

수량화 II 류에 의한 임도절토사면의 붕괴요인 평가

차 두 송¹⁾ · 지 병 윤²⁾

The Evaluation of Failure Factors on Cutting Slopes of Forest Road by Quantification Theory(Ⅱ)

Du-Song Cha¹⁾ and Byoung-Yun Ji²⁾

요 약

본 연구는 집중호우로 인하여 절토사면의 붕괴가 발생한 임도를 대상으로 수량화이론(Ⅱ)을 이용하여 붕괴요인을 평가하였다. 그 결과는 다음과 같다.

임도 절토사면의 붕괴발생에 미치는 요인의 영향은 절토사면길이, 겹보기 토질, 사면방위, 절토사면경사, 산지경사 등 5개 요인이 가장 크게 나타났다. 특히, 절토사면길이는 8m이상, 겹보기 토질은 토사, 사면방위는 북사면, 절토사면경사는 60° 이상, 산지경사는 35~40° 사이에서 사면붕괴에 기여도가 가장 크게 나타났다.

ABSTRACT

On the basis of data obtained from forest road collapsed due to a heavy rainfall, this study carried out to evaluate the cutting slope failure factors of forest road by using Quantification theory(Ⅱ). The results were summarized as follows. The factors on cutting slope failure was ranked in the order of cutting slope length, soil type, aspect, cutting slope gradients and slope gradients. And the slope failure was mainly occurred under such conditions as cutting slope length longer than 8m, soil type with soil, aspect of N, cutting slope gradients steeper than 60° and slope gradients greater than 35~40°.

Key word : cutting slope failure, discriminant ratio, Quantification theory(Ⅱ), forest road

서 론

오늘날 임도는 목재수확, 인력 및 장비의 운송, 산림순시 등 산림의 집약적인 관리에 중추적인 역할을 담당하고 있을 뿐만 아니라 산촌의 교

통로 역할, 레크레이션 기능, 신속한 산불진화대처 등 다목적으로 활용이 가능한 시설이다. 특히, 최근의 어려운 임업현실을 감안할 때 임업의 기계화를 통한 경쟁력 있는 임업의 육성이 필요하며, 임도는 기계화의 선행조건으로서 필수불가결한

1) 강원대학교 산림과학대학 College of Forest Sciences, Kangwon Nat'l University, Chunchon 200-701, Korea.

2) 임업연구원 중부임업시험장 Chungbu Forest Experimental Station, Forestry Research Institute, Pocheon 487-829, Korea.

임업생산기반시설로 인식되고 있다. 그러나, 임도 개설로 인한 지형의 개변, 식생의 변화, 야생동물의 서식처 파괴, 임도사면의 붕괴, 산사태 유발, 사면의 침식에 따른 토사유출 등과 이로 인한 산림의 미적경관의 훼손은 임도에 대한 사회의 부정적 시각을 증폭시키고 있다.

우리나라 임도시설의 대부분은 저비용구조인 토공작업을 위주로 개설되기 때문에 집중강우시에 임도노체유실 및 임도사면붕괴 등의 1차적 피해가 발생되며, 이로 인한 산사태, 토사유출, 하류수계의 수질오염 등의 2차적인 피해를 유발하며, 산림 휴양, 위락기능 저하 및 일부에 있어서는 지역교통로 역할을 저해시키는 3차적인 피해를 야기시키고 있다. 그러므로 임도사면붕괴를 미연에 방지하고, 그 다양한 기능을 발휘할 수 있도록 지속적인 임도에 대한 사전 및 사후관리가 필요할 것이다. 그러나 우리나라의 경우 매년 집중호우시 임도사면의 붕괴가 발생되고 있는 실정이나, 임도사면 붕괴의 메카니즘의 파악 및 그에 따른 붕괴발생의 기준정립이 아직 미흡한 실정임에 대한 연구가 시급히 이루어져야 할 것이다.

따라서 본 연구는 집중호우로 인하여 임도절토사면의 붕괴가 발생된 지역을 대상으로 임도의 구조적 인자, 지형적 인자, 환경적 인자 등을 조사 분석하여 임도사면 붕괴요인을 평가함으로써 각 요인의 붕괴발생 기준을 마련하고자 실시하였다.

자료 및 방법

1. 조사지역

임도절토사면의 붕괴요인을 평가하기 위하여 그림 1과 같이 강원도 및 경기도, 그리고 경상북도 지역의 임도를 대상으로 하였으며, 조사지역의 임도현황은 표 1과 같다. 강원도지역은 8개 시·군을 대상으로 26개 노선 264km, 경기도지역은 2개 군을 대상으로 4개 노선 43.90km, 그리고 경상북도지역은 1개 군을 대상으로 3개 노선 23.86km를 조사하였다.

절토사면에 대한 조사개소는 총 690개소로 붕괴지는 141개소, 안정지는 549개소를 조사하였다.



그림 1. 임도절토사면의 붕괴대상지역

2. 조사항목

임도사면의 붕괴요인의 평가를 위하여 붕괴에 관여하는 요인은 기존의 임도사면 붕괴에 관한 연구(中尾와 森田, 1973; 지병윤과 차두송, 1999; 차두송과 지병윤, 1998; 近藤과 新谷, 1995; 久保村과 武井, 1971)에서 임도사면 붕괴와 밀접하게 관련된 인자인 절토사면길이(m), 절토사면경사($^{\circ}$), 임도위치, 사면방위, 사면종단면형, 산지경사($^{\circ}$), 겹보기 토질, 식생피복율(%) 등의 8개 요인을 선정하였으며, 직접적인 붕괴유발요인인 강우인자에 대해서는 모든 임도사면에 동일하게 작용하는 것으로 사료되어 해석요인에서 제외하였다.

3. 조사방법

임도사면붕괴 조사는 능선부의 곡선시점부터 종점, 계곡부의 곡선시점부터 종점, 그리고 그 외의 구간은 사면부로 구분하여 각 임도의 시점으로부터 안정지 및 붕괴지에 대한 조사를 실시하였다.

임도위치는 사면부, 계곡부, 능선부로 구분하였으며, 사면방위는 8방위로, 사면종단면형은 산지사면의 형상으로凹형,凸형,직선형으로, 겹보기 토질은 보통토사, 호박돌 토사, 풍화암, 연암, 경암으로, 식생피복율(%)은 소(식생피복 30%이하), 중(식생피복 30~60%), 밀(식생피복 60%이상)로 구분하여 조사하였다.

표 1. 조사대상 임도의 일반적 현황

| 지자체 | 시·군 | 임도명 | 임도개설년도 | 시설거리 (km) | 시설거리 소계(km) |
|-------|-----|---------|--------|--------------|----------------|
| 강 원 도 | 춘천 | 사오랑 | 1991 | 8.98 | 67.82 |
| | | 상결 | 1988 | 20.74 | |
| | | 부귀 | 1994 | 10.56 | |
| | | 변가터 | 1991 | 10.16 | |
| | | 백양 | 1993 | 8.68 | |
| | | 당림 | 1990 | 8.70 | |
| | 화천 | 방천 I | 1992 | 9.65 | 19.43 |
| | | 방천 II | 1994 | 9.78 | |
| | 철원 | 잠곡 I | 1992 | 8.4 | 24.3 |
| | | 잠곡 II | 1993 | 4.4 | |
| | | 잠곡 III | 1995 | 4.0 | |
| | | 잠곡 IV | 1996 | 7.5 | |
| | 정선 | 용산 I | 1989 | 9.00 | 29.5 |
| | | 용산 II | 1990 | 10.50 | |
| | | 도전 | 1991 | 10.00 | |
| | 강릉 | 삼당령 I | 1993 | 10.00 | 36.98 |
| | | 삼당령 II | 1994 | 16.72 | |
| | | 삼당령 III | 1995 | 10.26 | |
| | 양양 | 수리 I | 1998 | 2.83 | 8.48 |
| | | 수리 II | 1999 | 5.65 | |
| 평창 | 계촌 | 1993 | 20.52 | 29.53 | |
| | 신림 | 1996 | 9.01 | | |
| 삼척 | 중마읍 | 1995 | 16.00 | 48.17 | |
| | 양림 | 1995 | 13.23 | | |
| | 하마읍 | 1996 | 9.84 | | |
| | 주지 | 1997 | 9.10 | | |
| 경 기 도 | 가평 | 설곡 | 1994 | 8.56 | 8.56 |
| | | 갈운 | 1996 | 9.88 | |
| | 양평 | 계정 I | 1991 | 11.62 | 35.34 |
| | | 계정 II | 1991 | 13.84 | |
| 경상북도 | 춘양 | 우구치 I | 1992 | 11.80 | 23.86 |
| | | 우구치 II | 1995 | 7.36 | |
| | | 서벽 | 1998 | 4.70 | |

4. 분석방법

임도 붕괴요인평가는 수량화Ⅱ류에 의해 실시하였으며, 이 방법은 각 요인의 카테고리에 주어지는 계수의 값의 대소에 따라 붕괴유무의 관여 정도를 평가할 수 있다. 또한 범위값과 편상관계수의 값으로 붕괴위험요인의 평가가 가능하다. 즉, 수량화이론이란 질적인(정성적) 변수와 양적인(정량적) 변수의 각각의 범주에 수량을 부여하는 통계적 수법으로 임도 사면의 안정성 평가에 주로 이용되고 있는 방법이며, 질적인 형으로 주어진 외적기준(목적변수)을 예측 혹은 판별하는 방법이다.

결과 및 고찰

1. 임도 절토사면의 요인별 Category의 결정

임도 절토사면의 붕괴요인별 Category의 결정은 표 2와 같이 요인의 특성을 명확하게 표현될 수 있도록 적절히 구분하였다. 노선위치와 사면중단면형, 식생피복율은 3단계, 산지경사, 절토사면경사는 4단계, 결보기 토질은 5단계, 절토사면길이는 6단계, 사면방위는 8단계로 결정하였다.

2. 임도 절토사면 붕괴요인의 독립성 검증

수량화Ⅱ류에 의한 각 요인의 카테고리의 상대 점수는 외적기준과 각 요인간에 선형적 관계로부터 정해지기 때문에 요인상호간의 상관관계가 높은 경우 다중공선성의 문제가 발생할 수 있다. 따라서 각 요인은 상호간에 영향을 독립적인 관계가 요구된다. 각 요인간 독립적임을 살펴보기 위하여 8개 요인의 단상관계수를 산출한 결과는 표 3과 같다. 표에서와 같이 요인상호간 단상관관계수가 작은 순으로는 사면중단면형과 식생피복율(0.0125), 사면방위와 절토사면경사(0.0163), 사면방위와 식생피복율(0.0183), 사면방위와 사면중단면형(0.0184) 순으로 산출되었고, 단상관관계가 큰 순으로는 결보기 토질과 절토사면경사(-0.4650), 결보기 토질과 산지경사(-0.2608), 산지경사와 절토사면경사(0.2333) 순으로 산출되었다.

이상과 같이 각 요인의 단상관계수를 산출한 결과, 결보기 토질과 절토사면경사간에는 다소의 부의 상관관계가 있는 것으로 나타나, 결보기 토질의 풍화정도에 따라 절토사면경사가 영향을 받고 있는 것으로 판단된다. 그러나 기타 요인간에는 상관관계가 미미하여 각 요인을 독립적으로 보아도 무방할 것으로 판단된다.

표 2. 임도절토사면의 붕괴평가를 위한 Category 결정

| 요 인 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|-----------|-------|--------|-------|------|-------|-----|---|----|
| 노선위치 | 사면 | 계곡 | 능선 | | | | | |
| 결보기 토질 | 일반 토사 | 호박돌 토사 | 풍화암 | 연암 | 경암 | | | |
| 산지경사(°) | <30 | 30~35 | 35~40 | 40< | | | | |
| 사면방위 | N | NE | E | SE | S | SW | W | NW |
| 사면중단면형 | 직선 | 요형 | 철형 | | | | | |
| 절토사면경사(°) | <40 | 40~50 | 50~60 | 60< | | | | |
| 절토사면길이(m) | <4 | 4~6 | 6~8 | 8~10 | 10~12 | 12< | | |
| 식생피복율(%) | 소 | 중 | 밀 | | | | | |

표 3. 임도 절토사면의 붕괴요인별 단상관계수

| | 임도위치 | 겉보기 토질 | 산지경사 | 사면방위 | 사면종단면형 | 절토사면길이 | 절토사면경사 | 식생피복율 |
|--------|------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 임도위치 | 1 | -0.0506 | 0.1184 | -0.0411 | -0.1714 | 0.1032 | 0.1318 | 0.0781 |
| 겉보기 토질 | | 1 | -0.2608 | -0.0264 | -0.0253 | -0.1223 | -0.4650 | 0.0914 |
| 산지경사 | | | 1 | 0.0532 | 0.0689 | 0.1952 | 0.2333 | -0.0583 |
| 사면방위 | | | | 1 | 0.0184 | 0.0358 | 0.0163 | 0.0183 |
| 사면종단면형 | | | | | 1 | 0.0981 | 0.0376 | 0.0125 |
| 절토사면이 | | | | | | 1 | 0.0452 | 0.0391 |
| 절토사면경사 | | | | | | | 1 | 0.0187 |
| 식생피복율 | | | | | | | | 1 |

3. 임도 절토사면의 붕괴요인 평가

임도 절토사면의 붕괴발생에 미치는 요인의 중요도를 살펴보기 위하여 외적기준인 붕괴유무에 대한 각 요인의 편상관계수값과 각 요인의 범위값을 산출결과는 표 4와 같다. 붕괴위험예지에 영향을 주는 범위값의 순서로는 절토사면길이(0.5195), 겉보기 토질(0.3959), 사면방위(0.2630), 절토사면경사(0.2458), 산지경사(0.2064), 식생피복율(0.1449), 사면종단면형, 임도위치의 순으로 나타났으며, 임도절토사면의 붕괴발생 유무와 관계가 깊은 편상관계수는 절토사면길이, 겉보기 토질(0.2530), 사면방위(0.2059), 절토사면경사,

산지경사(0.1705), 식생피복율(0.1603), 사면종단면형(0.0631), 임도위치(0.0260)의 순으로 나타났다.

이상의 결과에서 대체적으로 임도 절토사면의 붕괴발생과 관련한 요인의 편상관계수값과 각 요인의 범위값은 모든 요인에 대하여 일치하는 것으로 나타났고, 특히 붕괴위험예지와 밀접하게 관련이 있는 범위값이 0.2이상의 것만을 고려하였을 때 절토사면길이, 겉보기 토질, 사면방위, 절토사면경사, 산지경사 등 5개 요인의 영향이 가장 임도 절토사면붕괴와 밀접한 관련이 있는 것으로 판단된다.

표 4. 임도 절토사면 요인별 범위값 및 편상관계수

| 요 인 | Range | 순위 | 편상관계수 | 순위 |
|--------|--------|----|--------|----|
| 임도위치 | 0.0274 | 8 | 0.0260 | 8 |
| 겉보기 토질 | 0.3959 | 2 | 0.2530 | 2 |
| 산지경사 | 0.2064 | 5 | 0.1705 | 5 |
| 사면방위 | 0.2630 | 3 | 0.2059 | 3 |
| 사면종단면형 | 0.0652 | 7 | 0.0631 | 7 |
| 절토사면이 | 0.5195 | 1 | 0.2713 | 1 |
| 절토사면경사 | 0.2458 | 4 | 0.1784 | 4 |
| 식생피복율 | 0.1449 | 6 | 0.1603 | 6 |

따라서 입도 절토사면의 붕괴에 밀접한 영향을 미치는 요인은 절토사면길이와 같은 입도의 구조적 요인이 가장 영향을 크게 미치는 것으로 나타났다으며, 다음으로 겉보기 토질과 같은 절토사면 내적요인의 영향이, 그리고 사면방위와 같은 입도

통과지점의 위치적 요인 등의 영향이 크게 작용하여 절토사면의 붕괴가 발생하는 것으로 나타났다.

또한 상대점수(Category weight)의 값을 이용한 입도 절토사면의 붕괴유무에 작용하는 각 요인의 카테고리별 기여도는 그림 2와 같다.

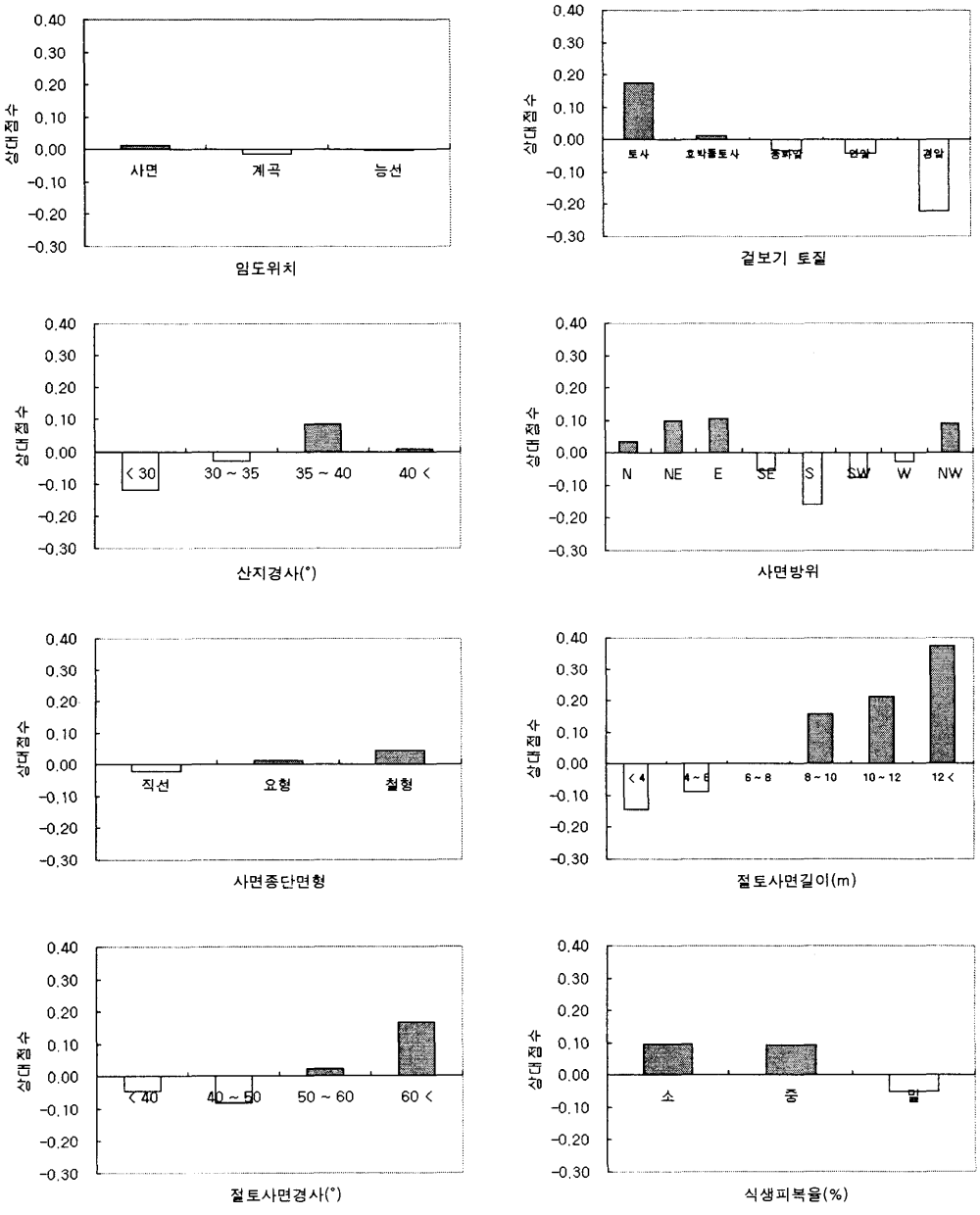


그림 2. 입도 절토사면 요인에 대한 각 카테고리별 상대점수

표 5. 임도 절토사면 붕괴유무의 판별 Cross표

| | 붕괴군 | 안정군 | 계 |
|----------|------------|------------|------------|
| 붕괴군으로 판별 | 104(73.8%) | 131(23.9%) | 522(75.7%) |
| 안정군으로 판별 | 37(26.2%) | 418(76.1%) | |
| 계 | 141(100%) | 549(100%) | 690(100%) |

절토 사면붕괴와 밀접한 관련이 있는 요인들에 대하여 카테고리별 기여도로서 붕괴에 관한 특성을 열거하면, 절토사면길이 요인은 8m를 기준으로 하여 그 미만에서는 길이가 짧아질수록 안정측에, 그 이상에서는 길이가 증가할수록 붕괴측에 기여하는 것으로 나타났다. 특히 12m이상에서는 붕괴위험이 높은 것으로 나타났다. 결보기 토질 요인은 풍화정도가 심할수록 붕괴발생 기여도가 큰 것으로 나타났고, 특히 토사사면에서 붕괴위험이 높고, 경암사면에서 붕괴위험이 낮은 것으로 나타났다.

일반적으로 풍화가 진행될수록 토양내부로 물의 침투가 용이하여 쉽게 포화되고, 이에 따라 단위중량이 증가하여 붕괴가 발생한다. 사면방위 요인은 SE, S, SW, W사면에서 안정측, 그외의 사면에서는 붕괴측에 기여하는 것으로 나타났고, 특히 NE 및 E사면에서 붕괴위험이 높고, S사면에서 붕괴위험이 적은 것으로 나타났다. 또한 절토사면경사 요인은 50° 이하에서는 안정측에, 그 이상에서는 붕괴측에 기여하는 것으로 나타났고, 특히 60°이상의 급경사 사면에서 붕괴위험이 높은 것으로 나타났다. 그리고 산지경사 요인은 35° 미만에서 경사가 완만할수록 안정측에 기여하는 것으로 나타났고, 35~40° 사이에서는 붕괴측에 기여도가 가장 높은 것으로 나타났다. 그러나 주로 암석지역의 분포가 많은 40° 이상의 급경사지에서는 붕괴측에 기여도가 낮은 것으로 나타났다. 그 외의 원인인 임도위치, 사면종단면형, 식생피복율 요인은 Category 점수가 아주 미미하여 임도 절토사면 붕괴와 밀접한 관련이 없을 것으로 판단된다(지병윤과 차두송, 2000; 차두송과 지병윤, 2002).

4. 임도 절토사면의 붕괴요인 판별정도

임도절토사면의 붕괴판별정도는 붕괴군의 평균 0.2120, 표준편차 0.2009으로, 안정군은 평균 -0.0544, 표준편차 0.1975로 나타났으며, 상관비(η^2)는 0.4079으로 산출되었고, 또한 붕괴군과 안정군의 판별 적중점은 0.0525이며, 이 값 이상이면 붕괴군, 이 값 이하이면 안정군으로 판별한다.

이상과 같이 임도절토사면의 붕괴유무 판별치를 이용하여 안정군과 붕괴군의 실측치와 추정치로 재분류한 결과, 오분류율은 표 5와 같이 붕괴군의 경우 총 141개소중에 37개가 오분류되어 오분류율은 26.2%였고, 안정군의 경우는 총 549개소중에 131개소가 오분류되어 23.9%의 오분류율을 나타냈으며, 전체적인 판별적중율은 75.7%로 매우 양호한 값으로 산출되었다(小橋, 1974).

결론

이상의 결과로부터 수량화Ⅱ류의 상대점수에 의한 붕괴요인 평가에서 절토사면길이, 결보기 토질, 사면방위, 절토사면경사, 산지경사 요인이 임도 절토사면 붕괴에 밀접한 영향을 미치는 것으로 나타났다. 특히, 절토사면길이는 8m이상, 결보기 토질은 토사, 사면방위는 E사면, 절토사면경사는 60° 이상, 산지경사는 35~40° 사이에서 붕괴측에 기여도가 가장 크게 나타났다. 그러므로 이상에서 제시된 수준의 요인들이 붕괴와 밀접한 관련이 있는 범주에 반응할 경우 붕괴위험이 클 것으로 판단된다.

따라서 붕괴예방차원에서 인위적인 조절이 가능한 절토사면길이는 8m 이내로 제한하는 것이 바람직할 것이나, 부득이한 경우 절토사면에 소단 및 억지공법 등을 설치할 필요가 있으며, 절토사면경사는 60° 미만으로 시설하는 것이 임도구조적인 측면에서뿐만 아니라 식생침입 등을 용이하게 하여 사면붕괴의 발생이 억제될 것으로 판단된다.

인 용 문 헌

1. 지병윤, 차두송. 1999. 춘천 가리산 지역의 임도절토사면의 붕괴요인 평가. 한국임학회 정기총회 및 학술연구발표회. 138-139.
2. 지병윤, 차두송. 2000. 임도절토사면의 붕괴 위험평가표 제작. 학술림연구지 20: 76-84.
3. 차두송, 지병윤. 1998. 임도절토사면의 붕괴 위험 예측에 관한 연구. 삼림과학연구 14: 145-156.
4. 차두송, 지병윤. 2002. 임도절토사면의 붕괴 예측모델 개발. 한국임학회지 91(3): 412-419.
5. 近藤蕙市, 新谷信桜. 1995. 赤石山地南部における林道災害危険個所の要因分析. 森林利用學會誌 10(3): 205-212.
6. 久保村圭助, 武井昌博. 1971. 數量化法による切取のり面の安全度解析. 土木學會論文報告書 194: 141-150.
7. 中尾博美, 森田續日. 1973. 切取法面の崩壊(Ⅱ)-福岡縣内路線-. 日本林學會九州支部研究論文集 26: 237-238.
8. 小橋燈治. 1974. 斜面の崩壊危険度分類の問題點. 地すべり 10(3): 8-14.