에 해당하는 값에서 얻는다.

토양유실량 공식이 주로 미국에서 개발되고 연구되었기 때문에 각 인자의 단위는 US 단위를 사용하고 있다. 따라서, 우리나라에 적용시에는 해당 단위를 변환하여 계산하여야 하므로 복잡한 단위 환산과정을 거치게 되므로 토양유실량 공식에서 차원

을 가지고 있는 강우가식성인자와 토양유식성인자 (K)에서는 이에 상응하는 단위를 사용하여야 한다 (Wischmeier & Smith, 1978; Foster et al., 1981; Schwab et al., 1994; Choi et al., 1998).

### 3. 강우가식성인자 산정

#### 가. 강우자료

강우가식성인자의 산정을 위한 강우자료는 Wischmeier의 강우사상 분류방법에 따라, 12.7 mm 이상의 연속된 강우로 무강우시간이 6시간 이상일 때 하나의 독립적인 강우로 취급하였고, 독립적인 1회의 강우가 12.7 mm 이하인 강우는 15분 이내의 강우량이 6.35 mm 보다 큰 값인 것을 추출하여 사용하였다.

연간  $R$ 값을 산정하기 위한 강우자료는 Table 1에서와 같이, 전국의 기상관측소 중에서 10분 단위 강우자료를 보유하고 있는 26개 주요 관측소를 대상으로 1988~2000년까지의 1시간 단위 자료를 이용하였다.

선정된 주요 관측소에서의 30분 최대강우강도는 10분 단위 강우자료를 이용하여 계산하였다. 그러

Table 1 Rainfall data records used for computation of annual R factor (1988~2002)

| Station      | Code No. | Number of storm event (ea) | Station    | Code No. | Number of storm event (ea) |
|--------------|----------|----------------------------|------------|----------|----------------------------|
| Sokcho       | 90       | 314                        | Jeonju     | 146      | 387                        |
| Chuncheon    | 101      | 317                        | Ulsan      | 152      | 389                        |
| Gangneung    | 105      | 344                        | Gwangju    | 156      | 387                        |
| Seoul        | 108      | 354                        | Busan      | 159      | 426                        |
| Incheon      | 112      | 318                        | Tongyeong  | 162      | 413                        |
| Suwon        | 119      | 338                        | Mokpo      | 165      | 325                        |
| Seosan       | 129      | 318                        | Yeosu      | 168      | 407                        |
| Cheongju     | 131      | 334                        | Jinju      | 192      | 395                        |
| Daejeon      | 133      | 362                        | Ganghwa    | 201      | 314                        |
| Chupungryong | 135      | 334                        | Yangpyeong | 202      | 338                        |
| Pohang       | 138      | 362                        | Icheon     | 203      | 345                        |
| Gunsan       | 140      | 334                        | Inje       | 211      | 300                        |
| Daegu        | 143      | 334                        | Hongcheon  | 212      | 350                        |

Table 2 Rainfall data records used for the distribution of half-month period

| Month | Cycle | Period of data used | Month | Cycle | Period of data used |
|-------|-------|---------------------|-------|-------|---------------------|
| Jan.  | 1     | 1988 ~ 2002         | Jul.  | 13    | 1973 ~ 2002         |
|       | 2     | 1988 ~ 2002         |       | 14    | 1973 ~ 2002         |
| Feb.  | 3     | 1988 ~ 2002         | Aug.  | 15    | 1973 ~ 2002         |
|       | 4     | 1988 ~ 2002         |       | 16    | 1973 ~ 2002         |
| Mar.  | 5     | 1988 ~ 2002         | Sep.  | 17    | 1973 ~ 2002         |
|       | 6     | 1988 ~ 2002         |       | 18    | 1973 ~ 2002         |
| Apr.  | 7     | 1988 ~ 2002         | Oct.  | 19    | 1988 ~ 2002         |
|       | 8     | 1988 ~ 2002         |       | 20    | 1988 ~ 2002         |
| May   | 9     | 1988 ~ 2002         | Nov.  | 21    | 1988 ~ 2002         |
|       | 10    | 1988 ~ 2002         |       | 22    | 1988 ~ 2002         |
| Jun.  | 11    | 1973 ~ 2002         | Dec.  | 23    | 1988 ~ 2002         |
|       | 12    | 1973 ~ 2002         |       | 24    | 1988 ~ 2002         |

나 선정된 26개 관측소에서의 10분 단위 강우자료는 6~9월까지만 기록되어 있었다. R값 산정을 위한 강우사상은 자료기간과 관측소에 따라 286~398개의 사상이었으며, 인제가 가장 작았고, 부산이 가장 많은 강우사상을 포함하고 있었다.

반월 (15일) 주기 R값을 산정하기 위한 강우자료 현황은 Table 2에서와 같이, 26개 관측소에 대하여 1~10주기까지는 1988~2002년의 강우자료, 11~18주기는 1973~2002년의 강우자료, 그리고 19~24주기는 1988~2002년의 자료를 사용하였다.

#### 나. 30분 최대강우강도

30분 최대강우강도는 관측소별 10분 단위로 관측된 강우자료를 이용하였다. 그러나 10분 단위 강우자료는 관측소별로 6~9월의 특정 기간만 관측 기록을 갖고 있다. 따라서 1시간 강우자료를 갖는 나머지 기간에 대한 30분 최대강우강도를 구하기 위하여 EI<sub>30</sub>과 EI<sub>60</sub>의 회귀방정식을 수립하여 확장하도록 하였다. 즉, 10분 단위 강우자료가 있는 기간에 대해서 각각 10분 강우자료로부터 EI<sub>30</sub>을 구하고, 1시간 강우자료로부터 EI<sub>60</sub>을 구한 후 EI<sub>30</sub>과 EI<sub>60</sub>의 관계식을 도출하고, 이로부터 나머지 자료기간에 대해서는 EI<sub>60</sub>을 구한 후 수립된 관계식으로부터 역으로 EI<sub>30</sub>을 구하였다.

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 30분 최대강우강도 산정 결과

Table 3은 EI<sub>30</sub>과 EI<sub>60</sub>의 회귀방정식 수립을 위한 자료기간과 회귀방정식의 계수, 그리고 두 값의 결정계수를 나타내고 있다. 회귀방정식 수립을 위한 강우사상은 관측소별로 40~87개였으며, 결정계수는 0.9127~0.9895의 범위를 보였다.

Cho (1998)는 반월유역의 소유역에서 강우계를 설치하여 10분 단위로 실측한 자료를 이용하여 16개 강우사상에 대하여 방법별 강우가식성인자를 산정하여 비교하였다. Cho의 연구결과에 따르면, EI<sub>30</sub>과 EI<sub>60</sub>에 대한 결정계수는 0.9882, Lombardi 방법은 0.8173, 그리고 Trey 방법은 0.743인 것으로 나타났다. 따라서, 10분 단위와 1시간 단위의 강우자료를 혼합하여 보유하고 있는 우리나라의 경우에 전국단위의 EI<sub>30</sub>을 구하기 위해서는 EI<sub>30</sub>과 EI<sub>60</sub>의 관계식을 수립하여 10분 단위 자료가 없는 기간에 대하여 확장하는 것이 타당하리라 본다.

Fig. 1은 자료가 가장 많은 청주와 추풍령의 EI<sub>30</sub>과 EI<sub>60</sub>의 회귀방정식을 보여주고 있으며, 결정계수는 각각 0.9524와 0.9482였다.

Table 3 Result and Rainfall data records used to calculate EI<sub>30</sub>

| $EI_{30} = \text{coef.} \times EI_{60}$ |          |                         |                       |             |                |
|---|----------|-------------------------|-----------------------|-------------|----------------|
| Station                                 | Code No. | Period of data used     | Number of storm event | Coefficient | R <sup>2</sup> |
| Sokcho                                  | 90       | 1973.07.18 ~ 1987.09.01 | 44                    | 1.1529      | 0.9895         |
| Chuncheon                               | 101      | 1973.07.30 ~ 1987.08.31 | 74                    | 1.4830      | 0.9655         |
| Gangneung                               | 105      | 1973.06.29 ~ 1987.08.31 | 58                    | 1.2070      | 0.9689         |
| Seoul                                   | 108      | 1973.07.29 ~ 1987.08.31 | 55                    | 1.4885      | 0.9596         |
| Incheon                                 | 112      | 1973.06.26 ~ 1987.08.31 | 65                    | 1.3805      | 0.9779         |
| Suwon                                   | 119      | 1973.07.29 ~ 1987.08.31 | 40                    | 1.7210      | 0.9127         |
| Seosan                                  | 129      | 1973.06.29 ~ 1987.08.31 | 71                    | 1.3968      | 0.9445         |
| Cheongju                                | 131      | 1973.06.29 ~ 1987.08.31 | 87                    | 1.5922      | 0.9520         |
| Daejeon                                 | 133      | 1973.06.29 ~ 1987.08.31 | 69                    | 1.5777      | 0.9563         |
| Chupungryong                            | 135      | 1973.07.30 ~ 1987.08.31 | 84                    | 1.5163      | 0.9482         |
| Pohang                                  | 138      | 1973.07.30 ~ 1987.08.31 | 75                    | 1.3154      | 0.9489         |
| Gunsan                                  | 140      | 1973.06.29 ~ 1987.08.31 | 78                    | 1.3648      | 0.9621         |
| Daegu                                   | 143      | 1973.07.30 ~ 1987.08.31 | 42                    | 1.4239      | 0.9216         |
| Jeonju                                  | 146      | 1973.07.05 ~ 1987.08.31 | 44                    | 1.4960      | 0.9753         |
| Ulsan                                   | 152      | 1973.07.30 ~ 1987.08.31 | 70                    | 1.2900      | 0.9630         |
| Gwangju                                 | 156      | 1973.07.18 ~ 1987.08.31 | 49                    | 1.5083      | 0.9316         |
| Busan                                   | 159      | 1973.09.02 ~ 1987.08.31 | 58                    | 1.5127      | 0.9513         |
| Tongyeong                               | 162      | 1973.06.26 ~ 1987.08.31 | 53                    | 1.2681      | 0.9755         |
| Mokpo                                   | 165      | 1973.07.22 ~ 1987.08.22 | 45                    | 1.4938      | 0.9268         |
| Yeosu                                   | 168      | 1973.09.09 ~ 1987.08.31 | 54                    | 1.2852      | 0.9239         |
| Jinju                                   | 192      | 1973.06.26 ~ 1987.08.31 | 77                    | 1.4880      | 0.9295         |
| Ganghwa                                 | 201      | 1973.08.04 ~ 1987.09.06 | 38                    | 1.4171      | 0.9662         |
| Yangpyeong                              | 202      | 1973.07.30 ~ 1987.08.31 | 65                    | 1.2394      | 0.9128         |
| Icheon                                  | 203      | 1973.06.29 ~ 1987.08.31 | 62                    | 1.5795      | 0.9402         |
| Inje                                    | 211      | 1973.06.29 ~ 1987.09.01 | 69                    | 1.4109      | 0.9732         |
| Hongcheon                               | 212      | 1973.07.30 ~ 1987.08.31 | 62                    | 1.6732      | 0.9644         |

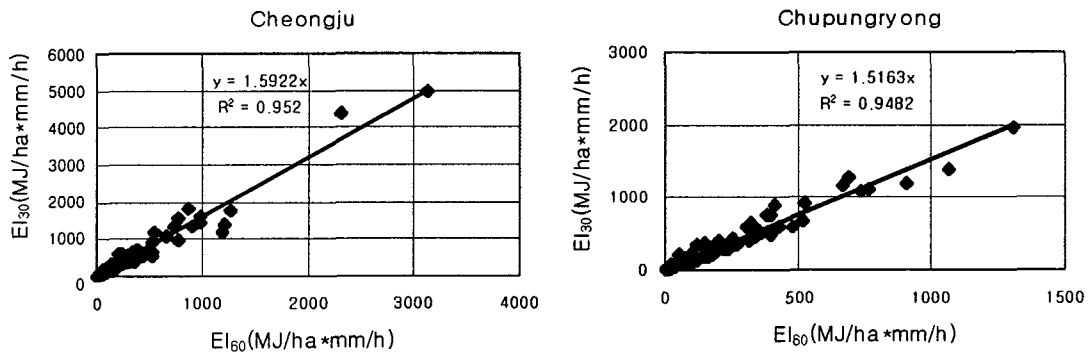


Fig. 1 Relationship between EI<sub>30</sub> and EI<sub>60</sub>

## 2. 연간 R값 산정

관측소별 1988~2001년의 1시간 강우자료를 이용하여 연간 R값을 산정한 결과는 Table 4에서와 같다. 관측소별 연간 R값은 3,130~10,476 MJ/ha · mm/h의 범위로서, 대구가 가장 작고 강화가 가장 큰 값을 보였다. 전국적으로 연간 R값의 변위가 크게 나타났는데, 이는 산악지대인 우리나라의 강우량이 지역별로 큰 차이가 있음을 알 수 있다. Fig. 2는 산정된 우리나라의 R값에 대한 등강우가 식성인자도를 보여주고 있다.

Table 5는 본 연구의 결과와 선행연구자인 박정환 등 (2000)의 연구 결과를 비교하여 보여주고 있다. 연간 R값은 본 연구의 경우 3,130~10,476 MJ/ha · mm/h의 범위를 보였으며, 박정환 등의 연구는 2,620~6,660 MJ/ha · mm/h의 보임으로서, R값이 작은 지역에서는 유사한 값을 보였으나, 큰 값을 나타내는 서울과 강화 등에서는 큰 차이를 보였다. 이는 박정환 등이 연구에 사용한 강우자료가 1996년까지로서, 1998년 이후의 큰 폭우사상이 포함되지 않았기 때문으로 사료된다. 예를 들어, 강

화에서는 1998년의 연간 R값은 36,443 MJ/ha · mm/h이었고, 1999년은 11,312 MJ/ha · mm/h인 것으로 나타났다.

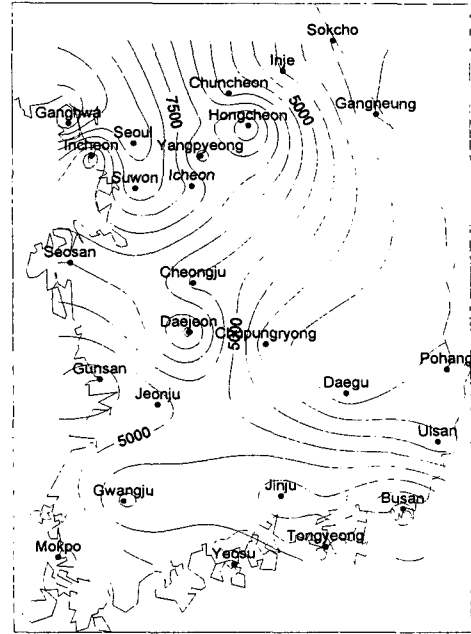


Fig. 2 Annual isoerodent map in Korea (MJ/ha · mm/h)

Table 4 Annual R factor for stations

| Station      | Code No. | R (MJ/ha · mm/h) | Station    | Code No. | R (MJ/ha · mm/h) |
|--------------|----------|------------------|------------|----------|------------------|
| Sokcho       | 90       | 3461             | Jeonju     | 146      | 4743             |
| Chuncheon    | 101      | 5805             | Ulsan      | 152      | 4114             |
| Gangneung    | 105      | 2967             | Gwangju    | 156      | 6156             |
| Seoul        | 108      | 9080             | Busan      | 159      | 7276             |
| Incheon      | 112      | 6052             | Tongyeong  | 162      | 5598             |
| Suwon        | 119      | 8463             | Mokpo      | 165      | 3607             |
| Seosan       | 129      | 5996             | Yeosu      | 168      | 4929             |
| Cheongju     | 131      | 5343             | Jinju      | 192      | 6339             |
| Daejeon      | 133      | 7231             | Ganghwa    | 201      | 9958             |
| Chupungryong | 135      | 3640             | Yangpyeong | 202      | 6272             |
| Pohang       | 138      | 3705             | Icheon     | 203      | 7425             |
| Gunsan       | 140      | 4158             | Inje       | 211      | 4448             |
| Daegu        | 143      | 3162             | Hongcheon  | 212      | 8107             |

Table 5 Comparison of this paper and some other (R : MJ/ha · mm/h)

| Station      | Code No. | This study (1988~2002) | Park et al. (1973~1996) | Chung et al. (1983) |
|--------------|----------|------------------------|-------------------------|---------------------|
| Sokcho       | 90       | 3461                   | 3830                    | 2555                |
| Chuncheon    | 101      | 5805                   | 4130                    | 4640                |
| Gangneung    | 105      | 2967                   | 4170                    | 2970                |
| Seoul        | 108      | 9080                   | 5260                    | 5930                |
| Incheon      | 112      | 6052                   | 4510                    | 4060                |
| Suwon        | 119      | 8463                   | 4910                    | 5570                |
| Seosan       | 129      | 5996                   | 4980                    | 4890                |
| Cheongju     | 131      | 5343                   | 4410                    | 4900                |
| Daejeon      | 133      | 7231                   | 4750                    | 4900                |
| Chupungryong | 135      | 3640                   | 2800                    | 2970                |
| Pohang       | 138      | 3705                   | 2620                    | 2610                |
| Gunsan       | 140      | 4158                   | 4050                    | 4290                |
| Daegu        | 143      | 3162                   | 2710                    | 2990                |
| Jeonju       | 146      | 4743                   | 4280                    | 3640                |
| Ulsan        | 152      | 4114                   | 4500                    | 4550                |
| Gwangju      | 156      | 6156                   | 4600                    | 5510                |
| Busan        | 159      | 7276                   | 6080                    | 6290                |
| Tongyeong    | 162      | 5598                   | 5020                    | 5080                |
| Mokpo        | 165      | 3607                   | 3510                    | 3230                |
| Yeosu        | 168      | 4929                   | 5520                    | 4960                |
| Jinju        | 192      | 6339                   | 5230                    | 4240                |
| Ganghwa      | 201      | 9958                   | 6660                    | 6870                |
| Yangpyeong   | 202      | 6272                   | 5240                    | 4270                |
| Icheon       | 203      | 7425                   | 4830                    | 4650                |
| Inje         | 211      | 4448                   | 2740                    | 2940                |
| Hongcheon    | 212      | 8107                   | 4860                    | 4170                |

### 3. 반월 주기 R값 산정

반월 주기 R값은 관측소별 자료기간에 대하여 EI<sub>30</sub>과 EI<sub>60</sub>의 관계식을 이용하여 15일 단위로 총 24주기의 R값을 산정하였다.

Table 6은 연간 R값에 대한 관측소별 24주기 R값을 나타내고 있다. 주기별 R값은 겨울철에 해당되는 주기에서 작은 값을 보였고, 상대적으로 홍수기인 7월에서 9월까지가 큰 값을 나타냈다. 주기별 R값의 최소값은 겨울철인 2주기와 3주기에서 춘천, 서산, 강화 등이 0으로 나타났고, 최대값은 홍

수기인 15주기의 강화에서 2,590 MJ/ha · mm/h인 것으로 나타났다. 겨울철인 1주기 등에서는 강원도 지역의 R값이 0이 나오는 것은 강설이 많기 때문이다.

연평균 R값의 주기별 분포는 강우량이 많은 시기인 여름철인 6월~8월에 지역별로 66~85%의 범위를 보였으며, 전체의 평균이 76%의 값을 보임으로써, 우리나라의 강우특성을 잘 나타낸다고 할 수 있다.

Fig. 3은 지역적 강우특성을 나타내는 주요 측정인 강화, 속초, 서울, 여수, 그리고 부산에서의 주



Table 6 Half-month R factor (1st-12th period)

| Station      | CODE | 1  | 2  | 3 | 4  | 5  | 6  | 7   | 8   | 9   | 10  | 11  | 12  |
|--------------|------|----|----|---|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Sokcho       | 90   | 3  | 0  | 0 | 10 | 2  | 6  | 32  | 14  | 53  | 106 | 57  | 242 |
| Chuncheon    | 101  | 3  | 0  | 0 | 6  | 12 | 10 | 28  | 43  | 177 | 39  | 62  | 431 |
| Gangneung    | 105  | 4  | 0  | 0 | 7  | 3  | 8  | 31  | 18  | 58  | 87  | 77  | 155 |
| Seoul        | 108  | 1  | 0  | 0 | 7  | 17 | 16 | 40  | 54  | 211 | 61  | 102 | 491 |
| Incheon      | 112  | 1  | 0  | 0 | 3  | 13 | 16 | 33  | 65  | 146 | 59  | 57  | 392 |
| Suwon        | 119  | 1  | 1  | 1 | 6  | 28 | 19 | 34  | 38  | 118 | 88  | 102 | 633 |
| Seosan       | 129  | 3  | 0  | 1 | 8  | 16 | 13 | 48  | 84  | 190 | 126 | 108 | 485 |
| Cheongju     | 131  | 3  | 0  | 2 | 14 | 9  | 8  | 62  | 65  | 124 | 45  | 114 | 633 |
| Daejeon      | 133  | 15 | 2  | 2 | 21 | 13 | 18 | 58  | 63  | 180 | 36  | 158 | 615 |
| Chupungryong | 135  | 2  | 0  | 2 | 10 | 7  | 11 | 77  | 53  | 94  | 27  | 115 | 377 |
| Pohang       | 138  | 7  | 5  | 3 | 16 | 19 | 11 | 23  | 47  | 55  | 40  | 130 | 297 |
| Gunsan       | 140  | 2  | 1  | 2 | 13 | 9  | 7  | 86  | 48  | 87  | 40  | 155 | 397 |
| Daegu        | 143  | 4  | 3  | 2 | 10 | 15 | 9  | 28  | 53  | 120 | 28  | 97  | 357 |
| Jeonju       | 146  | 6  | 4  | 3 | 11 | 11 | 13 | 97  | 59  | 96  | 26  | 251 | 608 |
| Ulsan        | 152  | 12 | 7  | 4 | 15 | 28 | 27 | 61  | 172 | 98  | 58  | 143 | 393 |
| Gwangju      | 156  | 11 | 6  | 5 | 13 | 20 | 13 | 43  | 135 | 100 | 13  | 223 | 584 |
| Busan        | 159  | 16 | 11 | 8 | 38 | 45 | 49 | 322 | 163 | 303 | 91  | 477 | 597 |
| Tongyeong    | 162  | 11 | 8  | 5 | 35 | 44 | 36 | 134 | 96  | 262 | 100 | 209 | 538 |
| Mokpo        | 165  | 3  | 4  | 5 | 14 | 20 | 30 | 34  | 50  | 79  | 38  | 212 | 561 |
| Yeosu        | 168  | 6  | 7  | 5 | 22 | 42 | 36 | 137 | 114 | 172 | 90  | 245 | 827 |
| Jinju        | 192  | 8  | 9  | 8 | 21 | 29 | 29 | 126 | 115 | 192 | 62  | 302 | 539 |
| Ganghwa      | 201  | 9  | 0  | 0 | 3  | 20 | 18 | 48  | 45  | 145 | 64  | 113 | 500 |
| Yangpyeong   | 202  | 0  | 0  | 1 | 7  | 28 | 11 | 26  | 35  | 118 | 43  | 79  | 391 |
| Icheon       | 203  | 4  | 1  | 2 | 9  | 37 | 17 | 39  | 49  | 97  | 76  | 107 | 541 |
| Inje         | 211  | 2  | 0  | 0 | 7  | 3  | 4  | 19  | 36  | 151 | 43  | 73  | 314 |
| Hongcheon    | 212  | 5  | 0  | 0 | 8  | 27 | 14 | 27  | 55  | 159 | 79  | 139 | 605 |

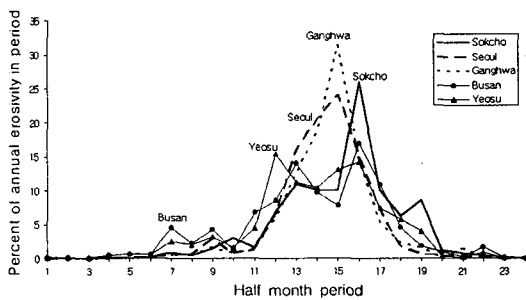


Fig. 3 Erosivity distribution for locations in Ganghwa, Sokcho, Seoul, Yeosu and Busan

기별 R값을 보여주고 있다. R값은 지역적 차이는 있지만, 8월에 집중되어 있음을 알 수 있다.

Fig. 4와 Fig. 5는 겨울철에 해당되는 1주기와 2주기의 등강우가식성인자도를 보여주고 있으며,

Fig. 6과 Fig. 7은 홍수기인 8월에 해당되는 15주기와 16주기의 등강우가식성인자도를 나타내고 있다. 강우량이 많은 시기인 8월의 강우가식성인자는 서해안이 동해안 지역보다 큰 것으로 나타났으며, 강원도 지역이 남부지역보다 큰 값을 보였다.

#### IV. 요약 및 결론

본 연구에서는 전국의 26개 주요 관측소를 대상으로 1973~2002년까지의 10분 및 1시간 강우자료를 이용하여 EI<sub>30</sub>과 EI<sub>60</sub>에 대한 강우에너지를 계산하였고, 관계식을 수립하여 연단위로 확장하였으며, 이를 바탕으로 우리나라의 24주기 강우가식성인자를 제시하였다.

Table 6 Half-month R factor (13th-24th period) (continued)

| Station      | CODE | 13   | 14   | 15   | 16   | 17  | 18  | 19  | 20  | 21  | 22  | 23 | 24 |
|--------------|------|------|------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|
| Sokcho       | 90   | 377  | 352  | 346  | 898  | 349 | 217 | 298 | 42  | 29  | 16  | 6  | 3  |
| Chuncheon    | 101  | 977  | 1144 | 716  | 862  | 331 | 121 | 35  | 13  | 16  | 12  | 2  | 0  |
| Gangneung    | 105  | 375  | 233  | 413  | 782  | 252 | 235 | 259 | 138 | 36  | 19  | 3  | 8  |
| Seoul        | 108  | 1159 | 1508 | 1766 | 1123 | 517 | 135 | 52  | 43  | 20  | 15  | 2  | 1  |
| Incheon      | 112  | 855  | 1093 | 1034 | 957  | 395 | 113 | 70  | 13  | 20  | 8   | 1  | 0  |
| Suwon        | 119  | 994  | 1677 | 1269 | 1151 | 613 | 121 | 75  | 15  | 14  | 6   | 1  | 0  |
| Seosan       | 129  | 721  | 596  | 936  | 1171 | 426 | 204 | 63  | 28  | 53  | 12  | 3  | 0  |
| Cheongju     | 131  | 736  | 847  | 898  | 1035 | 299 | 173 | 133 | 23  | 36  | 8   | 5  | 1  |
| Daejeon      | 133  | 950  | 942  | 1359 | 1294 | 359 | 224 | 101 | 20  | 16  | 11  | 7  | 1  |
| Chupungryong | 135  | 673  | 478  | 475  | 610  | 159 | 144 | 47  | 17  | 11  | 8   | 2  | 0  |
| Pohang       | 138  | 269  | 289  | 254  | 583  | 298 | 628 | 53  | 23  | 14  | 10  | 5  | 13 |
| Gunsan       | 140  | 580  | 670  | 616  | 1194 | 294 | 186 | 72  | 16  | 29  | 12  | 3  | 0  |
| Daegu        | 143  | 360  | 409  | 475  | 592  | 247 | 296 | 23  | 14  | 3   | 6   | 2  | 1  |
| Jeonju       | 146  | 856  | 734  | 842  | 687  | 364 | 197 | 50  | 29  | 15  | 7   | 5  | 0  |
| Ulsan        | 152  | 373  | 359  | 589  | 819  | 445 | 236 | 53  | 39  | 8   | 26  | 6  | 10 |
| Gwangju      | 156  | 933  | 815  | 965  | 1092 | 326 | 262 | 38  | 26  | 13  | 8   | 10 | 1  |
| Busan        | 159  | 981  | 677  | 549  | 1185 | 757 | 321 | 133 | 76  | 27  | 122 | 14 | 3  |
| Tongyeong    | 162  | 775  | 785  | 468  | 717  | 364 | 183 | 72  | 41  | 17  | 54  | 13 | 1  |
| Mokpo        | 165  | 669  | 419  | 277  | 628  | 428 | 304 | 82  | 17  | 9   | 22  | 10 | 1  |
| Yeosu        | 168  | 604  | 562  | 704  | 758  | 398 | 309 | 220 | 19  | 12  | 49  | 8  | 2  |
| Jinju        | 192  | 933  | 872  | 754  | 1013 | 515 | 356 | 35  | 20  | 9   | 22  | 16 | 2  |
| Ganghwa      | 201  | 1046 | 1549 | 2617 | 1220 | 435 | 190 | 133 | 8   | 123 | 10  | 5  | 0  |
| Yangpyeong   | 202  | 875  | 1140 | 1228 | 912  | 392 | 141 | 33  | 6   | 17  | 7   | 2  | 0  |
| Icheon       | 203  | 946  | 1462 | 1117 | 926  | 552 | 221 | 68  | 7   | 20  | 8   | 3  | 0  |
| Inje         | 211  | 513  | 813  | 858  | 571  | 235 | 71  | 31  | 16  | 14  | 9   | 1  | 0  |
| Hongcheon    | 212  | 1090 | 1500 | 1198 | 1013 | 482 | 160 | 72  | 34  | 17  | 10  | 1  | 0  |

본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 전국 26개 기상관측소에서의 10분 및 1시간 단위 강우자료를 이용하여 EI<sub>30</sub>과 EI<sub>60</sub>의 회귀방정식을 수립하였으며, 관측소별 결정계수는 0.9127~0.9895의 범위를 보였다.
2. 1988~2001년의 1시간 강우자료를 이용하여 연간 R값을 산정한 결과, 관측소별 연간 R값은 3,130~10,476 MJ/ha·mm/h으로서 그 변위가 크게 나타났으며, 이는 산악지대인 우리나라의 강우량이 지역별로 큰 차이가 있기 때문으로 사료된다.
3. 연평균 R값의 주기별 분포 산정 결과, 여름철인 6월~8월에 지역별로 66~85%, 전국 평균이

76%의 값을 나타내었으며, 이는 여름철에 강우량이 많은 우리나라의 강우특성을 잘 나타낸다고 할 수 있다.

4. 관측소별 반월 주기 R값을 산정하여 우리나라 주기별 등강우가식성인자도를 작성하였으며, 겨울철의 0에서부터 홍수기에 2,590 MJ/ha·mm/h까지의 범위를 보였고, 강우가식성인자는 서해안과 강원도 지역이 동해안과 남부지역보다 큰 값을 보였다.

이상에서 제시된 우리나라 전국 반월 주기의 등강우가식성인자는 전국 26개 관측소와 시간별 강우량의 부재 등 강우자료의 제한적인 요소가 있기

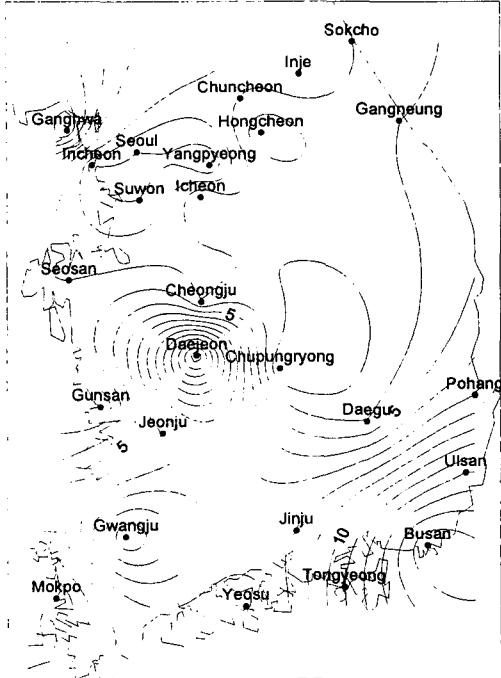


Fig. 4 Isoerodent map (1st period, MJ/ha · mm/h)

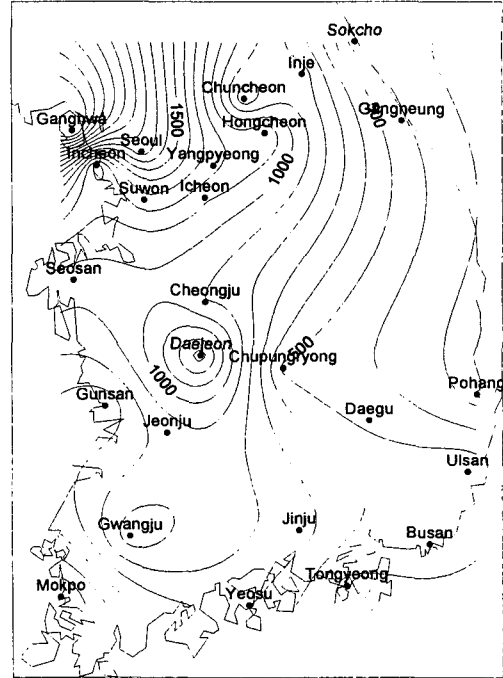


Fig. 6 Isoerodent map (15th period, MJ/ha · mm/h)

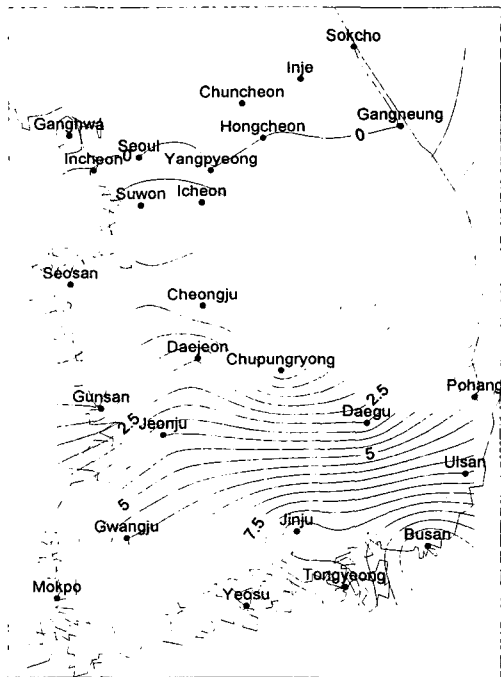


Fig. 5 Isoerodent map (2nd period, MJ/ha · mm/h)

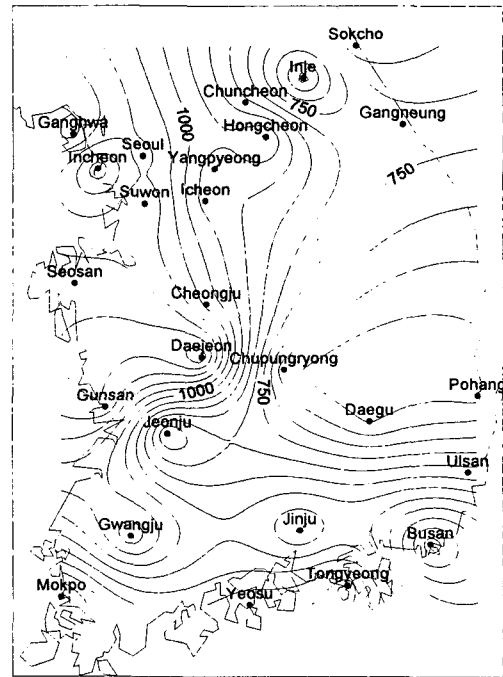


Fig. 7 Isoerodent map (16th period, MJ/ha · mm/h)

는 하지만, 최근에 발표된 RUSLE의 실무에의 활용이 가능할 것으로 사료된다.

본 연구는 농림기술관리센터의 기획과제 “농지의 개량 및 정비기술 개발”의 농업특별세의 지원으로 수행된 내용의 일부임.

### References

1. Choi, J. K., J. W. Koo, and J. G. Son. 1998. Review on the Unit Conversion with the USLE Application in Korea. *Journal of Korean Society of Soil Science and Fertilizer* 31(3): 23-30. (in Korean)
2. Cho, J. P.. 1998. Applications of AGNPS model with Rural Watersheds Having Complex Land Use Characteristics. MS thesis. Seoul: Seoul National University (in Korean).
3. Forster G. R. et al., 2002. User's Guide-Revised Universal Soil Loss Equation Version2(RUSLE2), USDA ARS, Washington, D. C..
4. Her, Y. G.. 2002. Applications of a GIS-Based Soil Loss Estimation System. MS thesis. Seoul: Seoul National University. (in Korean)
5. Jung, P. K., M. H. Ko, J. M. Im, K. T. Um, and D. U. Choi. 1983. Rainfall Erosion Factor for Estimating Soil Loss. *J. Korean Soc. Soil Sci. Fert.* 16(2): 112-118. (in Korean)
6. Kim, C. W., H. S. Woo, and J. H. Sonu. 1999. Estimation of Rainfall Erosivity in USLE. *Journal of Korea Water Resources Association* 32(4): 457-467. (in Korean)
7. Lombardi, F. 1979. USLE, runoff erosivity factor, slop length exponent, and slop steepness exponent for individual storm. Ph.D Thesis. Purdue University, W. Lafayette, Ind..
8. Park, J. H., H. S. Woo, C. K. Pyun, and K. I. Kim. 2000. A Study of Distribution of Rainfall Erosivity in USLE/RUSLE for Estimation of Soil Loss. *Journal of Korea Water Resources Association* 33(5): 603-610. (in Korean)
9. Sin, J. S., M. H. Koh, and J. N. Im. 1983. An Approximation of the Rainfall Factor (R) in Predicting Soil Loss. *J. Korean Soc. Soil Sci. Fert.* 16(2): 106-111. (in Korean)
10. Toy, T. J., and G. R. Foster. 1998. Guidelines for the Use of the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) Version 1.06 on Mined Lands, Construction Sites, and Reclaimed Lands. Denver, c080202-5733.
11. USDA-Agriculture Handbook 703. 1998. Predicting Soil Erosion by Water, US Government Printing Office, Washington, D. C..
12. Wischmeier, W. H., and D. D. Smith. 1978. Predicting Rainfall Erosion Losses-A Guide to Conservation Planning, USDA Agriculture Handbook No. 537.
13. Wischmeier, W. H.. 1959. A Rainfall Erosion Index for a Universal Soil-Loss Equation. *Proc., Soil Science Society of America* 23(3): 246-249.
14. Yu, B. 2001. Using CLIGEN to Generate RUSLE Climate Inputs. *Transactions of the ASAE* 45(4): 993-1001.