터널과 지하공간, 한국암반공학회지
제18권 제6호, 2008년 12월, pp. 447~456

TUNNEL & UNDERGROUND SPACE, Vol. 18, No. 6, 2008, pp. 447-456
Journal of Korean Society for Rock Mechanics

대규모 노천 석탄광산의 한계사면높이 결정과 사면파괴 예측을 위한 계측자료 해석

정용복[1)]*, 선우춘[1)], 이종범[2)]

Determination of Critical Slope Height for Large Open-pit Coal Mine and Analysis of Displacement for Slope Failure Prediction

Yong-Bok JUNG, Choon SUNWOO, Jong-Beom LEE

Abstract Open-pit mine slope design must be carried out from the economical efficiency and stability point of view. The overall slope angle is the primary design variable because of limited support or reinforce options available. In this study, the slope angle and critical slope height of large coal mine located in Pasir, Kalimantan, Indonesia were determined from safety point of view. Failure time prediction based on the monitored displacement using inverse velocity was also conducted to make up for the uncertainty of the slope design. From the study, critical slope height was calculated as 353~438 m under safety factor guideline (SF>1.5) and 30° overall slope angle but 300m is recommended as a critical slope height considering the results of sensitivity analysis of strength parameters. The results of inverse velocity analysis also showed good agreement with field slope cases. Therefore, failure of unstable slope can be roughly detected before real slope failure.

Key words Large open-pit mine, Weak slope, Slope angle, Critical slope height, Inverse velocity, Failure prediction

초 록 노천광산에서 사면설계는 안정성과 경제성 측면에서 동시에 접근하여 결정해야 한다. 또한 일반 도로나 철도 연변의 사면과는 달리 대부분 지보나 보강없이 굴착해야 하기 때문에 사면각도가 가장 중요한 설계 변수이다. 본 연구에서는 인도네시아 파시르에 위치한 노천채광방식의 대규모 석탄광산 사면에 대하여 안정성 측면에서의 사면 각도 및 한계사면높이를 결정하였으며 이러한 설계가 가지고 있는 불확실성을 보완할 수 있는 계측 및 계측자료 해석을 수행하였다. 연구 결과, 사면각도(Overall slope angle) 30°를 유지하는 경우 안전율 1.5를 확보하는 최대개발심도는 353~438 m로 계산되었으나 강도정수에 대한 민감도분석결과를 고려할 때 사면높이는 300 m를 초과하지 않는 것이 바람직하다. 또한 변위계측자료에 대한 역변위속도 분석 결과가 현장사면 사례와 잘 일치하여 이 방법을 통해 사면의 불안정성 및 파괴시기를 대략적으로 예측할 수 있을 것으로 판단된다.

핵심어 대규모 노천광산, 연약 사면, 사면각, 한계사면높이, 역변위속도, 파괴예측

1. 서 론

노천광산에서 사면설계는 안정성과 경제성 측면에서 동시에 접근하여 결정해야 한다. 또한 일반 도로나 철도 연변의 사면과는 달리 대부분 지보나 보강없이 굴착해야 하기 때문에 사면각도가 가장 중요한 설계 변수이다.

[1)] 한국지질자원연구원 지구환경연구본부
[2)] PT. KIDECO Jaya Agung
* 교신저자 : ybjung@kigam.re.kr
접수일 : 2008년 11월 12일
심사 완료일 : 2008년 11월 27일
게재 확정일 : 2008년 12월 3일

국내외 절토사면 설계기준의 경우 암반조건과 사면높이에 따라 1:1에서 1:1.5까지의 경사범위를 제시하고 있으며 소단 및 안전율에 대한 기준도 제시하고 있다. 따라서 사면 설계의 경우 제시된 사면각도로 절취한 상태에서 주어진 안전율을 확보할 수 있도록 지보/보강 설계를 수행하는 것이 일반적이다. 노천광산의 경우 지보나 보강을 수행하는 것은 비용측면뿐만 아니라 채광작업 측면에서도 유리하지 않다. 임시사면의 경우 계속해서 굴착되기 때문에 적절한 기간 동안만 유지되면 된다. 다만, 최종사면의 경우에는 보강을 고려해야 한다.

파시르 광산은 노천채광방식으로 운영되기 때문에 채

광규모의 확대 및 심부화에 따라 높이 150 m 이상의 대규모 사면이 형성되어 있다. 또한 석탄가격의 상승으로 심부의 석탄을 계속 채광할 것으로 예상되기 때문에 점차 거대화하는 대규모 사면에 대하여 안정성 측면에서의 사면 각도 및 한계 개발심도 결정이 매우 중요하다. 더구나 사면을 형성하는 지층은 미고결의 이암 및 사암으로서 주기적인 강우, 주변 지하수계 및 발파진동의 영향으로 인하여 각 소단을 따라 소규모의 사면 붕괴가 발생하고 있다. 이러한 붕괴가 소규모로 발생하더라도 운반로를 막을 경우 작업 공정에 지장을 받으며 추후 대규모 사면붕괴로 이어질 가능성도 있어서 경제성과 안전을 고려한 최적 사면구배를 결정하는 것이 무엇보다도 중요한 실정이다.

본 논문에서는 세계적으로도 규모가 큰 인도네시아의 파시르 노천 석탄광산의 사면 설계와 이러한 설계가 가지고 있는 불확실성을 보완할 수 있는 계측 및 계측자료 해석에 대하여 소개한다.

2. 연구대상 지역

2.1 광산 현황

인도네시아 파시르 노천광산은 칼리만탄 섬의 발릭파판 서측 130 km 지점에 위치하고 있다. 전체 탄광 면적은 504 km^2으로 서울시와 비슷한 크기이며 약 11억톤의 유연탄이 매장되어 있는 것으로 추정된다. 1982년 인도네시아 정부와 채광협약을 체결한 후 1993년 120만톤의 유연탄 생산을 시작하여 2006년 현재 연간 생산량은 1900만톤으로 증가하였다.

파시르 탄광은 크게 북부, 중부 및 남부 구역으로 구분되며 남부는 Fig. 1처럼 A, B, C(1~4), D(1~2), E(1~2) 그리고 F구역으로 구분된다. 암종의 구성은 대략적으로 이암이 80%, 사암이 15% 그리고 석탄이 5% 정도로 구성되어 있다(KIGAM, 2003). 각 암종들의 강도는 50MPa이하로 매우 낮다. 탄층은 향사구조의 한 날개부에 속하며, 탄층의 경사는 75°에서 수직까지 지역으로 변하고 있으며, 15개의 다른 탄층이 서로 평행하게 부존하며 탄폭은 1 m에서 25 m까지 다양하다.

현재 파시르 광산은 노천채광법의 하나인 Strip 채탄법으로 개발되고 있다. 이 채탄법은 간단한 채탄 시스템으로 탄층사이에 부존하는 이암이나 사암에 천공을 실시하고 발파에 의해 암반을 이완시킨 후에 폐석은 적재장비인 shovel/backhoe를 이용하여 100-150톤 트럭에 의해 운반하여 폐석처리장으로 운반처리된다(Fig. 2(a)). 이와 같이 폐석의 암반을 제거한 후에는 backhoe를 이용하여 채탄을 실시하여 트럭에 적재시킴으로써 채탄이 이루어진다(Fig. 2(b)). 앞으로 채탄심도가 깊어짐에 따라 사면의 안정성 문제 때문에 제안되고 있는 채탄계

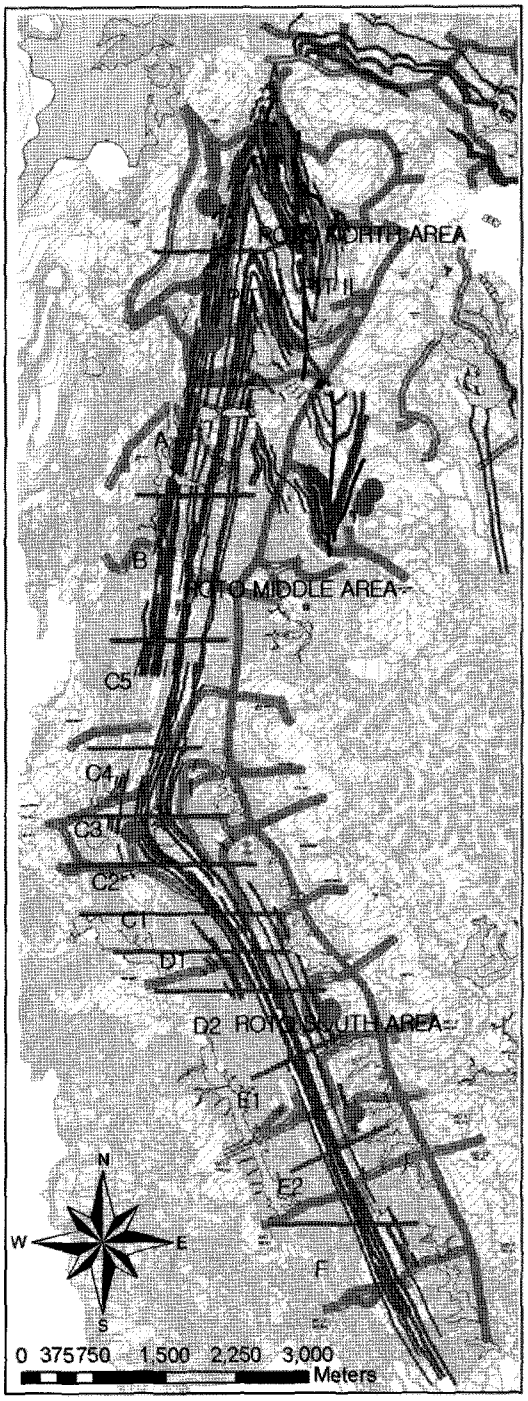
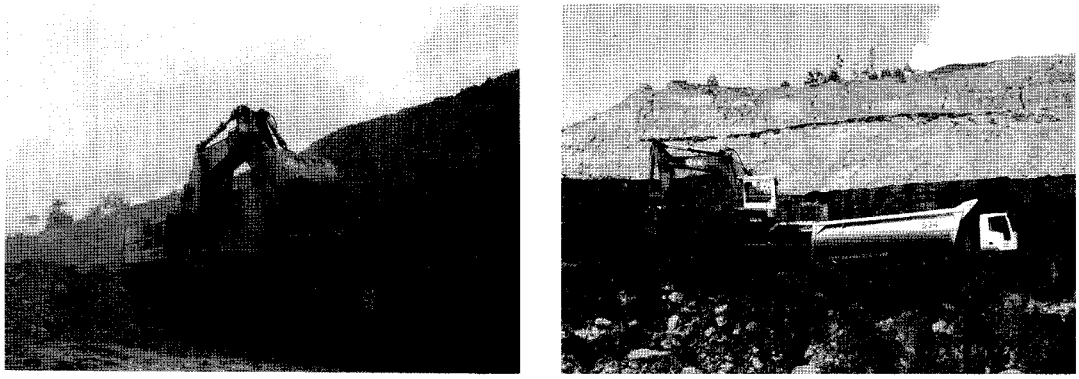


Fig. 1. Map of Pasir coal mine.



(a) Waste removal after blasting (b) Coal loading after waste removal

Fig. 2. Mining method applied to Pasir coal mine.

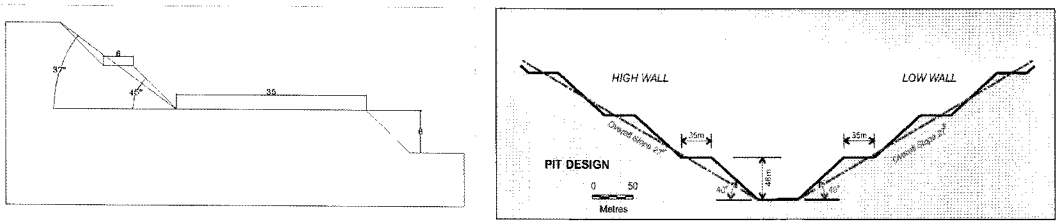


Fig. 3. Current (upper) and future (lower) slope dimensions.

획은 Strip 채탄법과 같은 채탄법형태를 갖는 Haul Back 채탄방법의 도입을 예정하고 있다. 이 채탄법은 현재의 채탄작업사면 뒷부분에 놓이는 채굴적 공간에 바로 폐석을 쌓는 것으로 심부의 탄을 포기하는 것을 의미한다. 이러한 작업을 도입할 경우 폐석처리비용이 감소하게 되고 사면의 유지기간을 단축시킬 수 있으며 이로부터 사면의 안전성을 도모할 수 있게 된다.

2.2 사면 현황

현재 사면은 8 m 높이의 소단과 6 m의 berm, 그리고 운반로의 경우 35 m폭으로 구성되어 있으며, 전체 사면 구배는 27°로 운영되고 있다. 기존에 수행된 안정성 해석 결과는 개발 초기단계에 수행된 것으로서 사면 각도에 대한 연구만 수행되었으며 한계사면높이는 다루지 않았다(정소걸 외, 2000). 그러나 채굴심도가 깊어짐에 따라 Fig. 3과 같은 형태의 48 m 높이의 대규모 소단으로 굴착하는 것을 계획하고 있으며 이러한 채광계획에 대한 안정성 평가(정용복 외, 2007)와 최대 채굴심도결정이 현재 주된 관심사항이다.

파시르 광산에 형성된 사면의 경우 구성암석이 연약하며 지역 특성상 주기적인 강우와 사면 상부에 형성된 많은 못(pond), 주기적인 발파 등 사면 안정성에 불리한 여건들이 다수 존재하고 있다. 이 광산에서 발생하는 사면 파괴형태는 사면파괴에서 볼 수 있는 모든 형태의 사면파괴가 관찰되고 있다. 사면 파괴 양상은 많은 토사사면에서 나타나는 원호파괴와 평면파괴, 전도파괴, 지표수 세굴에 의한 침식 등이 흔하게 나타난다. 또한 사면의 전체적인 변형에 의해 사면 상부에 인장균열들이 발생하고 있으며 상단 배수로에서도 인장균열들이 관찰되기도 한다. 이러한 인장균열들은 지층의 주향방향으로 발달되어 있으며 지표수가 이러한 인장균열을 통해 쉽게 침투하여 사면의 불안정성을 가속화시키고 있다. 또한 채탄장 저수조나 사면 상부의 저수조나 침전조 등이 지하수 공급원으로 작용하여 사면의 안정성에 영향을 끼치는 것으로 판단된다. 사면 저부에서 수시로 발생하는 발파진동도 사면에 영향을 미치고 있는 것으로 나타났으나 이는 별도의 연구를 통해 접근하고 있으므로 본 연구에서는 자세한 내용을 제외하였다(최병희 외, 2006).

소단 규모의 소규모 파괴 이외에 중규모 이상의 사면파괴가 2006년 10월 및 2007년 5월과 6월에 각각 C4 서측, C1C2 서측 및 E2 동측에서 발생하였다. 대부분 원호파괴 형태이며 자세한 내용은 정용복 외(2007)에 기술되어 있다. 이 중 2007년 5월에 파괴된 C1C2 서측

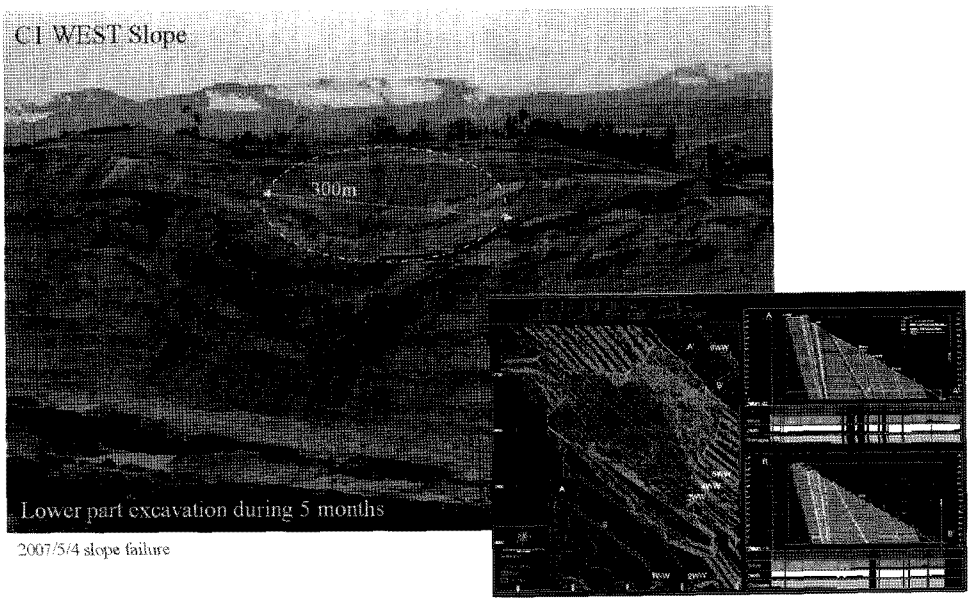


Fig. 4. Medium to large scale slope failure at C1C2 West region (2007/5/4).

사면의 경우 Fig. 4와 같이 높이 70 m, 폭 300 m 규모로 붕괴되었으며 월 누적강우량 580 mm가 되는 우기시에 파괴가 발생하였다. 또한 2006년 11월부터 2007년 4월까지 사면 하부에서 약 60 m 이상 굴착이 급격히 진행되어 파괴가 발생한 것으로 추정된다.

3. 사면 설계

사면의 안정성은 Fig. 5와 같이 굴착에 의한 지형의 변화, 강우나 지하수에 의한 지하수 조건 및 암반 자체의 풍화 등에 의해 영향을 받는다. 이러한 조건에서 일반적인 사면 설계는 Fig. 6과 같은 절차를 따라 진행된다(Hoek & Bray, 1981).

파시르 탄광의 경우 현재 굴착이 상당부분 진행된 상태이며 심부화되는 조건에서 현재의 사면 구배로 암반의 안정성 측면에서 굴착가능한 사면높이가 어느 정도인지를 결정하는 것이 사면설계의 주요 관심사이다.

사면 설계에서 가장 중요한 것이 암반의 강도특성이다. 대상 사면의 경우 암석으로 구성되었으나 불연속면에 의해 거동이 좌우되는 일반적인 암반사면과는 달리 원호파괴가 우세적이다. 따라서 본 연구에서는 파괴기준으로 Mohr-Coulomb 모델을 사용하였으며 원호파괴를 기준으로 분석하였다.

먼저 현재까지 수행된 실험자료를 종합적으로 분석하여 강도정수를 결정하였다. 일축압축 및 삼축압축, 직접전단시험으로 구한 자료를 암석종류와 포화/건조 조건에 따라 분류하여 표시하면 Fig. 7과 같다. 이 값을 통해 각 암종별 최대 및 최소 강도정수를 결정하였으며 사암

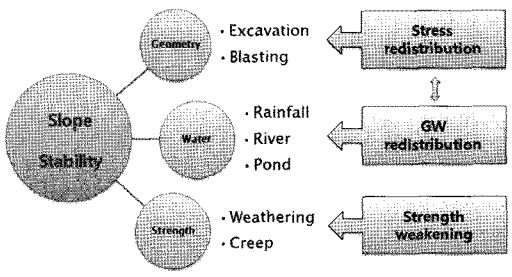


Fig. 5. Key factors governing the slope behaviour.

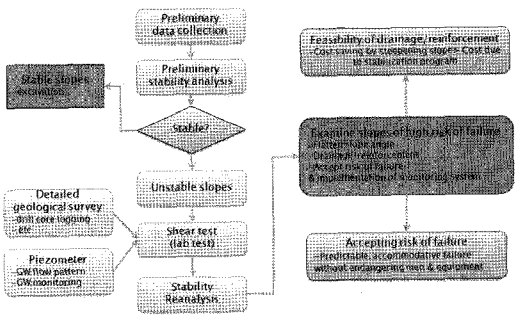
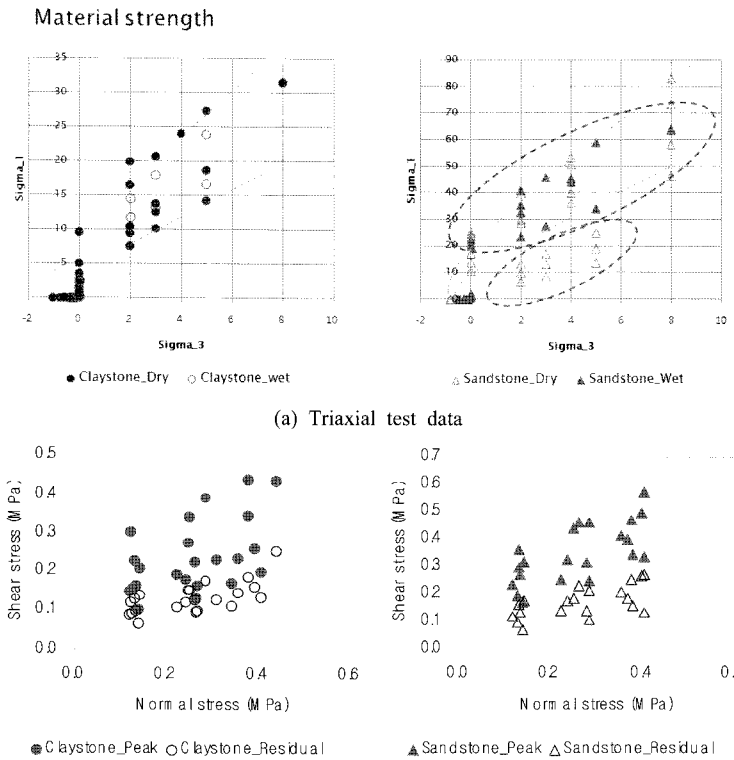


Fig. 6. General procedure of slope design (after Hoek & Bray, 1981).

의 경우 확연하게 2개의 그룹으로 구분되어 일반사암과 연약사암으로 구분하였다. 전단강도의 경우 정점강도자료와 잔류강도자료를 각각 최대 및 최소값으로 사용하였다. Fig. 7을 살펴보면 포화/건조에 따른 차이는 크지 않으며 단지 샘플링 위치, 샘플링과정과 운반과정동안 교란 여부가 강도차이를 결정한 것으로 판단된다.

암석종류별 강도정수와 각 암석의 사면 구성비율을 근거로 평균적인 암반강도정수를 산출하였으며 Fig. 8



(a) Triaxial test data

(b) Direct shear test data

Fig. 7. Strength distribution of slope composite rocks.

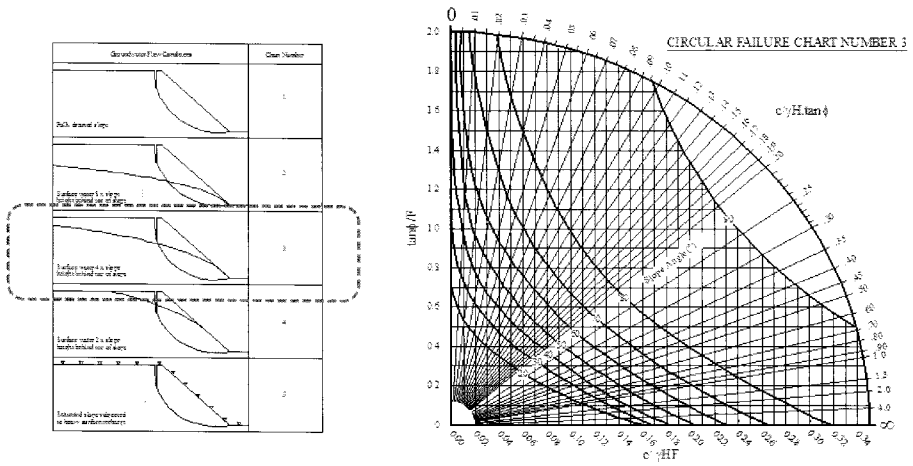


Fig. 8. Hoek & Bray(1981) Stability chart.

과 같은 원형파괴에 대한 Hoek & Bray의 사면안정도표(Hoek & Bray, 1981)를 사용하여 사면높이에 따른 안전율을 결정하였다. 일반적인 한계평형해석의 경우 파괴면을 가정하지 않고 해석하는 경우 파괴면이 사면전체가 아니라 사면의 일부에서 소규모로 발생하기도 하기 때문에 사면전체의 거동을 파악하는데 적절하지 않다. 따라서, 본 논문에서는 사면의 바닥(toe)에서 상부까지 연장되는 파괴면을 가정하는 Hoek & Bray의 개념을 적용하였다. 이 때 지하수 조건은 일반적인 조건(GW=3)과 완전침수조건(GW=5)을 사용하였다. 이는 연직으로 발달한 현장의 지층특성상 사면내 지하수위 분포 추정이 매우 어려워서 일반조건과 침수조건에 대하여 분석을 수행하여 보수적으로 판단하고자 한 것이다.

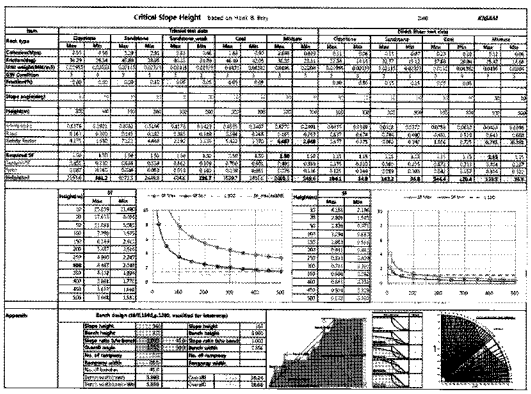
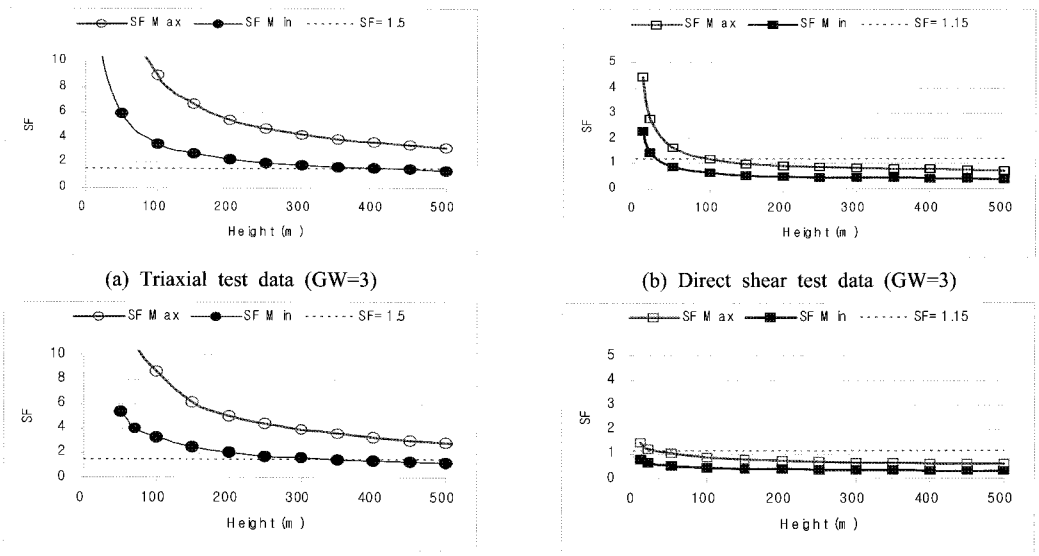


Fig. 9. EXCEL Sheet for slope design.

본 연구에서는 이러한 한계사면높이 및 안전율 계산을 좀 더 용이하게 사용할 수 있도록 하는 EXCEL 시트를 Fig. 9와 같이 개발하였으며 강도정수값들의 불확실성을 고려한 위험도분석도 수행하였다. 또한 직접전단실험과 삼축실험을 통해 구한 강도정수를 사용하여 각각에 대한 사면높이 및 안전율을 구하여 비교하였다. 안전율 기준은 국내의 절토사면 기준을 참조하였으나 사면의 규모가 크기 때문에 광산사면임에도 불구하고 1.5를 기준으로 하였다. 다만 전단실험결과의 경우 편차가 적고 소단단위의 평가에 사용되기 때문에 1.15를 사용하였다.

삼축실험과 직접전단실험에 의해 결정된 강도정수 및 사면각도와 사면높이를 근거로 산정된 안전율은 Fig. 10(a)와 같다. 삼축실험자료를 근거로 할 때 지하수조건에 따라 353 m에서 438 m 사면높이까지 안전율 1.5를 확보하는 것으로 나타났으나 전단강도자료를 근거로 할 경우 26~32 m까지만 안전율 1.15를 확보하는 것으로 나타났다. Table 1은 지하수 조건 및 실험자료에 근거한 안전율 및 사면높이를 정리한 것이다. 실험방법상의 차이도 있겠지만 현재까지의 자료를 근거로 판단할 때 전단강도는 잔류강도값으로 판단되며 삼축실험자료는 비교적 교란되지 않는 원래의 강도값을 대표하는 것으로 사료된다. 사면의 표면 부근은 주기적인 발파진동의 영향으로 교란되기 때문에 소단 규모의 사면안정성 평가에는 전단강도값을, 전체사면의 안정성은 삼축압축시험 결과를 적용하는 것이 타당한 것으로 사



(a) Triaxial test data (GW=3)

(b) Direct shear test data (GW=3)

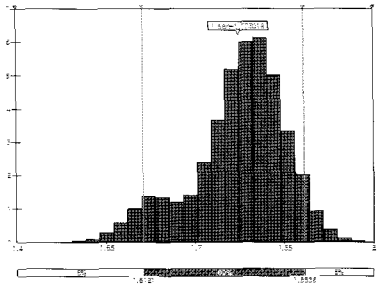
(c) Triaxial test data (GW=5)

(d) Direct shear test data (GW=5)

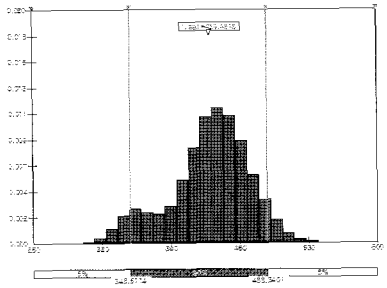
Fig. 10. Safety factor distribution according to the slope height.

Table 1. Critical slope height and safety factors for Pasir coal mine.

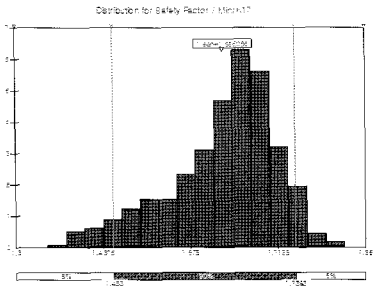
General groundwater condition (GW=3)		Fully saturated condition (GW=5)	
Triaxial test data	Direct shear test data	Triaxial test data	Direct shear test data
438 m (SF=1.5)	31 m (SF=1.15)	353 m (SF=1.5)	26 m (SF=1.15)



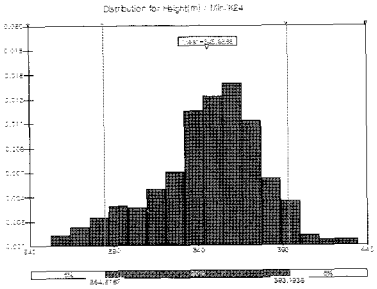
(a) SF for 300m height slope (GW=3)



(b) Slope height for SF=1.5 (GW=3)



(c) SF for 300m slope height (GW=5)



(d) Slope height for SF=1.5 (GW=5)

Fig. 11. Results of sensitivity analysis for slope height and safety factor.

료된다. 따라서 소단은 최대 30 m를 초과하지 않는 것이 바람직하다.

분석에 사용된 강도정수의 불확실성을 고려하여 각 변수를 평균의 10%의 표준편차를 가지는 정규분포로 가정하여 민감도 분석을 수행하였다. Fig. 11은 2가지 지하수조건에서 삼축실험 자료에 근거한 300 m 사면높이에 대한 안전율 분포와 안전율 1.5를 만족하는 한계심도 분포이다. 완전포화를 가정하더라도 300 m 사면의 경우 1.3 이상의 안전율 분포를 보이며 안전율 1.5를 확보하는 사면고는 완전포화의 경우 250 m까지 감소함을 알 수 있다. 따라서 강도정수의 불확실성과 사면고 및 안전율에 대한 민감도 분석 결과를 보수적으로 고려할 때 전체 사면 높이는 300 m를 넘지 않는 것이 바람직하다.

사면각도 완화 이외에 광산 현장에서 적용할 수 있는 사면 안정화 방법으로는 사면 상부의 pond 제거, 발파진동의 저감을 위한 발파방법의 개선, 사면 하부에 배수공 설치에 의한 지하수위 저하, 법면의 다짐에 의한 사면 침식의 방지 및 균열에 침투하는 지표수 유입 방지 등이 있다. 현재 해당광산에서 수행해왔던 방법 외에 배수공 설치에 의한 지하수위 저하와 발파공법 개선 연구가 별도로 진행 중이다.

4. 사면 변위 계측 및 해석

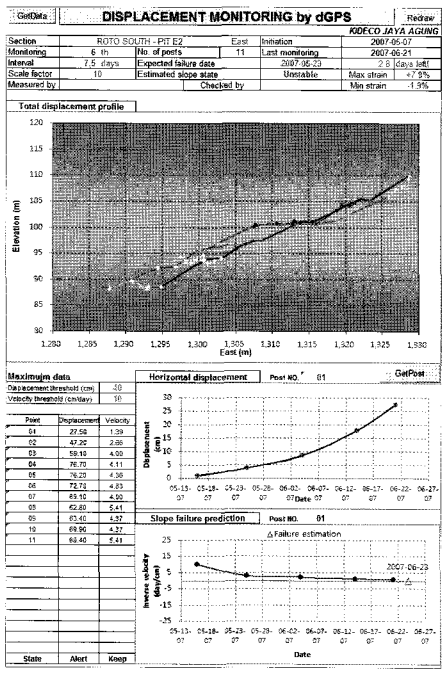
3절의 사면 설계대로 굴착을 진행하더라도 강도자료의 불확실성과 공간적 분산, 작업 및 지질 조건 등에 의해 설계와 다르게 거동할 수 있으며 이에 대한 대책은 사면거동을 계측함으로써 가능하다. 초기에 경사계를 사용하여 계측을 시도하였으나 절대변위량이 커서 경사계 측정한계를 초과하였다. 본 연구에서는 이러한 점과 광산 여건을 고려하여 주기적으로 채굴현황을 측량하는 GPS측량팀의 협조를 통해 주요 불안정 사면에 대하여 GPS를 이용한 사면변위계측을 수행하였다.

계측에 근거한 판단 및 대응 전략 수립을 위해서는 계측자료의 적절한 해석이 요구된다. 본 논문에서는 파괴

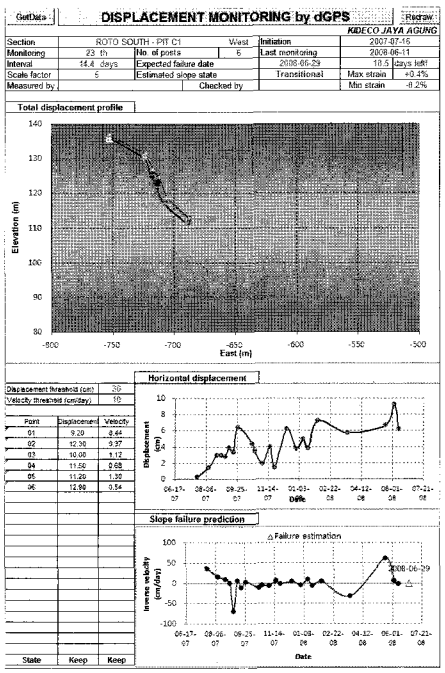
시기를 예측하기 위하여 Fukuzono(1985)가 제시한 역변위속도(inverse velocity) 개념을 적용하였다. 역변위속도는 변위속도의 역으로서 단위변위가 발생하는데 필요한 시간을 의미한다. 기존 계측자료로부터 역변위속도를 구하고 이 값들을 직선으로 연장하여 시간축과 교차하는 점(역변위속도가 0인 지점)이 파괴시기가 되는 것이다. 이 값이 0이 되면 무한대의 변위가 발생하는 것이므로 파괴라고 볼 수 있는 것이다. 이 개념은 이론 및 적용이 용이하나 예측목적으로 적용되어 파괴를 예측한 사례는 3건 정도가 보고되었으며 대부분은 역해석에 사용되었다(Eberhardt, 2007).

본 연구에서도 기존 파괴사면 계측자료를 사용하여 적용성을 파악하였으며 나머지 계측자료에도 현장에서 쉽게 사용할 수 있도록 측정값만 입력하면 분석을 자동으로 수행할 수 있는 EXCEL 시트를 개발하였다. 이 시트를 사용할 경우 누적변위량에 의한 경고, 역변위속도에 의한 파괴시점 예측 및 사면 전체 거동을 바로 파악할 수 있다.

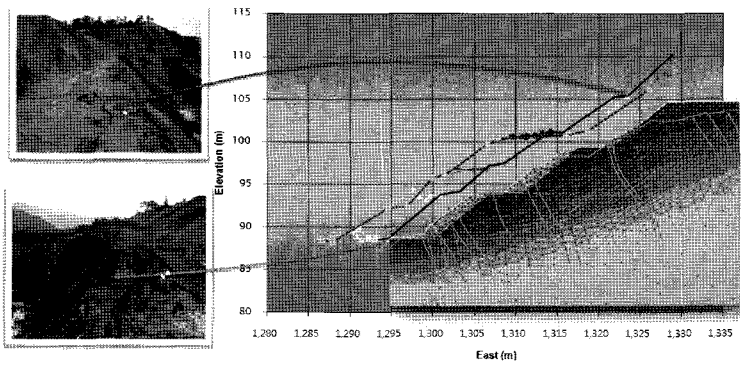
이 방법을 주요 지점 계측자료에 적용한 결과 파괴시기 예측 및 전반적인 사면거동을 가시적으로 판단할 수 있었다. Fig. 12는 소단규모의 파괴가 발생한 Roto E2 동측사면 자료와 비교적 안정한 상태인 C1 서측사면



(a) Roto E2 East slope



(b) Roto C1 West slope



(c) Failure of E2 east slope

Fig. 12. Failure time prediction based on GPS monitoring.

자료를 비교하여 표시한 것이다. E2 동측사면의 경우 2007년 6월 21일 최종 측정이 이루어 졌고 해석 결과 파괴시점을 6월 23일로 추정하였다. 실제 파괴는 6월 25일 발생하여 비교적 예측결과가 실제 사면거동과 잘 부합됨을 알 수 있다. 그러나 비교적 안정한 C1 서측사면의 경우 GPS측정 오차범위에서 변동이 일어났으며 안정화되고 있음을 알 수 있다.

다른 불안정 사면에도 동일한 기법을 적용한다면 사면거동을 조기에 예측하여 적절한 대응책을 수립할 수 있을 것으로 판단된다. 따라서 GPS를 이용한 사면 변위 계측 및 해석은 추가적 비용을 들이지 않고 바로 사용할 수 있는 방법이므로 대규모 노천광산사면에 적합한 방법이라고 사료된다.

5. 결 론

국내기업에 의해 운영되고 대규모의 해외자원개발 현장인 인도네시아 파시르 탄전은 급경사 탄층구조로 인하여 채광의 어려움이 있으며 광산이 심부화되고 대규모의 사면이 형성되고 있어 채광작업장의 최종 사면 심도에서의 안정성의 판단이 매우 시급한 상황이다. 사면의 안정성에 불리한 미고결층의 부존과 열대지역의 전형적인 주기적인 강우가 발생하여 작업의 지연과 사면의 안정성에 많은 영향을 주고 있으며 또한 사면 주위에 분포하는 많은 저수조들이 사면에 영향을 주는 지하수 공급원으로 작용하고 있어서 안정성 측면에서 매우 불리한 여건이다.

본 연구에서는 이러한 대규모 노천광산의 사면에 대하여 개발한계심도 및 안전율을 실험자료에 근거하여 평가하였으며 GPS를 이용한 사면 변위측정을 통하여 사면파괴시점을 예측하고 이에 대응할 수 있는 체계를 구축하였다. 현재 실험자료 및 민감도 분석 결과 전체 사면높이는 300 m를 초과하지 않는 것이 바람직하며 소단의 높이도 30 m를 초과하지 않는 것이 유리한 것으로 나타났다. 또한 계측자료에 대한 해석을 통해 파괴시점을 개략적으로 예측할 수 있으므로 불안정사면에 대한 계측을 채광이 완료될 때까지 지속적으로 수행하는 것이 필요하다.

사면안정성은 대상암반의 지질 및 역학적 특성에 의해 좌우되므로 지질조건 및 암반에 대한 신뢰성있는 강도자료를 확보하는 것이 중요하다. 초기 조사비용 규모와 이후의 사면파괴와 같은 위험부담에 대하여 합리적으로 접근하기 위해서는 앞으로 위험도(risk)에 기반한 사면설계(Steffen, 1997)가 이루어져야 할 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 한국지질자원연구원의 지식경제부 출연사업인 '대규모 석탄 노천광의 연약사면 안정성 및 생산성 향상 연구' 과제의 일환으로 수행되었습니다. 또한 현장 조사와 실험을 지원해주신 KIDECO 임직원 여러분에게도 감사드립니다.

참고문헌

1. 정소걸, 선우춘, 한공창, 신희순, 박연준, 2000, 인도네시아 파시르 탄전에서의 노천채탄장 사면의 안정성 해석, 터널과 지하공간, vol.10, pp.430-440.
2. 정용복, 선우춘, 이종범, 임동규, 2007, 노천석탄광산내 대규모 암반사면 안정성 해석, 2007 한국암반공학회 특별심포지움, pp.409-418.
3. 최병희, 류동우, 선우춘, 2006, 인도네시아 파시르 탄광에서의 노천발파공법에 대한 고찰, 한국지구시스템공학회 86회 학술발표회, pp.248-252.
4. Eberhardt, E., 2007, The role of advanced numerical methods and geotechnical field measurements in understanding complex deep-seated rock slope failure mechanims, Canadian Geotechnical Journal, vol.45, pp.484-510.
5. Fukuzono, T., 1985, A new method for predicting the failure time of a slope, Proc. of 4th Int. Conference & Field Workshop on Landslides, pp. 145-150.
6. Hoek, E and Bray, J. W., 1981, Rock Slope Engineering, Instn Min. Metalll, London
7. KIGAM, 2003, Geotechnical study on the stabilization for the slopes of the Pasir coal mine, KIGAM Report No. KJA/02P/XII/01, Daejeon, Korea, 167p.
8. Steffen, O. K. H., 1997, Planning of open pit mines on a risk basis, The Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy, pp.47-56.

정 용 복

1994년 서울대학교 공과대학 자원공학과 공학사
1996년 서울대학교 대학원 자원공학과 공학석사
2000년 서울대학교 대학원 자구환경시스템 공학부 공학박사

Tel: 042-868-3097
E-mail: ybjung@kigam.re.kr
현재 한국지질자원연구원 지구환경연구본부 선임연구원

이 종 범

1986년 서울대학교 자원공학과 공학사

Tel: 02-527-6285 (262)
E-mail: jblee@ptkideco.co.kr
현재 PT KIDECO JAYA AGUNG 기술이사

선 우 춘

1978년 서울대학교 공과대학 자원공학과 공학사
1984년 서울대학교 대학원 자원공학과 공학석사
1985년 Paris VI 대학(France) DEA
1988년 Paris VI 대학 지구구조학과 (France) 공학박사
Tel: 042-868-3235
E-mail: sunwoo@kigam.re.kr
현재 한국지질자원연구원 지구환경연구본부 책임연구원