의사결정나무모형을 이용한 고속도로 주변 급경사지재해 발생가능성 예측

Prediction of Slope Hazard Probability around Express Way using Decision Tree Model

김찬기¹, 박권준^{2*}, 김종철³, 송영석⁴, 윤중만⁵

Chan-Kee Kim¹, Gueon Jun Bak^{2*}, Joong Chul Kim³, Young-Suk Song⁴, Jung-Mann Yun⁵

¹Member, Professor, Department of Civil Engineering, Daejin University, 1007 Hokook-ro, Pochun, Republic of Korea

²Non-member, Manager, Hanshin Engineering and Construction Co., 65-32, Jambwon-dong Secho-gu, Seoul, Republic of Korea

³Member, CEO, Moojin E & C, 206 Woolim e-Biz, 28, 33gil, Digital-ro, Guro-Gu, Seoul, Republic of Korea

⁴Member, Principal Researcher, Geologic Environment Division, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, 124 Gwahang-ro, Yuseong-gu, Daejeon, Republic of Korea

⁵Member, Professor, Department of Construction Information System, ShinAnsan University, 135 Shinansandeahak-ro Danwon-gu, Ansan, Republic of Korea

ABSTRACT

In this study, the prediction of slope hazard probability was performed to the study area located in Hadae-ri, Woonchun-myeon, Hoengsung-gun, Gangwon Province around Youngdong express way using the computer program SHAPP ver 1.0 developed by a decision tree model. The soil samples were collected at total 10 points, and soil tests were performed to measure soil properties. The thematic maps of soil properties such as coefficient of permeability and void ratio were made on the basis of soil test results. The slope angle analysis of topography was performed using a digital map. As the prediction result of slope hazard probability, 2,120 cells among total 27,776 cells were predicted to be in the event of slope hazards. Therefore, the predicted area of occurring slope hazards may be 53,000m² because the analyzed cell size was 5m*5m.

요 지

본 연구에서는 의사결정나무모형을 적용하여 개발된 급경사지재해 예측프로그램 SHAPP ver 1.0을 이용하여 강원도 횡성군 우천면 하대리 일대 영동고속도로 주변에 대한 급경사지재해 예측을 실시하였다. 이를 위하여 먼저 대상지역의 총 10개소에서 토층시료를 채취하고, 이에 대한 토질시험을 실시하였다. 대상지역에 대한 토질시험결과를 토대로 투수계수와 간극비에 대한 주제도를 작성하고 수치지형도를 이용하여 지형의 경사분석을 실시하였다. 이를 이용하여 급경사지재해 예측을 실시한 결과 총 27,776개의 해석셀 가운데 2,120개의 셀에서 급경사지재해가 발생될 것으로 예측되었다. 이때 해석셀의 크기는 5m×5m이므로 급경사지재해 발생예상 면적은 53,000m²으로 나타났다.

Keywords : Slope hazard probability, Decision tree model, Computer program, Express way, Natural Terrain

1. 서 론

우리나라 연평균 강우량중 절반이상이 7월과 8월에 집중되며, 이 시기에 급경사지재해가 대부분 발생한다. Olivier

et al.(1994)는 24시간 동안의 강우량이 연평균 강우량의 20%를 초과할 경우 대형 급경사지재해가 일어날 수 있다고 보고한 바 있다. 그리고 Brand(1981)는 짧은 시간에 내리는 집중강우는 지질조건이나 수문지질 조건과 관계없이 대형 급경사지재해를 일으킬 수 있다고 보고한 바 있는데 이는 집중강우가 지표물질을 완전히 포화시킬 수 있는 상태의 강우량을 의미한다.

Received 23 May. 2013, Revised 19 Jun. 2013, Accepted 20 Jun. 2013

*Corresponding author

Tel: +82-2-3393-3114; Fax: +82-2-3393-3115

E-mail address: bakgj0302@hanmail.net (G. J. Bak)

그런데 동일한 강우가 발생된 지역의 경우 급경사지재해가 발생하는 지역과 발생되지 않는 지역으로 구분된다. 이는 강우량이 급경사지재해를 발생시키는 가장 큰 요인임에도 불구하고 지형, 지반 및 지질매체의 특성에 따라 급경사지재해 발생정도가 다를 수 있음을 의미한다. 즉, 지형, 지반 및 지질매체의 공학적 특성에 따라 동일한 강우조건에서도 급경사지 재해가 발생하는 경우와 발생되지 않는 경우로 나눌 수 있다. 따라서 일정 강우조건하에서 대상지역의 어떤 지반조건 및 지질조건일 때 과연 급경사지재해가 발생하며 정량적으로 급경사지재해 발생가능성을 예측하는 것은 매우 중요한 사항이다(Song et al., 2009).

Kim et al.(2003)은 광역적인 지역을 대상으로 산사태 발생가능성을 예측하기 위하여 로지스틱 회귀모델을 이용한 산사태 예측모델을 개발한 바 있다. Hong et al.(2004)은 지형, 지질 및 지반공학적 특성을 고려하여 인공신경망 모델을 이용한 산사태 예측프로그램을 개발한 바 있다.

특히, Song et al.(2009)은 급경사지재해 현장조사 및 토질시험자료를 토대로 의사결정나무모형을 이용하여 급경사지재해 예측기법을 개발한 바 있다. 이를 위하여 최근 10년 동안 결정질암 지역에서 발생한 급경사지 재해 자료 수집 및 분석을 실시하였다. 이들 자료를 활용하여 통계적인 분석방법인 의사결정나무모형이론을 이용한 급경사

지재해 예측모델을 개발하고, 개발된 예측모델을 토대로 GIS기반의 급경사지재해 예측프로그램인 SHAPP(Slope Hazards Prediction Program) ver 1.0을 개발하였다.

본 연구에서는 Song et al.(2009)에 의하여 개발된 예측 프로그램 SHAPP ver 1.0을 이용하여 강원도 횡성군 우천면 하대리 일대 도로절개사면 주변에 대한 급경사지재해 예측을 실시하고자 한다. 이를 토대로 국가 주요시설물의 하나인 대규모 도로절개사면 주변에 대한 급경사지재해 발생가능성을 평가하고자 한다.

2. 급경사지재해 발생가능성 예측 모델 및 프로그램

2.1 예측 모델

화강암, 편마암 등과 같은 결정질암 지역에서의 급경사지재해 예측모델을 개발하기 위하여 전술한 분석자료(n=108)를 토대로 의사결정나무모형을 이용한 통계적인 분석을 실시하였다. 본 의사결정나무모형에 대한 통계분석에는 SAS와 SAS/E-miner 프로그램을 사용하였다.

Fig. 1은 통계분석 방법 가운데 카이제곱 통계량 방법과 지니지수 방법을 이용하여 의사결정나무모형 예측모델을

Fig. 1. Decision tree model to predict slope hazard probability (Song et al., 2009)

구축한 결과이다. 그림에서 보는 바와 같이 예측모델의 최상위 분리기준변수로는 사면경사가 선택되었으며, 하위 분리기준변수로는 각각 투수계수와 간극비가 선택되었다. 급경사지재해 발생을 일으키는 사면경사의 기준은 27.5° 인 것으로 나타났으며, 사면경사가 27.5° 이상인 경우 급경사지재해 발생을 일으키는 토층의 투수계수는 0.00998cm/sec 이상인 것으로 나타났다. 그리고 사면경사가 27.5° 이하인 경우 급경사지재해 발생을 일으키는 토층의 투수계수는 0.0395cm/sec 이상이며, 간극비는 0.95 이상인 것으로 나타났다.

본 프로그램은 통계적인 분석방법 가운데 의사결정나무모형을 적용하였으며, 본 프로그램에는 한계평형해석방법은 고려되지 않았다. 그리고 통계분석에 적용된 급경사지재해 발생 및 미발생 자료는 2일 강우량 200mm 이상의 자료만을 활용한 것이다.

2.2 예측 프로그램

본 프로그램은 전술한 의사결정나무모형의 급경사지재해 예측모델을 토대로 GIS기법을 적용하여 국가 주요시설물 주변에 분포하고 있는 급경사지 재해를 예측하기 위하여 개발되었다. 본 프로그램은 Slope Hazards Prediction Program의 약자를 따서 SHAPP ver 1.0(등록번호: 2008-01-129-003872)으로 명명하였다.

본 프로그램은 MS-Windows XP, 2000 등에서 호환이 가능하도록 제작하였으며, 개발에 사용된 언어는 모듈의 특성에 따라 Visual Basic을 적용하였다. 또한 GIS tool은 국내에서 가장 널리 알려져 있는 Arc계열 엔진인 ArcGIS 9.2에서 작동되도록 최적화되었다. 본 프로그램의 개발을 위하여 사용된 언어와 GIS tool을 정리하면 Fig. 2와 같이 나타낼 수 있다.

본 프로그램에서는 각종 토질조사자료 및 수치지도로부터 얻어진 자료를 GIS기법을 활용하여 도면으로 작성할 수 있는 기법과 의사결정나무모형을 이용한 예측모델을 적용하여 급경사지재해 발생여부를 판단할 수 있는 기법이 가능하도록 하였다.

Fig. 3은 GIS기반 급경사지재해 예측프로그램의 흐름도를 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 개발된 프로그램은 먼저 수치지형도로부터 얻은 지형자료를 선택 및 분석하여 사면경사를 추출하고, 시험결과로부터 얻은 토질자료(투수계수, 간극비)를 입력하여 각각의 주제도를 작성

Fig. 2. Development environment for SHAPP ver 1.0 (Song et al., 2009)

Fig. 3. Flow chart of SHAPP ver 1.0 (Song et al., 2009)

한다. 그리고 급경사지재해 예측지도 작성범위를 설정한 후 의사결정나무모형을 이용한 예측을 실시한다. 이러한 예측결과를 토대로 급경사지재해 예측지도를 작성한다.

3. 연구지역

3.1 현장개요

연구지역은 강원도 횡성군 우천면 하대리 일대로서 원

주와 횡성사이의 영동고속도로 상에 위치한 고속도로 인접 자연사면이다. Fig. 4는 대상지역의 위성사진을 나타낸 것으로서 그림내 사각형은 급경사지재해 예측 구간을 표시한 것이다. 대상지역은 영동고속도로가 동서방향으로 달리다가 서측지역에서 남서쪽으로 선형이 변경되는 지역이다.

본 지역의 지형은 북동-남서 방향의 주계곡이 발달하고 있으며, 산계의 주능선 역시 동일한 방향으로 발달하고 있다. 그러나 주능선에서 발달하는 이차능선의 경우는 북서-남동방향으로 발달하고 있으므로 본지역의 소계곡들은 대부분 북서-남동방향으로 발달하는 특징을 가진다.

연구지역 주변의 지질은 주라기 화강암류로 구성되어 있다. 본 암석은 우리나라에서 가장 넓게 분포하는 화강암

류로서 선캠브리아기 편마암류를 중생대 주라기에 관입한 대보화강암에 해당한다(Kim et al., 2001).

3.2 토질특성

연구지역 토질의 물리적 특성을 파악하고 급경사지재해 예측을 위한 입력자료로 활용하기 위하여 연구지역인 횡성군 우천면 하대리 일대 10개소에서 토층시료를 채취하였다. 시료는 연구지역에 분포하고 있는 지형조건 및 토층분포 등을 반영하고 가급적 단위면적당의 밀도비를 고려함으로써 토층의 특성이 균등하게 반영될 수 있도록 하였다. 원지반의 토층시료는 표토를 제거한 후 40-60cm 정도의 깊이에서 채취하였는데, 불교란 시료는 스테인레스로 제작된 원통형 샘플러를 이용하여 채취하였으며, 교란 시료는 비닐팩을 사용하였다. 모든 시료는 현장조건이 최대한 유지되도록 밀봉한 상태의 시료를 실험실로 운반하였다. 그리고 채취한 토층시료를 이용하여 비중, 함수비, 입도분석, 액성한계 및 소성한계 등의 물성시험을 실시하고, 실내 밀도시험을 통해 간극비, 간극율 및 포화도를 산정하였으며, 연구지역 토층에 적합한 변수위법에 의해 투수계수를 구하였다.

Fig. 5는 연구지역에 대한 지형도와 토층시료의 채취위치를 나타낸 것이며, Table 1은 채취된 토층시료에 대한 토질시험 결과를 정리한 것이다. 연구지역의 토층시료에

Fig. 4. Satellite view of study area

Fig. 5. Location of soil sample

Table 1. Soil properties in each point

Sample No.	Gs	$\omega(\%)$	USCS	e	S(%)	unit weight (t/m^3)			k (cm/sec)
						Wet	Sat.	dry	
HS-01	2.64	13.46	SW	1.06	33.54	1.46	1.80	1.28	2.02E-02
HS-02	2.63	13.43	SW-SC	1.02	34.78	1.48	1.81	1.30	7.68E-03
HS-03	2.62	3.70	SP	0.59	14.31	1.71	2.02	1.66	2.80E-02
HS-04	2.66	7.68	SP	0.73	28.03	1.66	1.96	1.54	2.00E-02
HS-05	2.67	10.54	SP	0.88	31.83	1.57	1.89	1.42	2.08E-02
HS-06	2.62	17.88	SW-SC	0.86	54.56	1.66	1.87	1.41	4.27E-03
HS-07	2.65	22.91	SW-SC	1.18	51.40	1.49	1.76	1.21	8.75E-03
HS-08	2.49	12.73	SP	0.73	43.33	1.62	1.86	1.44	2.40E-02
HS-09	2.59	21.14	SW-SM	1.14	47.88	1.46	1.74	1.21	8.08E-03
HS-10	2.59	15.21	SW	0.82	47.97	1.64	1.87	1.42	4.79E-03

대한 시험결과 토질은 화강암 풍화토로 분류되며, 입도가 양호 혹은 불량한 모래로 이루어져 있다. 그리고 일부 시료에서는 실트 및 점토질이 약간 포함되어 있는 것으로 나타났다. 대상지역 토층의 비중은 2.49-2.67의 범위에 있으며, 평균 2.62인 것으로 나타났다. 이는 모암인 화강암의 비중과 유사하며, 일반적인 모래의 비중과도 거의 같다.

대상지역 토층시료의 공극률은 36.74-54.17% 범위에 평균 46.85%의 값을 갖고, 간극비는 0.59-1.18의 범위에 평균 0.90인 것으로 나타났다. 포화도는 28.03-54.56% 범위에 평균 38.76%의 값을 갖는 것으로 나타났다. 대상지역 토층시료의 건조단위중량은 1.21-1.66 t/m^3 의 범위에 평균 1.39 t/m^3 의 값을 갖으며, 포화단위중량은 1.74-2.02 t/m^3 의 범위에 평균 1.86 t/m^3 의 값을 갖는다.

한편, 입도분석결과에 의하면 대상지역 토층의 모래 함량비는 90.58-97.79%의 범위에 있으며, 평균 95.49%로서 토층시료의 거의 대부분이 모래로 구성되어 있음을 알 수 있다. 그리고 자갈의 함량비는 평균 0.80%로서 매우 낮은 편이며, 실트 및 점토의 함량은 평균 3.71%인 것으로 나타났다. 그리고 입도분포곡선을 조사한 결과 대상지역은 양 입도(well grading)의 조건을 충족하는 경우와 빈입도(poor grading)의 조건을 충족하는 경우가 함께 존재하는 것으로 나타났다. 그리고 일부 점토질 모래(SC)와 실트질 모래(SM)도 일부 혼재하고 있는 것으로 나타났다.

대상지역 토층시료의 투수계수는 4.27×10^{-3} - 2.80×10^{-2} cm/sec 범위에 평균 1.47×10^{-2} cm/sec의 값을 갖는다. 대상지역의 투수계수 평균값은 Das(1990)에 의해 제안된 가는 모래 및 굵은 모래의 투수계수에 해당한다.

Fig. 6. Digital topographic map

4. 연구지역 급경사지재해 발생가능성 예측

연구지역을 대상으로 SHAPP ver 1.0을 이용하여 급경사지재해 예측 및 예측지도도를 작성하였다. 이를 위하여 대상지역에 대한 현장조사결과와 수치지형도를 이용하여 지형의 경사분석을 실시하였으며, 토질시험결과를 토대로 예측프로그램의 입력변수인 투수계수와 간극비에 대한 분석을 실시하였다. 그리고 이들 사면경사, 투수계수 및 간극비를 이용하여 급경사지재해 예측을 수행하였다.

Fig. 6은 급경사지재해 예측프로그램 상에서 연구지역의 CAD형식의 수치지형도를 불러서 지형자료를 입력한 것이다. 그리고 Fig. 7은 입력된 지형자료를 토대로 TIN (Triangulated Irregular Network)을 생성하여 대상지역의 고도와 사면경사를 분석한 결과이다.

Fig. 8은 대상지역에 대한 토질시료 채취위치와 각 위

Fig. 7. TIN analysis result

Fig. 9. Thematic map of void ratio

(a) Input of soil properties

Fig. 10. Thematic map of permeability

(b) Location of soil sample

Fig. 8. Input of soil information

치에 대한 토질시험결과를 입력한 것이다. 토질시험결과 가운데 투수계수와 간극비가 입력되며, 보간법의 일종인 IDW(Inverse Distance Weighting)기법을 이용하여 인자

별 주제도를 작성하였다. Fig. 9는 연구지역의 간극비에 대한 주제도를 나타낸 것이며, Fig. 10은 연구지역의 투수 계수에 대한 주제도를 나타낸 것이다. 그림에서 간극비 및 투수계수가 높은 구간이 밝은 부분으로 표현되며, 간극비 및 투수계수가 낮은 구간이 어두운 부분으로 표현하였다.

Fig. 11은 연구지역의 음영기복도를 나타낸 것이며, Fig. 12는 연구지역에 대한 급경사지재해 예측결과를 나타낸 것이다. 그리고 Fig. 13은 연구지역에 대한 급경사지재해 예측지도를 작성한 결과이다. 그림에서 보는 바와 같이 밝은 색으로 표시된 부분이 급경사지재해가 발생할 가능성이 높은 구간이다. 급경사지재해 예측결과 및 예측지도를 살펴보면 총 27,776개의 해석셀가운데 2,120개의 셀에서 급경사지재해가 발생될 것으로 예측되었다. 이때 해석셀의 크기는 $5\text{m} \times 5\text{m}$ 로 하였으며, 급경사지재해 발생예상 면적은 $53,000\text{m}^2$ 으로 나타났다.

Fig. 11. Shaded undulating map

Fig. 13. Prediction map of slope hazard probability

Fig. 12. Prediction result of slope hazard probability

5. 결 론

본 연구에서는 GIS기법과 의사결정나무모형을 적용하여 개발된 급경사지재해 예측프로그램 SHAPP ver 1.0을 이용하여 강원도 횡성군 우천면 하대리 일대 영동고속도로 주변에 대한 급경사지재해 예측을 실시하였다. 본 프로

그램에서는 각종 토질조사자료 및 수치지도로부터 얻어진 자료를 GIS기법을 활용하여 도면으로 작성할 수 있는 기법과 의사결정나무모형을 이용한 예측모형을 적용하여 급경사지재해 발생여부를 판단할 수 있는 기법이 가능하다. 급경사지재해 예측프로그램 SHAPP ver 1.0을 이용하여 고속도로 주변의 연구지역에 대한 급경사지재해 예측을 수행하였다. 이를 위하여 먼저 대상지역의 총 10개소에서 토층시료를 채취하고, 이에 대한 토질시험을 실시하였다. 대상지역에 대한 토질시험결과를 토대로 투수계수와 간극비에 대한 주제도를 작성하고 수치지형도를 이용하여 지형의 경사분석을 실시하였다. 이를 이용하여 급경사지재해 예측을 실시한 결과 총 27,776개의 해석셀 가운데 2,120개의 셀에서 급경사지재해가 발생할 것으로 예측되었다. 이때 해석셀의 크기는 $5\text{m} \times 5\text{m}$ 이므로 급경사지재해 발생예상 면적은 $53,000\text{m}^2$ 으로 나타났다. 이와 같은 급경사지재해 예측지도 작성결과를 토대로 급경사지재해가 발생할 가능성이 있는 구간의 수계를 지정하고 하부 피해 위험 예상지역을 선정하여야 할 것이다.

References

1. Brand, E. W. (1981), "Some thoughts on rainfall-induced slope failures", *Proc. 10th International Conference on Soil Mechanics Foundation Engineering*, Stockholm, The Netherlands, pp.373-376.

2. Das, B. M. (1990), *Principles of geotechnical engineering*, PWS-KENT, Boston.
3. Hong, W.P., Kim, W.Y., Song, Y.S., and Lim, S.G. (2004), "Prediction of landslide using artificial neural network model", *Journal of the Korean Geotechnical Society*, Vol.20, No.4, pp.67-75 (In Korean).
4. Kim, J.C., Ko, H.J., Lee, S.R., Lee, C.B., Choi, S.J. and Park, K.H. (2001), *1:250,000 Explanatory note of the Gangreung-Sokcho Sheet*, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, p.76 (In Korean).
5. Kim, W.Y., Chae, B.G., Kim, K.S., Cho, Y.C., Choi, Y.S., Lee, C.O., Lee, C.W., Kim, G.Y., Kim, J.H. and Kim, J.M. (2003), *Prediction and mitigation of landslide hazards*, Ministry of Science and Technology, KR-03-(T)-03, p.339 (In Korean).
6. Olivier, M. Bell, F. G. and Jemy, C. A. (1994), "The effect of rainfall on slope failure, with examples from the Greater Durban area", *Proc. 7th International Conference on IAEG*. Vol.3, pp.1629-1636.
7. Song, Y.S., Cho, Y.C., Seo, Y.S. and Ahn, S.R. (2009), "Development and its application of computer program for slope hazards prediction using decision tree model", *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, Vol.29, No.2C, pp.59-69 (In Korean).