

# 태풍 루사에 의한 김해 ○○단지 사면붕괴 발생원인 분석

## An Analysis on the Failure Mechanism of Slope behind a Plant Complex of Gimhae due to Typhoon Rusa

강인규·류정수\*\*·김홍택\*\*\*·백승철\*\*\*\*

Kang, In-Kyu · Ryu, Jeong-Soo · Kim Hong-Taek · Baek, Seung-Cheol

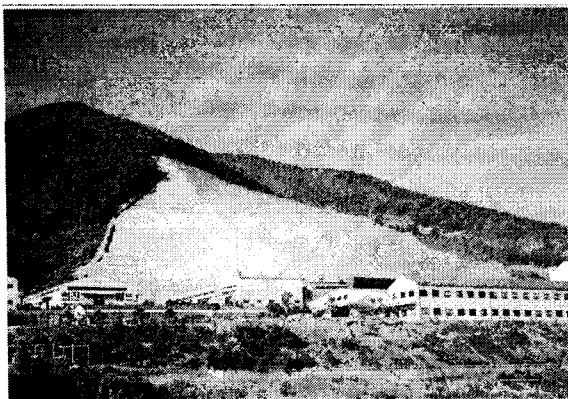
### Abstract

In this paper, analysis results on the failure of slope behind a Plant Complex of Gimhae due to typhoon Rusa in 2002 are introduced. The left side of the slope was reinforced by soil nails and the right side of the slope was going to construct slope reinforcement works. In the slope failure, the damage area is about  $34,000\text{m}^2$ , the lower width of slope failure is about 230m, the upper width of slope failure is about 50m, and the height of slope failure is about 120m. The elevation of a bedrock in the right side of the slope was lower than the left side of the slope. Due to the depth of weathered soils and weathered rocks in right side of the slope was thick, it will be expected that the effects of pore-water pressure during the rainfalls are large. For the analysis of the failure mechanism, 3-dimensional numerical analysis was carried out by FLAC-3D.

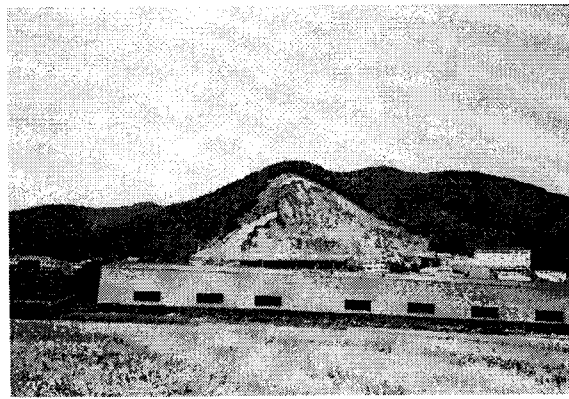
**key words** : typhoon Rusa, slope failure, FLAC-3D

### 1. 서론

태풍 루사에 의한 김해 ○○단지 사면붕괴는 2002년 8월 10일 발생되었으며, 사면붕괴 전·후의 전경은 사진 1과 같이 사면 좌측부는 Soil Nail 공사가 완료되었고 사면 우측부는 사면보강 공사가 진행 중인 상태에 있었다.



(a) 발생 전



(b) 발생 후

사진 1. 사면붕괴 발생 전·후의 사면 전경

\* 정회원 · (주)브니엘컨설팅 · 대표이사 · E-mail: kang-ik@vniel.co.kr

\*\* 정회원 · (주)브니엘컨설팅 · 회장

\*\*\* 정회원 · 홍익대학교 토목공학과 · 교수

\*\*\*\* 정회원 · 안동대학교 토목공학과 · 교수

사면붕괴 발생규모는 공장들이 위치하는 표고 약 90m 지점으로부터 사면붕괴 최상부의 표고는 210m로 최대 사면붕괴 발생 높이는 약 120m이며, 사면붕괴 발생면적은 평면도상에서 계산하면 약 34,000m<sup>2</sup>이다. 또한 사면붕괴 하부 폭은 약 230m이고 상부의 폭은 약 50m이다.

## 2. 사면현황 및 지형

### 2.1 사면현황

본 사면붕괴 발생 현장에 대한 현황도는 그림 1과 같으며, 사면붕괴가 가장 크게 발생된 단면 H-H를 도시하면 그림 2와 같다.

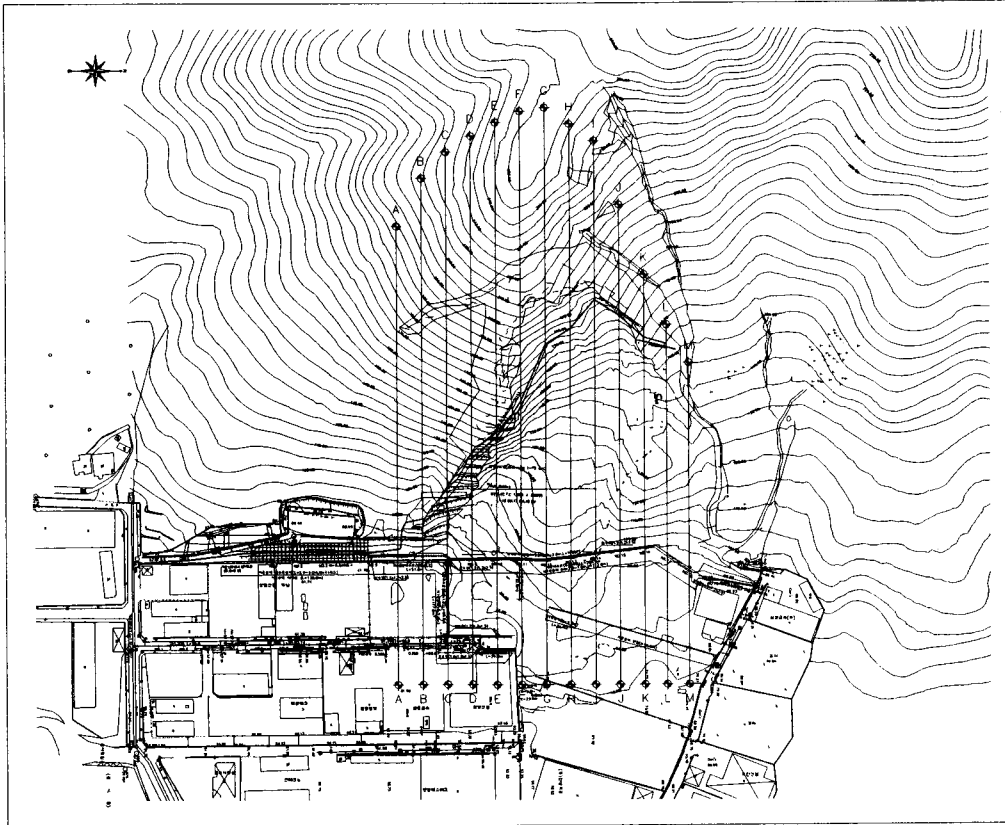


그림 1. 사면 현황도

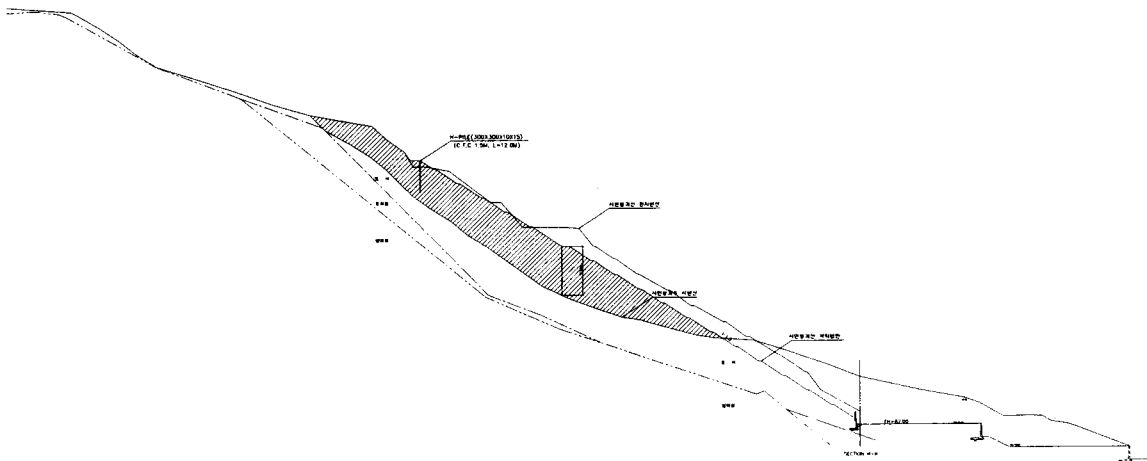


그림 2. 횡단면도(단면 H-H)

## 2.2 지형

김해 ○○단지 배후 주변지형에 대해 단지조성공사 이전의 자연상태의 지형으로 판단되는 1997년에 제작된 지형도 및 단지조성공사 이후의 사면절취가 이루어진 상태로 판단되는 2002년에 제작된 지형도를 바탕으로 지형도를 재작성하면 그림 3과 같다. 그림 3에서 알 수 있듯이 1997년 당시 원사면은 지형상 ○○단지의 남동쪽에 비하여 ○○단지의 북서쪽이 높은 위치에 있고, 단지조성공사가 실시되면서 ○○단지 좌측 사면이 ○○단지 우측 사면보다는 사면경사가 더 급하게 변화된 것을 알 수 있다.

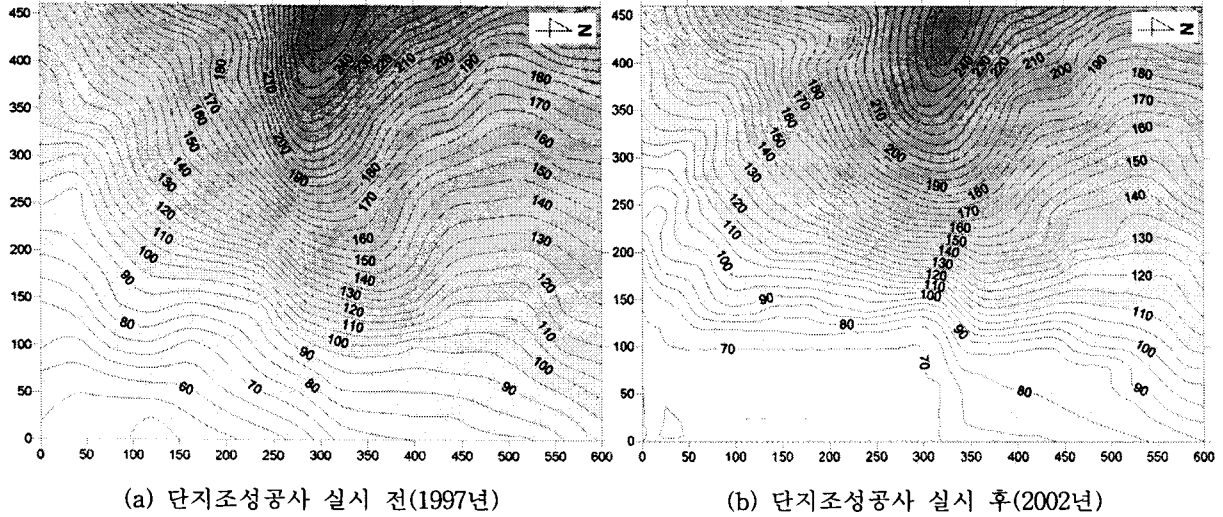


그림 3. 단지조성공사가 실시 전·후의 지형도

## 3. 발생원인 분석

### 3.1 시추조사자료 분석

풍화토 및 풍화암층과 연암층과의 경계면 분석결과를 토대로 대규모 사면붕괴시 활동방향은 풍화토 및 풍화암층과 연암층과의 경계면 중 가장 급한 경계면을 연결하여 예측가능하며 이를 도시하면 그림 4의 예상 활동방향과 같다. 그림 4에서 알 수 있듯이 기반암에 해당하는 연암층은 ○○단지 좌측 사면이 높고 ○○단지 우측 사면이 낮은 것으로 나타났다. 즉 토층에 해당되는 풍화토 및 풍화암층의 두께가 ○○단지 좌측 사면보다는 ○○단지 우측측 사면이 두텁기 때문에 강우시 간극수압의 영향을 크게 받을 것으로 예상된다.

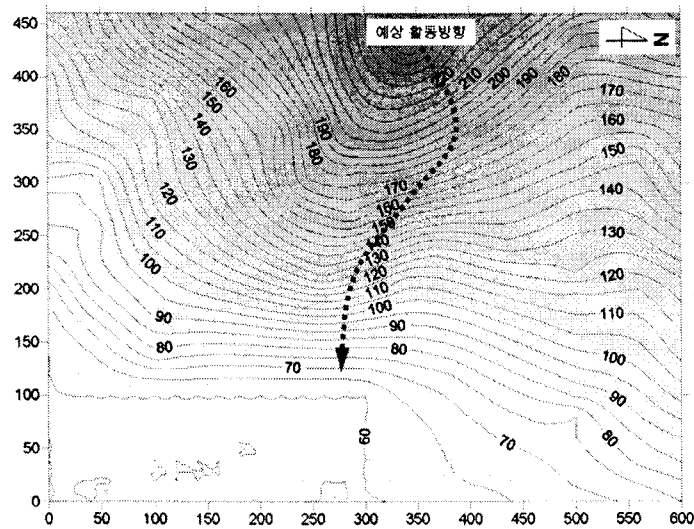


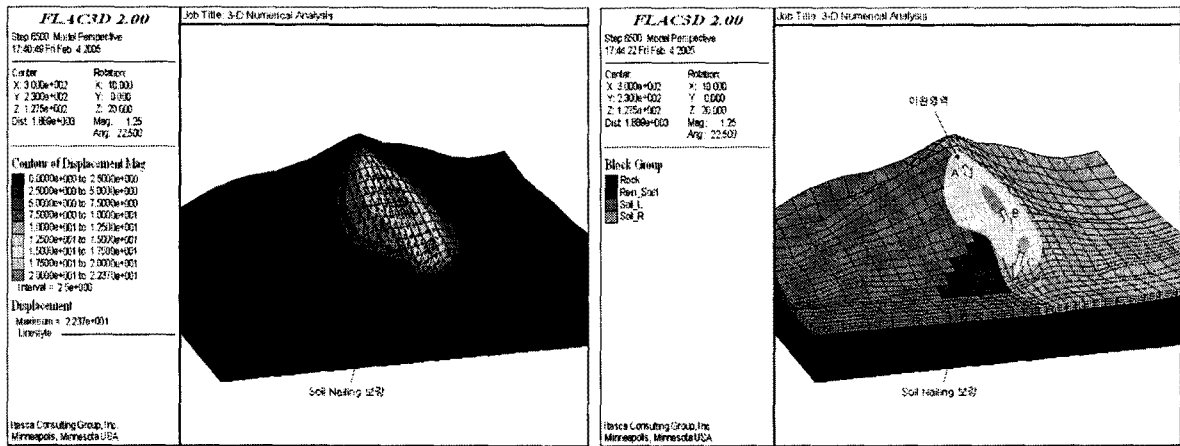
그림 4. 풍화토 및 풍화암층과 연암층과의 경계면 분석결과

### 3.2 3차원 수치해석

본 3차원 수치해석은 산사태 발생과 관련하여 사면붕괴 경로의 추정 분석을 위해 수행하였으며, 해석에 사용한 프로그램은 FLAC-3D Ver. 2.0 프로그램을 사용하였다. 해석에 사용한 지반의 강도정수는 표 1과 같으며, 풍화도와 풍화암층을 표층부로 하여 풍화암의 강도정수를 적용하였으며, 그 하부의 기반암층 및 Soil Nailing 보강 영역은 연암의 강도정수를 적용하였다. 3차원 수치해석에 의한 변위벡터 및 변위분포를 도시하면 그림 5(a)와 같다. 그림 5(a)의 3차원 수치해석결과를 바탕으로 본 산사태 붕괴개시지점의 위치 및 붕괴발생 경로 등을 보다 구체적으로 살펴보면 그림 5(b)와 같이 A→B→C의 경로를 따라 붕괴가 진행되었을 가능성이 큰 것으로 추정된다.

표 1. 해석에 사용한 지반의 강도정수

지층	단위중량(tf/m <sup>3</sup> )	점착력(tf/m <sup>2</sup> )	내부마찰각(°)	탄성계수(tf/m <sup>2</sup> )	포화손비	비고
풍화토	1.750	1.200	32.9	5,000	0.35	
풍화암	1.857	3.786	36.0	5,000	0.35	
연암	2.070	8.800	43.0	30,000	0.25	



(a) 변위벡터 및 변위분포도

(b) 사면붕괴 경로의 추정

그림 5. 3차원 수치해석결과 및 사면붕괴 경로의 추정

### 4. 결론 및 제언

본 논문은 태풍 루사에 의한 김해 ○○단지 사면붕괴 발생원인을 분석한 사례로 이상의 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 사면붕괴 발생규모는 공장들이 위치하는 표고 약 90m 지점으로부터 산면붕괴면 최상부의 표고는 210m로 최대 사면붕괴 발생 높이는 약 120m이며, 사면붕괴 발생면적은 평면도상에서 계산하면 약 34,000m<sup>2</sup>이다. 사면붕괴 하부 폭은 약 230m이고 상부의 폭은 약 50m이다.

(2) 기반암에 해당하는 연암층은 ○○단지 좌측 사면이 높고 ○○단지 우측 사면이 낮은 것으로 나타났다. 즉 토층에 해당되는 풍화토 및 풍화암층의 두께가 ○○단지 좌측 사면보다는 ○○단지 우측측 사면이 두텁기 때문에 강우시 간극수압의 영향을 크게 받을 것으로 예상된다.

### 참고문헌

1. Itasca Consulting Group, Inc. (1997), FLAC-3D Version 2.0 : User's Manual.