

# 한국의 강우운동에너지식 비교 연구

## A Comparative Study on Rainfall Kinetic Energy Equations for Korea

이준학\*

Joon-Hak Lee

### 요 지

본 연구는 우리나라에서 개발된 강우운동에너지식을 토대로 강우침식인자를 산정하여 기존 학계에서 국외 강우운동에너지식으로 계산되어 사용되어온 기존 강우침식인자 값과 어떤 차이점이 있는지를 비교 분석하기 위한 것이다. 이를 위해 최근까지 학계에서 발표된 국내 강우운동에너지식을 수집하고, 강우강도에 따른 강우운동에너지의 변화 양상을 비교 검토하였다. 4개의 강우운동에너지식을 비교해본 결과, 관측기간과 관측지점, 유도 방법의 차이로 인해 편차가 발생하는 것으로 나타났으며, 본 연구에서는 통계적인 방법을 이용하여 4개의 강우운동에너지식의 평균값을 나타낼 수 있는 전역적 강우운동에너지식을 제안하였다.

**핵심용어 :** 강우에너지, 강우운동에너지, 강우침식인자, 토양침식

### 1. 서 론

범용토양유실공식(Universal Soil Loss Equation, USLE)을 이용하여 장기간의 걸친 강우에 의한 토양침식량을 구하기 위해서는 대상지역의 강우침식인자(rainfall erosivity)를 산정해야 한다. 강우침식인자는 호우사상별 강우운동에너지에 강우량을 곱한 강우에너지의 총합과 호우기간 동안의 30분 최대 강우강도의 곱으로 정의된다(Wischmeier and Smith, 1978). 이준학 등(2011)은 미국에서 개발된 3가지 강우 운동에너지식과 한국에서 유도된 노재경과 권순국(1984)식을 이용하여 강우침식인자를 계산해본 결과, 기존 연구의 강우침식인자가 강우 운동에너지식에 따라 10~20% 과다 평가되어 왔음을 밝힌 바 있다. 김진관 등(2010)은 안성지점, 임영신 등(2012)은 대전 지점의 강우 운동에너지식을 제안한 바 있으며, 이종설과 원진영(2013)은 대관령 지점의 강우 운동에너지식을 제안한 바 있다.

본 연구는 우리나라에서 개발된 강우운동에너지식을 토대로 산정된 강우침식인자 값과 기존 학계에서 국외 강우운동에너지식으로 계산되어 사용되어온 기존 강우침식인자 값과 어떤 차이점이 있는지를 비교 분석하기 위해 수행되었다.

### 2. 강우운동에너지식

강우운동에너지식은 미국에서 유도된 USLE, RUSLE, RUSLE2의 강우 운동에너지식과 국내에서 유도된 노재경과 권순국(1984), 김진관 등(2010), 임영신 등(2012), 이종설과 (2013)의 강우운동에너지식이 있다. RUSLE의 강우운동에너지식은 다음과 같다.

$$e = 0.29 [1 - 0.72 \exp(-0.05I)] \quad (1)$$

\* 정회원 · 육군사관학교 건설환경학과 부교수 · E-mail : [cetera@kma.ac.kr](mailto:cetera@kma.ac.kr)

여기서,  $e$ 는 강우의 운동에너지(MJ/ha/mm),  $I$ 는 강우강도(mm/h)를 의미한다(Renard et al, 1997). 재해영향평가 실무지침서(2005)에서는 이 식의 사용을 권고하고 있다. RUSLE의 업그레이드 버전인 RUSLE2의 강우운동에너지식은 다음과 같다.

$$e = 0.29[1 - 0.72\exp(-0.082I)] \quad (2)$$

여기서,  $e$ 는 강우의 운동에너지(MJ/ha/mm),  $I$ 는 강우강도(mm/h)를 의미한다(Foster et al., 2003). 서울 지점의 1980년 6월~9월, 1982년 8월~9월, 수원 지점의 1983년 6월~9월 기간의 호우사상을 분석하여 제시한 노재경과 권순국(1984)의 강우운동에너지식은 다음과 같다( $r^2 = 0.63$ ).

$$\log_{10}e = 1.08 + 0.136\log_{10}I \quad (3)$$

여기서,  $e$ 는 강우의 운동에너지( $J/m^2 \cdot mm$ ),  $I$ 는 강우강도(mm/h)를 의미한다(노재경과 권순국, 1984). 경기도 안성시 고삼저수지 일대에서 2008년 8월, 2009년 8월의 호우사상으로부터 유도한 김진관 등(2010)의 강우운동에너지식은 다음과 같다( $r^2 = 0.24$ ).

$$e = 10.47 + 2.47\log_{10}I \quad (4)$$

여기서,  $e$ 는 강우의 운동에너지( $J/m^2 \cdot mm$ ),  $I$ 는 강우강도(mm/h)를 의미한다. 대전의 한국지질자원연구원의 레이저-옵티컬 디스트로미터로 측정한 2010년 1월 ~ 9월까지의 강우입자의 크기 분포와 속도 분포로부터 유도한 임영신 등(2012)의 강우운동에너지식은 다음과 같다( $r^2 = 0.46$ ).

$$e = 24.49[1 - 0.73\exp(-0.13I)] \quad (5)$$

여기서,  $e$ 는 강우의 운동에너지( $J/m^2 \cdot mm$ ),  $I$ 는 강우강도(mm/h)를 의미한다. 대관령 지점에 대한 호우사상을 분석하여 제시한 이종설과 원진영(2013)의 강우운동에너지식은 다음과 같다( $r^2 = 0.609$ ).

$$e = 6.040 + 12.367\log_{10}I \quad (6)$$

여기서,  $e$ 는 강우의 운동에너지( $J/m^2 \cdot mm$ ),  $I$ 는 강우강도(mm/h)를 의미한다.

### 3. 연구결과

김진관 등(2010), 임영신 등(2012), 이종설과 원영진(2013)은 공통적으로 레이저-옵티컬 디스트로미터(laser-optical disdrometer)를 통해 측정된 강우 입자의 크기 분포와 강우입자크기에 따른 낙하속도 분포를 분석하여 강우운동에너지식을 유도하였다. 이 기기는 노재경과 권순국(1984)이 사용한 우적측정장치보다 강우의 입경 및 속도 분포를 정밀하게 측정할 수 있는 장비이다. 표 1은 국내에서 유도된 선행 강우운동에너지식에 대하여 연구자별로 유도한 지점 및 관측

기간, 분석데이터, 유도방법을 정리한 것이다.

표 1. 선행 연구결과 요약

구 분	지점	관측기간	분석 데이터	유도방법
노재경과 권순국(1984)	서울, 수원	1980년 6-9월(서울) 1982년 8-9월(서울) 1983년 6-9월(수원)	801개 (1분 단위)	우적측정장치
김진관 등(2010)	안성	2008년 8월 1회 2009년 8월 2회 ※ 3개 호우사상	423개 (5분 단위)	레이저-옵티컬 디스트로미터  *관측가능 낙하속도 0.05~20.8m/s
임영신 등(2012)	대전	2010년 1-9월 ※ 17개 호우사상	1,841개 (5분 단위)	
이종철과 원진영(2013)	대관령 (842m)	2006년 9월- 2010년 5월	25,017개 (60초 단위)	

그림 1은 국내에서 유도된 4개의 강우운동에너지식과 미국에서 유도된 RUSLE2 모델의 강우운동에너지식(Foster et al., 2003)을 그래프로 비교해보기 위해 강우강도를 0.1 ~ 160mm/hr 범위로 하여 나타낸 것이다.

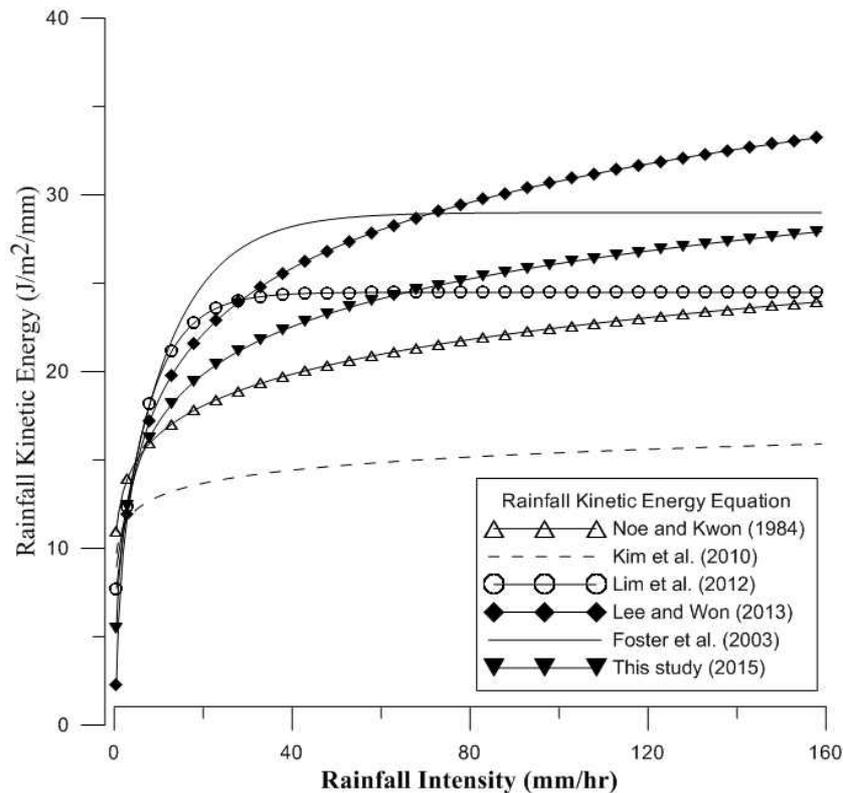


그림 1. 한국의 강우운동에너지식 비교

그림 1에서 알 수 있듯이 김진관 등(2010)의 강우운동에너지식이 가장 낮게 나타났는데, 유도에 사용된 강우강도 범위가 제한되어 최대 40mm/hr 이하인 경우에 사용할 것을 권고한 바 있다. 임영신 등(2012)의 강우운동에너지식은 노재경과 권순국(1984), 김진관 등(2010)의 식보다 높은 값을 갖는 것으로 나타났다. 이종설과 원진영(2013)의 강우운동에너지식이 가장 높은 값을 가지는 것으로 나타났는데, 강우강도 약 80mm/hr 이후부터는 RUSLE2의 강우운동에너지식 보다 높은 값인  $30.26\text{J/m}^2/\text{mm}$  까지 값을 갖는 것으로 나타났다.

국내에서 유도된 4개의 강우운동에너지식으로부터 통계적인 방법으로 유도한 전역적 강우운동에너지식은 다음과 같다( $r^2 = 0.625$ ).

$$e = 8.175 + 3.896\ln(I) \quad (7)$$

여기서,  $e$ 는 강우의 운동에너지( $\text{J/m}^2 \cdot \text{mm}$ ),  $I$ 는 강우강도( $\text{mm/h}$ )를 의미한다.

#### 4. 결 론

기존 학계에서는 미국에서 유도된 강우운동에너지식을 이용하여 강우침식인자를 산정하였지만 2010년 이후 레이저-옵티컬 디스드롬미터를 이용하여 국내 강우운동에너지식을 유도하는 연구가 지속되고 있다. 본 연구는 1984년 노재경과 권순국이 제안한 강우운동에너지식과 2010년 이후 국내 학계에서 발표된 강우운동에너지식을 비교 분석하기 위해 최근까지 학계에서 발표된 국내 강우운동에너지식을 수집하고, 강우강도에 따른 강우운동에너지의 변화 양상을 분석하였다. 국내에서 유도된 4개의 강우운동에너지식을 비교해본 결과, 관측기간과 관측지점, 유도 방법의 차이로 인해 편차가 발생하는 것을 알 수 있었다. 본 연구에서는 현재까지의 발표된 선행 연구결과를 바탕으로 각 연구자가 제시한 강우운동에너지식에 대한 회귀분석을 통해 4가지 강우운동에너지식의 평균값을 나타낼 수 있는 전역적인 강우운동에너지식을 제안하였다.

향후 레이저-옵티컬 디스드롬미터를 보유하고 있는 다른 지점의 연구자료를 획득하여 한국의 강우운동에너지식을 유도할 계획이다.

#### 참 고 문 헌

1. 김진관, 양동윤, 김민석 (2010). 강우입자의 물리적 특성평가 : 경기도 안성시 지역을 사례로, **한국지형학회지**, 한국지형학회, 제17권, 제1호, pp. 49-57.
2. 노재경, 권순국 (1984). 강우특성을 이용한 강우에너지 산정에 관한 연구, **서울대학교 농학연구**, 제9권, 제2호, pp.23-31.
2. 이종설, 원진영 (2013). 강우운동에너지식 유도를 통한 전국 월별 강우침식인자 특성 분석, **한국방재학회 논문집**, 한국방재학회, 제13권, 제3호, pp. 177-184.
- 3 이준학, 신주영, 허준행 (2011). 강우 운동에너지식에 따른 한국의 강우침식인자 평가, **한국토양비료학회지**, 한국토양비료학회지, 제44권 제3호, pp.337-343
4. 임영신, 김종욱, 김진관, 박병익 (2013). 레이저-옵티컬 디스드롬미터를 활용한 대전지역의 강우에너지 특성 평가, **한국지형학회지**, 한국지형학회, 제19권, 제2호, pp. 133-143.
5. Foster, G.R., D.C. Yoder, G.A. Weesies, D.K. McCool, K.C. McGregor, and R.L. Bingner. (2003). *RUSLE 2.0 user's guide*, USDA-Agricultural Research Service, Washington

D.C.

6. Renard, K.G., Foster, G.R., Weesies, G.A., McCool, D.K., and Yoder, D.C. (1997). *Predicting Soil Erosion by Water: A guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)*, USDA Agric. Handbook, No. 703. U.S. Department of Agricultural Research Service, Washington, D.C.
7. Wischmeier, W.H. and Smith, D.D. (1978), *Predicting rainfall erosion losses : A guide to conservation planning. USDA Agric. Handbook*, No. 537. Washington, D.C.