

상습침수 농경지의 토지평가를 위한 고도별 침수 잠재성 분석[†]

- 경상남도 창원군 이방면을 대상으로 -

박인환* · 장갑수** · 서동조***

*경북대학교 농업생명과학대학 조경학과 · **농업과학기술원 농업환경부 토양관리과 · ***서울디지털대학교

Analysis of the Inundation Potential by Elevation for the Land Evaluation in the Potentially Inundated Farms - A Case Study in Ibang-myeon, Changnyeong-gun, Kyungsangnamdo -

Park, In-Hwan* · Jang, Gab-Sue** · Seo, Dong-Joe***

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

**Dept. of Soil Management, Faculty of Agricultural Environment,
National Institute of Agricultural Science and Technology

*** Seoul Digital University

ABSTRACT

A large scale of riverside rearrangement has been recently done in the major rivers in Korea. So inundation possibility in agricultural area closed by these rivers has been higher than the possibility a few years ago. However, land use in this area has not been adjusted to a change of this situation near the rivers. Therefore, when typhoon or heavy rain is happened on this area, it can cause a large damage in agricultural area.

This study analyzed inundation potentiality in agricultural area at Ibang-myeon, Changnyeong-gun, Kyeongnam-province, Korea by using the logistic regression model and the piecewise regression model.

The first thing we did was to transfer the inundation area per elevation to the accumulated inundation area per elevation. This accumulated inundation area per elevation as an distribution function could be described by the logistic regression model(LRM), and piecewise regression model(PRM) could make it much

† 이 논문은 2003년도 경북대학교 학술진흥연구비(KNURF)에 의하여 연구되었음.

Corresponding author: Park, In-Hwan, Dept. of Landscape Architecture, Coll. of Agr., Kyungpook National University, Tel.: +82-53-950-5784, E-mail: parkin@knu.ac.kr

more accurate to analyze the inundation area per elevation. As a result, the regression models derived from LRM and PRM showed R^2 over 0.950.

The models derived from LRM and PRM in Ibang-myeon noted that frequently inundated area(FIA) was shown up to 12.12m in elevation, and potentially inundated area(PIA) was shown up to 14.60m in elevation. In FIA, regular agricultural activity would be impossible. And It would be not easy to continue the regular agricultural activity in PIA. So, this land should be rearranged to be used for a buffer zone for ecosystem protection, landscape conservation and things like that in riverside.

Key Words: Spatial Data, Geographic Information System, Potentially Inundated Area

1. 서론

토지 평가란 주어진 토지 이용을 위한 적성 평가, 즉 토지를 특정 목적으로 활용하기 위해 필요한 토지 수행 평가이다(C. Sys, 1991). 지금까지 토지평가는 토지적성 분석(land suitability analysis) 또는 토지적성평가(land suitability assessment), 토지평가(land evaluation) 등으로 지칭되어 왔고, 토지적성평가는 토지유형 분류체계(land type classification system)에서 출발하여, 차츰 토양·경사도 등의 물리적 특성을 기초로 적절한 용도를 평가하는 적성 평가로 발달하였다. 최근에는 토지가 가진 물리적 특성만이 아니라 환경성, 사회·경제적 특성, 공간적·입지적 특성 등을 종합적으로 고려하는 방법으로 발전하였다(채미옥, 2003).

토지평가에 대한 연구는 유엔의 식량농업국(Food and Agriculture Organization of the Unition Nations: UN FAO), 미국농무부 United States Department of Agriculture: USDA)의 자연자원보존청(Natural Resources Conservation Service: NRCS) 등 국가연합 및 국가 주요 농업기관에서 핵심 연구과제로 수행하여 왔다. 그 중에서도 UN FAO에서는 UNEP(United Nations Environment Program), UNDP(United Nations Development Program) 및 세계은행(World Bank)과 공동으로 농업 및 농업지역의 지속 가능한 개발(Sustainable Development: SD)을 위한 토지 질 지수(land quality indicators) 개발을 위한 연구를 수행한 바 있으며(FAO, 1997), 토지 평가 체계의 구축과 함께 브라질, 케냐 등 농업환경조건이 다양한 세계 여러 나라에서 토지 활용 유형에 대한 토지 평가를 수행한 바 있다(FAO, 1976: 1985: 1991).

이러한 일련의 토지 평가 과정에서는 환경의 여러 기능을 종합하여 토지 이용에 반하는 제한인자를 설정하게 된다. 특히, 최근 들어 하천 주변을 중심으로 지속적으로 진행되어온 대규모 치수사업으로 인해 하폭(河幅)이 줄었고, 배수시설의 한계로 인해 여름철 침수 피해가 상존하므로 침수 피해에 대한 신속한 파악 및 대응 체계 구축은 국토 및 자연자원 관리를 위해 매우 중요한 현안으로 대두되고 있다(대한토목학회, 1996). 최근 들어서는 위성영상을 활용하여 홍수의 예측 및 침수 피해 분석 기술을 현장에 적용하고 있는데, 미국, 일본, 중국뿐만 아니라 우리나라에서도 유역 내 침수, 홍수 흔적, 하천 범람, 수문 유출 모형 등 강우로 인한 자연재해에 대한 연구가 활발하게 이루어지고 있다(임상규 등, 2003; 박병욱, 1997; 김천, 1999). 하지만 위성영상을 이용한 자연재해 관측의 경우 필요한 시기의 위성자료를 제대로 획득하기 어려운 관계로, 현재 하천정비사업 등에서는 홍수 등 하천 범람을 고려한 유역 내 유출량 산정을 위하여 미국 USDA NRCS의 전신인 SCS(Soil Conservation Service)에서 제시한 유출곡선지수(Curve Number: CN)에 의한 산정법을 일반적으로 많이 활용하고 있다(대한토목학회, 1996; 건설교통부, 2000).

하지만 전체 유역 중 일부 소유역에 대한 홍수량 산정 시 소유역 인접 하천의 상류로부터 과다 방류되었을 경우, 인접 하천에서 소유역으로 역류하여 발생하는 유량의 측정은 불가능하다. 특히, 유역 내 정확한 침수지역 내지는 침수 면적 분석을 위해서는 논둑, 제방 등에 의해 발생하는 민감한 높낮이까지도 반영된 정밀한 수치 표고 모형(Digital Elevation Model: DEM)의 활용이 필수적이지만, 현재 수치 표고 모형 제작을 위해 가장

손쉽게 취득할 수 있는 수치 지형도(1:5,000)로 수치 표고 모형을 구축하게 되면 하천의 제방이나 완만한 경사지에 분포하는 농경지마다의 높낮이 정보를 구현할 수 없어 수치 표고 모형을 활용한 소유역 침수지역 분석은 다소 어려움이 있는 접근법이라 사료된다. 따라서 좁은 지역의 침수 분석을 위해서는 현장조사를 통하여 구축한 정보가 있다면 이를 활용하는 것이 시간적인 제약은 있지만 대상지역 현황을 가장 정확히 파악하는 방법이라 할 수 있다.

소유역 혹은 지역에서 홍수 피해를 분석한 사례들을 고찰하면, 윤용남 등(2000)은 침수위와 피해규모와의 관계를 확률 모형화 한 바 있고, 김가현 등(2001)은 남사천 하류 지역의 홍수 발생 정보 중 유량, 기상 등 수문 자료와 지형조건을 이용한 확률 강우량과 확률 홍수량을 추정 한 바 있다. 이들은 수리·수문학 분야에서 유용하게 활용하고 있는 HEC-FDA모형을 적용하여 확률 강우량을 구하거나, 유역 특성 자료, 기상 자료, 수문 자료를 수집분석하여 홍수를 추정하고 있다. 한편 박의정 등(2002)은 계림과성 집중호우로 인해 대량 피해를 가져왔던 영산강 지류인 함평천 유역의 침수 취약 지역을 분석한 바 있다. 박의정 등(2002)은 수리·수문학적 모형을 이용하지 않고 GIS를 이용하여 대규모 지역에 대하여 홍수에 의한 취약지역을 개략적으로 분석하고, 그 피해 정도를 파악하였는데, 분석과정에서 고도 50m 이하의 지역을 침수 취약 지역 조건으로 설정하고 있다. 윤용남 등(2000), 김가현 등(2001)이 수행한 연구는 홍수 피해 및 그 규모 예측을 위해 전형적으로 많이 활용되는 기법이며, 그 정확도 또한 높으나 그 결과가 지역 단위로 도출되어 정확한 피해지역을 예측하는 데는 한계가 있었고, 박의정 등(2002)의 연구에서는 침수 취약 지역 분석을 위한 지형조건 설정 기준을 개략적으로 설정하였기 때문에 얻어진 결과의 신뢰성을 높이기 위해서는 홍수 피해 발생시 직접 현장에서 조사하여 그 피해 정도를 정량화 한 자료를 활용하여 수행함이 바람직하다고 사료된다. 또한 홍수 피해에 영향을 미치는 인자를 구하여 그 인자에 따른 피해 정도를 정량화할 수 있는 모형의 개발 또한 절실히 요구되었다.

이에 본 연구에서는 상습 침수 농경지의 토지 평가시 제한인자로 활용되는 침수 피해 정보 구축을 위해 대상지역 행정기관에서 전수 조사하여 피해 농민과 합의

한 필지별 농작물 피해 정보를 활용하였고, 이를 공간자료로 구축하여 고도에 따라 발생할 수 있는 농경지 침수 잠재성을 로지스틱 함수로 모형화하고자 하였다.

II. 재료 및 방법

1. 연구 대상지

연구지역인 경남 창녕군 이방면은 그 면적이 46.57km²로서 군 내 창녕읍 및 남지읍을 제외하면 관할 읍·면 중 가장 큰 면적을 보유하고 있으며, 총 1,373가구 중 약 90.75%인 1,246가구가 농업을 주업(主業)으로 하는 전형적인 농업지역이다(창녕군, 2002). 토지이용 면에서는 578ha이고 밭은 657ha이며, 이들 대부분이 낙동강 분류와 인접하여 풍부한 농업용수의 확보가 가능하다. 특히 연중 온난한 기후조건으로 인해 겨울에도 소득작물인 마늘·양파 등이 월동하므로 이모작이 가능하여 다른 지역에 비해 농업경쟁력이 뛰어나다. 하지만 근래 들어 낙동강 상류지역의 대규모 치수사업으로 인해 하폭(河幅)이 줄어, 자연상태에서의 홍수 등 자연재해에 의한 농경지 침수 가능성이 높아졌고, 특히 배수시설의 한계로 인해 여름철 침수 피해가 상존하였다. 일 예로 2003년 9월 상륙한 태풍 '매미'로 인해 이방면 내 244ha의 농경지가 침수된 것으로 확인되었는데, 대부분 논에서의 피해가 대부분인 점을 감안한다면, 이방면 전체 논의 절반 정도에 침수 위험이 존재한다고 추측할 수 있다.

현장답사 결과, 연구지역 내 13개 마을 중 6개 마을인 송곡리, 장천리, 등림리, 석리, 현창리 및 성산리가 낙동강에 인접하여 있고, 동산리를 제외한 나머지 마을도 낙동강의 지류 및 우포, 목포, 사지포의 간접 영향을 받고 있는 것으로 확인되었다(그림 1).

2. 공간자료 및 농경지 침수 정보 구축

1) 공간자료 구축

토지 평가를 위한 가장 기본적인 자료로써 국토지리정보원(National Geographic Information Institute: NGI)에서 구축한 축척 1:5,000 수치지형도를 활용하였다. 지역내 지형·지물·기복 등의 공간적 정보의 확인을 위한 경사 추출 및 수치 표고 모형 등을 위해 수치 지형

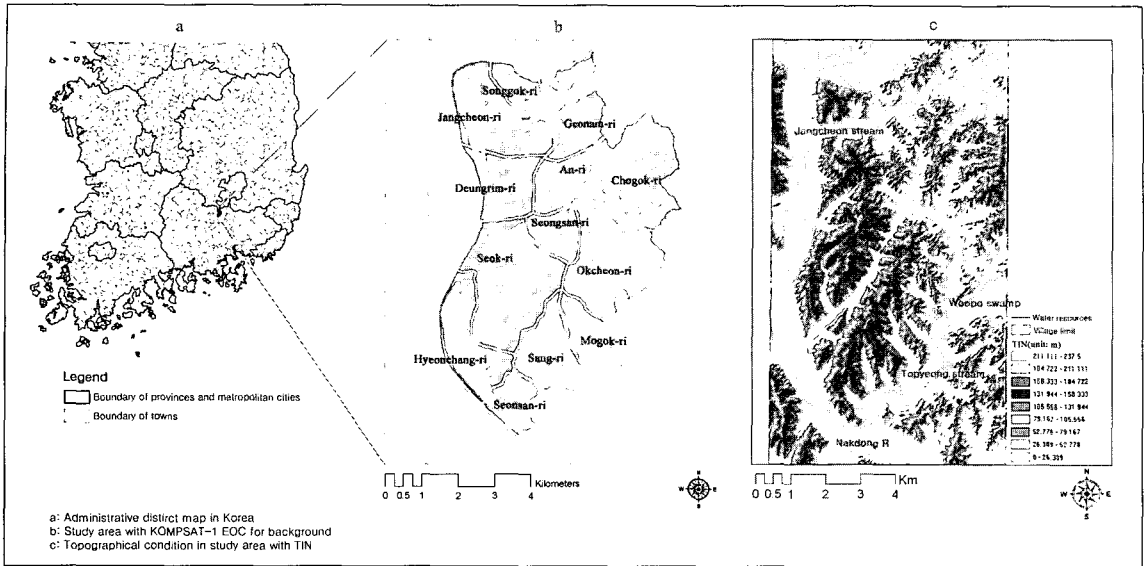


Fig. 1. A geographical map of study area: Ibang-myeon, Changnyeong-gun, Kyungnam province, Korea.

도를 활용하였는데, 이런 지형분석을 위해 가장 선행되어야 할 것이 수치표고모형(Digital Elevation Model: DEM)의 구축이다¹⁾.

DEM은 Kriging, 불규칙삼각망법(Triangulated Irregular Networks: TIN), 거리역산자승 가중치법(Inverse Distance Weight: IDW) 등의 보간법을 통하여 구축할 수 있다(우제윤 등, 2001). 본 연구에서는 일반적으로 많이 활용하는 방법으로서 조규전 등(1998)이 추천한 TIN 보간법을 활용하였다²⁾. 수치 표고 모형을 위해 수치 지형도의 등고선 레이어인 7111과 7114 레이어, 표고점 정보인 7217 레이어를 추출하였고, Arc-View 3.2상에서 TIN 보간법을 수행함으로써 화소 크기 22m의 수치 표고 모형을 완성하였다.

또한 농지 지번과의 연계를 위한 공간자료로서 지적도(land registration map)를 활용하였는데, 지적도에는 개별 필지의 경계와 이를 인식할 수 있는 식별자(identifier)인 지번(地番, lot number)이 속성 정보로 구현되어 있어, 행정기관의 토지대장 혹은 여러 재산권과 관련된 정보와 연계하여 각종 주제도를 양산할 수 있다. 경상남도 창녕군 이방면은 전형적인 농업지역으로서 최근 몇 년간 지적의 변경과 이동이 적었기 때문에 지번을 식별자로 활용하여 구축한 자치구 내 관련 정보들과의 속성연계가 비교적 원활하였다. 본 연구에서는 지적도

의 일종인 '공시지가 현황도면'을 활용하여 홍수 발생 시 읍·면·동 단위로 조사된 농경지 침수 정보인 '농가별 농작물 피해조사 대장' 내의 지번을 연결자로 속성 연계함으로써 지번별 농경지 침수 피해 정보를 구축하였다.

2) 농경지 침수 정보 구축

자연재해대책법 제2조1항 및 농어업대책법 제2조2항에서 각각 "재해"³⁾와 "농업재해"⁴⁾에 대하여 정의하고 있고, 홍수에 의해 농경지에 피해가 발생하면 농가의 피해상황을 정밀하게 조사하도록 규정하고 있다⁵⁾. 이 때 각 시·군 산업계에서는 재해에 따른 피해 조사 자료를 농가 단위로 작성하도록 되어 있으며, 확인 결과 현장조사는 농가별 농작물피해조사대장 양식으로 지면(紙面)상에 구축하였고, 피해조사 결과는 농지지번(農地地番) 기준으로 대과대(代播代) 지급농지⁶⁾와 농약대(農藥代) 지급농지⁷⁾로 구분하여 작성하고 있었다. 지번 별 농가 피해 정보 즉 필지별 농작물 피해도는 먼저 구축된 공시지가 현황도면과 지번을 연결자로 속성 연계하여 얻을 수 있다.

3. 이론적 고찰: 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(이도원 등, 1995; 박영임, 1996). 여기서 환경 변화에 따라 증식되는 개체수를 누적하게 되면 성장곡선(sigmoid curve)의 형태를 취한다.

침중후수가 농경지 침수에 미치는 영향을 '고도'-'침수면적' 간의 관계로 표현하면, 고도가 낮았을 때 단위 고도구간별 농경지 침수 면적은 증가하게 되고 고도가 점점 증가할수록 단위 고도별 농경지 침수 면적은 점점 감소하여 결국에는 침수 피해를 받지 않는 안전한 농경지만이 분포하게 된다. 이 때, 고도별 침수 면적을 고도별 농경지 침수 누적 면적으로 변환하면, 고도에 따른 농경지 침수 누적 면적의 분포는 개체군 생태학에서의 성장곡선과 유사한 경향을 보이게 되며, 이 문제는 로지스틱 회귀모형으로 설명이 가능하다.

자연현상을 로지스틱 회귀모형으로 설명한 예를 살펴보면, 박종화 등(1995)과 박영임(1996)이 북한산국립공원에서 공원경계에서의 거리를 설명변수로 하고 그에 따른 식생지수(NDVI: Normalized Difference Vegetation Index)의 변화를 반응변수로 하여 로지스틱 회귀모형에 적용함으로써 생태적인 추이대를 구명한 바 있다. 또한 박인환 등(2000)은 대구광역시 도심에 조성되어 있는 자연공원 등을 대상으로 식생 경계로부터 내부·외부로의 거리에 따라 여름철 열섬 완화 정도를 로지스틱 회귀모형으로 해석한 바 있다. 본 연구에서 활용하고 있는 종속변수인 농경지 침수 누적 면적은 독립변수인 고도에 따라 증가하다가 결국에는 어느 종점으로 수렴하는 형태의 성장곡선을 따르며, 로지스틱 회귀모형에 적용함으로 해석이 가능하다고 사료된다.

고도와 농경지 침수면적과의 관계를 로지스틱 회귀모형으로 해석하기 위해, 고도를 E , 고도별 농경지 침수누적면적을 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 K 라고 하였을 때, 로지스틱 회귀모형의 기본식을 식 1로 표현할 수 있고, 기울기 α 의 값은 양(+)의 값을 갖는다. 즉, 고도에 따른 침수 누적 면적의 분포는 박종화 등(1995), 박영임(1996), 박인환 등

(2000)이 적용한 로지스틱 회귀모형의 분포와 유사하며, 이 모델을 활용하여 고도와 침수 누적 면적과의 관계 해석이 가능하다. 이때, 독립변수는 고도(E)이고, 최대 침수누적면적 차(K)와 N 을 활용한 오즈(odds)는 $\frac{N}{(K - N)}$ 이 되며, 오즈를 자연대수한 로짓(logit)은 $\ln \frac{N}{(K - N)}$ 으로 정의된다. 고도별 누적침수면적을 반응변수라고 할 때, $\ln \frac{N}{(K - N)}$ 값은 고도 E 에 대하여 다음과 같이 직선회귀식으로 표현할 수 있다.

$$\ln \frac{N}{K - N} = \alpha \times E + \beta \tag{식 1}$$

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

여기서,

K : 최대침수누적면적(A_{max})-최소침수누적면적(A_{min})

A_c : 고도구간별 침수누적면적(m^2)

E : 고도(m)

α, β : 회귀식에서 구할 계수

$\ln \frac{N}{K - N}$ 을 고도에 대한 직선식으로 회귀분석하여 얻은 계수를 α 와 β 라 하였을 때, 침수누적면적(A_c)을 종속변수로 하고 고도(E)를 독립변수로 하는 로지스틱 함수의 일반형은 다음 식 2와 같다.

$$A_c = \frac{K}{1 + e^{-b - \alpha \cdot E}} + A_{min} \tag{식 2}$$

그림 2는 식 2를 적용하여 '고도-침수누적면적'과의 관계를 설명한 그래프이다. 이 그래프에서 X축은 고도이고, Y축은 고도별 침수 누적 면적이다. 고도가 높아지면서 침수 누적 면적은 급격히 증가하다가 어느 고도(변곡점: $A_{min} + K/2$)에서 완만한 기울기로 변하여 결국 일정 값으로 수렴하게 된다.

본 연구에서는 경상남도 창녕군 이방면에 2003년 9월 12일부터 상륙한 태풍 '매미'에 의해 발생한 농경지 침수피해 조사자료를 상기의 로지스틱 회귀모형에 적용하여 고도에 따른 농경지 침수 잠재성을 분석하였다. 제 14호 태풍 '매미(Maemi)'에 의한 최대 일강수량은 남

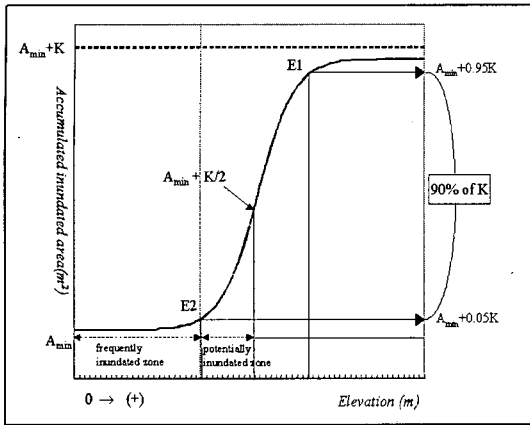


Fig. 2. Establishment of an inundated zone by the relationship between elevation and accumulated inundated area.

Source: Young-im Park, 1996

해군이 302mm/24hr로 가장 많은 비가 내렸고, 대관령이 264mm/24hr, 진주가 181mm/24hr로서 높은 일강수량을 보였다³⁾. 본 강수량은 건설기술연구원 추정 가능 최대강수량(건설교통부, 2000)과는 다소 차이가 있지만, 중심기압이 950hPa로서 우리나라에 가장 많은 인명 피해를 남긴 1959년 '사라호'(952hPa) 및 2002년 '루사'(967hPa)와 대등한 수준이며, 피해 결과는 최대 시우량이 높은 관계로 최근 5년 간 발생한 강우사상 중 가장 높게 나타났기 때문에 태풍 '매미'에 의해 발생한 농경지 농작물 피해지역은 연구지역 내에서 5년 빈도 가능 최대 침수지역으로 하여 연구지역의 홍수 피해 잠재능을 분석하는데 적절하다고 할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 태풍 '매미'에 의해 발생한 농경지 지면별 피해 정보를 공시지가 현황도면의 지면 정보와 DB 연계함으로써 농지별 홍수 피해 분포도를 제작하고, 구하여진 DEM의 고도 정보와 중첩함으로써 고도에 따른 농경지 침수 누적 면적을 정량화하였다. 또한 고도와 농경지 침수 누적 면적간의 관계를 로지스틱 회귀모형으로 설명하므로 상습 침수 농경지 토지 평가의 선행 과정인 고도에 따른 침수 잠재성을 분석하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 농경지 침수정보 구축

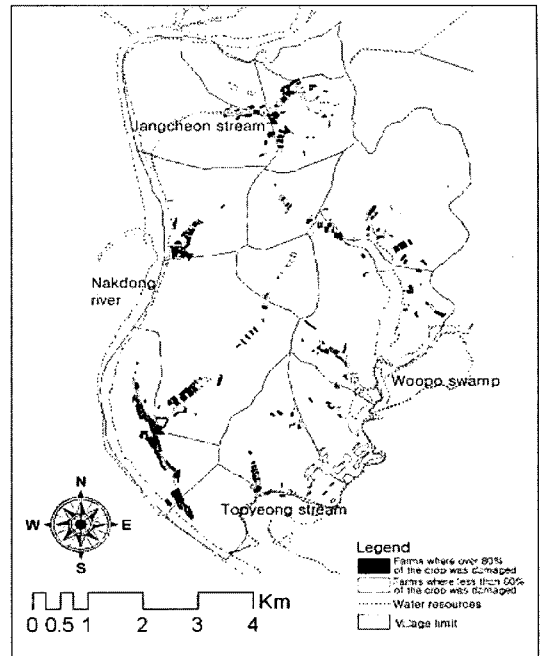


Fig. 3. A distribution map of farm lands damaged by typhoon 'Maemi'.

농경지 침수 정보는 2003년 9월 연구지역 내에서 태풍 '매미'에 의해 발생한 농경지 피해 조사 자료를 바탕으로 구축하였다. 자료 구축을 위해 창녕군에서 제공한 공시지가 현황 도면과 태풍 '매미'에 의한 농가별 농작물 피해조사대장을 활용하였다. 공시지가 현황도면을 연속지적도로 구축하기 위하여 토지관리정보체계 연속지적도 작업지침에 준하여 AutoCAD상에서 구축된 DXF 형식의 공시지가 현황 도면을 shape file로 변환하였다. 먼저 Arc/Info workstation에서 dxfarc명령을 이용하여 개별 공시지가 현황 도면을 arc coverage로 변환하였고, DXF 상에 문자로 입력되어 있는 지면정보는 coverage로 변환되면서 부여되는 ID를 연결자로 하여 joinitem 명령을 통해서 개별지적도 제작하였다. 작성된 개별지적도업은 도엽간 인접처리 과정을 거쳐 연속된 지적자료로 구축하였다. 속성자료인 농가별 농작물 피해조사 자료에서는 지면을 연결자로 하여 속성 연결함으로써 지면별 농경지 침수 구역도로 작성하였다(그림 3).

2. 고도별 농경지 침수누적면적 추정

'농경지 침수 누적 면적(A_c)'은 고도 구간을 1m로

할 때, 고도 구간별 침수면적을 구하여 고도가 낮은 첫째 구간에서부터 해당구간까지의 면적을 누적한 면적을 말한다. 이때 마지막 구간의 A_c 는 전체 침수 면적과 같고, 표본이 정규 분포를 따를 경우 계급의 증가에 따라 생장 곡선 형태를 보인다. 태풍 '매미' 발생 당시 대상지역에서 조사한 고도구간별 농경지 침수 면적, 침수누적 면적, 침수 누적 면적비 및 농경지 총면적은 표 1과 같았다.

구간별 침수 면적은 고도 10~13m에서 14.18ha로 작았으나 14~16m구간에서는 54.99ha가 침수되어 그 면적이 급격히 증가하였다. 반면 16m를 기점으로 하여 침수면적이 급격히 줄어 고도 30m 이상에서는 침수 농경지가 소규모 분포하였다(표 1, 그림 4).

이상의 결과를 토대로 '고도(E)'를 독립변수로 하고 '침수누적면적(A_c)'을 종속변수로 하는 로지스틱 회귀 분석을 수행하였다. 단일구간 내에서의 변량값이 상대적으로 높을 경우, 해당 구간에서의 누적분포곡선의 접선기울기가 증가하므로 경사가 급한 생장곡선을 형성하게 된다. 연구지역에서는 고도(E)별 침수누적면적(A_c)이 생장곡선 형태를 따르면서 skewness>0인 형태를 보였다.

그림 4에서 획득한 누적분포곡선에서 고도와 침수누적면적과의 관계는 로지스틱 회귀식을 활용하여 해석할 수 있었다. 표 1을 통하여 고도구간별 최대 침수누적면적(A_{max})을 100ha, 최소침수누적면적(A_{min})을 5ha로 정하였고, 이를 로지스틱 회귀모델의 기본식인 식 1에 적용할 경우, 침수누적면적 차이인 $K(=A_{max}-A_{min})$ 는 95ha가 되고 고도별 $N(=A-A_{min})$ 과 $\ln \frac{N}{K-N}$ 값은 표 2와 같았다.

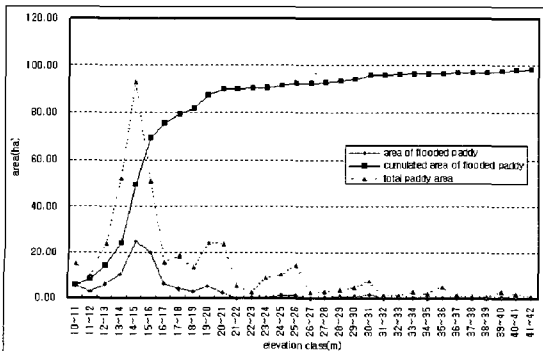


Fig. 4. Cumulative area of the flooded paddy per elevation.

Table 1. Cumulative area of the paddy lands inundated by elevation

Elevation class	Inundated farm land(ha)	Cumulated area of the inundated farm land(ha)	Cumulated area of inundated farm land(%)
10~11	5.39	5.39	5.48
11~12	2.80	8.19	8.33
12~13	5.99	14.18	14.42
13~14	10.19	24.37	24.78
14~15	24.75	49.12	49.94
15~16	20.05	69.17	70.33
16~17	6.17	75.34	76.60
17~18	3.99	79.33	80.66
18~19	2.73	82.06	83.44
19~20	5.31	87.38	88.84
20~21	2.48	89.86	91.36
21~22	0.00	0.00	91.36
22~23	0.25	90.10	91.61
23~24	0.27	90.38	91.89
24~25	1.00	91.37	92.90
25~26	1.05	92.43	93.97
26~27	0.04	92.47	94.02
27~28	0.28	92.75	94.30
28~29	0.71	93.46	95.03
29~30	0.95	94.41	95.99
30~31	1.59	96.00	97.61
31~32	0.00	0.00	97.61
32~33	0.15	96.14	97.76
33~34	0.22	96.37	97.98
34~35	0.00	0.00	97.98
35~36	0.38	96.75	98.37
36~37	0.29	97.04	98.66
37~38	0.00	0.00	98.66
38~39	0.00	0.00	98.66
39~40	0.65	97.68	99.32
40~41	0.33	98.01	99.66
41~42	0.34	98.35	100.00

$\ln \frac{N}{K-N}$ 은 독립변수인 고도(E)와 직선적 관계를 가진다. $\ln \frac{N}{K-N}$ 과 고도(E)의 회귀분석 결과, 기울기가

Table 2. Calculation of $\ln \frac{N}{K-N}$ from the relation between the elevation and the cumulated area of inundated farm lands

Class(m)	Mean elevation(m)	N	N/(K-N)	$\ln\{N/(K-N)\}$
10~11	10.26	0.39	0.00	-5.50
11~12	11.38	3.19	0.03	-3.36
12~13	12.61	9.18	0.11	-2.23
13~14	13.60	19.37	0.26	-1.36
14~15	14.65	44.12	0.87	-0.14
15~16	15.11	64.17	2.08	0.73
16~17	16.52	70.34	2.85	1.05
17~18	17.48	74.33	3.60	1.28
18~19	18.59	77.06	4.30	1.46
19~20	19.49	82.38	6.53	1.88
20~21	20.07	84.86	8.37	2.12
21~22	21.50	84.86	8.37	2.12
22~23	22.40	85.10	8.60	2.15
23~24	23.60	85.38	8.87	2.18
24~25	24.65	86.37	10.01	2.30
25~26	25.40	87.43	11.54	2.45
26~27	26.97	87.47	11.61	2.45
27~28	27.19	87.75	12.10	2.49
28~29	28.54	88.46	13.53	2.60
29~30	29.73	89.41	15.98	2.77
30~31	30.21	91.00	22.74	3.12
31~32	31.50	91.00	22.74	3.12
32~33	32.73	91.14	23.64	3.16
33~34	33.85	91.37	25.15	3.22
34~35	34.50	91.37	25.15	3.22
35~36	35.16	91.75	28.24	3.34
36~37	36.99	92.04	31.06	3.44
37~38	37.50	92.04	31.06	3.44
38~39	38.50	92.04	31.06	3.44
39~40	39.56	92.68	40.02	3.69
40~41	40.00	93.01	46.82	3.85
41~42	41.96	93.35	56.65	4.04

0.195이고 y절편이 -3.248인 직선식을 구하였다($R^2 = 0.708$).

$$\ln \frac{N}{K-N} = 0.195 \times E - 3.248 \quad (\text{식 3})$$

$\ln \frac{N}{K-N}$ 과 고도(E)와의 직선회귀분석 결과, 결정 계수(R^2)가 0.708로 낮지 않았고 표준화된 회귀계수인 beta(β) 또한 0.842로서 모형에 대한 기여도가 높았으며, 분산분석(ANOVA test)에서도 유의확률이 0.000(회귀계수 $\neq 0$)으로서 회귀모형이 유의하다고 볼 수 있었다. 하지만 고도 14m 이하 지역에서의 설명력이 떨어졌고, 14~30m 구간에서도 원자료와 회귀식 추세선과 차이를 보이므로 원 자료에서 나타나는 변곡점을 기준으로 구간을 나누어 조각별 회귀분석(piecewise regression)을 수행하였다.

로짓인 $\ln \frac{N}{K-N}$ 과 독립변수 E의 관계곡선에는 평균고도 15.11m와 20.07m에서 두 번의 변곡이 발생하였는데, 이들을 변곡점으로 하여 ($E < 15.11$ m)이면 Region(1), ($15.11 \leq E < 20.07$ m)이면 Region(2), ($E \geq 20.07$ m)이면 Region(3)으로 나누어 각각 회귀분석하였다(그림 5).

고도 15.11m 미만의 구간(Region 1)에서 구간별 '평균고도'와 '침수누적면적'과의 직선회귀 결과는 식 4와 같이 나타났다. 분산분석 결과 유의확률이 0.000으로서 모형이 적합하였고, beta가 0.991로서 회귀계수 역시 모형에 높은 기여를 하고 있으며 결정계수도 0.983으로 매우 높게 나타났다(그림 6).

$$\log_e \frac{N}{K-N} = 1.186E - 17.319 \quad (R^2 = 0.983) \quad (\text{식 4})$$

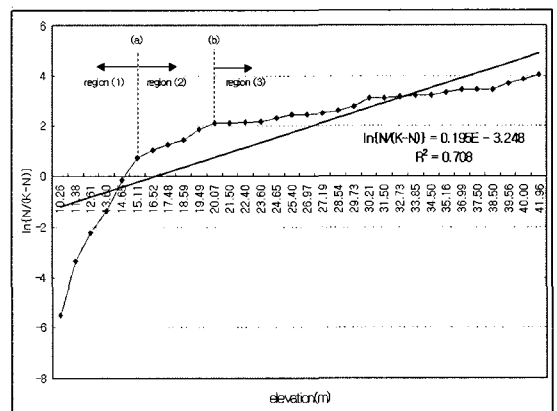


Fig. 5. Linear regression between $\ln \frac{N}{(K-N)}$ and E (elevation).

평균고도 15.11m와 20.07m 사이의 구간(Region 2)에서 '평균고도'와 '침수누적면적'과의 직선회귀 결과는 식 5와 같이 나타났다. 식 5의 분산분석 결과 유의확률이 0.000으로서 모형이 적합하였고, beta가 0.984로서 회귀계수 역시 모형에 높은 기여를 하고 있으며, 결정계수도 0.969로 매우 높게 나타났다(그림 7).

$$\log_e \frac{N}{K-N} = 0.271E - 3.429 \quad (R^2 = 0.969) \text{ (식 5)}$$

평균고도가 20.07m 이상의 구간(Region 3)에서 구간별 '평균고도'와 '침수누적면적'과의 직선회귀 결과는 식 6과 같이 나타났다. 본 모형에 대한 분산분석에서도 유의확률 0.000으로서 모형이 매우 적합한 것으로 판명되었고, β 가 0.984로서 회귀계수 역시 모형에 높은 기여를 하고 있으며 결정계수 또한 0.968로 매우 높게 나타났다(그림 8).

$$\log_e \frac{N}{K-N} = 0.0899E + 0.151 \quad (R^2 = 0.968) \text{ (식 6)}$$

세 구간에서 얻은 각각의 직선 회귀식은 기울기에 따라서 인접지역 회귀직선과 접하게 되는데, region(1)과 region(2)는 고도 15.180m에서 접하고 region(2)와 region(3)은 고도 19.768m에서 접점을 이루었다.

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

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

$$\text{Region(3):} \quad A_c = \frac{95}{1 + e^{-0.151 - 0.0899E}} + 5, \quad (19.768\text{m} \leq E) \text{ (식 7)}$$

여기서, A_c : 고도 구간별 침수누적면적(ha)

E : 구간 내 평균고도(m)

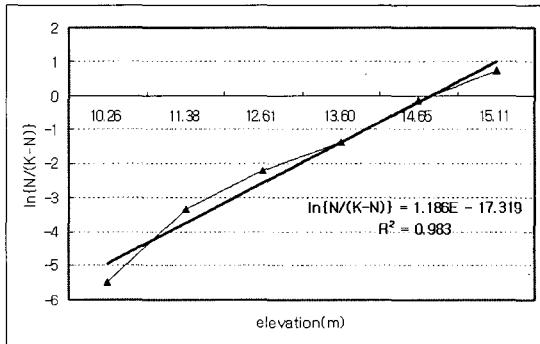


Fig. 6. Linear regression between $\ln \frac{N}{(K-N)}$ and $E(\text{elevation})$ in region(1).

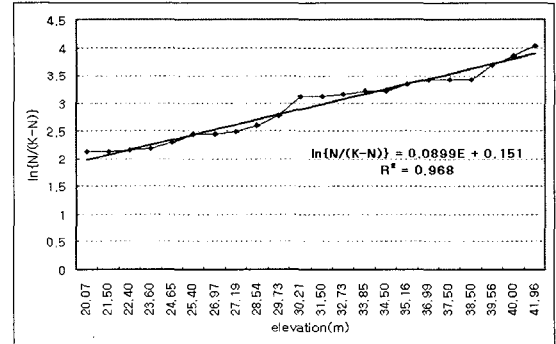


Fig. 8. Linear regression between $\ln \frac{N}{(K-N)}$ and $E(\text{elevation})$ in region(3).

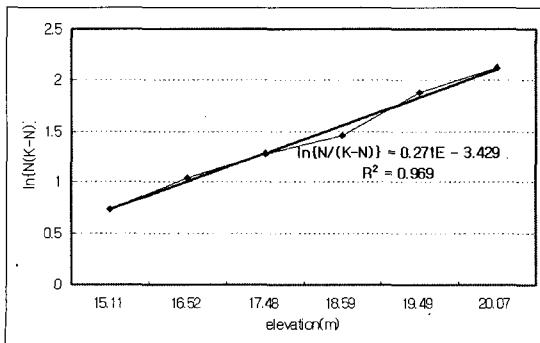


Fig. 7. Linear regression between $\ln \frac{N}{(K-N)}$ and $E(\text{elevation})$ in region(2).

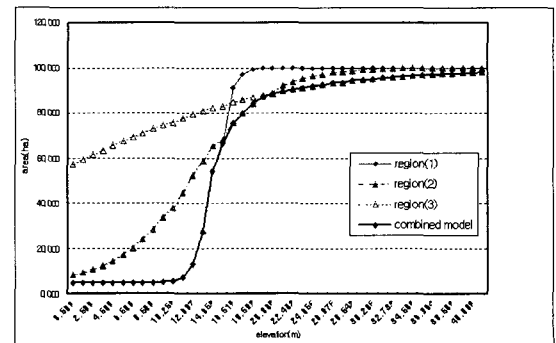


Fig. 9. Relationship between elevation and cumulative area of flooded farm lands derived from the piecwised regression model.

따라서 세 모델을 침수누적면적 A_c 에 대하여 식 7과 같이 정리하여, 각 구간별 곡선만을 적출하여 조합하면, 그림 9와 같이 생장곡선 형태의 로지스틱 회귀곡선을 얻을 수 있었다. 로지스틱 회귀분석과 조각별 회귀분석을 활용하여 구한 모델은 원자료인 태풍 '매미'에 의한 농경지 피해정보를 고도별로 비교한 결과, 실제 조사구간인 10m 이상 지역에서 거의 일치하였다.

3. 침수 잠재성에 의한 토지적합성

태풍 '매미'에 의해 발생한 농경지 침수지역을 대상으로 로지스틱 회귀분석 및 조각별 회귀분석을 통하여 '고도'-'침수누적면적' 간의 관계를 규명함으로써 고도에 따른 '침수 잠재성'을 추정해 본 결과, 로지스틱 회귀곡선의 변곡점은 침수누적면적이 $(A_{min} + \frac{K}{2})$ 가 되는 지점이며, 식 7에 대입하면 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 상승적으로 침수되므로 농경지로서 매우 불리한 것으로 판단하였다. 또한 고도에 따른 침수면적의 누적이 완화되는 전환점인 고도 14.60m 지역까지는 홍수에 의해 침수 가능성이 높은 지역이라 말할 수 있다. 지금까지의 침수 잠재성을 고려하여 토지 적합성을 구분하면, 고도와 무관하게 침수지역으로 누적되는 초기 5% 구간의 한계고도인 12.12m 이하 지역은 '상습침수 구역(frequently inundated zone)'으로 규정할 수 있다.

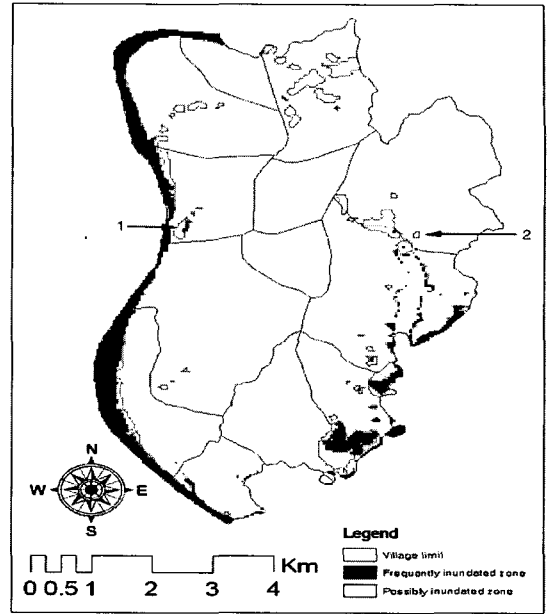


Fig. 10. A map of suitability class derived from the analysis of flood damage potentiality.

또한 고도에 따라 침수 누적이 완화되는 변곡점인 14.60m까지를 '가능침수구역(possibly inundated zone)'의 상한고도로 설정할 수 있으며, 따라서 12.12m와 14.60m 사이의 지역을 가능 침수 구역으로 명명하였다.

창녕군 이방면에서 농경지 침수 잠재성에 의한 토지적합성 평가 결과, 상승 침수 구역의 면적은 315.57ha이고 가능 침수 구역의 면적은 243.31ha로 나타났다(그림 10). 지목별로 보면, 제외지에서 상승 침수 구역이 25.56ha, 가능 침수 구역이 54.69ha로 분포하였고, 일모답에서는 상

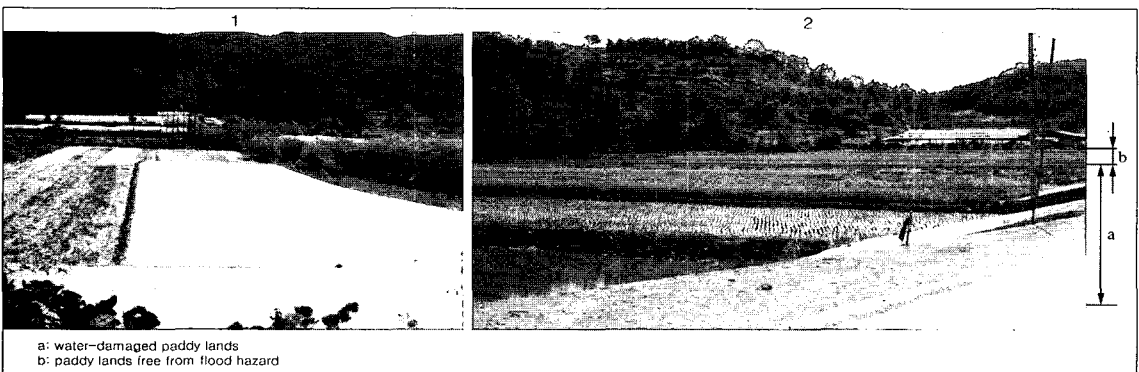


Fig. 11. Sample photos of water-damaged paddy lands taken on September 21, 2003.

습 침수 구역 14.37ha, 가능 침수 구역 36.88ha가 분포하였다. 이모답 중 마늘 재배지에서는 상습 침수 구역이 1.98ha로 면적이 작았으나 가능 침수 구역은 21.88ha로 높은 면적을 차지하였다. 이모답의 양파 재배지에서도 상습 침수 구역이 11.62ha, 가능 침수 구역이 20.67ha로 넓은 면적을 차지하였다. 한편 시설 재배지에서도 26.96ha의 가능 침수 구역이 나타났다.

분석 결과의 검증을 위한 현장 답사 결과, 등림리 초입의 낙동강 제방 인근의 농경지(그림 10-1)는 그림 11-1과 같이 장기간 침수되어 농작물의 흔적이 보이지 않을 정도로 피해를 입었고, 초곡리 입구(그림 11-2) 또한 제방으로 인해 물이 고여 있어, 제방인근의 저지대(그림 11-2, a)를 중심으로 농경지 전체가 피해를 본 지역들이 발견되었다. 다만, 논둑에 의해 형성된 60~90cm의 고저차로 인해 상부 지역에 발생한 농경지들(그림 11-2, b)은 침수피해 없이 생육상태가 양호한 것으로 파악되었다.

이처럼 침수 가능성이 높은 지역에서 이모작 농업 등의 다양한 농업활동이 유지되고 있는 원인은 소득작물인 마늘과 양파가 늦가을에 정식되어 6월 장마 전에 수확이 가능하므로 우기를 피할 수 있다는 판단으로 겨울철 소득작물의 재배가 성행하였기 때문이다. 반면에 6월 초에도 태풍 등 홍수 발생 가능성이 상존하기 때문에 상습 침수 구역과 같이 농업 여건이 열악한 구역에서의 위험한 농업활동은 지양해야 한다고 사료된다.

IV. 결론

로지스틱 회귀분석과 조각별 회귀분석법을 활용하여 창녕군 이방면의 침수 잠재성을 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 연구대상지는 우리나라 4대 하천 중의 하나인 낙동강이 인접하여 수원이 풍부하나 산악지형으로 인해 집중호우 시 수위가 급상승하게 되므로 큰 물마루를 형성하여 많은 재해를 유발시키고 있다. 때문에 낙동강의 수위에 따라 낙동강 인근에 위치한 농경지들 중심으로 상습적 침수가 발생하였고 집중호우시에는 제방고를 넘어 범람하므로, 이를 위해 고도에 따른 침수 농경지 분포지역 파악이 요구되는 바 이를 로지스틱 회귀모형으

로 분석하였다.

둘째, 농경지 침수정보 구축은 위성영상 등의 실시간 정보 수집 방법을 활용할 수 있으나, 홍수 발생 당시의 기상조건, 촬영주기 등 여러 가지 예외사항으로 인해 최고수위의 영상확보가 어려우므로 직접 현장 조사한 자료의 활용을 통하여 더 효율적 결과를 얻을 수 있으며, 따라서 지자체에서 홍수 발생시마다 구축하는 농가별 농작물 피해 조사 자료를 활용함으로써 더욱 정밀한 침수 구역 정보 구축이 가능하였다.

셋째, 정규분포하의 자료를 누적분포함수로 변환하면, 로지스틱 회귀모형으로 해석할 수 있는데, 본 연구의 고도별 침수 누적 면적 또한 동일한 형태를 가지고 있으므로 로지스틱 회귀모형으로 적용할 수 있었다. 또한 보다 정확한 침수 누적 면적 해석을 위해 조각별 회귀분석법을 추가로 활용하였으며, 그 결과 얻은 세 구간에서의 회귀식은 결정계수(R^2)는 모두 0.950 이상으로 매우 정확하였다.

넷째, 로지스틱 회귀모형 및 조각별 회귀모형으로 경남 창녕군 이방면의 농경지 침수 잠재성 분석 결과, 하천변에서 홍수 발생 시 상습적으로 침수가 되어 농업적으로 활용이 불가능한 고도는 12.12m이며, 침수 가능성이 높아 이 또한 농업적으로 이용이 어려운 가능 침수 구역은 고도 14.60m까지 나타났다. 이들 범위 내의 농지에서는 홍수를 피하여 단기간에 수확할 수 있는 전략 농업을 적용하거나, 범람하는 하천 주변의 생태계 보호 혹은 경관 보전을 위한 완충지역으로의 활용이 용이하다고 사료된다. 또한, 낙동강과 인접한 장천지구, 등림지구 및 석리지구는 집중호우에 의한 침수 가능성이 매우 높은 지역으로 분류되었고, 낙동강의 지류에 인접하여 있는 모곡들과 내동들도 침수 잠재능이 상대적으로 높았다.

이상과 같이 여름철 호우로 상습적으로 침수되는 대상지 주변 침수방지를 위해 축조된 제방들로 인해 단기간 집중호우 시 강제배수의 능력이 떨어지고 자연배수 또한 불가능하기 때문에 물의 흐름을 방해하거나 본류의 범람으로 역류되어 제방 인접 농지에 더 큰 피해를 유발하는 원인으로 작용하고 있다. 따라서 토지를 집약적으로 이용하고 있는 이들 농지에 대해서는 토지이용의 적합성 및 국토 이용의 효율성 관점에서 토지 평가와 토지 이용 재배치가 이루어져야 한다고 사료된다.

따라서 본 연구는 집중호우가 예상되는 상습 침수 구

역에서 침수피해를 방지하고 대상 농경지의 침수 가능성을 충분히 고려한 토지 이용 재배치를 위해 필수 선행 연구라는 점에서 그 의미가 있다. 그러나 대상지역의 다른 지형조건과 강우인자의 강도 및 지속시간에 따라 침수지역 및 침수 피해 정도가 다르게 해석될 가능성이 있기 때문에 향후 다양한 지형조건 및 강우인자에 의한 침수잠재성 분석이 추가로 이루어짐으로써, 얻어진 모형에 대한 신뢰성 제고의 노력이 뒤따라야 하겠다.

- 주 1. 수치표고모델이란 인공지물을 제외한 지상의 높이만을 고려하여 일정간격으로 수치화한 모형으로서, 지형은 물론 지형의 변화지점(자연적인 지성선 및 인공구조물)의 표고까지 포함하여 구축한 모형인 수치지형모델(Digital Terrain Model: DTM)과 구별된다.
- 주 2. TIN은 불규칙하게 위치해 있는 데이터의 상호 기하학적인 관계를 고려하여 지형의 3차원적인 표현을 가능케 하는 데이터 구조의 하나이다. 불규칙한 TIN구조는 정규 격자망 형태의 데이터 구조와는 달리 불규칙한 상태이므로 상호 점들간의 인식에 어려움이 있으나 지형의 특성이나 대상 지형의 경계선에 관계없이 표면을 묘사할 수 있으므로 불규칙한 경계선을 가진 DEM의 생성에 가장 이상적인 묘사방법이라 할 수 있다.
- 주 3. 자연재해대책법 제2조1항: "재해"라함은 태풍·홍수·호우·폭풍·해일·폭설·가뭄 또는 지진 기타 이에 준하는 자연현상으로 인하여 발생하는 피해를 말한다.
- 주 4. 농업재해대책법 제2조2항: "농업재해"라함은 한해·수해·풍해·냉해·우박·서리·조해·설해·동해·병충해 기타 농업재해대책심의위원회가 인정하는 자연현상으로 인하여 발생되는 농업용 시설·농경지·농작물 및 가축의 피해를 말한다.
- 주 5. 농업재해대책법시행규칙 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 농업재해대책법 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.
- 주 6. 홍수에 의해 80% 이상의 농작물이 피해를 입은 농지.
- 주 7. 침관수에 의해 80% 미만의 농작물이 피해를 입은 농지.
- 주 8. 중앙재해대책본부 2003년 9월 18일자 태풍상황보고자료 참조.

인용문헌

1. 건설교통부(2000) 1999년도 수자원 관리기법 개발연구조사 보고서(II): 한국 가능최대강수량 추정.
2. 김가현, 이영래, 서진호, 민일규(2001) 남사천 하류지역 홍수피해

- 분석. 한국환경과학회지 10(3): 217-223.
3. 김천, 정강호(1999) JERS-1 OPS 자료를 이용한 북한 회천분지 홍수피해 분석. 대한원격탐사학회 춘계학술대회 논문집.
4. 대한토목학회(1996) 토목 용어사전. pp. 1-2.
5. 박병욱, 김철, 조희섭, 김계호(1997) Landsat TM 자료를 이용한 홍수흔적 분석. 한국 GIS학회 추계학술대논문집. pp. 7-8.
6. 박영임(1996) 인공위성영상자료를 이용한 북한산국립공원 전이지대 식생 분석. 서울대 환경대학원 석사학위논문.
7. 박의정, 김철, 김석규, 이치열(2002) GIS를 이용한 함평천유역의 침수취약지역 분석. 한국지리정보학회 추계학술발표대회 논문집. pp. 48-57.
8. 박인환, 장갑수, 김종용, 박종화, 서동조(2000) 대도시에 있어 냉섬의 유형별 온도완화 효과. 한국조경학회지 28(1): 11-18.
9. 박종화, 명수정, 박영임(1995) GIS 및 원격탐사기법을 이용한 북한산 국립공원 주변부의 추이대 탐지. 한국GIS학회지 3(2): 91-102.
10. 우제운(2001) 한국지형에 적합한 수치표고모델 구축방안 연구. 건설교통부. pp. 29-41.
11. 윤용남, 김형수, 박무중, 김상단(2000) 불확실성 분석을 고려한 홍수피해 저감계획. 한국수자원학회 춘계학술발표대회 논문집. pp. 382-387.
12. 이도원, 박은진, 송동하(1995) 생태학-환경의 위기와 우리의 미래. 서울: 민음사. pp. 1-395.
13. 임상규, 장갑수(2003) 위성영상을 활용한 농경지 홍수피해 분석. 한국항공우주연구원 위성자료 공공활용 연구과제 1차년도 보고서.
14. 조규전(1998) 정규격자 수치고도모델의 생성과 정확도 분석에 관한 연구. 한국측지학회지 16(1): 121-123.
15. 창녕군(2002) 창녕군 통계연보. pp. 1-45.
16. 채미옥(2003) 신국토계획과 토지적성평가. 한국환경영향평가학회 춘계학술발표회 자료집. pp. 7-12.
17. Food and Agriculture Organization of the United Nations(1976) A framework for land evaluation. Soils Bulletin 32. Rome: FAO. S590. F68 No.32 Mann: 1-115.
18. Food and Agriculture Organization of the United Nations(1985) Guidelines: land evaluation for irrigated agriculture. Soils Bulletin 55. Rome: FAO. S590. F68 No.55 Mann: 30-78.
19. Food and Agriculture Organization of the United Nations(1991) Guidelines: land evaluation for extensive grazing. Soils Bulletin 58. Rome: FAO. S590. F68 No. 58 Mann: 1-15.
20. Food and Agriculture Organization of the United Nations(1995) Planning for sustainable use of land resources: toward a new approach. W. G. Sombroek and D. Sims. Land and Water Bulletin 2. FAO. Rome: 1-77.
21. 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.
22. Sys, C.(1991) Land Evaluation I. Brussels, Belgium: Agricultural Publications. pp. 1-72.

원 고 접 수: 2005년 2월 25일
 최종수정본 접수: 2005년 5월 9일
 3인익명 심사필