

연구논문

토지이용 제한인자를 활용한 농업적 토지이용 적합성 분석

- 경상남도 창원군 이방면을 대상으로 -

장갑수* · 박인환**

충남발전연구원 환경생태연구부*, 경북대학교 농업생명과학대학 조경학과**

(2006년 5월 9일 접수, 2006년 11월 24일 승인)

An Analysis of Agricultural Landuse Suitability Using Landuse Limitation Factors

- A Case Study of Ibang-myeon, Changnyeong-gun, Kyungsangnam-do -

Gab-Sue Jang* · In-Hwan Park**

Dept. of Environmental and Ecological Research, Chungnam Development Institute*

Dept. of Landscape Architecture, Coll. of Agr. & Life, Kyungpook National University**

(Manuscript received 9 May 2006; accepted 24 November 2006)

Abstract

The excessive land activities in farming can cause soil erosion, inundation by a flood, and fallow. So far land evaluation has been analyzed using the land use limitation derived from the excessive land activities. This study was done for evaluating the agricultural fields by using 3 land use limitations, inundation potential, soil erodibility potential, and fallow potential. The study area is Ibang-myeon, Changnyeong-gun, Gyeongnam-province, Korea.

A logistic regression model was applied to recognize the inundation potential by a flood in the Nakdong river basin. And potential soil erodibility index (PSEI) was derived from USLE model to analyze the soil erodibility potential. And a probability model from a logistic regression model was applied to detect the fallow potential.

Therefore, we found 220.7ha for the 4th grade and 86.1ha for the 5th grade was analyzed as water damage potential. Large area near Nakdong river have problem to grow the rice due to the damage by water inundation. And 213.6ha for the 3rd grade and 103.3ha for 4th grade was detected as a result of the analysis of soil erosion potential. The soil erosion potential was high when within-field integrity of soil was not stable, or the kinetic energy was high or the slope length was long due to a steep slope of a specific land. And 869.1ha for 3rd grade, 174.9ha for 4th grade, and 110.6ha for 5th grade was detected to be distributed having the fallow potential.

Especially, a village, having a steep mountain, had 249.5ha for the 3rd grade, which was 28.7% of total area showing the 3rd grade. Finally, Three villages, including An-ri, Geonam-ri, Songgok-ri, showed they had largest area of the suitable land in the study area. These villages had similar topographic condition where they were far from Nakdong river, and they had relatively higher elevation and flat lands.

Key words : land evaluation, agricultural land use, inundation, soil erosion, fallow

1. 서론

토지평가란 주어진 토지이용을 위한 적성평가, 즉 토지를 특정 목적으로 활용하기 위해 필요한 토지수행 평가이다(C. Sys, 1991). 토지평가는 토지유형 분류체계(land type classification system)에서 출발하여, 차츰 토양·경사도 등의 물리적 특성을 기초로 적정 용도를 평가하는 적성평가로 발달하였는데, 최근에는 토지가 가진 물리적 특성만이 아니라 환경성, 사회·경제적 특성, 공간적·입지적 특성 등을 종합적으로 고려하는 방법으로 발전하였다(채미옥 등, 2003).

국제적으로 토지평가에 대한 연구는 유엔의 식량농업국(Food and Agriculture Organization of the United Nations: UN FAO), 미국농무부 United States Department of Agriculture: USDA)의 자연자원보전청(Natural Resources Conservation Service: NRCS) 등 국가연합 및 국가 주요 농업기관에서 핵심 연구과제로 수행되어 왔고(장갑수, 2004), 국내에서는 2003년 「국토의계획 및이용에관한법률」이 제정되면서, 도시관리계획 수립의 기초정보로서 토지적성평가(land suitability assessment)를 실시하도록 되어 있다(건설교통부, 2003; 국토연구원, 2002). 특히, 미국 USDA NRCS에서는 토지능력분류(Land Capability Classification: LCC) 방법을 활용하여 토지의 능력을 평가한 바 있다. 여기에서 능력하위계급(capability subclass)으로 'w(침수위험: water hazard)', 'e(토양침식위험: erosion hazard)', 's(태생적 토양 제한: inherent soil limitation)', 그리고 'c(기후제한: climate hazard)'를 농업적 토지이용에 나타날 수 있는 대표적인 제한인자로 규정하여 토지이

용 제한인자로 적용한 바 있다(McRae *et al.*, 1981; Klingebiel, 1961). 그 중에서 기후제한은 미국의 극소수지역에서만 나타날 수 있는 제한인자로 규정하고 있어 우리나라의 토지평가에 적용하기는 곤란하며, 따라서 나머지 세 가지 제한인자로 우리나라 농업지역의 토지이용에서 일어날 수 있는 조건불리(unfairness)를 충분히 설명할 수 있다고 사료된다.

소규모 지역에서 홍수 피해를 분석한 사례들을 고찰하면, 윤용남 등(2000)은 침수위와 피해규모와의 관계를 확률 모형화한 바 있고, 김가현 등(2001)은 남사천 하류 지역의 홍수 발생 정보 중 유량, 기상 등 수문자료와 지형조건을 이용한 확률 강우량과 확률 홍수량을 추정한 바 있다. 박의정 등(2002)은 계림라성 집중호우로 인해 대량 피해를 가져왔던 영산강 지류인 함평천 유역의 침수 취약 지역을 분석한 바 있다.

토양침식 방지를 위해, Neal은 경사와 강우강도에 따른 토양침식 관계식을 최초로 설정하였고, 이후로 각 요인들을 고려한 다양한 형태의 토양유실량 예측공식을 개발하였다(최진규 등, 1998). 특히 Wischmeier는 포장시험 결과로부터 강우인자를 구함에 있어 30분 최대강우강도가 상관성이 높음을 밝혔고, 1956년에는 Musgrave와 Browning 등의 개념을 조합하여 토양유실예측공식(Universal Soil Loss Equation: USLE)을 개발하였다(Wischmeier *et al.*, 1978). 우리나라에서는 정필균 등(1983)이 기상청의 전국 69개 측후소 및 관측소의 9년 간 강우자료를 분석하여 강우인자를 추정함으로써 USLE 모델에 적용 가능하도록 강우인자 추정식을 계산하였다. 정강호 등(2004)은 전국 토양유실량을 평가하고 침식 위험지역 분석을 위하여 수치정밀토양도를 활용한 USLE 인자값을 산정한 바 있다. 한

편, 이근상 등(2001)과 장영률 등(2002)은 토양유실 예측공식을 적용한 토양유실량 분석과정에서 유역 분석에 적용하기 유리하도록 Toxopeus가 제안한 강우인자와 Desmet과 Govers(1996) 및 Nearing(1997)이 제안한 식을 이용하여 침식사면을 래스터(raster) 기반으로 변환하여 토양침식인자를 구한 바 있다.

휴경을 주제로 하여 나영은 등(1996)은 휴경논의 합리적 재이용을 위해 휴경년수별 토양특성과 식생 변화를 조사한 바 있고, 강병화 등(2003)은 인간에 의한 교란이 적은 지역의 휴경지에서의 년차별 식생 특성을 구명한 바 있다. 또한 이한방(2001)은 농업적 토지이용과 경영이 휴경에 미치는 영향 및 그 문제들을 분석한 바 있다. 농림부에서는 조건불리지역(unfair area)에서 직접지불제를 시행하기에 앞서 조건불리지역 선정을 위한 최적 인자로 경사도를 선정하여 활용한 바 있다.

상기의 세 가지 토지이용 제한인자를 활용한 선행연구들을 고찰한 결과 다음과 같은 문제제기를 하였다. 먼저 침수위험 분석에서, 윤용남 등(2000), 김가현 등(2001)이 수행한 연구는 홍수 피해 및 그 규모 예측을 위해 전형적으로 많이 활용되는 기법이며 그 정확도는 높으나 그 결과값이 지역을 대표하는 하나의 값으로 제시되기 때문에 정확한 피해지역을 예측하는 데에는 한계가 있었다. 박의정 등(2002)의 연구에서는 침수 취약지역 분석을 위한 지형조건 설정 기준을 개략적으로 설정하였기 때문에 얻어진 결과의 신뢰성을 높이기 위해서는 홍수 피해 발생시 직접 현장에서 조사하고 그 피해 정도를 정량화한 자료를 활용하여 수행함이 바람직하다고 판단된다. 정필균(1983) 및 정강호 등(2004)의 연구는 우리나라 여건에 가장 적합한 토양유실량 산정방법이라고 할 수 있지만, 토양 및 지형조건에 대한 경험치를 인자값으로 적용하였기 때문에 지리정보시스템(Geographic Information System: GIS)을 활용하여 공간분석을 할 경우 직접 활용이 곤란한 경우가 있으며, 뿐만 아니라 좁은 공간에서의 지형조건을 모두 반영할 수 없어 국지지형에 적용하기에는

다소 어려움이 있다. 태생적 토양 제한에 의해 일어날 수 있는 현상은 휴경이며, 이런 휴경 발생원인을 규명하기 위해 농림부에서 활용한 경사도 외에 농작업을 위한 접근성이나 관수를 위한 수자원과의 접근성 등 농업적 토지이용 과정에서 휴경이 발생할 수 있는 다차원적인 분석이 요구되어 진다.

이에 본 연구에서는 잦은 홍수발생으로 농경지 침수가 우려되고 급경사지역에서의 집약농업으로 침식과 휴경이 예상되는 경상남도 창녕군 이방면의 농경지를 대상으로 현장조사자료와 대축척 공간자료를 활용하여 침수·휴경·토양침식 잠재성을 분석함으로써 소규모지역에서의 농업적 토지이용에 대한 적합성 평가를 수행하였다.

II. 재료 및 방법

1. 연구 대상지

연구지역인 경남 창녕군 이방면은 낙동강 본류와 인접하여 농업에 이용할 수량이 풍부하고, 연중 온난한 기후조건으로 인해 겨울에도 월동하므로 이모작이 가능하며 다른 지역에 비해 농업경쟁력이 뛰어나다(그림 1).

하지만 근래 들어 낙동강 상류지역의 대규모 치수사업으로 인해 하폭(河幅)이 줄어 홍수 등 자연재해에 의한 농경지 침수 가능성이 높아졌고, 특히 배수시설의 한계로 인해 여름철 침수 피해가 상존하였다. 일례로 2003년 9월 상륙한 태풍 '매미'로 인해 이방면 내 244ha의 농경지가 침수된 것으로 확인하였는데, 논에서의 피해가 대부분인 점을 감안한다면 이방면 전체 논의 절반가량이 침수 위험에 노출되어 있다고 예상할 수 있다. 뿐만 아니라, 이모작 농업이 성행함에 따라 파종 전과 추수 후 그리고 월동작물 재배 전후의 농경지는 나지상태로 방치되는데, 월동작물을 추수하고 주작물이 파종되기 전에는 장마기가 겹치므로 심각한 토양유실이 발생할 수 있어, 이에 대한 대비책이 요구된다. 한편 창녕군 통계연보에 의하면(창녕군, 2002), 1977년 창녕군 인구가

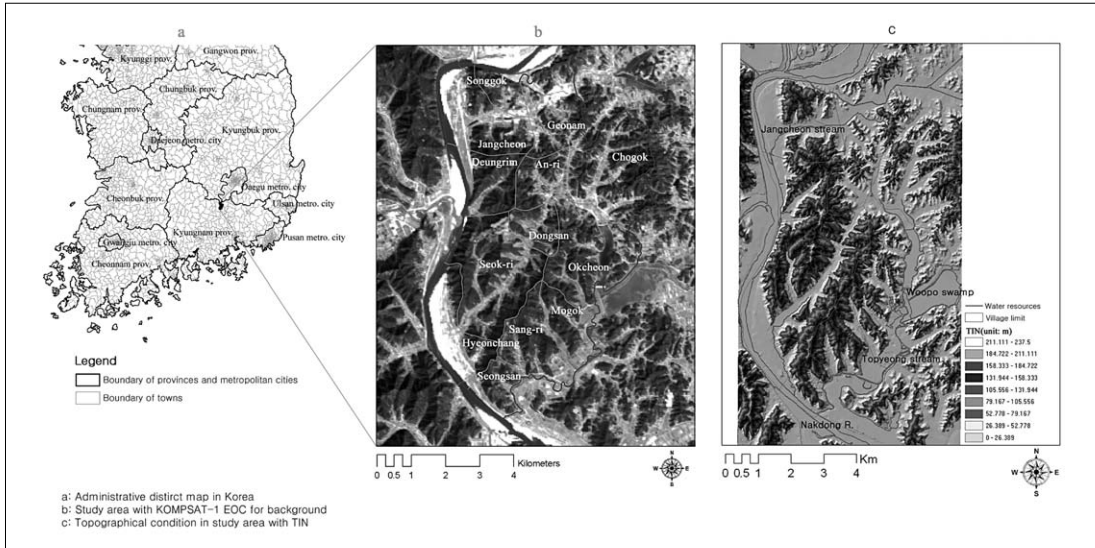


Fig. 1. A geographical map of study area: Ibang-myeon, Changnyeong-gun, Kyungnam province, Korea (a: Administrative district map in Korea; b: Study area with KOMPSAT-1 EOC for background; c: Topographical condition in study area with TIN)

25,615세대 132,963명에서 1985년 들어 10만명 이하로 감소하고 2001년 현재에는 26,352세대 71,047명으로 감소하였는데, 도시이주에 의한 청년층의 급격한 감소에 반하여 65세 이상 노령층 인구는 2001년 현재 전체 인구의 17%나 차지하는 노령화 사회¹⁾로 전략함에 따라 인력부족에 따라 지형조건이 열악한 농경지를 중심으로 휴경발생율도 점차 증가할 것으로 사료된다. 이처럼 대상지역은 농업활동을 함에 있어 더없이 좋은 기후조건을 가지고 있지만 홍수피해, 지형조건에 의한 조건불리여건도 동시에 가지고 있는 전형적인 농업지역이기 때문에 농업적 토지이용의 적합성을 평가하기 위한 최적의 장소라 판단하여 대상지역으로 선정하였다.

2. 공간자료 구축

침수 농경지 분석을 위하여 수치표고모형(Digital Elevation Model: DEM)을 구축하였다. DEM은 Kriging, 불규칙삼각망법(Triangulated Irregular Networks: TIN), 거리역산자승 가중치법(Inverse Distance Weight: IDW) 등의 보간법을 통하여 구축할 수 있는데(우재윤 등, 2001), 본 연구에서는 일반적으로 많이 활용하는 방법으로서 조규전 등(1998)이 추천한 TIN 보간법을 활용하였다. 자연재

해대책법 제2조1항 및 농어업대책법 제2조2항에서는 홍수에 의해 농경지에 피해가 발생하면 농가의 피해상황을 정밀하게 조사하도록 규정하고 있다²⁾. 본 연구에서는 이방면 사무소에서 조사·구축한 필지별 농작물피해 DB(database)를 공시지가 현황도면과 지번을 매개로 테이블 연결함으로써 필지별 농작물 피해도를 구축·활용하였다.

토양침식을 분석하기 위해 농촌진흥청 농업과학기술원³⁾에서 제공한 수치정밀토양도를 활용하였다. 연구지역에 나타난 토양통을 논·밭 토양을 중심으로 살펴보면, 논토양에는 사양질인 강서(Gt), 석천(SE), 고천(Gz)통이 주를 이루었고, 식양질인 용지(Yj)와 비

- 1) 노령화 사회: 총 인구 중에 65세 이상의 인구비율이 7% 이상을 차지하는 사회.
- 2) 농어업재해대책법시행규칙 제2조2항에 의하면 농경지 피해면적이 50ha 이상인 경우 국가 및 지방자치단체 주관으로 재해를 입은 농가에 대한 보조지원을 실시하도록 되어있다. 이를 위해 자연재해대책법 제52조(피해상황의 보고) 및 농어업재해대책법 제7조(피해의 정밀조사·보고)에 근거하여 각 시·군의 읍·면·동장은 농가의 피해상황에 관하여 정밀조사를 한 후 그 내용을 시장·군수에게 보고하고 읍·면·동별로 피해조사대장을 작성하여 이를 당해 읍·면·동사무소에 비치하여야 하며, 재해 발생시 행정자치부장관과 시·도지사에게 보고하도록 되어 있다.
- 3) 농업토양정보시스템(<http://asis.rda.go.kr/>).

곡(Vg)통이, 미사식양질인 유가(Yu), 규암(Gy), 경산(Gk), 평택(Pt)통이 나타났다. 밭 토양으로는 사질인 낙동(Nd)통이, 사양질인 중동(Jd)과 유원(Yl)통이, 식양질인 반호(Bh)와 용계(Yx)통이 나타났다.

휴경관련 제한인자 구축을 위해 국토지리정보원(國土地理情報院, National Geographic Information Institute: NGI)에서 구축한 축척 1:5,000 수치지형도를 활용하였다. 고도와 경사는 수치지형도 상의 등고선과 표고점을 참조하여 구축하였고, 수자원과의 거리는 지형도에서 수자원을 나타내는 2111, 2112, 2114, 2312 레이어를 활용하여 구축하였으며, 각 수자원과의 거리를 연산하여 그리드로 완성하였다. 도로정보도 마찬가지로 수치지형도 레이어 중 도로를 나타내는 3113, 3116, 3117 및 3119번 레이어를 별도로 추출하여 새로운 주제도로 제작하였고, 각 도로와의 거리를 연산하여 그리드로 구축하였다. 휴경 여부에 대한 현장조사는 1997년에 국토지리정보원에서 구축한 1:5,000 수치지형도의 토지이용현황 자료에 표기된 농경지를 대상으로 2003년 10월부터 2004년 2월까지 직접 현장조사하여 휴경여부를 데이터베이스화하였다. 총 농경지 1,358ha 중 논 8.7ha, 밭 187.1ha, 과수원 0.6ha가 휴경지로 조사되었으며, 이것은 우리나라 휴경농지의 비율인 4%보다 훨씬 높은 수치로서 연구지역은 농업인구의 감소 및 노령화로 인해 휴경이 크게 증가하는 지역임을 알 수 있었다.

3. 모델의 적용

1) 로지스틱 회귀모형

개체군생태학(個體群生態學)에 의하면, 제한된 환경 하에서 개체수가 증식하기 시작한 초기에는 기하급수적으로 증식하나 차츰 증가율의 감소 경향을 나타내고, 최후에는 개체수의 증감이 거의 없고 이른바 안정 상태에 도달하는 경향을 볼 수 있다. 여기서 환경 변화에 따라 증식되는 개체수를 누적하게 되면 성장곡선(sigmoid curve)의 형태를 취하게 되는데(이도원 등, 1995; 박영임, 1996), 본 연구에서의 고도와 농경지 면적과의 관계 또한 성장곡선을

설명하는 로지스틱 회귀모형으로 해석이 가능하다.

고도와 농경지 침수면적과의 관계를 로지스틱 회귀모형으로 해석하기 위해, 고도를 E, 고도별 농경지 침수면적의 누적도수(cumulative frequency)를 A_c , 최대 침수누적면적을 A_{max} , 최소 침수누적면적을 A_{min} , 특정고도에서의 침수누적면적과 최소 침수누적면적(A_{min})의 차를 N 그리고 A_{max} 와 A_{min} 의 차를 K라고 하였을 때, 로지스틱 회귀모형의 기본식을 식 1로 표현할 수 있다.

$$\ln \frac{N}{K-N} = \alpha \times E + \beta$$

$$N = A_c - A_{min}$$

여기서, K: 최대 침수누적면적(A_{max}) - 최소 침수누적면적(A_{min}) (식 1)
 A_c : 고도 구간 별 침수누적면적(m^2)
 E: 고도(m)
 α, β : 회귀식에서 구할 계수

한편, 종속변수가 연속적인 변수가 아닌 이분(二分, dichotomous) 데이터일 경우가 있는데, 반응의 결과가 두개인 이항반응(二項反應, binary response)⁴⁾을 분석하기 위해서도 로지스틱 회귀모형(logistic regression model)을 활용할 수 있다(천대운, 2002). 휴경잠재성 분석에서 지형조건에 따른 휴경반응자료 또한 가변수이므로 로지스틱 회귀모형의 활용이 가능하다. 다만 식1의 N을 휴경확률 P_x 라 한다면, 휴경의 지형조건인 예측변수 $x_1, x_2, x_3, \dots, x_k$ 에 대하여 x가 일어날 확률인 이항반응변수 P_x 와의 관계를 다음 식 2와 같은 다중 로지스틱 모형(multi-logistic model)으로 표현할 수 있다.

$$\ln \left(\frac{P_x}{1-P_x} \right) = \alpha + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k \quad (\text{식 2})$$

휴경조사자료 중 휴경된 농경지는 '1'로, 경작농경지는 '0'으로 하는 휴경반응을 반응변수로 하고, 농경지의 휴경에 영향을 주는 토양제한인자인 고도,

4) 이항반응이란 질문 또는 실험에 대한 반응이 '성공' 또는 '실패', '살다' 또는 '죽다' 등과 같이 두 개의 범주로만 구성되어지는 것을 일컫는데, 이를 흔히 가변수(dummy variable)라고 하며, 이진법변수(binary variable)라고도 한다.

경사, 도로로부터의 거리, 수자원과의 거리를 설명 변수로 적용하였다.

2) USLE

토양침식잠재성은 Wischmeier와 Smith(1978)가 개발한 USLE 모델을 활용하였는데, USLE공식에 활용된 인자중 강우인자(R)는 대상지 면적이 좁기 때문에 대상지 전역에서 동일하다고 가정하였다. 또한 대상지역의 경년별 토지이용은 다양하기 때문에 개별 농지의 토지이용을 결정하기에는 어려움이 있을 뿐만 아니라 농업활동 전후에 나타나는 나지상태 토양의 침식저항력을 판단하기 위해서는 지표상태를 우선하기보다 토양의 고유특성만을 간주하는 것이 적절하다고 판단하였다. 따라서 강우인자(R), 토지피복인자(C) 및 관리인자(P)를 분석과정에서 제외하고 토양침식성 인자(K) 및 침식사면의 길이(L)·경사인자(S)만을 적용하여 잠재적인 토양침식 정도를 분석하였다.

(1) 토양침식성 인자(K)

토양침식성 인자는 토양침식에 영향을 주는 토양의 고유한 특성을 설명하는 인자로서, 토양층의 미사, 모래함량, 토양구조, 유기물 함량, 투수성 등과 관련이 있다. 또한 K값은 일반적으로 0에서 0.7범위의 값을 가지게 되는데 K값이 높을수록 극세사(very fine sand)와 미사(silt)의 함량이 높아 침식 위험이 높음을 의미한다. 그 반대로 극세사와 미사의 함량이 낮아지면 점토(clay)의 함량이 높아지기 때문에 토양구조가 발달하여 토양침식이 적게 일어나게 된다. 또한 토양 내 투수성이 높아지면 발생하는 유거수가 적기 때문에 토양침식도 떨어지게 된다. 정강호 등(2004)은 토양침식성 인자의 산출을 위해 Wischmeier와 Smith(1978)가 제안한 공식에 자갈의 지피효과를 고려하기 위해 Box(1981)가 제안한 공식으로 보정하여 활용한 바 있다(식 3).

$$K = [2.1 \times 10^{-4}(12 - OM) M^{1.14} + 3.25(S - 2) + 2.5(P - 3)] / 100 \times [1.0977 \times 10^{-0.0111x}] \quad (\text{식 3})$$

OM은 유기물 함량(%), S는 토양 구조 부호 값(1~4), P는 토층의 투수 부호 값(1~6), x는 자갈함량(%)을 말한다. 특히 S가 커지면 토양 내 불안정한

결합으로 인해 K값이 증가하고, P가 커지면 투수가 원활하지 않아 K값이 또한 증가하게 된다. M은 토양침식에 영향을 미치는 입자크기의 분율에 따른 곱으로 구할 수 있다. 본 연구에서는 정강호 등(2004)이 토양입자 크기별 함량(%), 토양구조 부호, 투수 부호 등을 토양상 별로 정리한 토양통별 침식성 인자값을 활용하였다.

(2) 침식사면의 길이인자(L)

침식사면의 길이인자라 함은 단위구획 경사길이인 22.13m에 대한 수평길이의 비를 의미하는데, 레스터 구조의 수치표고모형(digital elevation model: DEM)을 활용하면 침식사면 길이인자는 각 화소의 크기를 22.13m로 하였을 때 그에 따른 사면길이의 비를 말한다(Bartsch, 1998; 이근상 등, 2001; 이환주 등, 2001). 본 연구에서는 Desmet과 Govers(1996)가 제안한 식 4의 침식사면 길이의 먹지수를 이용하여 식 5와 같이 침식사면 길이인자를 계산하였다.

$$\beta = \frac{\sin \theta / 0.08960}{(2.96 \times \sin^{0.79} \theta + 0.56)} \quad (\text{식 4})$$

$$m = \frac{\beta}{1 - \beta}$$

여기서, m: 침식사면 길이의 먹지수, θ : 경사각

$$L_{ij} = \frac{(A_{ij-jn} + D^2)^{m+1} - A_{ij-jn}^{m+1}}{D^{m+2} \times x_{ij}^m \times 22.13^m} \quad (\text{식 5})$$

여기서, L_{ij} : 격자에 대한 침식사면의 길이인자, A_{ij-jn} : 격자에 유입되는 상류 기여면적, D: 격자크기, m: 침식사면 길이의 먹지수, $x_{ij} = (|\sin \alpha_{ij}| + |\cos \alpha_{ij}|)$: 흐름방향에 직교하는 등고선 길이, α_{ij} : 격자의 방향

(3) 침식사면의 경사인자(S)

침식사면의 경사인자는 토양침식에 대한 사면경사의 영향을 나타내는 인자로서 길이인자인 L에 비해 더욱 민감한 특성을 갖는다. 침식사면의 경사를 산정하기 위해 본 연구에서는 Nearing(1997)이 제안한 식 6을 활용하였다(Bartsch, 1998; 이근상 등, 2001; 이환주 등, 2001).

$$S = -1.5 + \frac{17}{1 + \exp(2.3 - 6.1 \sin \theta)} \quad (\text{식 6})$$

여기서, θ : 경사각

3) 연구방법

본 연구에서는 2003년 태풍 ‘매미’에 의해 발생한 농경지 지면별 침수피해 정보를 공시지가 현황도면의 지면정보와 DB 연계함으로써 농지별 침수피해 분포도를 제작하였고, 구하여진 DEM의 고도정보와 중첩함으로써 고도에 따른 농경지 침수누적 면적을 정량화하였다. 또한 고도와 농경지 침수누적 면적간의 관계를 로지스틱 회귀모형으로 설명함으로써 고도에 따른 농경지 침수잠재성을 분석하였다. 아울러 토양 및 지형조건에 따른 농경지 침식 잠재성 분석을 위해, 수치토양도를 활용하여 토양침식성 인자(K factor)를 계산하였고, DEM을 이용하여 경사길이인자(slope length)와 경사각(slope angle) 인자를 구한 후, 이를 종합한 침식잠재성을 분석하였다. 또한 지형도를 통하여 얻은 고도 및 경사, 수자원과 도로로부터의 거리정보를 독립변수로 하고, 현장조사를 통하여 확보한 휴경유무를 반응변수로 하는 다중 로지스틱 회귀모형을 구함으로써 연구지역 농경지에 대한 휴경확률 모형을 구하였고, 지형조건에 따른 농경지 휴경 잠재성을 분석하였다. 각 토지이용 제한인자별 분석결과에 따라 농업적 토지이용 제한과 함께 각 인자별 적합성을 분석하였다. 농업

적 토지이용 적합성 분석에서 적합성 등급은 FAO의 토지평가⁵⁾에서 적합성 하위계급(subclass)에 근거하여 제시한 5수준 적합성 구분방식(S1, S2, S3, N1, N2)을 활용하였다. 이는 우리나라의 농업과학기술원에서 농경지 적지구분방식으로 제시한 5개 계급(최적지, 적지, 가능지, 저위생산지, 부적지)과도 유사하다(그림 2).

III. 결과 및 고찰

1. 고도별 농경지 침수누적 면적 추정

태풍 ‘매미’ 발생당시 조사한 고도구간별 농경지 침수 누적면적을 바탕으로 $\ln \frac{N}{K-N}$ 과 고도(E)의 관계를 식 1을 활용하여 회귀분석한 결과, 기울기가 0.195이고 y절편이 -3.248인 직선식을 구하였다 ($R^2 = 0.708$).

$$\ln \frac{N}{K-N} = 0.195 \times E - 3.248 \quad (\text{식 } 7)$$

5) FAO의 토지평가에서는 적합성 하위계급에 따라 5수준 적합성 구분방식(S1, S2, S3, N1, N2)을 활용하고 있음.

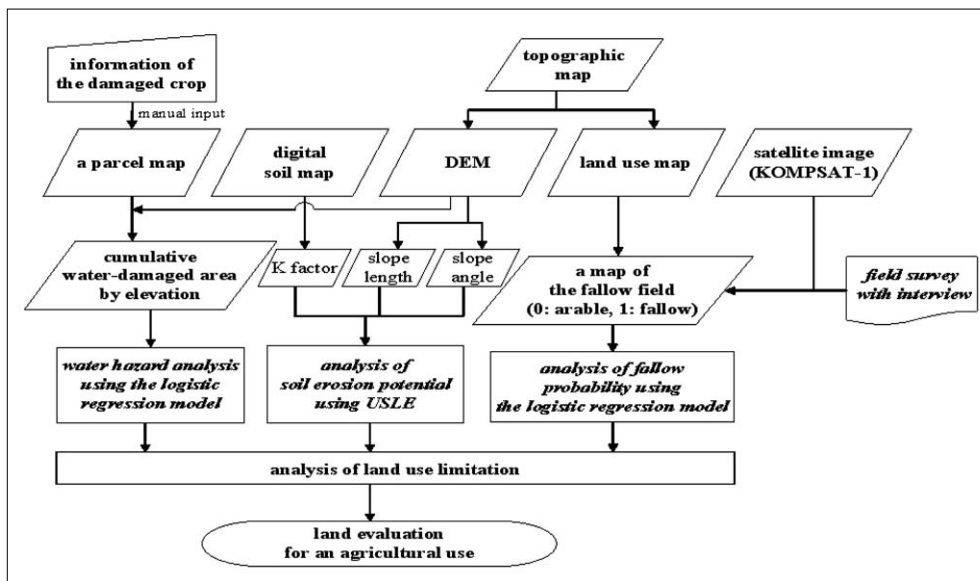


Fig. 2. A process of the land evaluation for the agricultural area in Ibang-myeon, Changnyeong, Kyounghnam, Korea

$\ln \frac{N}{K-N}$ 과 고도와 의 직선회귀분석결과, R^2 가 0.708로 낮지 않았지만 고도 14m 이하지역에서 설명력이 떨어지므로 원자료에서 나타나는 두개의 변곡점(15.11m, 20.07m)을 기준으로 구간을 나누어 조각별 회귀분석(piecewise regression)을 수행하였다(그림 3).

구간별로 재수행한 직선회귀결과 각 구간별 R^2 가 모두 0.950 이상이었고, 각 직선식의 접점인 15.180m, 19.768m를 기준으로 Region(1), (2), (3)에 대하여 구한 로지스틱 회귀모형은 식 8과 같았다.

$$\text{Region (1): } A_c = \frac{95}{1 + e^{17.319 - 1.186E}} + 5, (E < 15.180\text{m})$$

$$\text{Region (2): } A_c = \frac{95}{1 + e^{3.429 - 0.271E}} + 5, \quad (15.180\text{m} \leq E < 19.768\text{m})$$

$$\text{Region (3): } A_c = \frac{95}{1 + e^{0.151 - 0.0899E}} + 5, (19.768\text{m} \leq E)$$

여기서, A_c : 고도 구간별 침수누적면적(ha)
E: 구간 내 평균고도(m)

상기식을 구간별로 적용하여 재구성하면 그림 4와 같은 성장곡선을 얻을 수 있었다.

얻어진 로지스틱 회귀모형의 변곡점은 침수누적면적이 $(A_{\min} + \frac{K}{2})$ 가 되는 지점이며, 식8에 대입하여 구한 변곡점의 고도값은 14.60m였다. 또한 로지스틱 회귀곡선에 영향을 받지 않는 초기 5%구간인

($A_{\min} + 5\%K$)의 고도값은 12.12m였다. 즉, 홍수에 의해 농경지 침수가 발생하면 고도 12.12m까지는 상습적으로 침수되므로 농경지로서 매우 불리한 것으로 판단하여 상습침수구역(frequently inundated zone)으로 규정할 수 있다. 또한 고도에 따른 침수면적의 누적이 완화되는 전환점인 고도 14.60m지역까지는 홍수에 의해 침수가능성이 높은 가능침수구역(possibly inundated zone)이라 말할 수 있다. 홍수피해 잠재성에 의한 연구지역 토지 적합성을 분석한 결과, 1·2·3급지는 존재하지 않았으며, 4급지(220.7ha)와 5급지(86.1ha)만 존재하는 것으로 나타났다(그림 5).

태풍 '매미' 통과(2003년 9월 13일) 후, 2003년 9월 22일, 29일 그리고 10월 17일에 걸쳐 현장조사를 시행하여 침수잠재성 분석결과를 검증하였다. 상습침수구역의 농경지는 오랫동안 침수가 되어 벼의 수관(crown)의 손상이 심하였고, 흙의 양금이 잎의 후면에 남아 있어 광합성과 호흡이 곤란한 수준이었다. 뿐만 아니라 잎의 엽록소가 파괴되어 활력을 잃은 농경지들이 대부분을 차지하였다(표 1, Level 3). 가능침수구역의 경우, 벼의 수관을 그대로 유지하고는 있으나 침수 후 흙양금이 엽후면에 남아있어 정상 논에 비하여 활력이 떨어진 것으로 나타났으며, 고도 14m로 올라갈수록 짧은 시간동안 침수되어 있었기 때문에 피해정도는 경미한 것으로 확인되었다(표 1, Level 2-1, 2-2). 상습침수구역중 대표지역

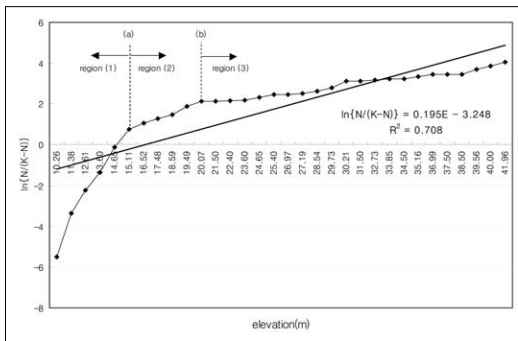


Fig. 3. Linear regression between $\ln \frac{N}{K-N}$ and E (elevation).

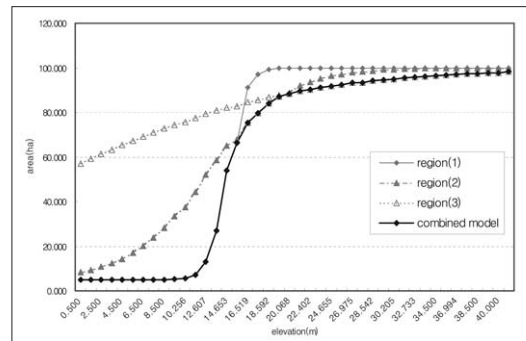


Fig. 4. Relation of elevation to cumulative area of flooded farms derived from the piecewise regression model

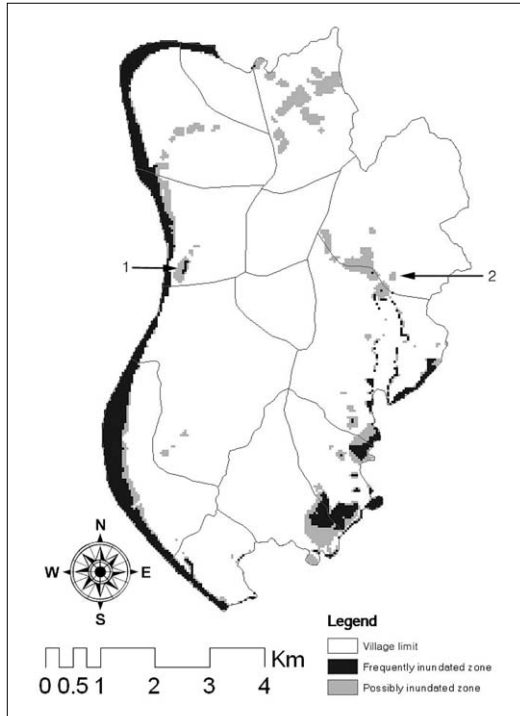


Fig. 5. A map of suitability class derived from the analysis of flood damage potentiality

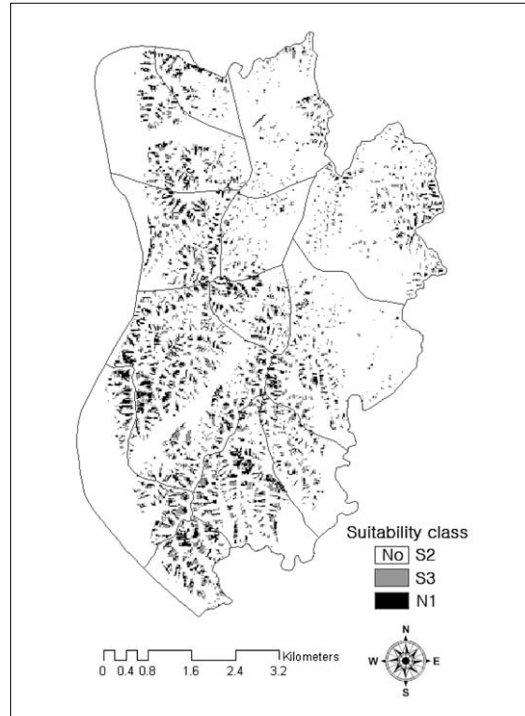

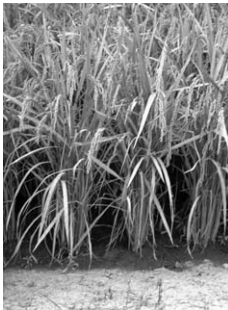




Fig. 6. A map of suitability class derived from the analysis of potential soil erodibility index

Table 1. Growing conditions of rice according to the damage level

non-damaged area	possibly inundated zone		frequently inundated zone
	high ground	low land	
Level 1	Level 2-1	Level 2-2	Level 3
			

인 낙동강변의 ‘석리들’과 안리의 ‘내동들’을 중심으로 현장조사한 결과에 의하면, 이방면의 주요 농업지역인 석리들과 내동들의 농경지 피해정도가 조금 차이가 있었는데, Level 3는 석리들과 내동들에서 고도 11.76m와 12.51m 지점까지 발생한 것으로 나타났고, Level 2는 15.62m와 14.00m 지점까지 나타났고, 석리들과 내동들에서 농경지의 침수고도

가 1m 정도 차이를 보인 것은 석리들이 낙동강과 접하여 있기 때문에 낙동강 수위에 직접적으로 영향을 받을 뿐만 아니라 퇴수시점도 더 늦기 때문에 낙동강의 간접영향권인 내동들보다 침수고도가 더 높게 형성된 것으로 판단된다.

석리들과 내동들을 중심으로 27필지에 대한 벼 작황을 조사하여 침수정도가 작황에도 영향을 미쳤

는지 확인해 보았다. 작황분석을 위해 각 필지마다 균일하다고 판단되는 지점에서 연속으로 10본(本)을 선정하여 유효분얼수(유효영화수)를 측정하였고, 그 중 3본을 채취하여 실내에서 음건(陰乾)한 후 각 5영화에 대한 영화당 입수, 불입율 및 천립중을 측정하였다. 그 결과, 분얼수 대비 유효분얼수는 양호하였으나 불입율에 있어서는 피해벼와 피해받지 않은 벼 사이에 많은 차이를 보이고 있었다. 특히 가장 심한 피해를 받은 상습침수구역의 경우 47.20%(석리들)와 78.48%(내동들)로서 피해지역의 50% 이상이 불입된 것으로 판명되었으며, 가능침수구역의 Level 2-2와 2-1은 45.62·41.64%(석리들)와 41.69·33.63%(내동들)로서 상습침수구역에 비해서는 양호하지만 피해를 받지 않은 Level 1에서의 불입율인 17.82%(석리들)·18.35%(내동들)와는 상당한 차이를 보였다.

2. 토양침식잠재성 분석

토양침식 잠재성 분석을 위해 토양도와 지형도를 활용하여 구한 K, L, S 인자를 서로 곱하였고, 이를 '잠재 토양침식 지수(potential soil erodibility index: PSEI)'로 명명하였다(그림 6).

창녕군 이방면의 평균 PSEI는 1.68이고 표준편차는 1.95인데, 정규분포에 대한 계급분류방법인 표준편차분류법(standard deviation method)을 활용하여 창녕군 이방면의 PSEI를 분류하면, PSEI가 3.63(M+1Std. dev.) 이상으로 높게 나타난 지역은 대부분 논을 제외한 경사지 밭과 과수원이며, 특히 독지골산과 둔지산, 듄밀산을 중심으로한 삼림지역의 계곡부 경사면에서 높은 값을 보였다. 이상의 결과를 농촌진흥청 농업과학기술원의 5계급 농지분류법에 따라 분류하면, PSEI의 평균인 1.68을 기준으로 -0.27(M-1Std. dev.)~3.63(M+1Std. dev.) 구간을 2급지(S2)로, 3.63(M+1Std. dev.)~5.58(M+2Std. dev.) 구간을 3급지(S3)로, 5.58 이상 지역을 4급지(N1)로 정할 수 있다. 단, 1급지(S1)와 5급지(N2)는 나타나지 않았다. 토양침식 잠재성에 의한 토지적합성 분석결과, 2급지는 3,672.4ha, 3급지는

390.9ha, 그리고 4급지는 216.5ha가 분포하는 것으로 나타났다.

현재 농경지만을 대상으로 토양침식 잠재성을 분석한 결과, 대부분 경사가 급한 밭과 과수원에서 넓은 면적으로 분포하고 있음을 알 수 있었다. 3급지로 규명된 51.88ha 중 휴경밭과 일모작 밭에서 27.92ha(53.82%)가 분포하였고, 과수원에서 19.94ha(38.43%)가 분포하여 이들 두 지목에 92.25%가 집중되어 있음을 알 수 있었다. 4급지 또한 총 면적 23.1ha 중에서 휴경밭과 일모작 밭에서 13.75ha(59.52%)가 나타났고 과수원에서 7.07ha(30.60%)가 분포하여 두 지목에서만 90.12%가 집중하였다. 유추해석하면, 농업이 경쟁력을 가지고 있을 당시에 고도, 경사 등 지형적 조건을 고려하지 않고 농업용으로 전용하였던 지목들이 현재에는 농업 외에 토양침식과 같은 환경문제를 야기하고 있음을 짐작할 수 있다. 대상지역 내 경사지 농경지에 해당하는 휴경밭의 평균 경사는 13.13°였고, 특히 삼림을 개간하여 조성한 과수원의 경사는 20.94°로 더욱 높았다. 현장조사에서도 4급지로 나타난 그림 7의 과수원과 같이 급경사 산림지역을 개간하여 과수원으로 전용하고 있는 곳의 상부에서는 오랫동안 토양유실이 진행되어 왔음을 알 수 있었다.

3. 다중 로지스틱 모형을 활용한 휴경잠재성 분석

휴경잠재성 분석에 활용된 4개 설명변수의 결합



Fig. 7. Soil-eroded orchard in Seok-ri having the slope over 45°. In the circle, soil was eroded severely from the upper part of the orchard

유의성(joint significance)⁶⁾ 분석 결과, score의 확률값(Pr>Chi-Square)이 0.0001로서 유의수준(0.05) 보다 작으므로 수행한 모형은 유의하다고 할 수 있었고, 최대우도치⁷⁾ 분석에서도 네 변수의 확률값이 모두 0.0001로서 개별 설명변수들의 확률값은 매우 유의하므로 적용한 4개 변수가 휴경반응에 영향을 미치고 있다고 판단하여 설명변수로 모두 적용하였다.

휴경확률모형 설정을 위하여 휴경에 영향을 주는 수자원과의 거리(w), 도로로부터의 거리(r), 고도(e), 경사(s)를 설명변수(explanatory variable)로 정하였고, 휴경지 조사결과에서 휴경지를 '1'로, 경작중인 농경지를 '0'으로 하는 이항반응 자료를 반응변수(response variable)로 정하여 식 2를 기본식으로 하는 로지스틱 회귀모형을 구하였다. 본 모형의 적합도 검증결과, Somers' D는 0.602, Gamma는 0.603으로 나타나 실제값과 모형의 예측값 사이에 연관성이 높은 것으로 나타났고, 설명변수들의 결합 유의성(joint significance) 검증 결과에서도 score의 확률값(Pr>Chi-Square)이 0.0001로서 유의수준(0.05) 보다 작으므로 수행한 모형은 유의하였다. 이상의 결과를 휴경확률(P)을 종속변수로 하고 4개의 설명변수를 독립변수로 하는 식으로 변환하면 다음 식 9와 같은 휴경확률모형이 성립된다.

$$P = \frac{e^{-3.1662+0.00475w+0.0101r+0.0326e+0.1048s}}{1 + e^{-3.1662+0.00475w+0.0101r+0.0326e+0.1048s}} \quad (\text{식 9})$$

식 9를 활용하여 휴경 확률이미지를 구하면, 그림 9와 같은 휴경확률 이미지를 얻을 수 있다. 분석 결과, 이방면의 평균 휴경확률은 0.59로 나타났고, 최고값은 0.99, 최저값은 0.05로 나타났다. 토양침식 잠재성 분석과 동일한 방법인 표준편차분류법으로 연구지역의 휴경잠재성을 분석한 결과, 1급지(S1)는 1,052.7ha가 나타났고, 2급지(S2)는 2067.1ha였으며, 3급지(S3)는 1,154.7ha로 나타났으나, 4·5급지는 나타나지 않았다(그림 9). 최근 극심한 인력부족으로 인해 대상지역의 농경지에서도 휴경이 증가하고 있는데, 특히 경사지에서의 휴경은 눈에 띄게 증가하였으며, 휴경이 오래 지속된 농경지에서는 잡초뿐만 아니라 은사시나무(*Populus alba x glandulosa*)와 같은 풍산포종 목본류들이 우점하고 있는 것도 쉽게 찾을 수 있었다(그림 8). 이는 경사뿐만 아니라 고도, 접근성과 농업용수 수급 등 여러 가지 농업활동에 애로점을 내포하고 있던 농경지를 필두로 점차 휴경이 증가하고 있음을 암시해 주고 있다.

6) 'Testing Global Null Hypothesis: BETA=0' 행은 '설명변수들의 추정치가 모두 0이다'라고 정한 귀무가설(null hypothesis)을 검증한다.

7) Analysis of maximum likelihood estimates

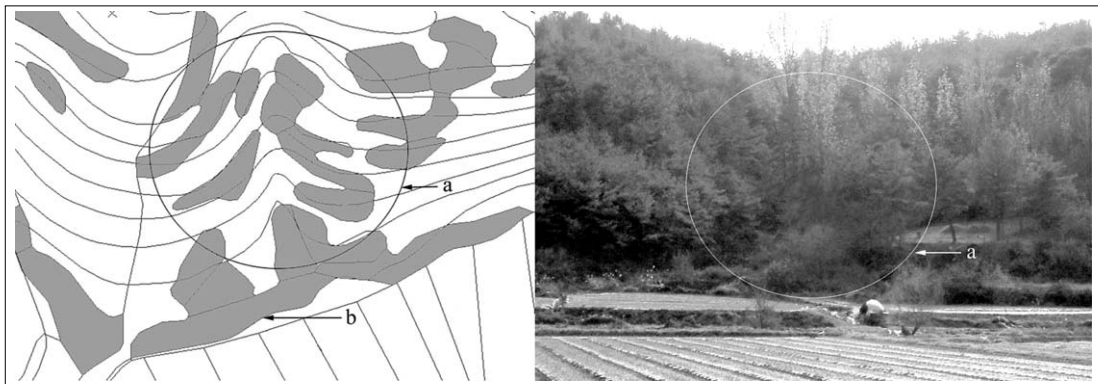


Fig. 8. Distribution of fallow uplands on hillside.

Left: Topographic map made in 1997 and uplands. It indicates that the fields on hillside were used for uplands as of 1997. Right: A photo taken in 2003. It shows that uplands cultivated in 1997 on hillside mostly lied fallow in the 2003 photo. (a) a circle in which fallow uplands are located. (b) uplands in the topographic map made in 1997.

4. 토지이용 제한인자에 따른 적합성 평가

토지이용 상 3개의 제한인자인 홍수피해 잠재성, 토양침식 잠재성 및 휴경 잠재성을 종합하여 UN FAO의 토지평가 방식으로 계급별 적합성을 구분하였다(표 2).

표 2를 그대로 반영하면 경사지에서 토양침식인자와 휴경인자가 병존할 수 있는데, 이 경우에는 더 낮은 적합성계급을 최종 계급으로 결정하였고, 최종 계급이 4급지(N1, 저위생산지) 혹은 5급지(N2, 부적지)로 결정될 경우 그 원인이 되는 토지이용 제한인자인 토양침식(erodibility: e) 혹은 휴경(inherent soil limitation: s)의 영문 두문자를 적합성 하위계급으로 하여 병기하였다. 또한 두 계급

이 모두 3급지 이하의 계급인 경우는 1계급 낮게 계급설정을 하였다(표 3).

표 2와 표 3의 계급 설정기준을 토대로 3가지 토지이용 제한인자들을 고려한 연구지역 토지적합성은 그림 10과 같았다.

Table 3. A matching table between suitability class by erodibility potentiality and suitability class by fallow potentiality (Inherent soil limitation)

Erodibility \ Inherent soil limitation	S2*	S3	N1*
S1	S2	S3e	N1e
S2	S2	S3e	N1e
S3	S3s	N1es	N2es

*S: suitable, *N: not suitable

Table 2. A matching table for evaluation on the land use limitation

Limitation	Indicator	Suitability				
		S1*	S2	S3	N1*	N2
Fallow probability	Probability (M: 0.595, Std: 0.349)	<0.245	0.245~0.944	≥0.944		-
Erodibility	K*L*S (M: 1.724, Std: 1.956)	-	-0.27~3.63	3.63~5.58	≥5.58	
Flood hazard	Elevation(m)	-	-		12.12~14.60m	<12.12m

*S: suitable, *N: not suitable

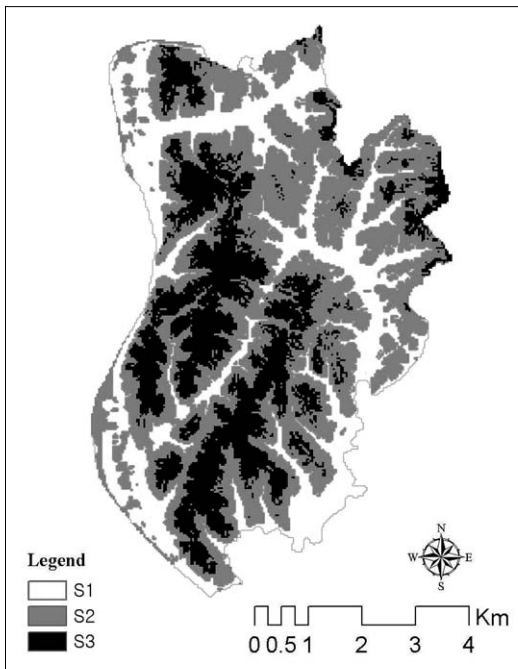


Fig. 9. Suitability class according to the fallow probability

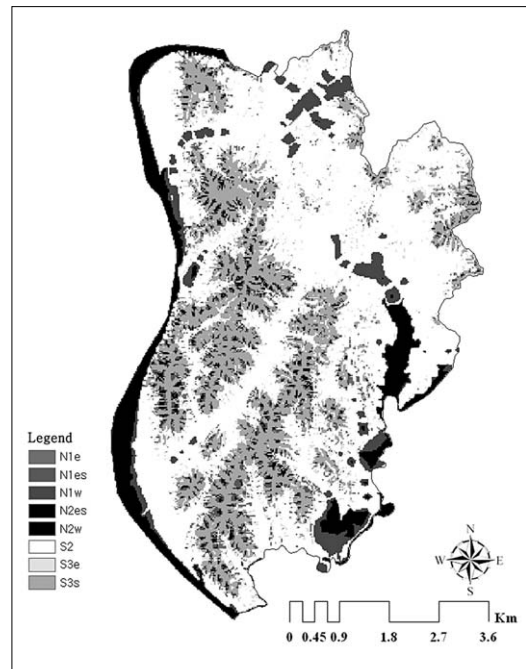


Fig. 10. A map of suitability class using three limitation factors

Table 4. Result of suitability analysis for each village using three limitation factors

(unit: ha)

Village	Suitability class	N2w	N1w	S2*	S3s	S3e	N1es*	N1e	N2es
Seongsan-ri		6.7	4.8	65.4	39.4	12.7	11.4	8.0	7.5
Hyeonchang-ri		10.2	18.2	165.6	47.7	10.9	12.7	7.3	9.3
Sang-ri		6.8	26.0	145.6	85.9	24.0	20.5	13.0	12.2
Seok-ri		0.9	2.5	269.9	249.5	39.6	52.4	22.0	32.7
Mogok-ri		25.6	16.9	113.8	26.2	14.3	5.8	6.1	1.2
Okcheon-ri		18.7	34.2	361.7	59.2	20.1	10.3	7.6	7.4
Dongsan-ri		0.0	0.0	68.5	59.7	7.9	12.9	5.0	7.9
Deungrim-ri		11.4	23.0	96.5	89.1	14.7	16.0	6.6	13.8
Chogok-ri		0.0	19.7	445.9	68.9	23.6	11.4	7.2	5.2
An-ri		0.0	0.0	155.0	29.9	7.4	3.4	1.9	1.8
Geonam-ri		0.4	56.1	266.2	18.3	12.1	3.3	3.8	0.9
Songgok-ri		2.3	0.8	82.9	24.4	6.3	3.6	4.3	3.1
Jangcheon-ri		3.2	18.3	258.5	70.9	20.2	11.1	10.6	7.5
Total		86.1	220.7	2495.6	869.1	213.6	174.9	103.3	110.6

*S: suitable, *N: not suitable

연구지역에서 집중호우로 인해 매우 심각한 영향을 받을 수 있는 지역(N2w)은 86.1ha이고, 침수가 능성이 상존하는 지역(N1w)은 220.71ha이며 이들 두 지역을 합하면 이방면 전체면적(4,274.0ha)의 7.2%에 해당한다. 특히, N1w 지역 내에는 연구지역에서 가장 집약적인 농업을 하는 농경지들을 상당부분 포함하고 있어 지역 내 집중호우에 대한 중장기적인 대책이 요구된다. 침수잠재성이 높은 지역들은 대부분 낙동강에 인접하여 있는 저지대 토지인데, 과거 수자원 활용이 용이하여 농업용도로 선호도가 높았지만 근래들어 치수 목적의 제방들이 곳곳에 축조되면서 제외지로 편입된 후로는 매년 여름철마다 상습적으로 침수되는 지역이 되어버렸다. 뿐만 아니라 제내지의 제방인접지역은 집중 호우에 의해 유입수량이 증가할 때 배수능력의 부족으로 침수지역이 발생하게 되는데, 그 피해는 과거보다 더 심각하였다. 마을별로는 우포늪 인근의 모곡리가 25.6ha의 5급지를 가지고 있어 침수피해 잠재성이 가장 높은 것으로 파악되었고, 그 다음으로 옥천(18.7ha), 등림(11.4ha) 순으로 침수피해가능성에 노출되어 있는 것으로 확인되었다. 이들 지역은 4급지(N1w)도 상당부분 포함하고 있으므로 홍수발생을 대비한 토지이용계획의 조정이 필요하다. 반면 동산리·안리와 같이 하천과 일정거리에 있는 내륙평야지역에서는 5급지가 존재하지 않았다.

토양침식잠재성이 높은 지역은 3급지(S3e) 213.6ha와 4급지(N1e) 103.3ha이며 이는 전체 면적의 7.4%에 해당한다. 토양침식 잠재성은 석리지역을 중심으로 높은 것으로 파악되었고(N1e: 22.0ha, S3e: 39.6ha), 그 외 상리(N1e: 13.0ha, S3e: 24.0ha), 장천리(N1e: 10.6ha, S3e: 20.2ha)에서도 높은 토양침식 잠재성을 보였다. 반면, 안리(N1e: 1.9ha, S3e: 7.4ha)와 송곡리(N1e: 4.3ha, S3e: 6.3ha), 그리고 동산리(N1e: 5.0ha, S3e: 7.9ha) 등 배후산지의 경사가 완만하면서 내륙평야 지대에 위치한 마을들은 토양침식잠재성이 낮은 것으로 나타났다.

휴경잠재성이 높은 지역은 총 1,154.6ha로서 3급지(S3s) 869.1ha와 4급지(N1es) 174.9ha, 그리고 5급지(N2es) 110.6ha가 이에 속한다⁸⁾. 특히, 독지골산과 둔지산으로 둘러싸여 있는 석리는 249.5ha의 3급지(S3s)를 포함하고 있어 지역 내 휴경잠재성이 가장 높은 마을로 나타났다. 또한 석리에는 침식·휴경잠재성을 함께 포함하는 4급지(N1es) 52.4ha와

8) N1es에는 토지이용 제한인자로 휴경(s)과 토양침식(e)을 포함하지만 본문에서 N1es의 원인을 휴경으로 보는 것은 인위적인 휴경에 의한 잠재자연식생 도입과 같은 휴경지 관리 계획에 따라 지표의 회복을 개선할 경우, 토지회복의 변경에 의해 토양침식잠재성도 낮아지기 때문에 N1es를 휴경의 문제로 다루었다.

5급지(N2es) 32.7ha도 존재하므로 지형조건을 충분히 고려한 토지이용 계획이 요구된다. 그 밖에도 등림리(S3s: 89.1ha)와 상리(S3s: 85.9ha) 등에서 휴경잠재성이 높았고, 상리(N1es: 20.5, N2es: 12.2)와 등림리(N1es: 16.0ha, N2es: 13.8ha)에서 침식·휴경잠재성을 동시에 가지는 토지들이 존재하였다. 이들 지역들은 산림의 면적이 상대적으로 높고 그 경사 또한 심할 뿐 아니라 접근성도 떨어져 다른 마을에 비해 침식과 휴경 잠재성이 높은 것으로 보여진다. 반면, 거남(S3s: 18.3ha, N1es: 3.3ha, N2es: 0.9ha), 송곡(S3s: 24.4ha, N1es: 3.6ha, N2es: 3.1ha), 모곡(S3s: 26.2ha, N1es: 5.8ha, N2es: 1.2ha), 안리(S3s: 29.9ha, N1es: 3.4ha, N2es: 1.8ha)와 같이 내륙평야지역에서는 침식잠재성도 낮을 뿐 아니라 휴경잠재성도 함께 낮아지는 것을 알 수 있었다.

결과적으로 연구지역 내에서 농업적 토지이용을 위해 적합한 지역으로는 이상의 세 가지 토지이용 제한인자들이 가장 적은 안리, 거남리, 송곡리 등이다. 이들 지역에는 토지이용으로 적합한 2급지(S2)가 각각 155.0ha, 266.2ha, 82.9ha 존재하였다. 2급지의 면적으로만 보았을 때에는 초곡리에서 445.9ha가 분포하였다. 초곡리는 일부 경사지에 토양침식잠재성이 있었지만 전체적으로 가장 많은 면적에서 토지이용 적합성이 양호한 것으로 판정되었다. 그 외에도 옥천리(361.7ha), 석리(269.9ha), 장천리(258.5ha) 등에서 적합성이 양호한 토지들을 포함하였다. 토지이용이 부적절한 지역에 대해서는 급경사지역에서의 토지이용과 하천 인근 저지대에서의 집약적 토지이용은 가급적 피하는 것이 경제적으로 유리하다고 보여지며, 더 나아가 이들 지역의 훼손된 경관을 복원하기 위해 경관농업직접지불제 등 각종 농지정책들을 적용하여 농촌경관을 개선할 수 있도록 종합적인 검토가 이루어져야 하겠다.

IV. 결론 및 제언

토지 내에서 발생할 수 있는 세 가지 토지이용 제

한인자인 침수잠재성, 침식잠재성, 휴경잠재성을 활용하여 토지의 적합성을 분석하였다. 대상지역은 경상남도 창원군 이방면 일대이고 공간 및 속성정보로서 DEM, 토양도, 지형도, 공시지가현황도면, 그리고 농작물 피해정보를 활용하였다. 분석방법으로는 침수잠재성과 휴경잠재성을 위해 로지스틱 회귀모형을 활용하였고, 토양침식잠재성 분석을 위해 USLE의 K, L, S 인자를 활용하였다. 그 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 홍수피해 잠재성 분석결과, 4급지 220.7ha와 5급지 86.1ha가 분포하는 것으로 확인되었다. 낙동강 인근의 저지대 농지에서는 농업용수 수급이 용이하고 토양형성의 특성상 하성평탄지 혹은 선상지에 속하므로 물빠짐도 좋고 비옥하여 대개 이모작 등 집약농업을 행하고 있으나, 집중호우가 올 때에는 지형특성상 많은 농경지에 침수피해가 발생하기 때문에 침수피해 방지 혹은 피해지역의 경관보전을 위한 대책수립이 필요하다.

둘째, 토양침식잠재성 분석결과, 3급지 213.6ha와 4급지 103.3ha가 분포하는 것으로 나타났다. 토양침식 잠재성은 토양 내 결합이 불안정하거나 투수가 원활하지 않을 경우, 혹은 토지의 경사가 심하여 운동에너지가 높거나 경사길이가 길어지면 그 값이 높아지는 것으로 나타났다. 특별히 독지골산과 둔지산으로 둘러싸인 석리지역을 중심으로 토양침식잠재성이 높은 것으로 파악되었고(N1e: 22.0ha, S3e: 39.6ha), 그 외 상리(N1e: 13.0ha, S3e: 24.0ha), 장천리(N1e: 10.6ha, S3e: 20.2ha)에서도 높은 토양침식 잠재성을 보였다. 반면, 배후산지의 경사가 완만하면서 일반적으로 내륙평야지대에 위치한 마을인 안리(N1e: 1.9ha, S3e: 7.4ha)와 송곡리(N1e: 4.3ha, S3e: 6.3ha), 그리고 동산리(N1e: 5.0ha, S3e: 7.9ha) 등을 중심으로 토양침식잠재성이 낮은 것으로 나타났다.

셋째, 휴경잠재성 분석결과, 총 1,154.6ha가 존재하는 것으로 파악되었고 869.1ha의 3급지(S3s)와 174.9ha의 4급지(N1es), 그리고 110.6ha의 5급지(N2es)가 분포하는 것으로 나타났다. 특히 험한 산

지형의 석리는 249.5ha의 3급지(S3s)를 포함하고 있어 지역 내 휴경잠재성이 가장 높은 마을인 것으로 확인되었다. 뿐만 아니라 석리에는 침식·휴경잠재성을 함께 포함하는 4급지(N1es) 52.4ha와 5급지(N2es) 32.7ha도 존재하므로 지형조건을 충분히 고려한 토지이용 계획이 요구된다. 상리(N1es: 20.5, N2es: 12.2)와 등림리(N1es: 16.0ha, N2es: 13.8ha)에는 침식·휴경잠재성을 동시에 가지는 토지들이 다수 존재하는 것으로 확인하였다. 이들 지역들은 산림의 면적이 상대적으로 높고 그 경사 또한 심할 뿐 아니라 접근성도 떨어져 다른 마을에 비해 침식과 휴경 잠재성이 높은 것으로 보여진다. 반면, 거남(S3s: 18.3ha, N1es: 3.3ha, N2es: 0.9ha), 송곡(S3s: 24.4ha, N1es: 3.6ha, N2es: 3.1ha), 모곡(S3s: 26.2ha, N1es: 5.8ha, N2es: 1.2ha), 안리(S3s: 29.9ha, N1es: 3.4ha, N2es: 1.8ha)와 같이 내륙평야지역에서는 침식잠재성도 낮을 뿐 아니라 휴경잠재성도 함께 낮아지는 것을 알 수 있었다.

마지막으로 연구지역 내에서 토지이용 제한인자를 고려한 토지 적합성 분석결과 안리, 거남리, 송곡리와 같이 토지이용 제한인자들이 적은 지역들이 토지이용에 유리한 것으로 확인하였으며, 적합지역인 2급지 면적은 각각 155.0ha, 266.2ha, 82.9ha 존재하였다. 2급지의 면적으로만 보았을 때에는 초곡리에서 445.9ha가 분포하였다. 초곡리는 일부 경사지에 토양침식잠재성이 있었지만 전체적으로 가장 많은 면적에서 토지이용 적합성이 양호한 것으로 판정되었다. 이상과 같이 토지 적합성 분석과정에서 나타난 토지이용 제한인자들을 포함하는 조건불리지역에 대해서는 최근의 농촌인구의 감소를 고려하여 적절한 토지이용계획을 수립하여 관리하여야 할 것이다.

본 연구에서는 농업적 토지이용 적합성 분석을 위해 세 가지의 자연과학적인 제한인자만으로 해석함으로써 다른 인자의 영향을 충분히 반영할 수 없었다는 한계를 지니고 있다. 하지만 농촌지역에서 농업활동에 장애가 될 수 있는 가장 대표적인 인자

만을 가지고 토지의 적합성을 조명하였고 그 결과 조건불리지역의 실상을 파악하였다는데 그 의의를 가진다고 할 수 있고, 앞으로 농업지역에서 발생할 수 있는 애로사항을 개선함과 동시에 환경문제도 개선할 수 있도록 농업적 토지평가에 관한 연구가 계속적으로 이루어져야 한다고 생각된다.

인용문헌

- 강병화, 심상인, 마경호, 2003, 휴경 연차에 따른 휴경군락내 식생 특성, 한국환경농학회지, 22(1), 53-59.
- 건설교통부, 2003, 토지적성평가 가이드, 국토연구원.
- 국토연구원, 2002, 국토의 효율적 관리를 위한 토지적성평가 방안 공청회, pp. 1-68.
- 김가현, 이영래, 서진호, 민일규(2001) 남사천 하류 지역 홍수피해 분석. 한국환경과학회지, 10(3), 217-223.
- 나영은, 노기안, 이상범, 한민수, 박무언, 1996, 휴경답 생태계의 토양특성 변화와 식생의 생태 천이, 한국토양비료학회지, 29(2), 199-206.
- 농림부, 2004, 조건불리지역 직불제 시범사업 시행 지침, p. 4.
- 박영임, 1996, 인공위성영상자료를 이용한 북한산 국립공원 전이시대 식생 분석, 서울대 환경대학원 석사논문.
- 박인환, 장갑수, 서동조, 2005, 상습침수농경지의 토지평가를 위한 고도별 침수잠재성 분석: 경상남도 창원군 이방면을 대상으로, 한국조경학회지, 33(2), 71-82.
- 박인환, 장갑수, 이근상, 서동조, 2006a, 토양 및 지형조건에 따른 토양침식잠재성 분석: 경상남도 창원군 이방면을 대상으로, 한국환경영향평가학회지, 15(1), 1-12.
- 박인환, 장갑수, 서동조, 2006b, 다중로지스틱 모형에 의한 농경지 휴경잠재성 분석: 경상남도 창원군 이방면을 대상으로, 한국환경영향평

- 가학회지, 15(1), 53-66.
- 박의정, 김철, 김석규, 이지열, 2002, GIS를 이용한 함평천유역의 침수취약지역 분석. 한국지리정보학회 추계학술발표대회 논문집, 48-57.
- 박종화, 명수정, 박영임, 1995, GIS 및 원격탐사기법을 이용한 북한산 국립공원 주변부의 추이대 탐지, 한국GIS학회지, 3(2), 91-102.
- 우제윤, 2001, 한국지형에 적합한 수치표고모델 구축방안 연구, 건설교통부. pp. 29-41.
- 윤용남, 김형수, 박무중, 김상단, 2000, 불확실성 분석을 고려한 홍수피해 저감계획, 한국수자원학회 춘계학술발표대회 논문집, 382-387.
- 이근상, 이환주, 임승현, 조기성, 2001, GIS를 활용한 토양침식모형에서 지형인자의 영향분석, 대한토목학회논문집, 21(4D), 545-554.
- 이도원, 박은진, 송동하, 1995, 생태학: 환경의 위기와 우리의 미래, 서울: 민음사. pp. 1-395.
- 이한방, 2001, 과소농촌지역의 휴경요인과 유형: 경북 상주시 사벌면 덕가리의 사례연구, 한국지역지리학회지, 7(3), 74-90.
- 장갑수, 2004, 지속가능한 농촌경관자원 관리를 위한 토지평가, 경북대학교 박사학위청구논문.
- 장영률, 이근상, 조기성, 2002, GIS 기반에서 토양 침식의 정량화를 위한 해상도 결정에 관한 연구, 한국GIS학회지, 10(2), 301-316.
- 정강호, 김원태, 허승오, 하상건, 정필균, 정영상, 2004, 수치 정밀토양도에 기초한 전국 토양 유실량의 평가를 위한 USLE/RUSLE 인자의 산정, 한국토양비료학회, 37(4), 199-206.
- 정필균, 1983, 토양유실량 예측을 위한 강우인자의 분석, 한국토양비료학회지, 16(2), 112-118.
- 조규전, 1998, 정규격자 수치고도모델의 생성과 정확도 분석에 관한 연구, 한국측지학회지, 16(1), 121-123.
- 창녕군, 2002, 창녕군 통계연보.
- 채미옥, 김정훈, 2003, 토지적성평가제도의 개선방안 연구, 국토연구원, pp. 1-32.
- 천대윤, 2002, 종합SAS 통계분석, 서울: 교우사, pp. 348-356.
- Bartsch, K. P., 1998, Modeling soil loss to determine water erosion risk at Camp Williams national guard base, UTAH, UTAH state university, 1-57.
- Desmet, P. J. J. and G. Govers, 1996, A GIS-procedure for the automated calculation of the USLE LS-factor on topographically complex landscape units, Journal of soil and water conservation, 51(5), 427-433.
- Klingebiel, A. A. and P. H. Montgomery, 1961, Land capability classification, USDA agricultural handbook 210, Washington D.C.: US government printing office, 21-51.
- McRae, S. G. and C. P. Burnham, 1981, Land evaluation. Monographs on soil survey, Oxford: Clarendon press, 239-240.
- Nearing, M. A., 1997, A single continuous function for slope steepness influence on soil loss, Soil science society of America journal 61, 917-919.
- Wischmeier, W. H. and D. D. Smith, 1978, Predicting rainfall erosion losses - a guide to conservation planning, U. S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook No. 537.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations(1997) Land quality indicators and their use in sustainable agriculture and rural development. Land and Water Development Division. Rome: 1-55.
- Sys, C., 1991, Land evaluation I. Agricultural publications. Brussels. Belgium: 1-72.