

Fuzzy理論을 利用한 林道斜面的 崩壞可能性 評價(I)^{1*}

- 變成岩地域의 盛土斜面을 中心으로 -
車斗松² · 池炳濤³ · 吳宰憲³

Evaluation of Slope Failure Possibility on Forest Road Using Fuzzy Theory(I)^{1*}

- On the Fill Slope of the Metamorphic Rock Area -
Du Song Cha², Byoung Yun Ji³ and Jae Heun Oh³

요 약

본 연구는 변성암지역의 임도를 대상으로 비선형모델인 퍼지이론을 이용하여 임도 성토사면 붕괴가능성을 평가하였다. 그 결과는 다음과 같다.

요인별 붕괴위험도는 총노폭이 4~5m, 종단물매 2° 이하, 성토사면길이 8m이상, 성토사면경사 40° 이상, 노선위치는 능선부, 토질은 풍화암, 산지경사 40° 이상, 사면방위는 북서사면, 사면종단면형은凸형사면에서 가장 크게 나타났으며, 붕괴요인의 중요도는 성토사면길이>성토사면경사>임도위치>토질>사면방위>사면종단면형 순으로 나타났다.

퍼지이론에 의한 임도 성토사면의 붕괴가능성은 퍼지적분값이 0.485이하에서 안정, 0.620이상은 붕괴가능성이 큰 것으로 평가되었으며, 판별적중률은 74.6%로 나타났다. 또한 요인의 수준을 6개로 축소하여 붕괴가능성을 평가한 결과, 퍼지적분값이 0.441이하는 안정, 0.583이상은 붕괴가능성이 큰 것으로 나타났고, 판별적중률은 78.0%로 다소 향상되었다.

ABSTRACT

This study was carried out to evaluate the fill slope failure possibility of forest road in Metamorphic rock area using fuzzy theory which is non-linear model. The results were summarized as follows.

The potential slope failure by nine factors was mainly occurred under the such conditions as the total road width ranging from 4m to 5m, longitudinal gradients below 2°, fill slope length greater than 8m, fill slope gradients steeper than 40°, road on ridge position, soil types with weathered rock, slope gradients steeper than 40°, aspect of NW, and longitudinal slope form in convexity. The weight of importance by factors on fill slope failure was ranked in the order of fill slope length, fill slope gradient, road position, soil type, aspect and longitudinal slope form.

The analysis showed that the fill slope failure possibility was low with less than 0.485 of the fuzzy integral value and high with more than 0.620 of the value. And the discriminant accuracy was 74.6%. The analysis with six out of nine factors indicated that the possibility was low with less than 0.441 of the fuzzy integral value and high with more than 0.583 of the value. In this case, the discriminant accuracy was slightly increased to 78.0%.

Key words : slope failure possibility, potential slope failure, weight of importance, fuzzy theory, forest road

¹ 接受 1999年 8月 10日 Received on August 10, 1999.

² 강원대학교 산림과학대학 College of Forest Sciences, Kangwon National University, Chunchon, 200-701, Korea.

³ 강원대학교 대학원 Graduate School, Kangwon National University, Chunchon, 200-701, Korea.

* 본 논문은 1998년도 농림기술개발사업의 첨단과제(관리번호 298080-2)에 의한 연구결과의 일부임.

서 론

오늘날 임도는 목재수확, 인력 및 장비의 운송, 산림순시 등 산림의 집약적인 관리에 중추적인 역할을 담당하고 있을 뿐만 아니라 산촌의 교통로 역할, 레크레이션 기능, 신속한 산불진화대처 등 다목적으로 활용이 가능한 시설이다. 이에 우리나라에서는 효율적인 산림경영의 수행을 위하여 1984년부터 본격적으로 임도개설을 실시하여 1998년말 현재 총임도연장이 13,517km로서 임도 밀도는 2.1m/ha로 향상되었다. 또한 제4차 산림기본계획에 의하면 2007년까지 총 29,100km를 확충할 예정이며, 이는 매년 1,500km이상의 많은 임도를 개설해야 하는 실정이다(산림청, 1997). 그러나 임도는 시공단비의 제약으로 일반도로나 농로에 비해 사면에 대한 안정처리가 미흡하여 여름철 집중호우에 의해 사면붕괴 등과 같은 임도재해를 발생시킬 가능성이 크며, 이것으로 인하여 임도고유의 기능이 상실되고 또한 막대한 복구비용 등이 요구되고 있다.

일반적으로 임도사면의 붕괴는 기상, 토질, 임도구조, 주변환경 등 다양한 요인이 복합적으로 작용하고 있으며, 특히 강우로 인한 간극수압의 증가가 주된 원인으로, 사면경사가 급할수록 강우량에 민감하게 반응한다(高谷, 1987; 姜义默等, 1993). 이에 대한 연구로는 수량화이론을 이용하여 붕괴요인의 평가 및 예측을 실시하는 것이 대부분으로서, 특히 지질요인과 기붕괴구역에서 붕괴발생이 높고, 종단물매, 사면방위, 산지경사, 토질, 사면길이, 사면종단면형 등이 임도사면붕괴의 주요 요인으로 평가되고 있다.(近藤과 神谷, 1994; 近藤, 1995; 金鍾閔等, 1990; 車斗松과 池炳潤, 1999a, b), 그러나 이것은 타 지역에 적용이 어렵고, 붕괴자체의 유무판단에 치우쳐 있을 뿐만 아니라, 표본수가 적은 경우 혹은 Category에 반응하는 표본수가 적은 경우에는 그 영향이 과대하게 평가될 수 있으며, 다중공선성 문제를 극복하기 어려운 면도 있다. 또한 이와 같은 문제점을 극복함과 동시에 타지역에 적용할 경우 판별적중률을 높이며, 의사결정을 위하여 객관적인 평가자료를 제공할 수 있는 Fuzzy이론을 이용한 사면붕괴의 가능성을 평가하는 연구도 실시되고 있다(西等, 1992; 吉村等; 1995, 1996).

따라서 본 연구에서는 집중호우로 인하여 임도사면의 붕괴가 발생된 강원도 및 경기도의 변성암

지역 임도를 대상으로 비선형모델인 퍼지이론을 이용한 임도 성토사면 붕괴가능성을 평가하였다.

자료 및 방법

1. 조사지역

조사 지역은 '95년부터 '98년에 걸쳐서 집중호우로 임도성토사면의 붕괴가 발생한 강원도 및 경기도 지역으로 모암층이 변성암인 7개 임도, 즉 사오랑임도(1991년 개설), 상걸임도(1988년 개설), 부귀임도(1994년 개설), 번가터임도(1991년 개설), 백양임도(1993년 개설), 당림임도(1990년 개설), 설곡임도(1994년 개설)를 대상으로 총 232개소(붕괴군 133개소, 안정군 99개소)이다.

2. 조사항목 및 방법

조사항목은 총노폭(노폭+옆도랑)(m), 성토사면길이(m), 종단물매($^{\circ}$), 성토사면경사($^{\circ}$), 산지경사($^{\circ}$), 사면방위, 노선위치, 토질 및 사면종단면형 등으로 총 9개 요인이며, 조사방법으로 길이 및 경사관련 요인은 줄자 및 경사계로, 사면방위는 8방위로, 노선위치는 직선부, 계곡부, 능선부로, 토질은 토사, 호박돌토사, 풍화암, 연암, 경암으로, 사면종단면형은 직선형,凹형,凸형으로 구분하여 조사하였다.

3. 분석방법

여러 가지 속성을 갖는 평가대상들의 비선형적인 관계를 규명하고, 평가하고자 하는 객체의 모호성을 판단할 수 있는 퍼지 이론인 퍼지적분을 이용하여 그림 1과 같이 ①붕괴와 관련된 각 요인에 대해 Category를 설정한 후 ②각 Category의 안정군에 대한 붕괴군의 상대비율인 붕괴발생비로서 붕괴위험도를 산출하여, ③요인의 중요도로 구성된 λ 퍼지척도와 함께 임도성토사면의 붕괴가능성을 평가하였으며, 또한 중요도가 낮은 요인을 제거한 후 ②~③의 방법으로 사면붕괴 가능성을 재평가하였다.

결과 및 고찰

1. 임도성토사면의 붕괴가능성 평가를 위한 퍼지이론

임도사면에서 붕괴요인을 $x_1 \sim x_n$ 이라고 할 때 임도사면의 붕괴를 나타내는 유한집합 X 는 식(1)

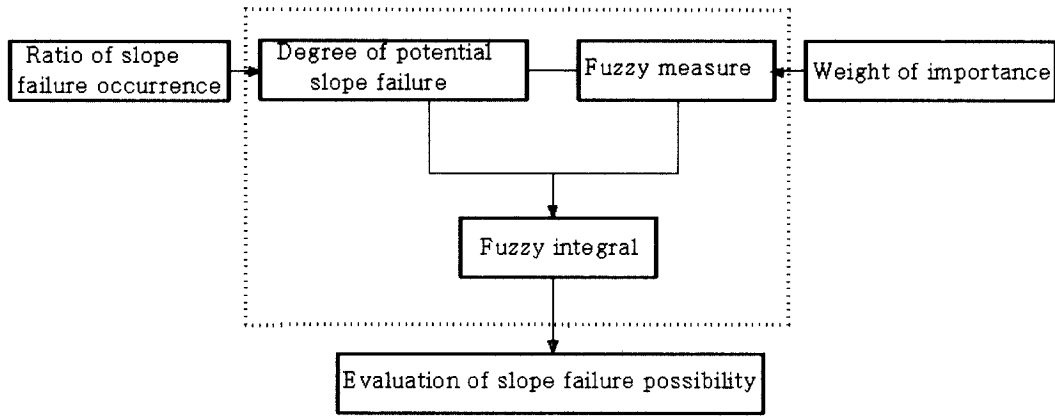


Fig. 1. Flow chart for evaluation of slope failure possibility in forest road using fuzzy integral.

과 같다.

$$X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\} \quad (1)$$

여기서 $x_1 \sim x_n$ 는 임도사면의 붕괴요인이다.

각 요인별로 임도사면의 붕괴위험도를 $h(x_i)$ 라 한다면, 요인의 Category별로 단조성을 만족하도록 붕괴위험도를 크기별로 다음 식(2)와 같이 재배열한다. 이것은 임도사면의 붕괴를 나타내는 집합 X 중 어떤 요인 x_i 에 대해서 Category별로 0과 1사이의 정량화한 값으로, 요인의 Category별로 붕괴위험도의 크기순서로 나열한 것이다.

$$h(x_1) \geq h(x_2) \geq h(x_3) \geq \dots \geq h(x_n) \quad (2)$$

그리고 임도사면 붕괴에 관여하는 요인의 중요도는 붕괴 및 안정군의 평가시 요인별 가중치로서, 붕괴 평가에 대한 각 요인의 기여정도를 평가하는 척도가 되며, 다음 식(3)과 같이 산출하였다.

$$H_i = \max(a_{ik}) - \min(a_{ik}) \quad (3)$$

즉, 상관비 η^2 를 최대로 하는 고유벡터(Eigen-vector) a 를 산출한 후, 각 요인내의 Category에 부여된 고유벡터값의 최대값과 최소값의 차이로서 중요도(H_i)를 결정하였다.

이와 같이 임도사면의 붕괴위험도($h(x_i)$)와 붕괴요인의 중요도로 구성된 퍼지척도($g(H_i)$)를 통해 이루어지는 퍼지적분은 다음 식(4)과 같이 나타낼

수 있다.

$$\int_X h(x_i) \circ g = \bigvee_{i=1}^n [(h(x_i)) \wedge g(H_i)] \quad (4)$$

또한 H_n 은 집합 X 의 n 개의 부분집합으로 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$H_n = \{x_1, x_2, x_3, \dots, x_n\} \quad (5)$$

이때 퍼지척도 $g(H_i)$ 는 최대값이 1이 되는 가법성을 지니게 된다. 산출모형은 그림 2와 같으며, 각 요인의 $h(x_i)$ 와 $g(H_i)$ 의 결합에서 나타나는 최소값중에 최대값을 취하여 퍼지적분값을 산출할 수 있다. 그러나 퍼지적분의 가법성의 조건으로부터 여러 요인의 결합으로 인해 중요도 값이 1을 초과하는 경우, 0과 1사이의 값을 가지도록 다음과 같은 λ 퍼지척도를 사용하였다.

E 와 F 가 임도사면의 붕괴를 나타내는 집합 X 의 부분집합이고 $E \cap F = \emptyset$ 일 때

$$g_\lambda(E \cup F) = g_\lambda(E) + g_\lambda(F) + \lambda g_\lambda(E) \cdot g_\lambda(F), \quad -1 < \lambda < \infty \quad (6)$$

여기서, λ 는 매개변수로서 $\lambda > 0$ 이면 $g_\lambda(E \cup F) > g_\lambda(E) + g_\lambda(F)$ 와 같이 g_λ 는 초과산성을 갖고, $\lambda = 0$ 이면 $g_\lambda(E \cup F) = g_\lambda(E) + g_\lambda(F)$ 와 같이 확률측도와 일치하는 가산성을 가지며, $\lambda < 0$ 이면 $g_\lambda(E \cup F) < g_\lambda(E) + g_\lambda(F)$ 와 같이 저가산성을 갖는다. 만약 $g^j = g_\lambda(\{x_j\})$ 으로 놓으면 다음

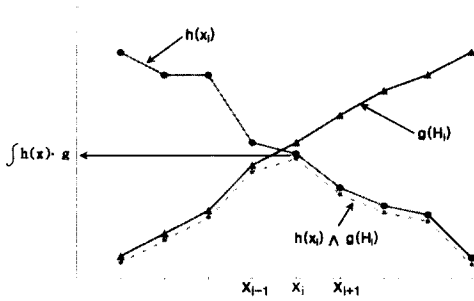


Fig. 2. Calculation of fuzzy integral.

식(7)과 같다.

$$g_\lambda(H_i) = g^i + g_\lambda(H_{i-1}) + \lambda \cdot g^i \cdot g_\lambda(H_{i-1})$$

$$= \frac{1}{\lambda} \left[\prod_{k=1}^i (1 + \lambda g^k) - 1 \right] \quad (7)$$

여기서 사면붕괴의 평가에 사용된 요인들을 x_1, x_2, \dots, x_n 이라고 하면 $g(x_1, x_2, \dots, x_n) = 1$ 이 되어야 한다. 따라서 g^i 로 치환된 식을 통해 임도사면붕괴의 평가에 사용된 모든 요인들에 대한 척도의 합이 1이라는 조건으로부터 $n-1$ 차식을 풀면 매개변수 λ 의 값을 구할 수 있다.

2. 임도 성토사면의 요인별 붕괴위험도 및 중요도

임도성토사면의 붕괴요인별 Category의 결정은 표 1과 같다. 노선위치와 사면종단면형은 3단계, 총노폭, 종단물매, 성토사면경사 및 산지경사는 4단계, 토질은 5단계, 성토사면길이는 7단계, 사면방위는 8단계로 결정하였다.

각 요인의 붕괴위험도는 Category별로 각 조사구의 요인별 안정군에 대한 붕괴군의 상대비율인 붕괴발생비를 구한 후, 최대값이 1이 되도록 정규화하여 산출하였으며, 그 결과는 그림 3과 같다.

총노폭의 붕괴위험도는 4~5m사이에서 가장 높게 나타났고, 6m이상에서 가장 작게 나타났으나, 사면붕괴에는 그다지 큰 영향을 주지 않는 것으로 보여진다.

일반적으로 산지경사가 완만하거나, 임도개설이 용이한 지역에서는 노폭이 임도시설규정상 1급임도 노폭(5m)보다 커지는 경향이 있으나, 성토사면의 길이가 길지 않아 구조적인 안정을 갖고 있다. 그러나 산지경사가 급한 곳이거나, 임도개설이 곤란한 지역에서는 대개 임도시설규정에서 정하고 있는 총노폭(4~5m)으로 개설되는 경향이 있으므로, 이와 같은 지역에서 사면붕괴의 위험도가 높게 나타난 것으로 사료된다.

종단물매의 붕괴위험도는 2° 이하에서 붕괴위험이 가장 높게 나타났고, 2~4° 사이에서 가장 적게 나타났다. 일반적으로 종단물매가 작은 경우 유수의 흐름이 정체되어 성토내부로 물의 침투를 가속시킬 수 있고, 성토내부가 과포화됨으로서 토피무게가 증가되어 붕괴발생 위험이 증가할 것으로 판단된다. 그러나 붕괴위험도의 값의 차이가 Category별로 크지 않게 나타나 붕괴에는 직접적인 요인으로 작용하지 않는 것으로 판단된다.

성토사면길이의 붕괴위험도는 4m이하에서 가장 작게 나타났고, 8m이상에서는 성토사면길이가 길수록 붕괴위험도는 증가하는 것으로 나타났다. 西等(1992) 및 近藤과 神谷(1995)의 연구에서도

Table 1. Categories of items by slope failure occurrence in fill slopes of forest road

Item	Category							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Total road width(m)	<4	4~5	5~6	6<				
Longitudinal gradients(°)	<2	2~4	4~6	6<				
Fill slope length(m)	<4	4~6	6~8	8~10	10~12	12<		
Fill slope gradients(°)	<30	30~35	35~40	40<				
Road position	slope	valley	ridge					
Soil types	soil	gravelly sandy soil	weathered rock	soft rock	hard rock			
Slope gradients(°)	<30	30~35	35~40	40<				
Aspect of direction	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
Longitudinal slope forms	straight	concave	convex					

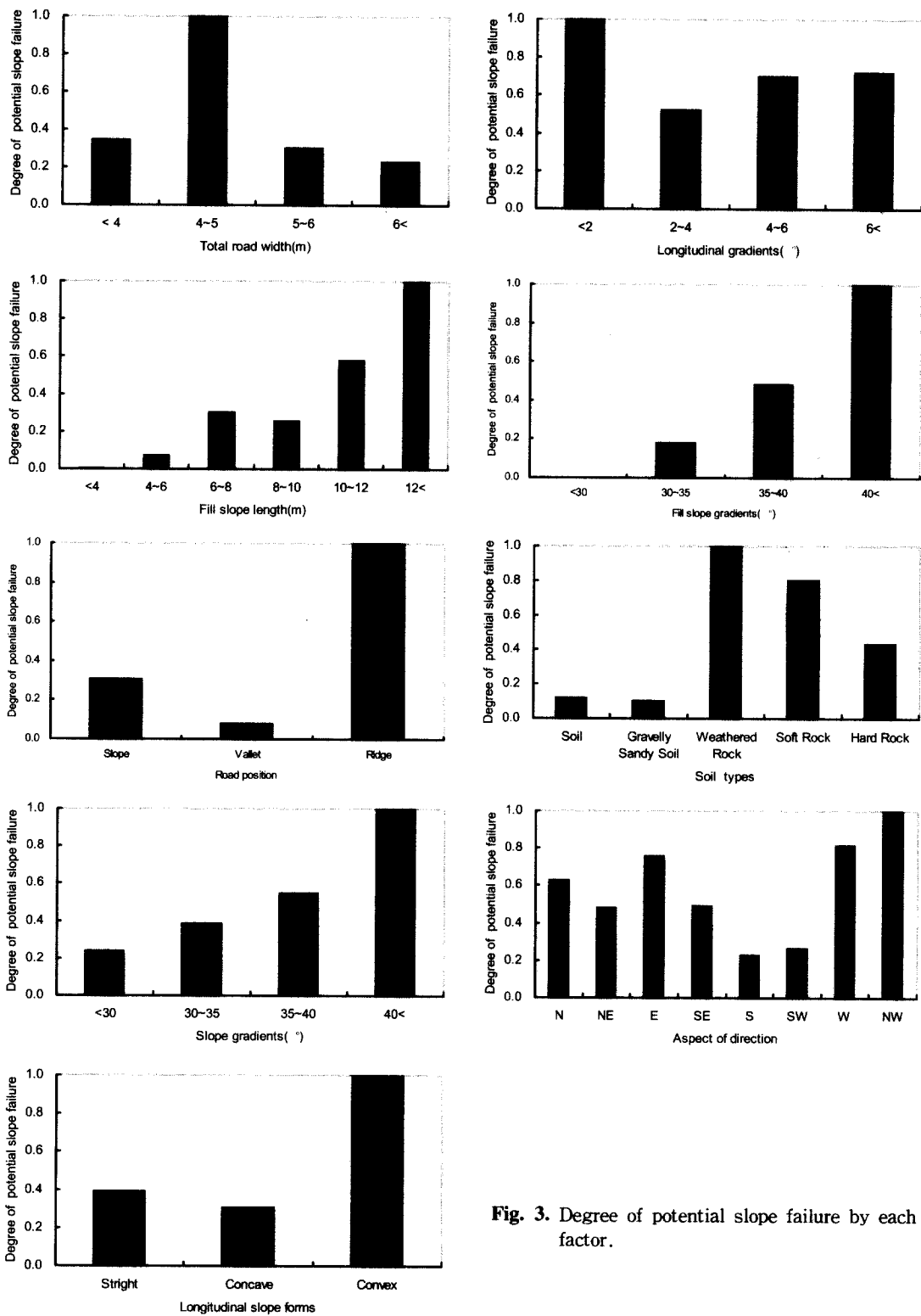


Fig. 3. Degree of potential slope failure by each factor.

성토사면 길이가 높을수록 성토되는 토량이 많게 되어 붕괴위험이 커지는 것으로 나타나, 장대 사면에 대하여는 적절한 수준으로 길이를 제한하거나, 부득이한 경우 소단의 설치 및 붕괴역지공법의 적용이 필요할 것으로 판단된다.

성토사면경사의 붕괴위험도는 30° 이하에서 가장 작게 나타났고, 40° 이상에서 큰 것으로 나타났다. 이것은 車斗松과 池炳潤(1999b)이 35° 이상에서는 붕괴위험이 있고, 金鍾閔 等(1990)의 임도 피해발생은 35~40° 사이에서 특히 높다는 기존 연구결과와 유사한 경향을 보여주고 있다. 따라서 성토사면의 안식각을 35° 수준으로 본다면, 35° 이상에서 경사가 급할수록 붕괴위험이 있는 것으로 판단된다.

임도 노선위치의 붕괴위험도는 계곡부에서 가장 작게 나타났고, 능선부에서 높게 나타났다. 일반적으로 계곡부의 경우는 임도개설시 토량발생이 적고, 성토사면길이가 비교적 짧으며 집수정 및 속도랑 등의 배수시설을 설치하여 성토사면의 붕괴발생을 억지하나, 능선부의 경우는 토량발생이 많고, 사면의 길이가 증가하나 적절한 유토를 실시하지 않아 붕괴위험이 큰 것으로 사료된다. 따라서 임도개설시 능선부에 대하여 과다한 토량을 적절하게 유토시켜 붕괴발생을 억지하여야 할 것으로 판단된다.

토질에 대한 붕괴위험도는 호박돌 토사의 경우가 가장 적고, 풍화암과 연암에서 큰 것으로 나타났다. 일반적으로 풍화암과 연암지역은 주로 사면경사가 급한 지역이며, 임도의 굴착작업시 암석이 쉽게 파쇄되어 토립자가 세립화되고, 강우시 사면이 포화되면 임도사면의 토괴중량이 타 경우보다 증가됨으로서 붕괴위험이 클 것으로 판단된다. 이와 같은 연구결과는 車斗松과 池炳潤(1999b), 金鍾閔 等(1990)의 결과와 유사하게 나타났으며, 西 等(1992)은 사면붕괴에 있어서 풍화층이 두꺼울수록 붕괴규모가 크다고 하였다.

산지경사는 30° 이하에서 안정, 40° 이상에서 붕괴위험도가 큰 것으로 나타났다. 이것은 산지경사가 급할수록 일정노폭을 확보하기 위하여 성토량이 상대적으로 많아지므로 붕괴위험이 커지는 것으로 판단된다(車斗松과 池炳潤, 1999b; 吉村 등, 1995, 1996).

사면방위의 붕괴위험도는 북서사면에서 가장 크게 나타났고, 남사면에서 가장 작은 것으로 나타났으나 일정한 경향을 보이고 있지 않으며, 사

면중단면형의 붕괴위험도는凸형 사면에서 가장 크게 나타났고, 凹형 사면에서 가장 작게 나타났다. 이것은 대부분 능선부에서凸형 사면이 많이 출현하고, 계곡에서는凹형 사면이 많이 나타나 는 것과 상관이 깊은 것으로 사료된다.

또한 식(3)에 의하여 산출한 임도 성토사면 붕괴에 관여하는 요인의 중요도는 그림 4와 같다. 성토사면길이의 중요도가 0.47로서 가장 붕괴에 크게 기여하는 것으로 나타났고, 성토사면경사 0.27, 임도위치 0.24, 토질 0.18, 사면방위 0.16, 사면중단면형 0.15, 총노폭 0.14, 산지경사 0.11, 종단물매 0.09 순으로 나타났다. 요인의 중요도는 붕괴발생에 영향을 주는 정도에 따라 각 요인에 주어지는 가중치로서, 중요도 값의 크기가 클수록 붕괴발생 유무에 영향을 많이 주게 된다. 따라서 성토사면길이는 타요인에 비하여 붕괴발생에 큰 영향을 미치는 것으로 나타나, 임도개설시 우선적으로 사면길이가 길어지지 않도록 신중을 기할 필요가 있는 것으로 사료된다.

3. 퍼지적분에 의한 임도성토사면의 붕괴가능성 평가

임도성토사면의 붕괴가능성 평가는 퍼지적분을 이용하였고, 퍼지적분은 요인별 붕괴위험도와 중요도로 구성된 λ 퍼지척도를 이용하여 종합적으로 평가하는 방법으로 식(7)에 의한 λ 값은 저가 산성인 -0.8166으로 나타났으며, 사면의 붕괴가능성을 판정한 결과는 그림 5와 같다.

퍼지적분값 0.50~0.55사이의 구간은 붕괴군의 상대빈도율과 안정군 상대빈도율이 매우 비슷한 값으로 붕괴판정의 유무가 매우 모호한 상태를 나타내고 있으며, 퍼지적분값이 0.55 이상에서는 1에 가까울수록 붕괴가능성이 증가하고 0.50 이하에서는 0에 가까울수록 안정성이 증가한다. 또한 보다 명확한 붕괴유무는 안정군의 퍼지적분값 평균인 0.485이하를 기준으로, 붕괴군의 평균인 0.620이상을 기준으로 판정하는 것이 바람직할 것으로 사료된다.

임도성토사면의 붕괴가능성 평가에서 퍼지적분값 0.55를 기준으로 산출한 판별적중률은 표 2와 같이 붕괴군은 총 133개소중 26개가 오분류되어 오분류율은 19.5%, 안정군은 총 99개소중 33개가 오분류되어 오분류율은 33.3%로 나타났고, 전체적인 판별적중률은 총 232개소중 173개소가 적중하여 74.6%로 나타났다.

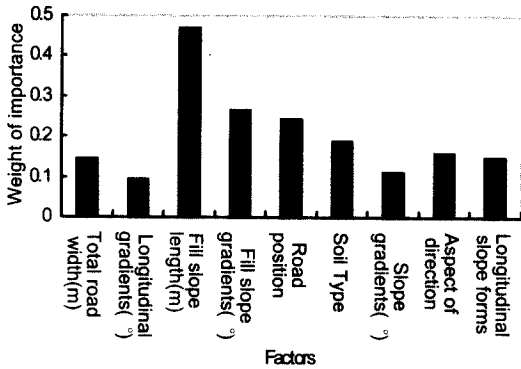


Fig. 4. Weight of importance of each factor using correlation ratios.

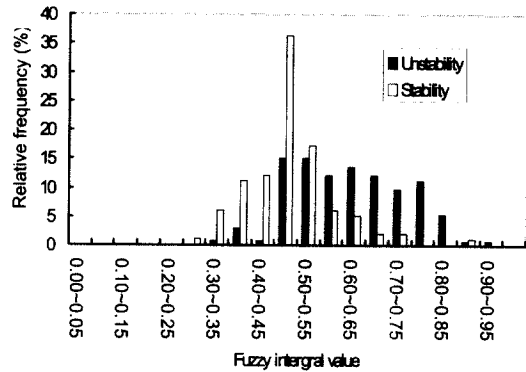


Fig. 5. Relative frequency distribution of fuzzy integral value with nine factors.

Table 2. Summary of discrimination by fill slope failure possibility with nine factors.

	Discriminated to 'Stability'	Discriminated to 'Instability'	Total
Sample of instability	26(19.5%)	107(80.5%)	133(100%)
Sample of stability	66(66.7%)	33(33.3%)	99(100%)

Table 3. Summary of discrimination by fill slope failure possibility with six factors.

	Discriminated to 'Stability'	Discriminated to 'Instability'	Total
Sample of instability	14(10.5%)	119(89.5%)	133(100%)
Sample of stability	62(62.6%)	37(37.4%)	99(100%)

또한 임도성토사면의 붕괴가능성 평가에서 판별적중률을 동일 수준 또는 그 이상으로 높이기 위하여 요인의 중요도중 기여정도가 아주 낮거나, 공선성 문제가 야기되는 총노퍽, 중단물매, 산지경사의 3개 요인을 제외한 성토사면길이, 성토사면경사, 임도위치, 토질, 사면방위, 사면중단면형의 6개 요인으로 사면의 붕괴가능성을 재평가하였다.

요인 제외 후에 재산출한 λ 퍼지척도의 λ 값 역시 -0.6705로서 저가산성으로 나타났으며, 평가 결과는 그림 6과 같다.

붕괴유무에 대한 퍼지적분값은 요인제외전의 값과 유사하게 나타났으나, 붕괴군과 안정군의 퍼지적분값의 평균에서 다소의 차이를 보여주고 있다. 따라서 보다 명확한 붕괴유무는 안정군의 퍼지적분값 평균인 0.441이하를 기준으로, 붕괴군의 평균인 0.583이상을 기준으로 판정하는 것이 바람직할 것으로 사료된다.

또한 6개 요인으로 재분석한 임도성토사면 붕괴가능성 평가의 판별적중률은 표 3과 같이 붕괴

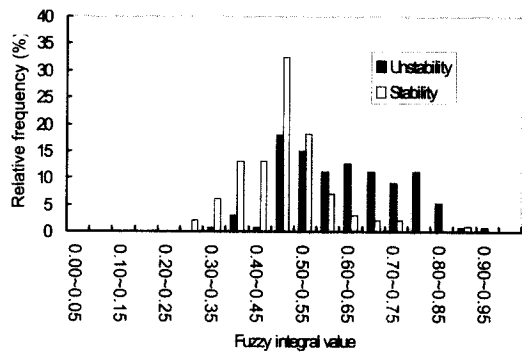


Fig. 6. Relative frequency distribution of fuzzy integral value with six factors.

군은 총 133개소중 14개소가 오분류되어 오분류율은 10.5%, 안정군은 총 99개소중 37개가 오분류되어 오분류율은 37.4%로 나타났고, 전체적인 판별적중률은 총 232개소중 173개소가 적중하여 78.0%로 다소 증가하는 것으로 나타났다.

이상과 같이 요인 제외 후에 판별정도는 요인제외전보다 향상되어 요인의 중요도가 아주 작은 경

우 또는 다른 요인과의 다중공선성 문제가 야기되는 요인은 판별정도가 감소하지 않는 범위에서 적절하게 요인의 수를 제거하여 붕괴가능성을 평가하는 것이 시간과 경비 및 노력을 줄일 수 있을 뿐만 아니라 보다 명확한 판별이 가능할 것으로 판단된다.

결 론

본 연구는 강원도 및 경기도의 변성암지역 임도를 대상으로 비선형모델인 퍼지이론을 이용한 임도성토사면의 붕괴가능성에 대한 평가를 실시하였다.

요인별 붕괴위험도는 총노퍽이 4~5m, 종단물매 2° 이하, 성토사면길이 8m이상, 성토사면경사 40° 이상, 노선위치는 능선부, 토질은 풍화암, 산지경사 40° 이상, 사면방위는 북서사면, 사면종단면형은凸형사면에서 가장 크게 나타났으며, 붕괴요인의 중요도는 성토사면길이>성토사면경사>임도위치>토질>사면방위>사면종단면형 순으로 나타났다.

퍼지이론에 의한 임도 성토사면의 붕괴가능성 평가결과는 퍼지적분값이 0.485이하에서 안정, 0.620이상은 붕괴가능성이 큰 것으로 나타났으며, 판별적중률은 74.6%로 나타났다. 또한 요인의 수준을 6가지로 축소하여 사면의 붕괴가능성을 재평가한 결과, 퍼지적분값이 0.441이하는 안정, 0.583이상은 붕괴가능성이 큰 것으로 나타났으며, 판별적중률은 78.0%로 다소 향상되었다.

이상과 같이 비선형적 모델인 퍼지이론에 의한 임도성토사면의 붕괴가능성 평가는 기존의 사면 붕괴의 평가 및 예측에 이용되고 있는 방법들의 문제점인 지역성, 표본수 및 공선성의 문제점들을 다소 극복할 수 있으며, 향후 임도의 붕괴가능성 평가시에 붕괴가능성을 0~1사이의 값으로 가능성 지수를 표현함으로써 즉, 임도사면 붕괴가능성을 어느 정도의 수준에서 결정할 것인가는 평

가자의 주관에 따라 그 기준을 유동적으로 사용할 수 있어서 비전문가에 의한 사면붕괴 예측시 보다 명확하고, 객관적인 자료제시가 가능할 것이다.

인 용 문 헌

1. 姜义默·李達遠·池仁澤·趙在弘. 1993. 盛土斜面的 崩壞에 關한 實驗的 研究. 韓國農工學會誌 35(3) : 47-62.
2. 金鍾閔·李海周·李鳳洙·吳世一. 1990. 數量化에 의한 林道 被害原因 分析. 林研研報 41 : 36-62.
3. 산림청. 1997. 제4차 산림기본계획. 255pp.
4. 차두송·지병윤. 1999a. 춘천 가리산지역 임도성토사면의 붕괴위험예측. '99년 하계한국임학회학술발표회지 : 168-169.
5. 車斗松·池炳潤. 1999b. 數量化II類에 의한 林道 盛土斜面的 崩壞危險 評價 및 豫測. 韓林誌 88(2) : 240-248.
6. 近藤惠市. 1994. 溪流橫斷部における林道災害の研究. 静岡大學農學部演習林報告 18 : 45-75.
7. 近藤惠市·神谷信按. 1995. 赤石山地南部における林道災害危險個所の要因分析. 森林學誌 10(3) : 205-212.
8. 西 邦正·古川浩平·中川浩二. 1992. Fuzzy理論を用いたのり面の崩壞要因および崩壞可能性の評價について. 土木學會論文集 445 : 109-118.
9. 高谷精二. 1987. のり面保護工の基礎と應用. 山海堂. 162pp.
10. 吉村哲彦·赤羽 元·神崎康一. 1995. Fuzzy理論を用いた林道のり面の崩壞危險度判定法. 森林學誌 10(3) : 195-204.
11. 吉村哲彦·赤羽 元·宮崎裕之·神崎康一. 1996. Fuzzy積分による林道のり面の崩壞危險度判定法. 森林學誌 11(3) : 165-172.