한국토양비료학회지 44권 6호
Korean J. Soil Sci. Fert. Vol. 44, No. 6, 1004-1009 (2011)

보문

수정 IAS 지수를 이용한 북한지역의 강우침식인자 추정

이준학* · 허준행[1]

육군사관학교 건설환경학과, [1]연세대학교 토목환경공학과

Estimation of Rainfall Erosivity in North Korea using Modified Institute of Agricultural Sciences

Joon-Hak Lee* and Jun-Haeng Heo[1]

Department of Civil Engineering and Environmental Sciences, Korea Military Academy, Gongneung-Dong, Seoul, 139-799, Korea
[1]Department of Civil and Environmental Engineering, Yonsei University, 134 Shinchon-Dong, Seoul, 120-749, Korea

Soil erosion in North Korea has been continued to accelerate by deterioration of topographical conditions. However, few studies have been conducted to predict the amount of soil loss in North Korea due to limited data so far. Rainfall erosivity is an important factor to predict the amount of long-term annual soil loss by USLE (universal soil loss equation). The purpose of this study is to investigate rainfall erosivity, which presented the potential risk of soil erosion by water, in North Korea. Annual rainfall erosivities for 27 stations in North Korea for 1983~2010 were calculated using regression models based on modified Institute of Agricultural Sciences (IAS) index in this study. The result showed that annual average rainfall erosivity in North Korea ranged from 2,249 to 7,526 and averaged value was 4,947 MJmm ha^{-1} hr^{-1} yr^{-1}, which corresponded to about 70% of annual average rainfall erosivity in South Korea. The finding was that the potential risk of soil erosion in North Korea has been accelerated by the increase of rainfall erosivity since the late 1990s.

Key words: Modified IAS index, North Korea, Rainfall erosivity, Soil erosion, USLE

서 언

북한의 국토면적은 남한보다 약 2만 km^{2}가 더 넓지만, 약 80%가 산악지대로 구성되어 있으며, 경사가 심하여, 실제로 경작을 할 수 있는 면적은 남한보다 상대적으로 적은 편이다 (Im and Kang, 2000). 특히 북한은 식량 확보를 위하여 무분별한 야산개발과 경사지에 밭을 조성해왔으며 이로 인해 남한보다 토양유실의 위험성이 크다 (Jung et al., 2002). 북한의 쌀 재배 면적은 58.8만 ha로서 남한의 30% 정도인데 반해, 옥수수 재배면적은 58.6만 ha에 달한다 (Kim et al., 1999). 이와 같이 북한은 토양침식에 약한 옥수수 품종을 연작함으로서 지력의 감퇴 및 호우에 의한 표토유실로 농업생산력이 감소되는 악순환을 가져오고 있다 (Ryu, 2000). 북한은 남한보다 연강수량이 적지만, 대륙성 기후의 영향을 많이 받아 강수량의 지역적인 편차가 심하며, 강우가 특정시기에 집중되어 생육조건이 좋지 않은 편이다 (Jung et al., 2002). 남북한이 분단되어 있는 현 상황에서 북한 지역에 대한 자료 접근이 제한되어 있기 때문에 북한 지역의 토양유실에 관한 연구는 국내에서 매우 제한적으로 이루어져 왔다. 북한에서 유실된 토양이 임진강, 북한강 등 남북 공유하천으로 유입되면 우리나라에도 피해를 줄 수 있으며, 향후 통일 이후를 대비한 토양보전 대책을 수립하기 위해서는 북한 지역의 토양유실에 대한 기초연구가 수행될 필요가 있다. 특히 기후변화에 영향을 받는 강우침식인자의 경우는 북한 지역의 강우자료 확보가 제한되기 때문에 소수의 연구자들에 의해서 제한적으로 이루어져 왔다 (Jung et al., 2002). 강우침식인자를 산정하기 위해서는 분단위의 연속된 강우자료가 필요하지만 (Wischmeier and Smith, 1978). 강우자료가 제한되거나, 미계측 지역의 경우는 많은 학자들이 강우침식인자와 상관성이 높은 강우매개변수를 통해서 간접적으로 추정하는 방법을 사용해왔다.

Jung et al. (2002)은 월강수량을 이용한 Jung et al. (1983)의 회귀식을 이용하여 북한 27개 지점의 강우침식인자를 산정한 바 있다. Lee et al. (2003, 2008)은 범용토양유실공식 (Universal Soil Loss Equation, USLE)을 적용하여 북한 횡령지역과 임진강 유역에 대한 토양유실량을 추정하면

접수 : 2011. 11. 19 수리 : 2011. 12. 16
*연락저자 : Phone: +82221972864
E-mail: cetera93@gmail.com

서, 강우침식인자 값을 산정하기 위하여 연강수량을 이용한 회귀식인 Lo et al. (1985)의 식을 적용한 바 있다. Lee et al. (2011)은 Jung et al. (1983)과 Lo et al. (1985)의 식이 강우침식인자를 과소 평가하는 경향이 있으며, 연강수량 및 월강수량 등 다른 강우매개변수 보다 수정 IAS (Modified Institute of Agricultural Sciences) 지수가 연강우침식인자와 보다 상관성이 높음을 밝힌 바 있다.

본 연구에서는 Lee et al. (2011)이 제안한 수정 IAS (Modified Institute of Agricultural Sciences) 지수를 이용하여 북한 지역 강우침식인자를 추정하기 위한 것이다.

기본 이론

강우침식인자는 장기간에 걸친 연평균 토양침식량 산정을 위한 USLE의 중요한 입력자료로서 기후변화에 영향을 받으며, 토양 및 지형인자 등 다른 조건이 동일할 경우, 잠재적인 토양침식 위험도를 추정해볼 수 있는 지표로 사용된다. 강우침식인자는 12.7 mm 이상 내린 호우사상 또는 12.7 mm 미만이더라도 15분 동안 6.35 mm 이상 내린 호우사상을 대상으로, 각 호우기간에 대한 강우 운동에너지를 구하고 이를 모두 합한 총 강우에너지에 30분 최대 강우강도를 곱하여 산정하게 된다 (Wischmeier and Smith, 1978). 개별호우사상에 대한 강우침식인자 계산식은 다음과 같다.

$$R = EI_{30} \tag{1}$$

여기서, R은 강우침식인자 (MJmm ha^{-1} hr^{-1} yr^{-1}), E는 총 강우에너지 (MJ ha^{-1} yr^{-1}), I_{30}은 개별 호우사상의 30분 최대 강우강도 (mm hr^{-1})를 의미한다. 연강우침식인자는 연중 내린 개별 호우사상의 R 값을 모두 합한 값을 의미하며, 연평균 강우침식인자는 연강우침식인자의 평균값으로서 USLE에서는 최소 20년 이상의 평균값의 사용을 추천하고 있다 (Wischmeier and Smith, 1978). 총 강우에너지는 강우 운동에너지의 합에 해당 호우사상의 총 강우량을 곱한 값으로 정의된다. 강우 운동에너지는 강우강도의 함수로 되어 있는 강우 운동에너지식을 이용하여 산정하게 된다 (Renard et al., 1997; Wischmeier and Smith, 1978).

본 연구에서는 선행연구 (Jung et al., 2002)와의 결과 비교를 위하여 USLE의 강우 운동에너지식을 채택하였다. 미 농무부 (U.S. Department of Agriculture, USDA)의 Agriculture Handbook No. 537 (Wischmeier and Smith, 1978)에 수록된 강우 운동에너지식은 아래와 같다.

$$e = 210.3 + 89 \log_{10} I, \quad I \leq 7.6 \text{ cm h}^{-1} \tag{2a}$$

$$e = 289, \quad I > 7.6 \text{ cm h}^{-1} \tag{2b}$$

여기서, e는 강우의 운동에너지 (Metric ton m^{-1} ha^{-1} cm^{-1}), I는 강우강도 (cm h^{-1})를 의미한다. Jung et al. (1983)과 Park et al. (2000)은 식 (2a)와 (2b)를 이용하여 각각 남한 지역의 강우침식인자를 산정한 바 있다. 만약, 연속된 20년 이상의 분단위 강우자료가 있을 경우, USLE Agriculture Handbook No. 537 (1978)의 계산절차에 따라 강우침식인자를 산정할 수 있지만, 미계측 지역이나, 강우자료가 제한될 경우, 가용한 자료를 이용한 추정방법을 사용하게 된다.

Lee et al. (2003, 2008)은 북한의 횡령지역과 임진강 유역의 강우침식인자를 Lo et al. (1985)의 식을 이용하여 산정한 바 있다. Lo et al. (1985)의 식은 연평균강수량을 이용하여 연평균 강우침식인자를 추정하는 경험식으로서 동남아시아 지역 (Toxopeus, 1997) 및 지난 10여 년간 국내 연구자들에게 널리 활용되어 왔다 (Lee and Choi, 2010; Lee and Lee, 2006; Shin, 1999). Lee and Heo (2011)는 이 식이 아시아권에서는 EI-Swaify 식, 국내에는 Toxopeus 식으로 알려져 있지만, Lo et al. (1985)의 식임을 밝힌 바 있다. 이 식의 형태는 아래와 같다.

$$R = 38.5 + 0.35P \tag{3}$$

여기서, R은 연평균 강우침식인자 (10^7 MJmm ha^{-1} hr^{-1} yr^{-1}), P는 연평균강수량 (mm)을 의미한다. 이 식은 Hawaii의 99개 지점으로부터 유도된 식으로서 결정계수 (r^2)는 0.897이었다 (Lo et al., 1985). 이 식은 양변의 단위가 맞지 않는 경험식으로서, 연강수량이 많을수록 연강우침식인자가 증가할 것이라는 기본 가정을 포함하고 있다. 그러나 강우침식인자는 강우량뿐만이 아니라 강우강도를 이용하여 계산되는 값이기 때문에, 연강수량만을 이용한 회귀식을 적용할 경우, 동일 강우량이라도 강우강도에 의해서 강우침식인자값이 달라지는 것을 설명할 수 없는 제한사항이 있다.

Jung et al. (2002)은 Jung et al. (1983)의 회귀식을 이용하여 북한의 27개 관측소에 대한 강우침식인자를 산정한 바 있다. Jung et al. (1983)의 회귀식은 수원 지방의 1964~1980년 기간의 자기우량기록지를 일일이 판독하여 유도된 식으로서 다음과 같은 두 가지 식의 형태가 있다.

$$R = 0.0115P^{1.4947} \tag{4}$$

여기서, R은 연강우침식인자 (10^7 MJmm ha^{-1} hr^{-1} yr^{-1}), P는 연강수량 (mm)을 의미하며, 이때 결정계수는 0.75였다 (Jung et al., 1983).

$$R = 0.0378P^{1.4190} \tag{5}$$

여기서, R은 월강우침식인자 (10^7 MJmm ha^{-1} hr^{-1} yr^{-1}),

P는 월강수량 (mm)을 의미하며, 결정계수는 0.78이었다 (Jung et al., 1983). Jung et al. (1999)은 식 (4)를 적용하여 강원도 지역의 9개 지점에 대한 강우침식인자를 산정한 바 있다. 또한, Jung et al. (2002)은 청진 등 13개소의 1973~1994년 기간과, 남포 등 14개 지점의 1981~1994년 기간 동안의 월강수량을 이용하여 북한의 27개 관측 지점에 대한 강우침식인자를 산정하였는데, 먼저 식 (5)를 이용하여, 1월부터 12월까지의 월별 강우침식인자를 산정한 후, 12월부터 3월 까지는 겨울철 적설의 영향을 고려하여 1.5배를 해주었으며 (Wischmeier and Smith, 1978), 강수의 7, 8월 집중도의 관계로부터 유도된 지역보정계수를 구하여 해당 값을 보정하는 절차를 따랐다. 7, 8월의 강수 집중도 (%)에 따른 지역보정계수는 아래와 같다 (Jung et al., 1999; 2002).

$$U_{adj} = 0.0453X - 0.959 \quad (6)$$

여기서, U_{adj} 은 지역보정계수, X는 7, 8월 두 달간의 월평균 강수량 합에 대한 연평균강수량의 비율, 즉 강수 집중도 (%)를 의미한다. 지역보정계수는 강우침식인자를 산정하는데 사용한 회귀식이 수원지점에서 유도된 식임을 고려하여, 지역별로 보다 정확한 강우침식인자를 찾기 위한 노력의 일환으로 제안되었다 (Jung et al., 2002).

Shin et al. (1983)은 강우자료가 제한될 경우, 연중 비가 많이 내린 두 달간의 강수량의 합 (주로 7, 8월 기간의 강우량의 합)으로 연강우침식인자를 경험적으로 추정할 수 있는 IAS (Institute of Agricultural Sciences) 지수를 제안한 바 있다. Lee et al. (2011)은 지역별로 월별 강수집중도에 차이가 있다는 점에 착안하여 IAS 지수의 개념을 두 달에서 다섯 달까지 확장한 수정 IAS 지수를 제안하였다. 수정 IAS 지수는 IAS 지수가 연중 비가 가장 많이 내린 두 달 간의 강수량의 합을 의미하는데 반해, 연중 두 달 ~ 다섯 달 기간의 월강수량의 합을 의미하며 식은 아래와 같다.

$$\text{MIAS index} = \text{SUM}(M_{1st} + M_{2nd} + \ldots + M_{jth}) \quad (7)$$

여기서, MIAS index는 수정 IAS 지수 (mm), M_{1st}은 연중 비가 가장 많이 내린 달의 월강수량 (mm), M_{2nd}은 연중 두 번째로 비가 가장 많이 내린 달의 월강수량 (mm), M_{jth}는 내림차순으로 j번째 비가 가장 많이 내린 달의 월강수량 (mm)을 의미한다. 여기서 j는 지역별 상수값으로서 2~5의 값을 가진다 (Lee et al., 2011). j값이 2일 경우, 수정 IAS 지수와 IAS 지수는 동일한 값을 갖게 된다. 예를 들어, 속초 지점의 j값이 5일 경우에 수정 IAS 지수는 가장 강수량이 많은 월로부터 5순위까지의, 즉 5달의 월강수량을 더한 값이 된다. 연강수량의 경우, 유효 호우사상에 해당되지 않은 강수량이 포함되어 있기 때문에 이를 이용한 강우침식인자의 추정은 오차가 발생할 가능성이 높다. 수정 IAS 지수는 연중 2~5달 기간에 대부분 강수량이 집중되는 우리나라의 강우패턴을 고려한 것으로서, 강우침식인자 또한 특정 월에 집중되어 분포할 것이라는 가정에 근거하고 있다. 수정 IAS 지수는 지역별로 월강수량이 집중되는 분포 양상이 다르기 때문에 이를 고려하여 연강우침식인자와 상관성이 높은 인자를, 지역에 따라 2달에서 5달의 월강수량의 합으로 확장한 것이다. IAS 지수가 그 값 자체를 강우침식인자의 대체지수로 활용하는 반면, 수정 IAS 지수는 연강우침식인자 추정을 위한 매개변수로 활용된다는 점에서 차이점이 있다 (Lee et al., 2011).

Table 1. Regression models for predicting annual average rainfall erosivity using MIAS index (HRI, 2011).

Classification	Regression model (Coefficient of determination)	Remarks (j for MIAS index)
Middle inland (from 961 data)	R = 8.884MIASI (r^2 = 0.852)	j = 3
South coastal (from 387 data)	R = 7.339MIASI (r^2 = 0.852)	j = 4
East coastal (from 147 data)	R = 5.074MIASI (r^2 = 0.872)	j = 5

†R, rainfall erosivity (MJmm ha^{-1} hr^{-1} yr^{-1}); MIAS, modified IAS index (mm).

Hwarangdae Research Institute (HRI) (2011)는 기상청 산하 37개 지점의 30년 이상의 5분 단위 강수자료를 이용하여 산정된 월별 평균 누적 강우침식인자를 토대로 남한 지역을 3개 지역 (동해안, 남해안, 중부 산간 및 내륙지역)으로 구분하였으며, 구분한 지역별로 수정 IAS 지수를 이용한 회귀식을 Table 1과 같이 제안한 바 있다.

연구자료 및 방법

북한지역의 강수량은 현재 세계기상통신망 (Global Telecommunication System, GTS)에서 제공하고 있는 자료에 의존하고 있다. 본 연구에서는 1983~2010년 기간 (28개년)에 대한 북한 27개 관측소의 월강수량 자료를 획득하여 활용하였다. 북한 지역의 강우침식인자를 추정하기 위한 지역구분은 Jung et al. (2002)의 연구결과 일부를 수용하였다. Jung et al. (2002)은 수원지점으로부터 유도된 식 (5)를 이용하여 북한 27개 관측소의 연평균 강우침식인자를 추정하면서, 연중 7, 8월 기간의 월평균 강수량의 집중도 (%)를 토대로 북한을 4개 지역, 즉 고지대, 중부 산악 및 내륙지대, 서부 평야지대, 동해안 지역으로 구분한 바 있다. Jung et al. (2002)은 북한의 고지대는 남한의 대관령의 강우특성과 비슷하고, 중부 산악 및 내륙지대는 인제지점, 서부 평야지역은 수원지점, 동해안 지역은 강릉지점과 유사한 강우 특성을 보인다고 하였다.

Table 2. Classification of region for 27 stations in North Korea.

Classification	Station name	Regression model	Remarks (j for MIAS index)
Middle inland (16)	Kanggye, Chunggang, Huichon,Yangdok, Shingye, Pyonggang Sinuiju, Supung, Kusong, Anju, Nampo, Pyongyang, Yongyon, Sariwon, Haeju, Kaesong	R = 8.884MIASI	j = 3
High land (4)	Samjiyon, Hyesan, Pungsan, Changjin	R = 7.339MIASI	j = 4
East coastal (7)	Senbong, Chongjin, Kimchaek, Sinpo, Hamhung, Wonsan, Changjon	R = 5.074MIASI	j = 5

†R, rainfall erosivity (MJmm ha^{-1} hr^{-1} yr^{-1}); MIAS, modified IAS index (mm).

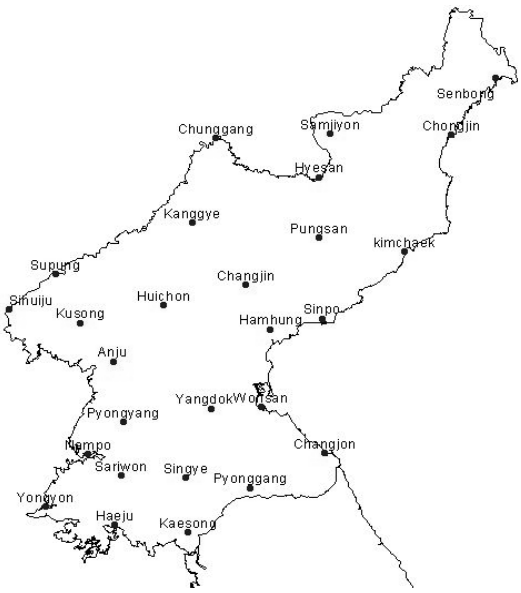

Fig. 1. Location of 27 stations for North Korea in this study.

본 연구에서는 월별 강수집중 분포를 기준으로 지역을 구분한 Jung et al. (2002)의 연구결과를 토대로 하여 Table 2와 같이 북한을 3개 지역으로 재분류 하였으며, 북한 지역의 강우침식인자를 산정하기 위한 추정모델로는 HRI (2011)에서 제안한 수정 IAS 지수를 이용한 지역별 회귀식을 사용하였다. 본 연구에서 사용한 북한 관측소 지점의 위치를 Fig. 1에 도시하였다.

결과 및 고찰

28개년 관측기간의 북한 27개 지점의 연평균 강수량은 879 mm 로서, 고산지대인 풍산 지점이 562 mm로 가장 적고, 동해안 지역의 장전지점이 1,420 mm로 가장 많은 것으로 나타났다. 본 연구결과 북한 27개 관측지점의 연평균 강우침식인자는 평균 4,947 MJmm ha^{-1} hr^{-1} yr^{-1}로 나타났으며, 김책 지점이 2,249 MJmm ha^{-1} hr^{-1} yr^{-1}로 가장 낮고, 개성 지점이 7,526 MJmm ha^{-1} hr^{-1} yr^{-1}로 가장 높게 나타났다. 북한의 고산지대 중 하나인 삼지연 지점의 연평균 강우침식인자는 4,483 MJmm ha^{-1} hr^{-1} yr^{-1}로서 남한지역의 유사한 추풍령 지점의 4,259 MJmm ha^{-1} hr^{-1} yr^{-1} (1970~2009년)과 비슷한 값을 갖는 것으로 나타났다 (HRI, 2011). Table 3은 본 연구에서 산정한 북한 27개 지점의 연평균 강우침식인자를 나타낸 것이고, Fig. 2는 평양지점의 연강수량과 본 연구에서 산정한 연강우침식인자의 연도별 추세를 도시한 것이다. 평양지점의 경우, 연강수량과 연강우침식인자가 높은 양의 상관관계를 갖고 있음을 알 수 있었다.

본 연구에서는 28개년을 8~10년 단위로 구분하여 연평균 강수량과 연평균 강우침식인자의 변동여부를 분석해보았다. Table 4는 지난 1983년부터 2010년 기간의 북한의 연평균 강수량과 연평균 강우침식인자의 변화를 나타낸 것이다.

Table 4에서 알 수 있듯이 북한의 연평균 강수량은 1983~1990년 기간이 가장 높고 1991~2000년 기간에 약 20% 감소하였다가 2001~2010년 기간에 10% 증가한 것으로 나타났다. 이에 반해 강우침식인자는 1991~2000년 기간에 약 30% 감소하였다가, 2001~2010년 기간에는 약 11% 증가하였음을 알 수 있었다. 이를 통해 연평균 강수량과 연평균 강우침식인자의 증감비율이 동일하지 않으며, 또한 2000년대 이후 북한의 강우침식인자 값이 증가하고 있음을 알 수 있었다.

Jung et al. (2002)은 표고 400 m 이상의 고원지대와 함흥 이북의 동해안 지역의 강우침식인자가 비교적 낮고, 원산 이남의 동해안 지역과 북서부 평야지대 및 중부 내륙 산악지대의 강우침식인자는 값이 비교적 높다고 한 바 있는데, 본 연구결과 산정된 북한의 강우침식인자가 Jung et al. (2002)의 결과값보다 약 2배 높게 산정되었지만 지역에 따른 분포양상은 비슷한 것으로 나타났다. 1980년대 이후 우리나라의 연평균 강수량이 증가하고 있고, 동일한 강우량 내에서도 강우강도가 증가하고 있다는 연구가 보고되고 있는데, 본 연구결과에서는 북한 지역의 연평균 강우침식인자의 양적인 증가를 확인할 수 있었다. 특히 선행 연구인 Jung et al. (2002)이 추정한 북한의 연평균 강우침식인자는 2,596 MJmm ha^{-1} hr^{-1} yr^{-1}로서 Jung et al. (1983)이 제시한 남한 지역의 연평

Table 3. Estimated annual mean rainfall erosivity for 27 stations in North Korea (1983~2010).

No.	Code	Station name	Rainfall erosivity	Precipitation	No.	Code	Station name	Rainfall erosivity	Precipitation
		---------- MJmm ha^{-1} hr^{-1} yr^{-1} mm ----------					--------- MJmm ha^{-1} hr^{-1} yr^{-1} mm ---------		
1	3	Senbong	3,220.3	694.6	15	46	Sinpo	2,413.0	661.1
2	5	Samjiyon	4,482.6	856.0	16	50	Anju	5,654.4	932.8
3	8	Chongjin	2,716.1	621.7	17	52	Yangdok	5,373.5	895.9
4	14	Chunggang	4,117.3	707.9	18	55	Wonsan	5,765.6	1,313.8
5	16	Hyesan	3,380.1	586.6	19	58	Pyongyang	5,464.4	894.7
6	20	Kanggye	5,055.6	822.8	20	60	Nampo	4,088.1	749.3
7	22	Pungsan	3,377.8	561.6	21	61	Changjon	5,873.7	1,420.3
8	25	kimchaek	2,249.3	588.8	22	65	Sariwon	4,761.6	820.8
9	28	Supung	5,737.1	909.6	23	67	Singye	6,806.9	1,020.3
10	31	Changjin	3,774.3	628.6	24	68	Yongyon	5,105.5	809.7
11	35	Sinuiju	6,145.2	983.4	25	69	Haeju	6,620.5	1,017.0
12	37	Kusong	7,043.1	1,098.4	26	70	Kaesong	7,526.1	1,179.5
13	39	Huichon	6,121.4	979.3	27	75	Pyonggang	7,181.4	1,142.2
14	41	Hamhung	3,502.8	835.1			Average	4,946.6	879.0

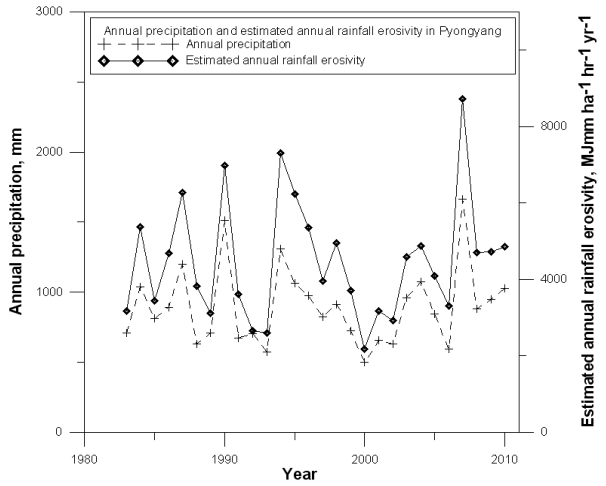

Fig. 2. Annual precipitation and estimated annual rainfall erosivity in Pyongyang for 1983~2010.

Table 4. Comparison between annual precipitation and rainfall erosivity for 3 decades.

Classification	Station	Annual average precipitation	Annual average rainfal erosivity
		mm	MJmm ha^{-1} hr^{-1} yr^{-1}
1983~1990	27	981.0	5,726.7
1991~2000	27	791.0	4,366.5
2001~2010	27	885.3	4,902.6
1983~2010	27	879.0	4,946.6

균 강우침식인자인 4,345 MJmm ha^{-1} hr^{-1} yr^{-1}의 약 60%에 해당한다고 하였는데, 본 연구결과 북한의 연평균 강우침식인자는 4,947 MJmm ha^{-1} hr^{-1} yr^{-1}로서 HRI (2011)가 제시한 남한 지점의 연평균 강우침식인자 6,947 MJmm ha^{-1} hr^{-1} yr^{-1} 대비 약 70%에 해당되는 것으로 나타났다. 이것은 남한의 연평균 강우침식 인자가 지난 28년 (1983~2010년) 동안, 1980년대 이전 (1960~1980년)의 연평균 강우침식인자보다 약 1.6배 증가한 것에 비해, 북한의 경우는 1994년 이전자료로 산정된 값보다 약 2배 증가하였음을 나타내는 것이다. 강우침식인자 값의 증가는 높은 강우강도를 가진 호우사상의 증가를 의미한다. 북한 지역은 남한보다 강우량이 적지만, 본 연구결과를 통해, 강우에 의한 토양침식 위험의 상대적인 가속화는 남한보다 약 1.2배 더 증가하였음을 알 수 있었다.

북한은 땔감조성을 위한 무단 벌목으로 삼림이 황폐화되어 있으며, 무분별한 경사지 밭의 조성으로 토양침식에 매우 취약한 토양 및 지형조건을 가지고 있는 것으로 알려져 있다. 본 연구에서 산정한 지난 28개년 (1983~2010년) 동안의 북한의 연평균 강우침식인자는, 1994년 이전의 강우자료로 산정된 Jung et al. (2002)의 값보다 약 2배 증가한 것으로 나타났다. 이것은, 1990년대 중반 이후로 토양침식을 유발하는 큰 강우강도를 가진 호우사상이 북한 지역에서도 증가하고 있음을 나타내는 것으로서, 강우에 의한 북한 지역의 토양침식이 가속화되고 있으며, 북한의 경작여건이 점차 악화되고 있음을 의미하는 것이다.

결 론

강우침식인자는 장기간에 걸친 연평균 토양침식량을 경험적으로 산정하는 USLE 모델의 중요한 입력자료 중에 하나로서, 기후변화에 영향을 받는다. 본 연구는 북한 지역의 잠

재적인 토양침식 위험을 평가하기 위한 기초연구로서 지난 28년 동안의 북한 지역에 대한 연평균 강우침식인자를 산정하는데 중점을 두었으며, 연강수량, 월강수량보다 연강우침식인자와 상관성이 높은 수정 IAS 지수를 추정 매개변수로 활용하였다. 본 연구에서는 월별 강우집중도를 바탕으로 북한 지역을 3개 지역으로 구분하고, 월별 강우집중도가 유사한 남한 지역으로부터 유도된 회귀식을 적용하여 북한의 27개 지점에 대한 연평균 강우침식인자를 산정하였다. 그 결과, 1990년대 중반 이후로 북한의 연평균 강우침식인자 값이 증가하였음을 알 수 있었다. 이것은 강우에 의한 북한의 잠재적인 토양침식 위험이 증가하고 있음을 의미하는 것으로써, 북한의 경작여건이 악화되고 있음을 알 수 있었다.

본 연구는 남한 지역에서 유도한 회귀식을 북한 지역에 적용했다는 한계가 있으나, 제한된 자료 범위 내에서 월별 강우분포 특성을 고려하여 지역을 구분하고, 해당 지역의 유사성을 찾아서 강우침식인자를 추정하려는 노력을 기울였다. 향후, 북한 지역 강우자료의 통계적 특성을 고려한 지역구분 및 위성사진을 이용한 북한 지역의 토양침식량 산정에 관한 추가 연구를 수행할 예정이다.

사 사

본 논문은 육군사관학교 화랑대연구소의 2011년도 연구활동비 지원을 받아 연구되었으며 북한 지역의 기상자료를 제공해준 공군기상전대에 감사를 표합니다.

인 용 문 헌

Hwarangdae Research Institute. 2011. A Study on the Development of Isoerodent Map in Korea using Geographical Information System, Seoul, Korea.

Im, S.C. and S.S. Kang. 2000. Agriculture of DPR Korea Under the Reign of Chairman Kim Jong - il : Changes and Prospects. North Korean Studies Review 4(1):p.149.

Jung, P.K., M.H. Ko, J.N. Im, K.T. Um, and D.U. Choi. 1983. Rainfall Erosion factor for estimating Soil Loss. Korean J. Soil Sci. Fert. 16(2):112-118.

Jung, Y.S., Y.K. Kwon, H.S. Lim, S.K. Ha, and J.E. Yang. 1999. R and K Factors for an Application of RUSLE on the Slope Soils in Kangwon-Do, Korea. Korean J. Soil Sci. Fert. 32(1):31-38.

Jung, Y.S., C.S. Park, P.K. Jung, J.N. Im, and J.S. Shin. 2002. Estimation of R-factor for Universal Soil Loss Equation with Monthly Precipitation Data in North Korea. Korean J. Soil Sci. Fert. 35(2):87-92.

Kim, C.S., I.G. Jang, and J.C. Lee. 1999. The Status and Problems of Agricultural Infrastructure in North Korea. North Korean Studies Review 4(1):p.264.

Lee, G.S. and K.H. Lee. 2006. Scaling effect for estimating soil loss in the RUSLE model using remotely sensed geospatial data in Korea. Hydro. Earth Syst. Sci. Discuss. 3:139-140.

Lee, G.S. and I.H. Choi. 2010. Scaling Effect for the Quantification of Soil Loss Using GIS Spatial Analysis. KSCE Journal of Civil Engineering 14(6):897-904.

Lee, J.H. and J.H. Heo. 2011. Evaluation of estimation methods for rainfall erosivity based on annual precipitation in Korea. J. Hydrol. 409:30-48.

Lee, J.H., K.D. Oh, and J.H. Heo. 2011. Estimation of Rainfall-runoff Erosivity Using Modified Institute of Agricultural Sciences index. J. Korean Water Res. Assoc. 44(8):619-628.

Lee, M.B., N.S. Kim, S.H. Jin, and H.D. Kim. 2008. A Study on the Soil Erosion by landuse in the Imjin River Basin, DMZ of Central Korea. Journal of Korean Geographical Society 43(3):263-275.

Lee, M.B., N.S. Kim, C.S. Kang, G.H. Shin, H.S. Choe, and W. Han. 2003. Estimation of Soil Loss Due to Cropland Increase in Hoeryeung, North Korea. Journal of the Korean Association of Regional Geographers 43(3):373-384.

Lo, A., S.A. EI-Swaify, E.W. Dangler, and L. Shinshiro. 1985. Effectiveness of EI30 as an erosivity index in Hawaii. p. 384-392. *In* EI-Swaify, S.A. et al. (ed.) Soil Erosion and Conservation, Soil Conservation Society of America. Ankeny, Iowa.

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. J. Korean Water Res. Assoc. 33(5):603-610.

Renard, K.G., G.R. Foster, G.A. Weesies, D.K. McCool, and D.C. Yoder. 1997. Predicting Soil Erosion by Water: A guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). USDA Agric. Research Service. Washington, D.C.

Ryu, I.S. 2000. Characteristics of Soil in North Korea. Symposium of soil, fertilizer and food in North Korea. Korean Society of Soil Science and Fertilizer 1-38.

Shin, J.S., M.H. Koh, and J.N. Im. 1983. An approximation of the rainfall factor(R) in predicting soil loss. Korean J. Soil Sci. Fert. 16(2):106-111.

Shin, K.J. 1999. The Soil Loss Analysis of Soil using GSIS in Watershed. Ph. D. Thesis, Kangwon National University. Chunchon, Korea.

Toxopeus, A.G. 1997. Cibodas : the erosion issue. p. 307-321. *In* van Westen, C.J. et al. (ed.) the Integrated Land and Water Information System 2.1 for Windows : Applications guide. International Institute for Geo- Information Science and Earth Observation, Enschede, The Netherlands.

Wischmeier, W.H. and D.D. Smith. 1978. Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning. USDA Agric. Handbook. No. 537. Washington, D.C.