

## 활동억지시스템으로 보강된 사면의 설계법 제안

송영석<sup>1\*</sup> · 홍원표<sup>2</sup>

<sup>1</sup>한국지질자원연구원 지질환경재해연구부, <sup>2</sup>중앙대학교 건설환경공학과

### Proposal of a Design Method of Slope Reinforced by the Earth Retention System

Young-Suk Song<sup>1\*</sup> and Won-Pyo Hong<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Geological & Environ. Hazards Division, Korea Inst. of Geoscience and Mineral Res.

<sup>2</sup>Dept. of Civil & Environmental Engineering, Chung-Ang University

본 연구에서는 활동억지시스템으로 보강된 사면에 대한 설계법을 체계화하고, 이에 대한 설계 흐름도를 작성하여 합리적인 사면의 설계가 가능하도록 하였다. 제안된 사면의 설계법은 현장상황조사단계, 사면설계단계, 산사태발생 예측단계, 사면파괴규모 판단단계 및 보강공법 선정단계와 같이 5단계로 구성하였다. 사면파괴규모는 기존에 제안된 사면파괴의 위험성을 평가하는 국외의 각종 기준을 정리하고, 이를 국내에서 발생한 산사태 파괴규모와 함께 분석함으로써 정량적인 기준을 마련하였다. 사면활동체적은 파괴규모가 소규모인 경우  $150 \text{ m}^3$ 이하이고, 중규모인 경우  $150 \text{ m}^3 \sim 900 \text{ m}^3$ 이며, 대규모인 경우  $900 \text{ m}^3$ 이상으로 분류하였다. 제안된 사면파괴규모를 토대로 각각의 파괴규모에 따라 활동억지시스템을 결정할 수 있도록 하였다. 한편, 활동억지시스템인 억지말뚝, 쏘일네일링 및 앵커에 대한 각각의 설계법을 제안하여 최적의 사면안정 공법을 마련할 수 있도록 하였다.

**주요어** : 활동억지시스템, 보강사면, 설계법, 사면파괴규모, 사면활동체적

In this study, the design method of slope reinforced by the earth retention systems were systematically developed, and the flow chart of design procedure for each system were constructed to design the slope rationally. The proposed design method is composed of 5 steps such as field condition investigation step, slope design step, landslide occurrence prediction step, slope failure scale estimation step and reinforcement countermeasure selection step. The quantitative standard of slope failure scale was established based on the arrangement of various overseas standards which is estimating the slope failure, and the analysis of slope failure scale which is occurred in the country. The slope failure scale is classified into three categories the small scale of slope failure is less than  $150 \text{ m}^3$  of slope failure volume, the middle scale of slope failure is from  $150 \text{ m}^3$  to  $900 \text{ m}^3$  and the large scale of slope failure is more than  $900 \text{ m}^3$ . The earth retention system could be selected by the proposed slope failure scale based on the slope failure volume. Meanwhile, the design methods of earth retention system such as piles, soil nails and anchors were developed. The optimal countermeasure for slope stability could be proposed using above design methods.

**Key words** : earth retention system, reinforced slope, design method, slope failure scale, slope failure volume

## 서 론

지난 수십 년간 우리나라에서는 철도, 도로 등의 교통시설, 각종 목적의 댐과 같은 수리시설, 원자력 발전소와 같은 중요구조물, 아파트나 주택 등과 같이 인간의 일상생활과 밀접한 관계가 있는 토목구조물이나 건축구

조물의 축조를 위하여 산지나 구릉지의 개발이 급격히 증가되고 있다. 이러한 개발과정에서 균형을 유지하여 안정된 상태에 있던 산지나 구릉지의 자연사면이 붕괴되어 산사태가 발생되고 있으며 이에 따른 피해액과 규모도 해마다 증가되고 있다. 이러한 경향은 우리나라 뿐만 아니라 외국의 경우도 마찬가지이다. 특히, 우리나라

\*Corresponding author: yssong@kigam.re.kr

를 비롯한 극동아시아의 다우지역에서는 매년 우기나 장마철에 이러한 사면파괴의 피해가 집중 보고되고 있다.

최근에 우리나라에서도 산사태를 방지하기 위하여 많은 사면안정공법이 채택 적용되고 있다. 그러나 효과적인 사면안정공법은 대상지역의 지질학적, 지형학적 및 지반공학적 특성에 따라 다를 수 있다. 즉 국가나 지역에 따라 기상특성, 지반특성 및 산사태 발생기구특성이 달라질 수 있으므로 각 지역의 특성에 적합한 대책공법을 개발할 필요가 있다. 종래의 사면안정공법으로는 경사면을 식물이나 블럭으로 피복하여 강우에 의한 세굴을 방지하는 소규모의 공법이나 사면의 구배를 완만하게 하는 공법이 많이 사용되었다. 그러나 최근에 이르러서는 이들 공법으로 산사태를 억지시키기에는 한계가 있어 억지말뚝, 앵커, 옹벽 등으로 사면의 저항력을 증대시키는 적극적인 공법이 많이 사용되고 있다(홍원표, 1990).

최근 많이 적용되고 있는 적극적인 사면안정공법 가운데 억지말뚝, 쏘일네일링 및 앵커를 활동억지시스템(earth retention system)이라고 정의한다. 활동억지시스템은 사면의 저항력을 증가시키기 위하여 말뚝, 네일, 앵커 등을 사용하여 이들 재료의 전단, 휨, 인장, 압축 등의 역학적 저항특성을 이용하는 방법이다(송영석, 2004).

본 연구에서는 활동억지시스템으로 보강된 사면의 설계법을 체계화하고, 이에 대한 흐름도를 작성하여 보강 사면의 체계적인설계가 가능하도록 한다. 개발된 설계법에서는 산사태 발생예측이 가능하며, 사면의 파괴규모에 따라 활동억지시스템의 선정이 가능하다. 그리고, 각각의 활동억지시스템에 대한 설계법을 제안하여 최적의 보강공법을 마련할 수 있도록 한다.

### 활동억지시스템의 보강된 사면의 설계법

일반적으로 사면의 설계시 사면안정에 영향을 미치는 요소들로는 대상현장의 지형, 지질, 지반특성, 사면의 기하학적 형상, 토질정수, 절리 및 풍화상태 등이 있다. 그러므로 사면 설계시 이러한 요소들을 반드시 고려하여야 할 것이다.

활동억지시스템으로 보강된 사면의 설계는 Fig. 1과 같은 순서로 진행됨이 바람직하다. Fig. 1은 활동억지시스템으로 보강된 사면의 설계순서를 흐름도로 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 사면을 설계할 경우 크게 5단계로 나눌 수 있다. 즉, 현장상황조사단계, 사면설계단계, 산사태발생예측단계, 사면파괴규모판단단계 및

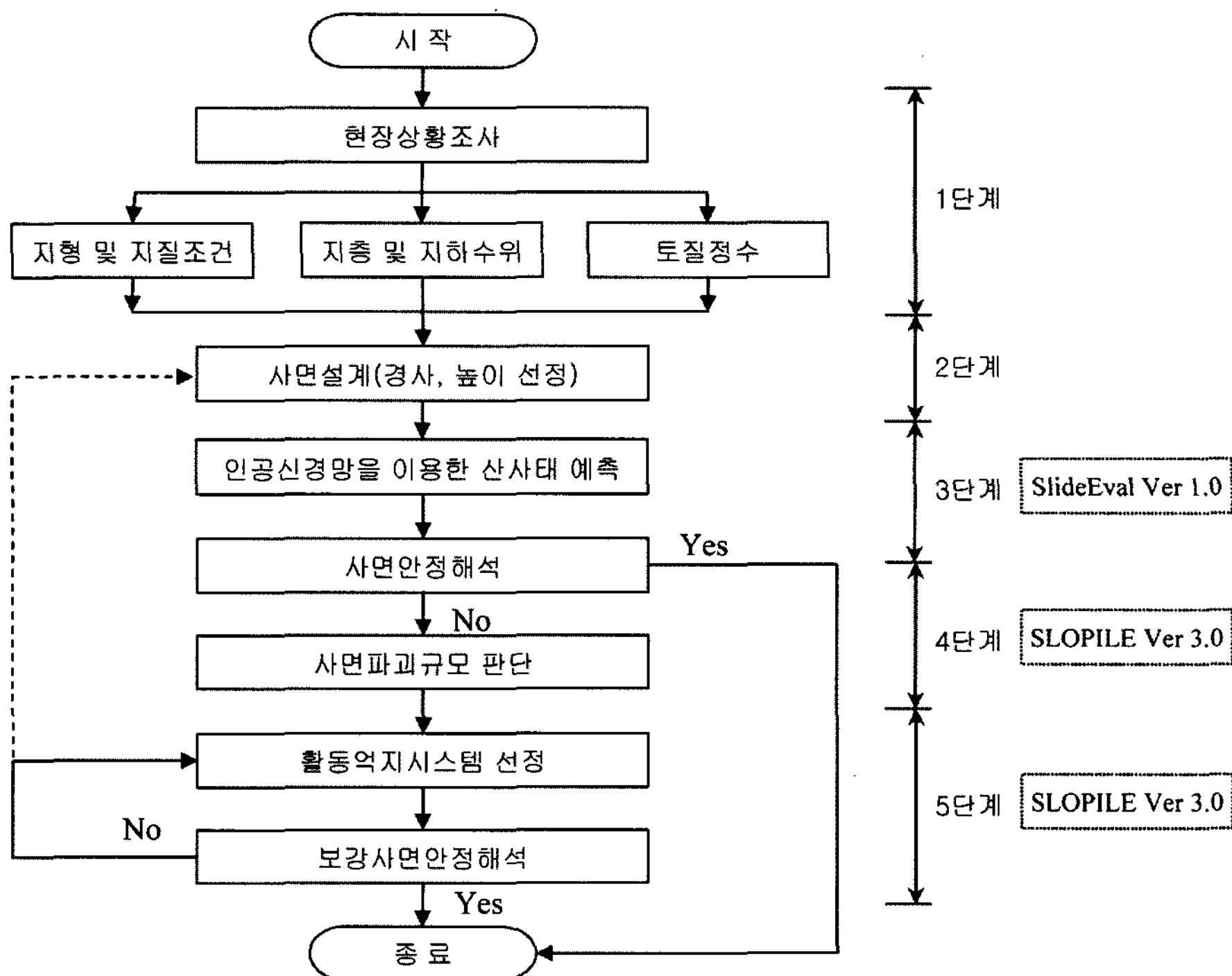


Fig. 1. Flow chart for the design method of slope reinforced by earth retention system.

보강공법선정단계로 구성되어 있다.

제 1단계는 현장상황조사단계로서 현장에서 사면활동에 직접 혹은 간접적으로 영향을 미치는 요소들을 조사하여야 한다. 먼저 지형특성은 사면의 지형조사를 통하여 알 수 있으며, 과거에 사면붕괴가 발생하였는지 혹은 사면붕괴의 가능성이 있는지를 알 수 있다. 조사방법으로는 항공측량, 수준측량 등이 있다. 그리고 지질특성은 토사층과 암반의 지질학적인 조사를 통하여 알 수 있다. 특히 지질구조는 사면안정에 결정적인 역할을 하며, 절리상태, 소규모 단층, 지역적 파쇄대 등에 세심한 관찰이 필요하다. 조사방법으로는 지표지질조사, 탄성과 탐사, 시추조사 등이 있다. 마지막으로 지반특성은 대상지반에 대한 실내시험 및 현장시험을 실시하여 알 수 있다. 그리고 이러한 시험을 통하여 토질정수 및 지하수위 등의 지반조건을 정확히 조사 결정하여야 한다. 또한, 이러한 지반조사로 지층구조와 각 지층의 지반특성이 정하여진다.

제 2단계는 사면의 설계단계로서 첫 번째 단계에서의 대상현장에 대한 지형, 지질, 지반특성을 토대로 하고 이용목적에 맞게 사면의 경사와 높이를 결정한다. 사면의 경사 등은 건설교통부(2003)의 설계요령, 한국도로공사(1999, 2000)의 설계요령 및 편람에 제시된 사면관련 설계기준에 따른다.

제 3단계는 산사태 발생예측단계로서 제 1단계에서 구한 지형, 지질 및 지반특성과 제 2단계에서 결정된 사면의 경사와 높이를 토대로 SlideEval(Ver 1.0)프로그램(홍원표 등, 2004) 등을 이용하여 산사태의 발생여부를 판단한다. 그리고 SLOPILE(Ver 3.0)프로그램(홍원표와 송영석, 2006) 등을 이용하여 사면안정해석을 수행한다. 산사태 발생예측 및 안정해석결과 사면이 안정하면 설계를 종료하고, 사면이 불안정하면 사면파괴규모를 예측하여 합리적인 활동역지시스템을 선정하게 된다.

제 4단계는 사면파괴규모 판단단계로서 불안정한 사면에 대한 안정해석을 통하여 사면활동면을 예측하고, 이를 통하여 사면파괴의 규모를 판단하게 된다. 이 과정에서 사면불안정의 요인을 판단하고 발생 예상되는 사면파괴의 규모를 판단한다. 이러한 검토가 실시되어야만 적합한 활동역지시스템이 채택될 수 있다.

제 5단계는 활동역지시스템 선정단계로서 사면보강을 위한 활동역지시스템을 선정하여 사면안전율( $F_s$ )<sub>org</sub>이 소요안전율( $F_s$ )<sub>req</sub>을 만족하도록 설계한다. 활동역지시스템은 사면파괴규모에 따라(평면파괴, 원호파괴 등) 선정한다. 여기서, 사면의 파괴규모는 소규모파괴, 중규모파괴, 대

규모파괴로 구분할 수 있다. 그리고 각 파괴규모에 따라 알맞은 활동역지시스템들을 선정할 수 있다. 소규모파괴시에는 식생공법(Seed spray, Texsol 등), 지표수배수공법, 블록공법, 표층 안정공법, 낙석방지 Net, Shotcrete 등을 선정할 수 있으며, 중규모파괴시에는 앵커공법, 쏘일네일링공법, 옹벽공법, Rock Bolt공법 등을 선정할 수 있다. 그리고, 대규모파괴시에는 억지말뚝공법, 절토공법, 압성토공법, 피어벽체공법 등을 선정할 수 있다. 그러나 실제 사면에 보강대책을 선정할 경우 한가지 이상의 활동역지시스템을 병용해서 사용하는 것이 바람직하다고 판단된다.

위와 같은 과정을 통하여 활동역지시스템이 결정되면 보강된 사면에 대한 사면안정 검토를 다시 실시하여 사면 안전율이 소요 안전율을 만족하는지 확인하여야 한다. 여기서 사면안전율이 소요안전율을 만족하면 설계를 종료하고, 만족하지 못하면 다시 Feed Back하여 활동역지시스템을 재선정하여야 할 것이다. 어떠한 활동역지시스템에 의해서도 사면안전율이 소요안전율을 만족하지 못할 경우에는 2단계인 사면의 설계단계까지 Fig. 1의 점선을 따라 Feed Back하여 사면의 기울기와 높이를 다시 결정하여야 할 것이다.

## 사면파괴규모 기준선정

### 기존 사면파괴규모 기준

활동역지시스템을 선정하기 위해서는 먼저 사면파괴의 규모를 판단하는 것이 중요하다. 홍원표 외(1990)은 최대 시간강우강도와 누적강우량의 상관관계를 토대로 국내에서 발생한 산사태를 발생회수에 따라 소규모(minor), 중규모(severe), 대규모(disaster)로 구분하여 제안한 바 있다. 그리고, Aboshi (1972)는 일본의 화강토를 대상으로 일일 강우량과 2주동안 누적강우량의 상관관계를 이용하여 산사태를 소규모(small), 중규모(middle), 대규모(large)로 구분하여 제안한 바 있다. 한편, Vanmarcke(1977)는 고전적인 한계평형해석을 통한 사면안정문제에 대하여 확률론적인 접근을 실시하여 사면파괴시 발생될 수 있는 최대사면활동길이를 결정하는 방법을 제안하였다. 그러나, 이들 방법은 산사태의 정량적인 규모에 대해서는 명확하게 고려하지 못하고 있다.

따라서 기존에 제안된 사면파괴의 위험성을 평가하는 국외의 각종 기준(Task Committe of Japanese Geotechnical Society, 1996; Japanese National Railways, 1974; Okada et al., 1992; 1994; Sugiyama et al., 1995; 이부경, 2003)을 정리하고, 이를 국내에서 발생된 산사태 파괴규모(최경, 1986)

**Table 1.** Slope height according to slope failure scale (cut slope).

구 분	소규모	중규모	대규모
Ministry of Construction in Japan (Task Com. of Jap. Geotech. Soc., 1996)	5 m이하	5 m~10 m	10 m이상
Japan Highway Public Coporation (Task Com. of Jap. Geotech. Soc., 1996)	7 m이하	7 m~21 m	21 m이상
Japanese National Railways (1974)	5 m이하	5 m~20 m	20 m이상
Okada et al.(1992, 1994)	7.1 m이하	7.1 m~9.2 m	9.2 m이상
Sugiyama et al.(1995)	10 m이하	10 m~20 m	20 m이상
Nippon Koei Co. (이부경, 2003)	15 m이하	15 m~40 m	40 m이상

**Table 2.** Slope height to slope failure scale (embankment slope).

구 분	소규모	중규모	대규모
Japanese National Railways (1974)	3 m이하	3m~6m	6m이상
Sugiyama et al.(1995)	3 m이하	3m~10m	10m이상

와 함께 분석하고자 한다. 이를 통하여 국내 사면파괴의 규모를 판단할 수 있는 정량적인 기준을 마련하고자 한다.

사면파괴규모를 사면높이에 따라 구분한 기준을 정리하면 Table 1 및 Table 2와 같이 나타낼 수 있다. Table 1은 일본의 절개사면에 대하여 사면파괴규모별 사면높이를 정리한 것이다. 표에서 보는 바와 같이 사면높이는 소규모 사면파괴의 경우 5 m~15 m이하이고, 중규모 사면파괴의 경우 5 m~40 m이며, 대규모 사면파괴의 경우 9.2 m~40 m이상인 것으로 나타났다. 그리고 Table 2는 일본의 성토사면에 대하여 사면파괴규모별 사면높이를 정리한 것이다. 표에서 보는 바와 같이 사면높이는 소규모 사면파괴의 경우 3 m이하이고, 중규모 사면파괴의 경우 3 m~10 m이며, 대규모 사면파괴의 경우 6 m~10 m이상인 것으로 나타났다.

사면파괴규모를 상부토사층의 깊이에 따라 구분한 기준을 정리하면 Table 3과 같이 나타낼 수 있다. 표에서

보는 바와 같이 상부토사층의 깊이는 소규모 사면파괴의 경우 0.3 m~0.7 m이하이고, 중규모 사면파괴의 경우 0.3 m~1.6 m이며, 대규모 사면파괴의 경우 1 m~1.6 m 이상인 것으로 나타났다.

한편, Sinclair (1991)는 사면파괴규모를 사면활동체적에 따라 구분하였으며, 이는 Table 4에 나타내었다. 표에서 보는 바와 같이 사면활동체적은 소규모 사면파괴의 경우 10 m<sup>3</sup>이하이고, 중규모 사면파괴의 경우 10 m<sup>3</sup>~500 m<sup>3</sup>이며, 대규모 사면파괴의 경우 500 m<sup>3</sup>이상인 것으로 나타났다.

#### 사면파괴규모 선정방법

이상의 평가기준을 토대로 국내 산사태 발생시 사면파괴규모를 판단할 수 있는 정량적인 기준을 마련하고자 한다. Fig. 2는 사면파괴규모를 판단할 수 있는 사면활동체적을 선정하기 위하여 기존의 기준을 함께 도시

**Table 3.** Thickness of surface soil according to slope failure scale (cut slope).

구 분	소규모	중규모	대규모
Ministry of Construction in Japan (Task Com. of Jap. Geotech. Soc., 1996)	0.5 m이하		0.5 m이상
Japan Highway Public Coporation (Task Com. of Jap. Geotech. Soc., 1996)	0.3 m이하	0.3 m~1m	1 m이상
Japanese National Railways (1974)	0.5 m이하	0.5 m~1.5 m	1.5 m이상
Okada et al.(1992, 1994)	0.7 m이하	0.7 m~1.6 m	1.6 m이상
Sugiyama et al.(1995)	2 m이하		2 m이상

**Table 4.** Slope failure volume according to slope failure scale.

구 분	소규모	중규모	대규모
Sinclair (1991) (이부경, 2003)	10 m <sup>3</sup> 이하	10 m <sup>3</sup> ~500 m <sup>3</sup>	500 m <sup>3</sup> 이상

한 것이다. 그림에서 소규모파괴는 실선, 중규모파괴는 점선, 대규모파괴는 일점쇄선으로 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 기존의 기준과 사면복구기간을 토대로 사면파괴규모를 판단할 수 있는 사면활동체적을 선정하면 소규모의 경우 150 m<sup>3</sup>이하, 중규모의 경우 150 m<sup>3</sup>~900 m<sup>3</sup>, 대규모의 경우 900 m<sup>3</sup>이상으로 분류할 수 있다. 기존의 사면파괴규모보다 크게 선정한 이유는 최근 산지개발로 인한 사면파괴의 규모가 증가하였기 때문이다. 그리고, 사면활동이 발생된 이후 붕괴된 토사의 제거량을 토대로 붕괴토사 제거시간을 적용하였다. 붕괴토사 제거기간이 1일이하인 경우 소규모, 2일~7일인 경우 중규모, 7일이상인 경우 대규모로 구분하였다. 기존의 역지말뚝이 시공된 현장(홍원표, 1997, 2003; 홍원표와 박찬호, 1994; 홍원표 외, 2003a, 2003b)의 조건을 도시하여 보면, 모두 대규모파괴 영역에 존재함을 알 수 있다. 또한, 최경(1986)의 연구결과를 도시하여 중규모 파괴영역에 존재함을 알 수 있다.

Fig. 3은 사면파괴규모를 판단할 수 있는 사면높이를 선정하기 위하여 기존의 기준을 함께 도시한 것이다. 그

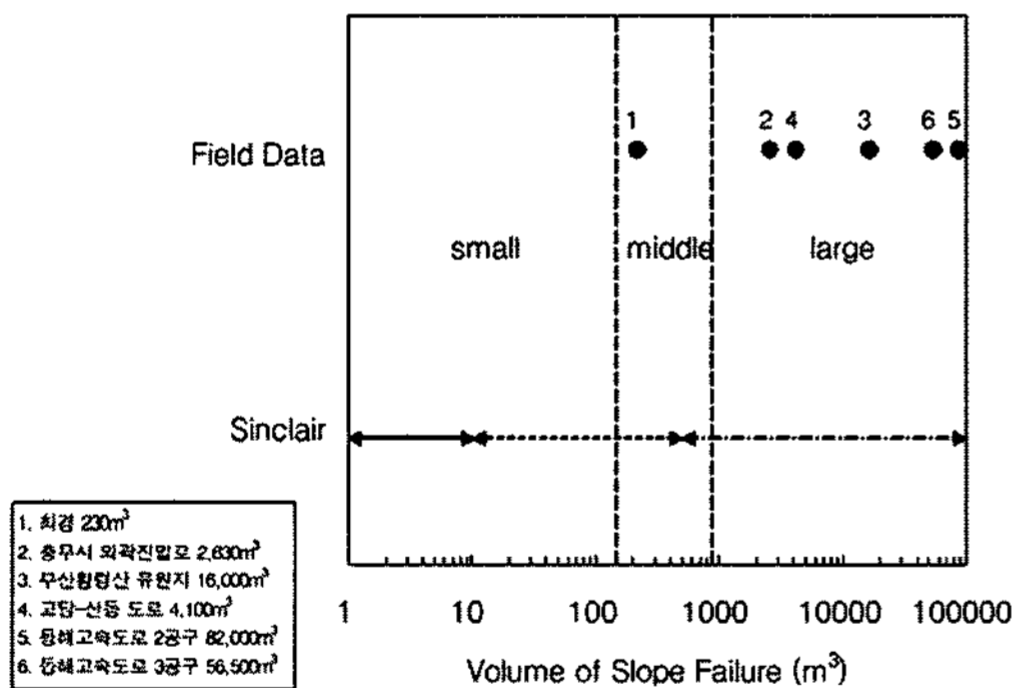


Fig. 2. Slope failure volume according to slope failure scale.

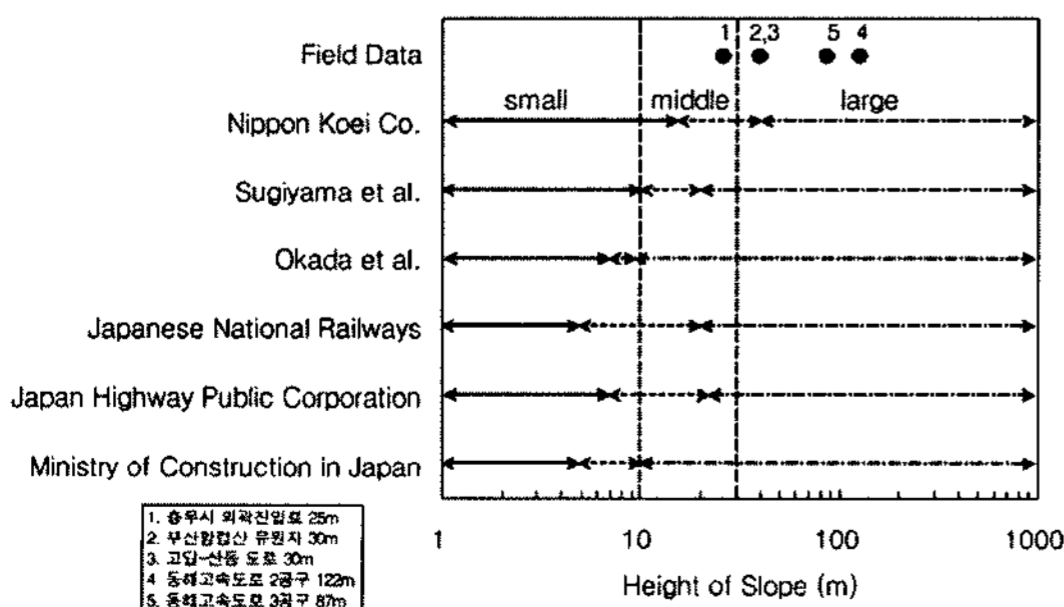


Fig. 3. Slope height according to slope failure scale.

림에서 보는 바와 같이 기존의 기준을 토대로 사면파괴 규모를 판단할 수 있는 사면높이를 선정하면 소규모의 경우 10 m이하, 중규모의 경우 10 m~30 m, 대규모의 경우 30 m이상이 된다.

Fig. 4는 사면파괴규모를 판단할 수 있는 상부토사층의 두께를 선정하기 위하여 기존의 기준을 함께 도시한 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 기존의 기준을 토대로 사면파괴규모를 판단할 수 있는 상부토사층의 두께를 선정하면 소규모의 경우 1 m이하, 중규모의 경우 1 m~2 m, 대규모의 경우 2 m이상이 된다. 역지말뚝이 시공된 현장의 조건을 도시하여 보면, 모두 대규모파괴 영역에 존재함을 알 수 있다. 또한, 최경(1986)의 연구결과를 도시하여 보면 소규모 파괴영역에 존재함을 알 수 있다.

사면높이 및 상부토사층의 두께가 기존의 사면파괴규모보다 크게 선정한 이유는 최근 산지개발로 인한 사면파괴의 규모가 증가하였기 때문이며, 이들 사례(홍원표, 1997, 2003; 홍원표와 박찬호, 1994; 홍원표 외, 2003a, 2003b)는 Fig. 2 및 Fig. 3에 함께 도시하여 나타내었다.

사면파괴규모 기준 제안

이상의 결과를 토대로 사면활동체적 및 사면높이, 상부토사층의 깊이에 대한 사면파괴규모의 선정기준을 제안하면 Table 5와 같이 나타낼 수 있다. 기본적으로 사면파괴규모는 사면활동체적을 토대로 선정하며, 사면높이 및 상부토사층의 깊이는 참고적인 자료로서 적용한다. 표에서 보는 바와 같이 사면활동체적은 파괴규모가 소규모인 경우 150m<sup>3</sup>이하이고, 중규모인 경우 150m<sup>3</sup>~900 m<sup>3</sup>이며, 대규모인 경우 900 m<sup>3</sup>이상으로 분류하였다. 이는 기존의 사면활동체적에 따른 기준을 토대로 사면활동이후 활동토괴의 제거작업기간을 고려하여 산정한 것이다. 즉, 활동토괴의 제거작업기간이 1일 이하인 경우 소

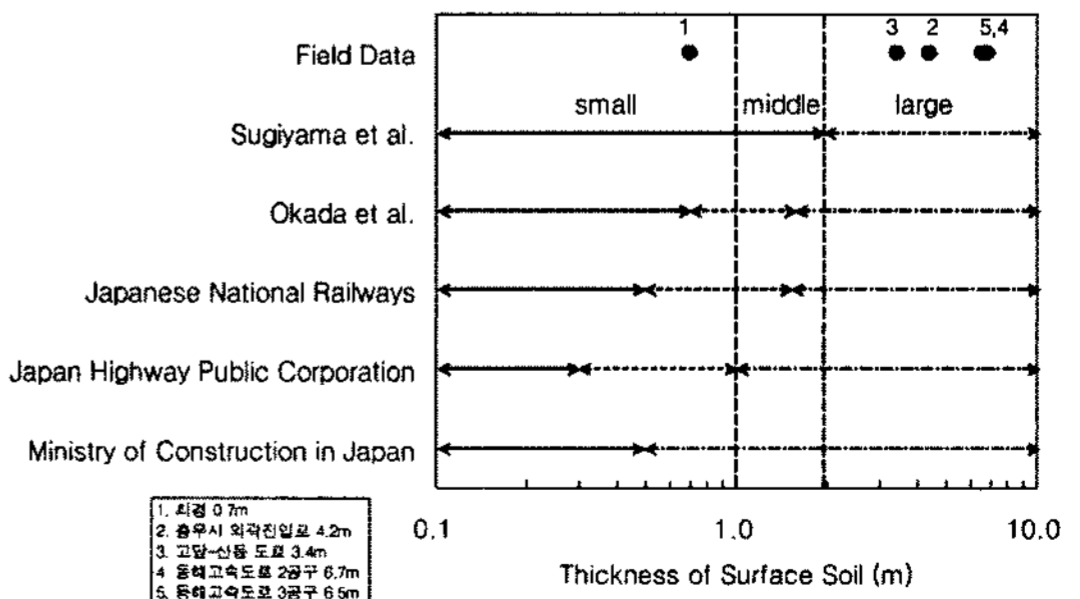


Fig. 4. Thickness of surface soil according to slope failure scale.

**Table 5.** Decision of slope failure scale.

구분	소규모	중규모	대규모
사면활동체적	150 m <sup>3</sup> 이하	150 m <sup>3</sup> ~900 m <sup>3</sup>	900 m <sup>3</sup> 이상
사면높이	10 m 이하	10 m~30 m	30 m 이상
상부토사층의 깊이	1 m 이하	1 m~2 m	2 m 이상

규모파괴, 2일에서 7일인 경우 중규모파괴, 7일 이상인 경우 대규모 파괴로 간주하였다.

그러나, 사면활동체적에 대한 사면파괴규모의 구분이 불가능할 경우에는 사면높이 및 상부토사층의 깊이 등의 참고자료를 추가적으로 적용하도록 한다. 사면높이 및 상부토사층의 깊이는 소규모의 경우 각각 10 m이하, 1 m이하이고, 중규모인 경우 각각 10 m~30 m, 1 m~2 m이며, 대규모인 경우 각각 30 m이상, 2 m이상으로 분류하였다. 이와 같이 제안된 사면파괴규모는 앞으로 계속적인 자료의 조사를 통하여 수정 보완해 나가야 할 것이다.

**사면파괴규모에 따른 활동억지시스템의 선정**

활동억지시스템의 선정은 대상사면의 규모, 사면 기울기와 높이, 지형조건, 지질조건, 및 주변 여건 등에 대한 충분한 사전 조사결과를 토대로 이루어져야 한다. 복구공사를 위한 보강공법 선정의 경우에는 이외에 별도로 붕괴의 원인을 고려하여 선정해야 할 것이다. 자연사면의 붕괴방지대책의 선정에 있어서는 많은 정보를 이용하여 대책공법을 수립하는 것이 바람직하다. 여기에 필요한 자료들로는 지형도, 지질도, 현장조사에 의한 사면정보, 계측에 의한 사면활동의 정보 등 여러 가지가 있으며, 붕괴당시의 상황에 대해서도 고려할 필요가 있다.

절개사면의 경우는 자연사면에 비하여 현장조건이 파악이 비교적 용이하기 때문에 적용 가능 공법별 특성을 파악한 후 허락되는 경제적 조건하에서 최적의 공법을 선정하면 된다. 절개 사면은 보통 자연사면에 비하여 교통시설이나 주택 시설등 인간의 생활과 밀착되는 경우가 많으므로 다소의 경제적인 부담을 감수하더라도 가장 확실한 공법을 선정해야 할 필요가 있다.

그리고, 사면 파괴후 복구공법으로 사면보강공법을 적용할 경우에는 자연적인 조건과 현장조건 이외에서 다음과 같은 사항에 대하여 검토할 필요가 있다. 검토할 사항은 재붕괴되는 경우에 공공시설, 주거시설, 및 교통등에 미치는 영향, 도로 복구시 교통량과 우회로 유무 판단, 한 종류만의 공법을 사용할 경우와 두 종류이상의 공법을 조합하여 사용할 경우의 보강효과 및 경제성 비

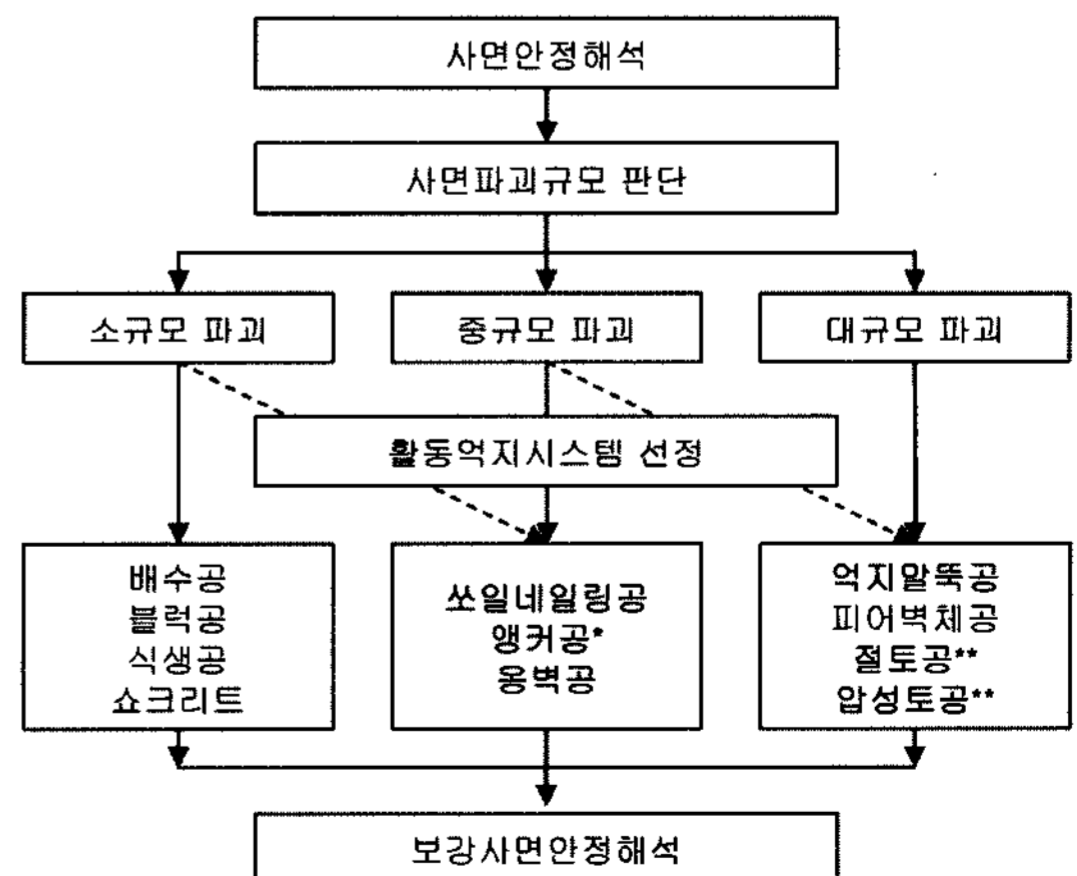
교 등이 있다.

Fig. 5는 활동억지시스템을 선정하는 방법을 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 사면의 파괴규모에 따라 활동억지시스템을 선정하도록 한다. 즉, 파괴규모에 따라 소규모파괴, 중규모파괴, 그리고 대규모파괴로 나누고 각각의 파괴규모에 따라 활동억지시스템을 결정할 수 있다. 사면의 파괴규모는 사면안정해석을 통하여 사면의 활동면을 예측하고, 이를 통하여 사면의 파괴규모를 판단한다. 그리고 사면의 파괴규모에 따른 활동억지시스템을 선정한다(홍원표 외, 1999). 이와 같이 사면보강을 위한 활동억지시스템이 선정이 되면 이를 고려한 사면안정해석이 수행되어야 할 것이다.

**활동억지시스템의 설계법**

**역지말뚝으로 보강된 사면의 설계법**

역지말뚝으로 보강된 사면의 안정에 영향을 미치는 요소들로는 지반의 기하학적 형상, 토질정수, 부지의 제약조건, 그리고 말뚝 관련사항 등이 있다. 그러므로 역지말뚝으로 보강된 사면의 설계시 이러한 조건들은 반드시



\* 옹벽공은 대규모파괴에도 적용가능

\*\* 절토공 및 압성토공은 소규모, 중규모 및 대규모파괴에도 적용가능

**Fig. 5.** Selection of earth retention system according to slope failure scale.

시 고려되어야 한다.

Fig. 6은 역지말뚝으로 보강된 사면의 설계순서를 흐름도로 나타낸 것이다(홍원표 외, 1999). 따라서, 역지말뚝으로 보강된 사면의 설계는 그림에서와 같은 순서로 진행됨이 바람직하다. 이 그림에서 보는 바와 같이 역지말뚝으로 보강된 사면의 설계는 네단계로 크게 구분할 수 있다. 즉, 한가지 결정단계와 세가지 선택단계로 구성되어 있다.

첫번째 단계에서는 지반조건 결정단계로서 합리적인 사면의 설계를 위하여 우선적으로 대상지반에 대한 실내시험 및 현장시험을 실시하여 토질정수 및 지하수위 등의 지반조건을 정확히 조사결정하여야 한다.

두번째 단계는 선택 1의 단계로 지반조건이 결정되면 대상지역의 제약조건과 기하학적 형상을 고려하여 사면의 기울기와 높이를 선정한다. 이때, 사면기울기와 사면높이를 선정하기 위해서는 사면기울기( $L/\sqrt{LH}$ )와 사면높이( $H$ ) 및 사면안전율( $F_{s/slope}$ )의 관계를 조사하여야 한다. 전단계에서 대상지반의 지반조건에 의하여 단위체적중량( $\gamma$ )와 강도정수( $c, \Phi$ )가 결정되므로 소요안전율을 고려하여 사면높이  $H$ 를 결정할 수 있다. 즉, 첫번째 단계에서 정해진 지반의 강도정수와 단위체적중량으로부터 예상사면높이  $H$ 를 선정한다. 이렇게 결정된 사면높이  $H$ 에 사면기울기  $L/\sqrt{LH}$ 도 선정하면 사면높이와 사면기울기로부터 사면안전율을 구할 수 있다.

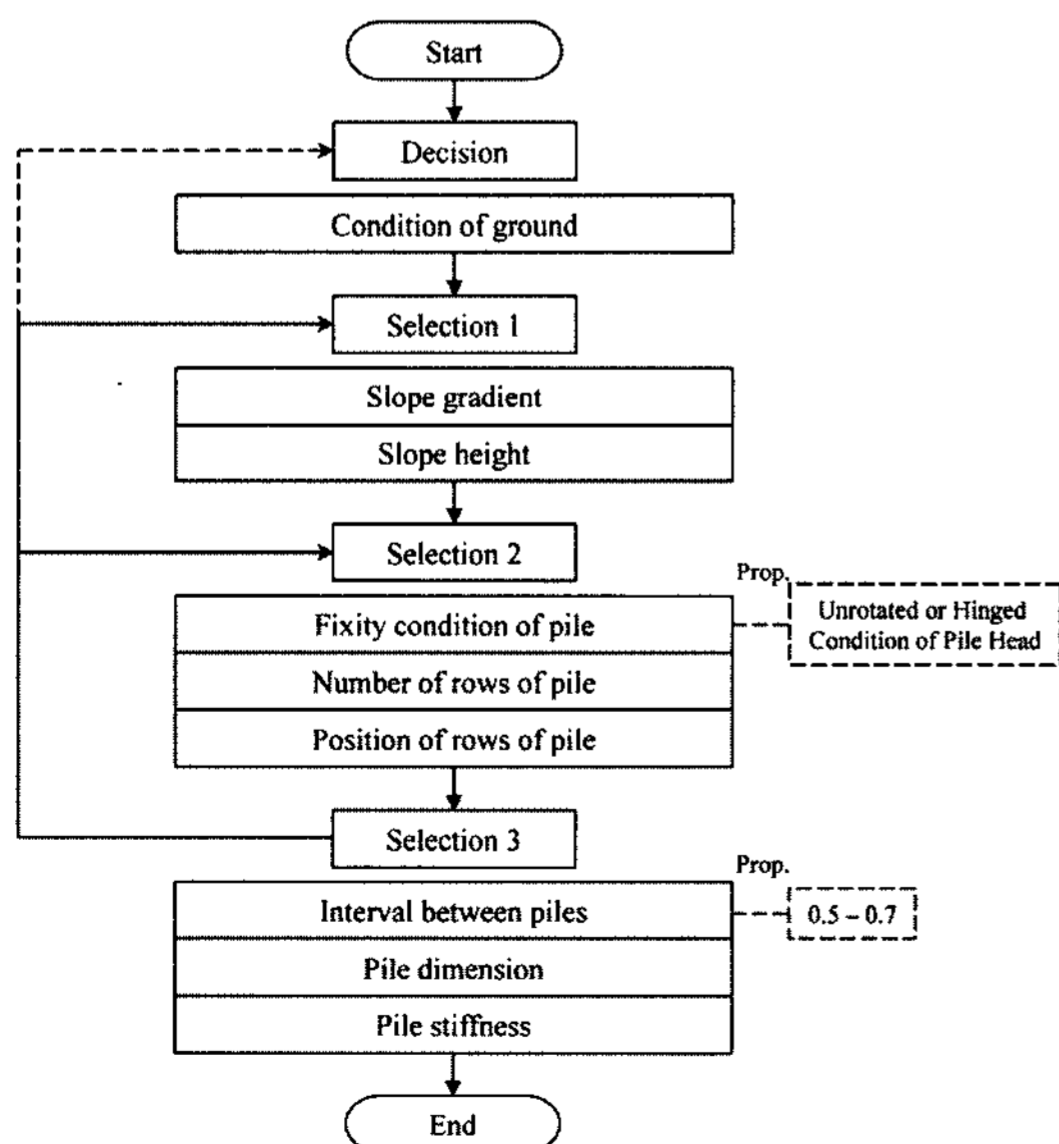


Fig. 6. Flow chart for design method of slope reinforced by piles.

역지말뚝을 설계할 경우는 Fig. 6의 흐름도에서 보는 바와 같이 먼저 선택 2의 단계에서 역지말뚝의 구속조건, 줄말뚝의 열수 및 설치위치를 선정하여야 한다. 여기서, 말뚝의 두부구속조건은 자유, 회전구속, 힌지, 고정의 네가지 경우를 생각할 수 있다. 자유는 말뚝두부를 구속하지 않는 상태로 둠으로서 말뚝두부의 수평변위와 회전이 모두 가능하게 한 상태이고, 회전구속은 말뚝두부의 수평변위는 발생되게 하나 회전은 구속되게 한 상태이다. 한편, 힌지는 말뚝두부의 수평변위는 구속된 상태에서 회전만 발생되게 하는 구속상태이고, 고정은 말뚝두부의 수평변위와 회전 모두 발생되지 않게 구속하는 경우에 해당된다. 통상적으로 회전구속은 말뚝두부를 보로 연결한 형태에 해당되며 고정은 이 연결보를 타이롯드나 앵커로 지지시킨 경우에 해당된다. 한편 힌지는 고정과 유사하나 말뚝두부의 연결보가 회전이 가능하도록 연결시킨 경우에 해당된다. 그러나 일반적으로 말뚝두부는 말뚝을 횡으로 연결시키지만 함으로서 회전구속상태로 함이 가장 경제적이며 효과적이다. 즉 말뚝두부를 띠장이나 철근콘크리트 보로 서로 연결시켜 가급적 두부가 회전되지 않게 하고 수평방향으로 이동만 하도록 한다. 특히 두열이상의 말뚝열을 설치할 경우는 트러스모양으로 말뚝두부를 강제로 서로 연결시킴으로서 두부회전구속의 조건이 된다. 한편 말뚝선단은 지지층에 관입되는 깊이에 따라 힌지나 고정의 상태가 된다.

역지말뚝으로 보강된 사면의 모형실험결과에 의하면 말뚝두부구속조건은 힌지 및 회전구속일 경우 사면활동에 대한 저항효과가 크게 나타남을 알 수 있다(홍원표와 송영석, 2005). 따라서 말뚝두부구속조건은 회전구속 혹은 힌지조건으로 설계 및 시공됨이 바람직하다.

다음은 선택 3의 단계로서 말뚝의 실질적인 설계단계가 된다. 여기서, 말뚝의 치수, 강성 및 설치간격을 선정하게 된다. 역지말뚝으로 보강된 사면의 모형실험에서 말뚝의 간격비는 0.5~0.7일 경우 사면활동에 대한 저항효과가 가장 우수한 것으로 조사되었다(홍원표와 송영석, 2005).

이러한 말뚝과 사면에 대한 제반사항의 설계가 끝나면, 설치된 말뚝과 보강사면에 대한 안정검토를 실시하여 사면과 말뚝의 안정이 모두 만족되는가 여부를 검토한다. 만약 이들 안정이 확보되지 못하면 Feed Back선을 따라 선택3의 단계로 가서 말뚝의 치수, 강성 혹은 간격을 재선정한 후 말뚝안정을 재검토한다. 여기서 만약 말뚝의 안정이 확보되면 다음으로는 사면안정을 검토하여야 한다. 만약 여기서도 만족스러운 효과가 얻어지지 않으면 선택 2의 단계로 가서 말뚝열의 수와 위치 혹은 말뚝구속조건

을 다시 선정후 계산과정을 반복한다. 이러한 억지말뚝으로 사면의 안정을 확보하지 못할 경우는 사면기울기와 사면높이의 선정단계인 선택 1의 단계 및 지반조건 결정단계까지 Feed Back하여 이들 조건을 변경할 수밖에 없다. 즉, 사면의 기울기와 사면높이를 완만하고 얇게 하거나 지반을 개량하여 지반강도를 증가시켜 소요안전율을 만족할 수 있도록 설계하여야 한다.

**쏘일네일링으로 보강된 사면의 설계법**

쏘일네일링으로 보강된 사면의 안정에 영향을 미치는 요소들로는 지반의 기하학적 형상, 토질정수, 제약조건, 그리고 네일 관련사항 등이 있다. 그러므로, 쏘일네일링으로 보강된 사면의 설계시 이러한 조건들은 반드시 고려되어야 한다.

Fig. 7은 쏘일네일링으로 보강된 사면의 설계순서를 흐름도로 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 쏘일네일링으로 보강된 사면의 설계는 네단계로 크게 구분할 수 있다. 즉, 한가지 결정단계와 세가지 선택단계로 구성되어 있다.

첫번째 단계에서는 지반조건 결정단계로서 합리적인 사면의 설계를 위하여 우선적으로 대상지반에 대한 실내시험 및 현장시험을 실시하여 토질정수 및 지하수위 등의 지반조건을 정확히 조사·결정하여야 한다.

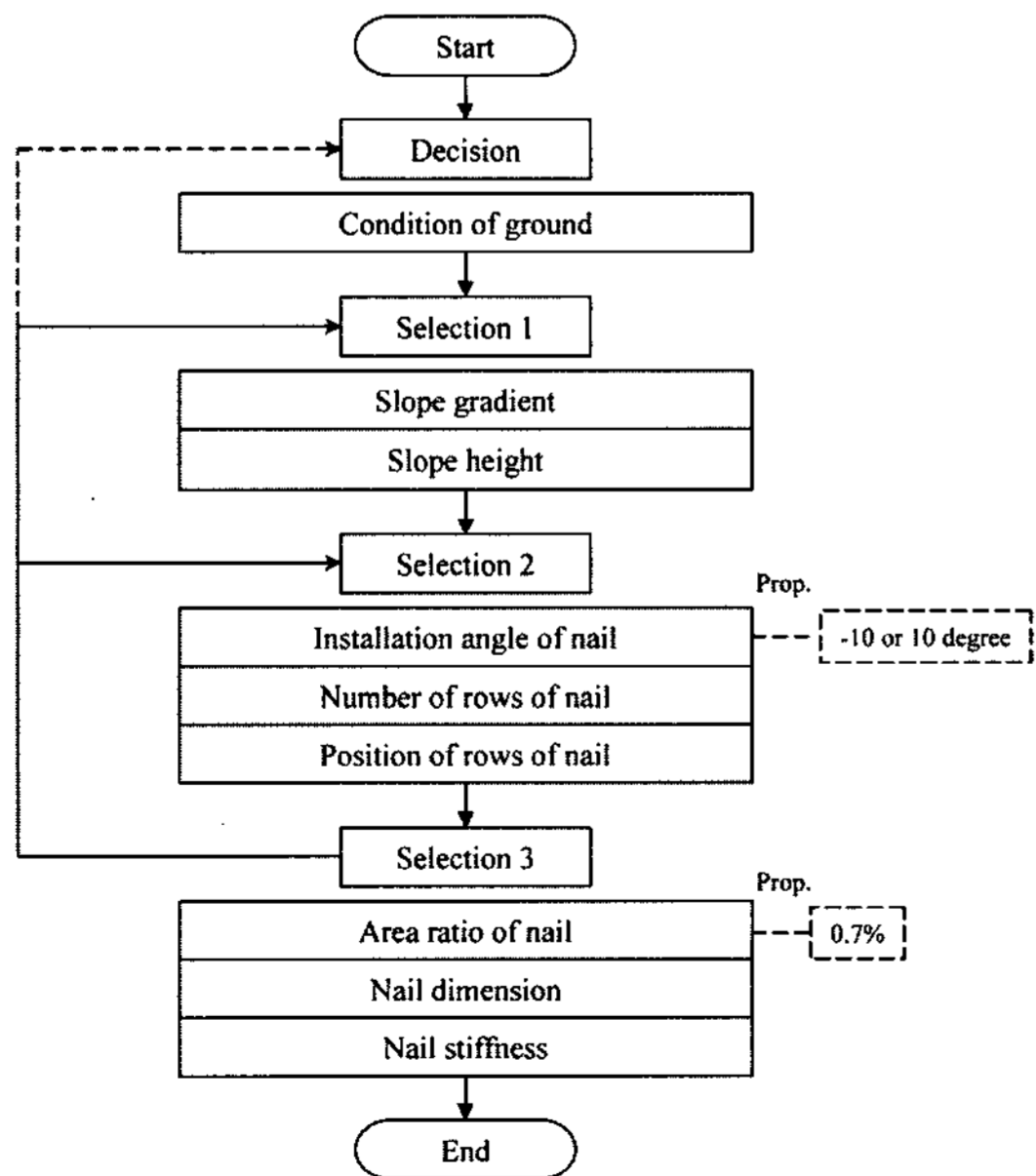


Fig. 7. Flow chart for design method of slope reinforced by soil nails.

두번째 단계는 선택 1의 단계로 지반조건이 결정되면 대상지역의 제약조건과 기하학적 형상을 고려하여 사면의 기울기와 높이를 선정한다. 이때, 사면기울기와 사면높이를 선정하는 방법은 억지말뚝으로 보강된 사면의 설계법과 동일하다.

사면에 설치된 쏘일네일링을 설계할 경우는 Fig. 7의 흐름도에서 보는 바와 같이 먼저 선택2의 단계에서 네일의 설치각도, 네일의 열수 및 설치위치를 선정하여야 한다.

쏘일네일링으로 보강된 사면의 모형실험결과에 의하면 네일의 설치각도는 사면활동면의 수직면에서 -10° 및 10°에서 가장 효율적인 것으로 나타났으며(홍원표와 송영석, 2006), 이는 문인철 외(2002)의 요소시험결과와 동일하다.

다음은 선택 3의 단계로서 네일의 실질적인 설계단계가 된다. 여기서, 네일의 치수, 강성 및 설치 면적비를 선정하게 된다. 쏘일네일링으로 보강된 사면의 모형실험결과에 의하면 네일의 면적비는 0.7%에서 네일의 활동억지효과가 가장 크게 발휘되는 것으로 나타났다(홍원표와 송영석, 2006). 그리고 네일의 치수 및 강성은 네일의 인발 및 인장파괴에 안정하도록 설계하여야 할 것이다.

이러한 네일과 사면에 대한 제반사항의 설계가 끝나면, 설치된 네일과 보강사면에 대한 안정검토를 실시하여 사면과 네일의 안정이 모두 만족되는가 여부를 검토한다. 만약 이들 안정이 확보되지 못하면 Feed Back선을 따라 선택 3의 단계로 가서 네일의 치수, 강성 혹은 간격을 재선정한 후 네일의 안정을 재검토한다. 만약 여기서도 만족스러운 효과가 얻어지지 않으면 선택 2의 단계로 가서 네일설치 열수와 위치 혹은 삽입각도를 다시 선정후 계산과정을 반복한다. 쏘일네일링으로 사면의 안정을 확보하지 못할 경우는 사면기울기와 사면높이의 선정단계인 선택 1의 단계 및 지반조건 결정단계까지 Feed Back하여 이들 조건을 변경할 수밖에 없다. 즉, 사면의 기울기와 사면높이를 완만하고 얇게 하거나 지반을 개량하여 지반강도를 증가시켜 소요안전율을 만족할 수 있도록 설계하여야 한다.

**앵커로 보강된 사면의 설계법**

앵커로 보강된 사면의 안정에 영향을 미치는 요소들로는 지반의 기하학적 형상, 토질정수, 부지의 제약조건, 그리고 앵커 관련사항 등이 있다. 그러므로, 앵커로 보강된 사면의 설계시 이러한 조건들은 반드시 고려되어야 한다.

Fig. 8은 앵커로 보강된 사면의 설계순서를 흐름도로 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 앵커로 보강된



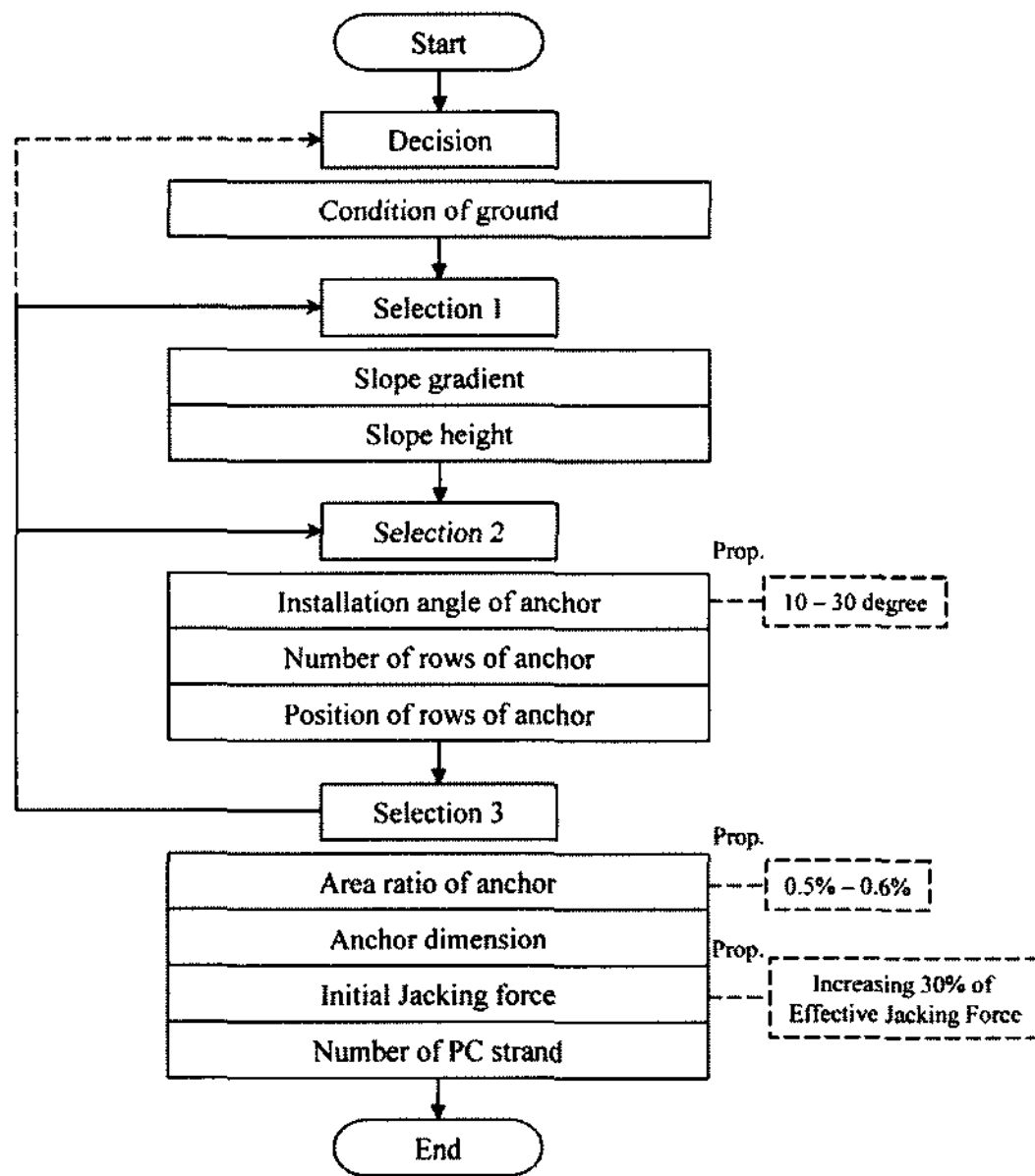


Fig. 8. Flow chart for design method of slope reinforced by anchors.

사면의 설계는 네단계로 크게 구분할 수 있다. 즉, 한가지 결정단계와 세가지 선택단계로 구성되어 있다.

첫번째 단계에서는 지반조건 결정단계로서 합리적인 사면의 설계를 위하여 우선적으로 대상지반에 대한 실내시험 및 현장시험을 실시하여 토질정수 및 지하수위 등의 지반조건을 정확히 조사·결정하여야 한다.

두번째 단계는 선택 1의 단계로 지반조건이 결정되면 대상지역의 제약조건과 기하학적 형상을 고려하여 사면의 기울기와 높이를 선정한다. 이때, 사면기울기와 사면높이를 선정하는 방법은 억지말뚝으로 보강된 사면의 설계법과 동일하다.

사면에 설치된 앵커를 설계할 경우는 Fig. 8의 흐름도에서 보는 바와 같이 먼저 선택 2의 단계에서 앵커의 설치각도, 앵커의 열수 및 설치위치를 선정하여야 한다.

다음은 선택 3의 단계로서 앵커의 실질적인 설계단계가 된다. 여기서, 앵커의 초기인장력, 앵커의 치수, 앵커의 면적비 및 앵커의 강선수를 선정하게 된다. 앵커로 보강된 사면의 모형실험결과에 의하면 앵커의 유효인장력은 초기인장력의 70%에 해당하는 것으로 나타났다(송영석과 홍원표, 2006).

한편, 앵커의 설치간격은 쏘일네일링의 면적비 개념을 도입하여 적용할 수 있다. 앵커로 보강된 사면의 모형실험결과에 의하면 앵커의 면적비는 0.5%~0.6%에서 앵커

의 활동역지효과가 가장 크게 발휘되는 것으로 나타났다(송영석과 홍원표, 2006). 그리고 네일의 치수 및 강성은 네일의 인발 및 인장파괴에 안정하도록 설계하여야 할 것이다.

이러한 앵커와 사면에 대한 제반사항의 설계가 끝나면, 설치된 앵커와 보강사면에 대한 안정검토를 실시하여 사면과 앵커의 안정이 모두 만족되는가 여부를 검토한다. 만약 이들 안정이 확보되지 못하면 Feed Back선을 따라 선택 3의 단계로 가서 앵커의 초기인장력, 면적비, 치수 및 강선수를 재선정한 후 네일의 안정을 재검토한다. 만약 여기서도 만족스러운 효과가 얻어지지 않으면 선택 2의 단계로 가서 앵커의 열수와 위치 혹은 삽입각도를 다시 선정한후 계산과정을 반복한다. 앵커로 사면의 안정을 확보하지 못할 경우는 사면기울기와 사면높이의 선정단계인 선택 1의 단계 및 지반조건의 결정단계까지 Feed Back하여 이들 조건을 변경할 수밖에 없다. 즉, 사면의 기울기와 사면높이를 완만하고 알게 하거나 지반을 개량하여 지반강도를 증가시켜 소요안전을 만족할 수 있도록 설계하여야 한다.

### 결론 및 요약

본 연구에서는 활동역지시스템으로 보강된 사면에 대한 설계법을 체계화하고, 이에 대한 설계 흐름도를 작성하여 합리적인 사면의 설계가 가능하도록 하였다. 제안된 사면의 설계법은 크게 5단계로 나눌수 있다. 즉, 현장상황조사단계, 사면설계단계, 산사태발생 예측단계, 사면파괴규모 판단단계 및 보강공법 선정단계로 구성되었다. 제안된 사면의 설계법에서는 산사태의 발생예측이 가능하고, 사면파괴규모에 따라 활동역지시스템의 선정이 가능하다. 사면파괴규모는 기존에 제안된 사면파괴의 위험성을 평가하는 국외의 각종 기준을 정리하고, 이를 국내에서 발생된 산사태 파괴규모와 함께 분석함으로써 정량적인 기준을 마련하였다. 기본적으로 사면파괴규모는 사면활동체적을 토대로 선정하며, 사면높이 및 상부토사층의 깊이는 참고적인 자료로서 활용한다. 사면활동체적은 파괴규모가 소규모인 경우 150 m<sup>3</sup>이하이고, 중규모인 경우 150 m<sup>3</sup>~900 m<sup>3</sup>이며, 대규모인 경우 900 m<sup>3</sup> 이상으로 분류하였다. 이와 같이 제안된 사면파괴규모는 앞으로 지속적인 자료의 조사를 통하여 수정 보완해 나가야 할 것이다. 제안된 사면파괴규모를 토대로 각각의 파괴규모에 따라 활동역지시스템을 결정할 수 있도록 하였다. 한편, 활동역지시스템인 억지말뚝, 쏘일네일링 및

앵커에 대한 각각의 설계법을 제안하여 최적의 사면안정공법을 마련할 수 있도록 하였다.

## 사 사

본 연구는 2006 건설기술혁신사업인 '국가 주요시설물 안전관리 네트워크 시범구축 및 운영시스템 개발'의 세부협동과제인 'GIS기반 급경사지 재해위험 취약지구 선정기법 연구'의 일환으로 수행되었습니다.

## 참 고 문 헌

- 건설교통부, 2003, 국토건설공사 설계실무 요령.  
문인철, 홍원표, 한중근, 송영석, 2002, 보강재 삽입각도에 따른 해성점토의 전단강도 특성. 대한토목학회 학술발표회 논문집, pp.462-465.  
송영석, 2004, 활동억지시스템으로 보강된 사면의 설계법, 중앙대학교 대학원 박사학위논문.  
송영석, 홍원표, 2006, 사면에 설치된 앵커의 활동억지효과에 대한 실험적 연구, 대한토목학회논문집, 제26권 제3-C호, pp.171-180.  
이부경, 2003, 지질방재공학, 도서출판 대운, pp. 228-332.  
최경, 1986, 한국의 산사태 발생요인과 예지에 관한 연구, 강원대학교 박사학위논문  
한국도로공사, 1999, 도로설계요령.  
한국도로공사, 2000, 도로설계 실무편람 -토질 및 기초-.  
홍원표, 1990, 사면안정(VIII), 강좌, 대한토질공학회지, 제6권 제3호, pp.88-98.  
홍원표, 1997, 부산 황령산 유원지내 운동시설 조성공사 현장사면안정성 확보방안에 대한 연구보고서, 중앙대학교.  
홍원표, 2003, 고달-산동간 도로개설공사 사면붕괴구간의 사면안정성 확보에 관한 연구보고서, 중앙대학교.  
홍원표, 김상규, 김마리아, 김윤원, 한중근, 1990, 강우로 기인되는 우리나라 사면활동의 예측, 대한토질공학회지, 제6권 제2호, pp.55-63.  
홍원표, 김원영, 송영석, 임석규, 2004, 인공신경망을 이용한 산사태 예측, 한국지반공학학회논문집, 제20권 제8호, pp.67-75.  
홍원표, 박찬호, 1994, 충무시 외곽진입로 절취사면 안정성 검토 연구보고서, (사)한국지반공학회.  
홍원표, 송영석, 2006, 활동억지시스템으로 보강된 사면의 안정해석 프로그램 개발, 지질공학, 제16권 제1호, pp.45-58.  
홍원표, 송영석, 2005, 사면에 설치된 억지말뚝의 활동억지효과에 대한 실험적 연구, 한국지반공학학회논문집, 제21권 제1호, pp.69-80.  
홍원표, 송영석, 2006, 사면에 설치된 쏘일네일링의 활동억지효과에 대한 실험적 연구, 한국지반공학학회논문집, 제22권 제2호, pp.5-17.  
홍원표, 한중근, 송영석, 이재용, 2003a, 현장계측에 의한 억지말뚝의 거동, 대한토목학회 학술발표회 논문집, pp.3299-3304.  
홍원표, 한중근, 송영석, 장두호, 2003b, 강우시 억지말뚝으로 보강된 대규모 절개사면의 침투거동, 대한토목학회 학술발표회 논문집, pp.3367-3372.  
홍원표, 한중근, 이형, 송영석, 1999, 우리나라 절개사면의 사면안정 설계법에 관한 연구, 대한토목학회 학술발표회 논문집(II), pp.53-56.  
Aboshi, T. 1972, Concentrated rainfall and slope failure, Sekou-gijyutu, Vol.5, No.11.  
Japanese National Railways, 1974, Modern inspection and maintenance procedure for railway structures, Japan Railway Civil Engineering Association, pp.691-739. (in Japanese)  
Okada, K. and Sugiyama, T. 1992, A risk estimating method of railway embankment collapse due to heavy rainfall, Structural Safety, Elsevier, Vol.14, pp.131-150.  
Okada, K. Sugiyama, T., Muraishi, H. and Noguchi, T. 1992, Statistical estimating method of railway embankment damage due to rainfall, Proc. of JSCE, No. 448/III-19, pp.25-34.  
Sugiyama, T., Okada, K. Muraishi, H., Noguchi, T. and Samizo, M. 1995, Statistical rainfall risk estimating method on deep collapse of cut slope, Soils and Foundations, Vol.15, No.4, pp.37-48.  
Task Committee of Japanese Geotechnical Society, 1996, Manual for zonation on rain-induced slope failure (Preliminary draft), Japanese Geotechnical Society.  
Vanmarcke, E. H. 1977, Reliability of earth slope, Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE, Vol.103, No.GT11, pp.1247-1265.

2008년 2월 10일 원고접수, 2008년 3월 2일 게재승인

### 송영석

한국지질자원연구원 지질환경재해연구부  
305-350, 대전광역시 유성구 가정동 30  
Tel: 042-868-3035  
Fax: 042-861-9723  
E-mail: yssong@kigam.re.kr

### 홍원표

중앙대학교 공과대학 건설환경공학과  
156-756, 서울특별시 동작구 흑석동 221  
Tel: 02-820-5258  
Fax: 02-817-8050  
E-mail: wphong@cau.ac.kr