

## 장흥지역 지질조건에 따른 토질의 공학적 특성

송영석	한국지질자원연구원 지질환경재해연구부
김원영	한국지질자원연구원 지질환경재해연구부
체병곤	한국지질자원연구원 지질환경재해연구부
김경수	한국지질자원연구원 지질환경재해연구부
이춘오	한국지질자원연구원 지질환경재해연구부
조용찬	한국지질자원연구원 지질환경재해연구부

### 1. 서 론

자연사면에서 암반층위에 존재하는 상부토층은 대부분 기반암의 풍화현상에 의해 형성된 것으로서 이들은 풍화정도 및 지질조건에 따라 공학적 특성이 달라지게 된다(Hutchinson, 1988). 만약 내적으로 취약한 지질구조 및 상부토층을 가지고 있는 자연사면에 집중강우나 인위적 절개 등의 외적요인이 가해질 경우 산사태가 발생되기 쉽다. 일반적으로 산사태의 발생요인은 내적요인과 외적요인의 두 경우로 나눌 수 있으며, 이들 두 요인이 함께 작용되었을 때 비로서 산사태가 발생하게 된다(홍원표와 송영석, 2002).

대상현장은 전라남도 화순군 도암과 장흥군 유치간의 지방도 도로공사현장으로 험준한 산악 지형을 이루고 있으며, 지역 내의 최고 및 최저표고차가 약 350m에 달해 가파른 산지 경사면을 형성하고 있다. 그리고, 대상현장의 지질은 주로 중생대의 역암으로 구성된 퇴적암과 화산암으로 구성되는데 두 암석 모두 노두 발달상태가 양호하게 발달되어 있다.

본 연구에서는 대상현장에 대한 산사태 발생예측 인자를 결정하기 위하여 각종 토질실험 을 수행하였다. 이들 실험결과를 토대로 대상지역 토질의 지질조건별 공학적 특성을 조사 및 분석하고, 각 물성간의 차이점과 상관관계를 검토하고자 한다.

### 2. 현장개요

연구지역은 전라남도 화순군과 장흥군의 분수령을 경계로 험준한 산악지형을 형성하는 지역이다. 그림 1은 대상현장의 3차원 위치도를 나타낸 것으로 지역 내의 최고 및 최저 표고 차가 약 350m에 달해 가파른 산지 경사면을 형성하고 있다. 이러한 지형상의 특성과 부합하여 이 지역에서는 능선을 따라 암반 노두가 잘 발달되어 있고 가파른 산지의 사면을 따라 곳곳에 노두와 전석들이 분포하고 있다. 이 지역의 지질은 주로 중생대의 역암으로 구성된 퇴적암과 화산암으로 구성되는데 두 암석 모두 노두 발달상태가 양호하게 발달되어 있다. 도로설계 구간을 따라 가장 넓은 분포를 보이는 암석은 역암으로서 이 암석은 터널 입구와 출구지역을 포함한 전체 설계구간의 4/5 정도의 분포를 보이고 있다. 지표에서의 풍화상태로 미루어 풍화대의 깊이는 1m 내외로 비교적 얕을 것으로 판단된다. 역암 다음으로 넓게 분포하는 화산암은 괴상(massive)의 분포양상을 보이고 풍화깊이도 역암과 마찬가지로 얕을 것으로 기대된다.

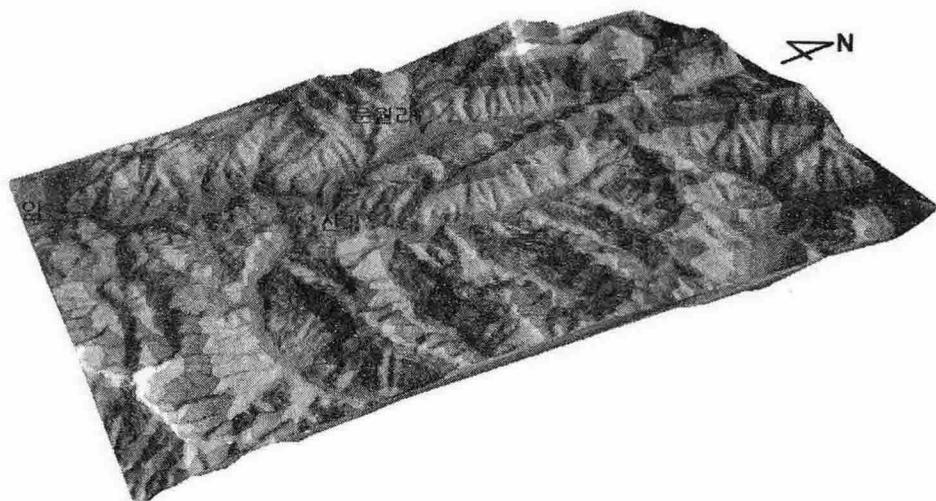


그림 1. 연구지역의 3차원 위치도.

### 3. 시료채취 및 토질시험

대상현장의 토질에 대한 특성을 위해 연구지역 내 총 25개소에서 불교란 흙을 채취하였으며, 토층시료의 채취위치는 그림 2와 같다. 토층시료는 HJ-0 ~ HJ-25까지 지질별로 구분하여 채취하였다. 토층시료의 채취위치를 지질별로 구분하면 역암지역 12개소, 응회암 및 세일지역 13개소(응회암 구간 10개소, 세일 구간 3개소)로 나타낼 수 있다.

토층시료는 표토를 제거한 후 40~60cm정도의 깊이에서 불교란시료 및 교란시료를 구분하여 채취하였다. 불교란시료의 경우 스테인레스로 제작된 원통형 샘플러(stainless ring sampler)를 이용하였으며, 교란시료의 경우는 비닐팩을 이용하여 채취하였다. 모든 시료는 현장조건이 최대한 유지되도록 밀봉한 상태에서 운반하여 실험을 수행하였다.

연구지역에서 채취한 흙 시료 중에서 교란시료는 비중, 함수비, 입도분석, 액성한계 및 소성한계 등의 물성시험을 실시하였으며, 불교란 시료는 밀도시험을 실시하여 간극비, 공극율, 포화도 및 밀도를 측정하였고, 전단특성 분석을 위해 직접전단시험을 실시하였다. 특히, 투수계수는 예산과 시간상의 제약으로 인해 이들 시험결과들을 경험식에 적용한 간접적인 방법에 의해 산정하였는데, 기 제안되어 있는 여러 가지 경험식들 중에서 사질지반의 투수계수 산정에 비교적 잘 맞는 것으로 알려져 있는 Taylor(1948) 식을 이용하였다. 제반 시험방법은 KS 및 ASTM의 관련기준을 따라 수행하였다.

#### 4. 지질특성

그림 3은 대상지역의 지질도를 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 대상지역의 지질은 시대미상의 화강암질 편마암과 이와 관계미상의 고생대 규암(용암산층), 석영편마암과 함탄층(오산리층), 고생대 지층과 부정합 관계의 중생대 백악기 응회암(인곡응회암), 이를 부정합으로 덮는 역암층(유치역암), 응회암과 세일 혼합층(다도응회암), 그리고 이들을 소규모로 관입한 중성맥암으로 구성된다.

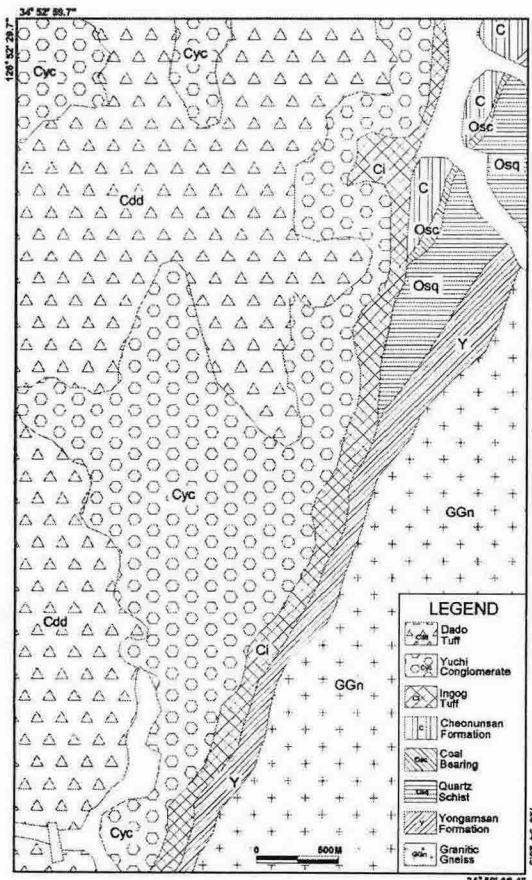


그림 3. 연구지역 지질도.

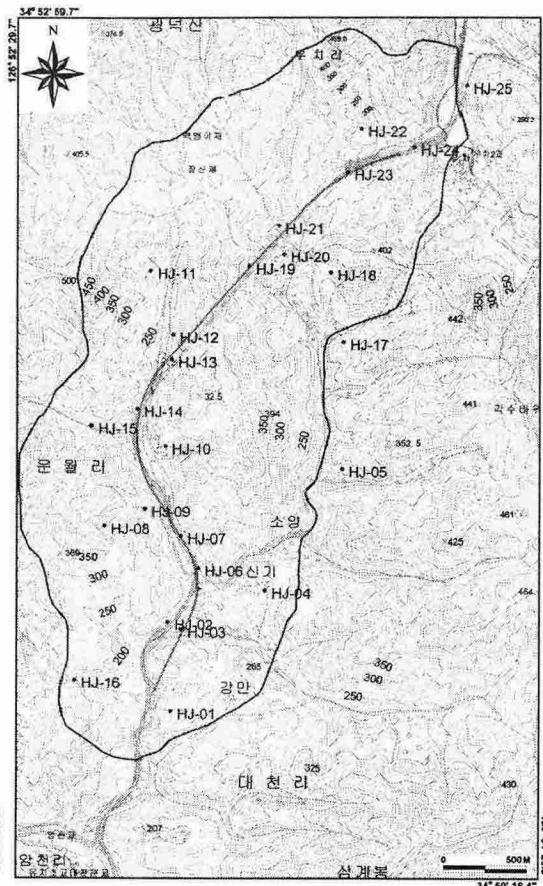


그림 2. 시료채취 위치도.

#### 4.1. 응회암(인곡응회암)

이 암석은 연구지역 남쪽에서 북북동 방향으로 좁고 긴 대상분포를 하고 있다. 그림 4에서 보는 바와 같이 대부분 암회색을 띠는 신선한 노두상태를 나타내며, 대체로 20–30cm의 풍화심도를 가진다. 그러나, 일부 구간에서는 열수변질에 의해 심한 풍화상태를 보이기도 한다. 이 암석은 전형적인 용결응회암(welded tuff)의 조직을 가지며, 육안 관찰에 의하면 암석 강도가 강하고 풍화속도가 비교적 느린 것으로 판단된다.

#### 4.2. 역암(유치역암)

이 암석은 연구지역 내 도로 노선의 80% 정도를 차지하는 것으로서 그 분포범위가 상당히 넓다. 그림 5에서 보는 바와 같이 암석의 기질(matrix)은 주로 응회암질 물질로 구성되어 있고, 역은화산암, 변성암 등의 암석으로 구성된다. 역암 내 역의 분포는 지역에 따라 다르나 대체로

60-70% 정도를 차지하고 일부 구간에서는 20% 미만의 구성비율을 보인다. 역의 분급은 불량하며, 크기는 평균 5×7cm 정도이나 최대 50cm에 이르는 것도 관찰된다. 역의 원마도는 rounded 또는 sub-rounded한 양상을 보인다.

#### 4.3. 응회암 및 세일 혼합층(다도응회암)

그림 6은 대상지역의 다도응회암을 나타낸 것으로, 적색의 응회암과 세일층이 교호하며 발달하는 지층이다. 이는 지층의 경사가 매우 완만한 상태에서 소규모 단층에 의한 미약한 지층 변형 또는 관입암의 관입에 기인하는 것으로 생각된다. 이 응회암은 용결조직을 띠지 않아 인곡응회암과 구분이 용이하다. 응회암과 세일의 구성비율은 약 70:30 정도로 응회암의 구성비가 더 우세하나, 지역에 따라서는 거의 비슷한 구성비를 보이는 곳도 있다.

이 지층은 역암층과의 명확한 경계를 관찰할 수 없으나, 역암층과 다른 점은 응회암 내 역의 분포가 현저히 감소하여 역을 관찰하기 어려운 점을 감안해 지층별 분포양상을 구분하였다. 암석의 풍화는 중간 풍화 내지 약한 풍화의 상태를 보이고 있으며, 풍화토층의 두께는 최대 1m정도에 이르러 역암과 유사한 양상이다.



그림 4. 인곡응회암.



그림 5. 유치역암.



그림 6. 다도응회암.

## 5. 지질조건에 따른 토질 특성

### 5.1. 지질조건별 토질특성 비교

연구지역의 지질학적인 특성을 토대로 역암지역, 응회암 및 세일지역(응회암 구간 및 세일 구간)으로 구분하고, 각 지질조건별 토질 특성을 서로 비교 분석하고자 한다.

그림 7은 지질조건별 평균 건조단위중량을 도시한 것으로 역암지역에서  $1.44\text{g/cm}^3$ 으로 제일 크고, 세일 구간에서  $1.33\text{g/cm}^3$ 으로 제일 작게 나타났다. 그림 8은 지질조건별 평균 투수계수를 도시한 것으로 역암지역에서  $4.2\text{E-02cm/sec}$ 로 제일 작고, 세일 구간에서  $9.5\text{E-02cm/sec}$ 로 제일 크게 나타났다. 역암지역의 경우 건조단위중량이 크고 투수계수가 작으며, 세일 구간의 경우 건조단위중량이 작고 투수계수가 큼을 알 수 있다.

한편, 그림 9는 직접전단시험을 통한 지질조건별 평균 전단저항각을 도시한 것으로 세일 구간에서  $36.64^\circ$ 로 가장 크고, 역암지역에서  $32.16^\circ$ 로 가장 작게 나타났다.

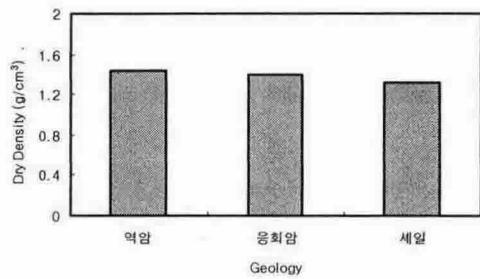


그림 7. 지질조건별 평균 건조단위중량.

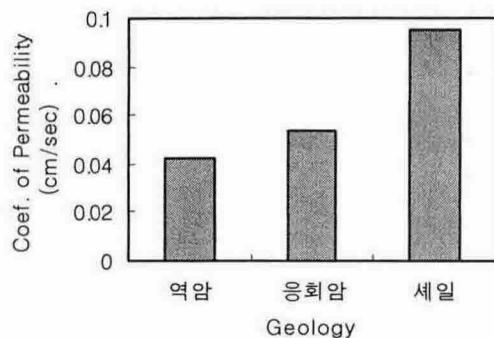


그림 8. 지질조건별 평균 투수계수.

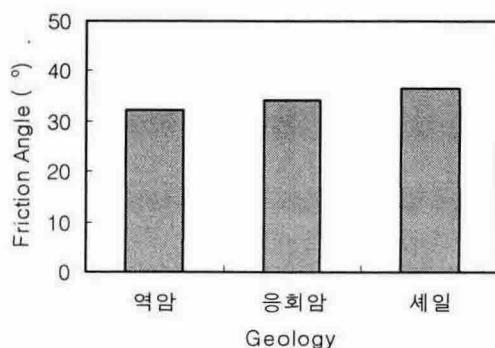


그림 9. 지질조건별 평균 전단저항각.

## 5.2. 토질특성별 상관관계

조사대상에서 채취된 흙을 이용하여 수행된 각종 물리적 및 역학적 토질시험결과를 토대로 상관관계를 분석하였다. 그림 10 및 그림 11은 함수비에 따른 간극비와 건조단위중량의 관계를 도시한 것이다. 그림 10은 함수비에 따른 간극비를 나타낸 것으로 함수비가 증가함에 따라 간극비가 증가함을 알 수 있다. 즉, 흙 입자간의 간극 내에 물의 양이 증가함에 따라 간극비가 증가하고 있음을 나타낸 것이다 그림 11은 함수비에 따른 건조단위중량을 나타낸 것으로 함수비가 증가함에 따라 건조단위중량은 감소함을 알 수 있다. 흙 속의 함수비가 증가함에 따라 간극비가 증가되고, 이로 인하여 흙의 건조단위중량은 감소되는 것이다. 따라서, 간극비가 클수록 흙의 건조단위중량은 감소하게 됨을 알 수 있다. 한편, 지질조건별로 함수비에 따른 간극비 및 건조단위중량의 관계를 살펴보면 각 지역에서 동일한 경향을 갖는 것으로 나타났다. 그러나, 응회암 및 세일지역에서 함수비에 따른 간극비가 약간 높으며, 이로 인하여 함수비에 따른 건조단위중량도 약간 작게 발생하는 것으로 나타났다.

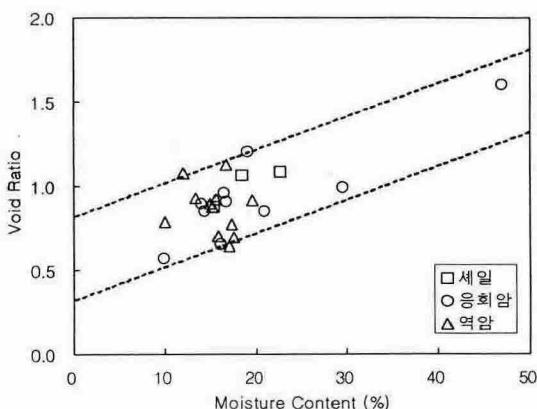


그림 10. 지질조건에 따른 함수비와  
간극비의 관계.

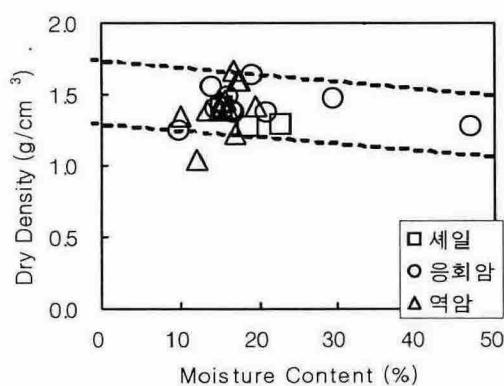


그림 11. 지질조건에 따른 함수비와  
건조단위중량의 관계

그림 12~그림 14는 유효입경과 세립토(실트 및 점토)의 함유량에 따른 투수계수의 변화를 나타낸 것이다. 투수계수는 강우로 인하여 토사층에서 발생되는 침투의 정도를 나타내는 것으로 산사태에 관련된 매우 중요한 인자이다. 먼저 그림 12는 세립토의 함유량에 따른 투수계수의 변화를 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 세립토의 함유량이 증가함에 따라 투수계수가 감소함을 알 수 있다. 그림 13은 유효입경에 따른 투수계수의 변화를 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 유효입경이 증가함에 따라 투수계수가 증가함을 알 수 있다. 이를 결과를 토대로 유효입경과 세립토의 함유량은 서로 반비례 관계가 성립됨을 알 수 있다. 그림 14는 유효입경과 세립토 함유량의 관계를 도시한 것으로 예상한 바와 같이 서로 반비례 관계를 보이는 것으로 나타났다. 한편, 응회암 및 세일지역에서는 세립토의 함유량이 많고 유효입경이 작은 편이며, 역암지역에서는 세립토의 함유량이 적고 유효입경이 큰 편이다.

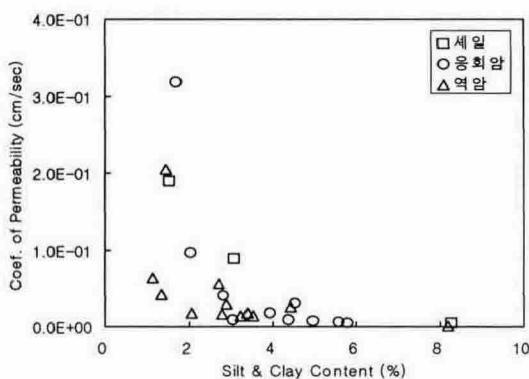


그림 12. 지질조건에 따른 세립토 함유량과 투수계수의 관계.

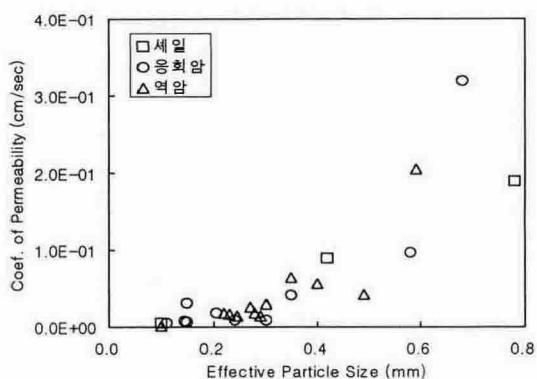


그림 13. 지질조건에 따른 유효입경과 투수계수의 관계.

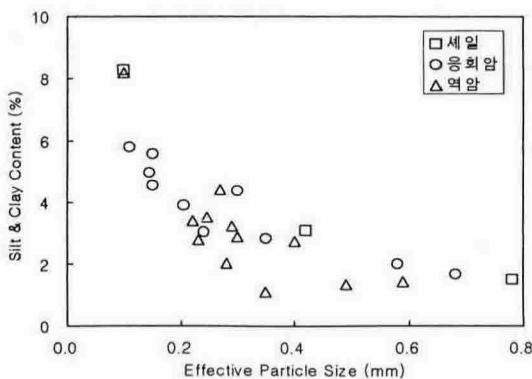


그림 14. 지질조건에 따른 유효입경과 세립토 함유량의 관계.

## 6. 결 론

본 연구에서는 전라남도 화순군 도암과 장흥군 유치간의 지방도 도로공사현장의 산사태 발생 예측 인자를 결정하기 위하여 각종 토질실험을 실시하였다. 이들 실험결과를 토대로 대상지역 토질의 지질조건별 공학적 특성을 조사 및 분석하고, 각 물성간의 차이점과 상관성을 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

- 1) 대상지역의 지질은 인곡옹회암, 유치역암, 다도옹회암 등으로 구분되며, 유치역암은 대상지역의 약 80%를 점유하고 있다.
- 2) 역암지역의 경우 건조단위중량이 크고 투수계수가 작으며, 옹회암 및 세일 지역의 경우 건조 단위중량이 작고 투수계수가 큼을 알 수 있다.
- 3) 흙의 함수비가 증가함에 따라 간극비가 증가되고 이로 인하여 흙의 건조단위중량은 감소하게 되므로, 간극비가 클수록 흙의 건조단위중량은 감소하게 됨을 알 수 있다.
- 4) 흙의 유효입경과 세립토함유량은 흙의 투수계수에 많은 영향을 미치고 있음을 알 수 있다. 즉, 흙의 유효입경이 증가함에 따라 흙의 투수계수는 증가하고, 흙의 세립토 함유량이 증가함에 따라 투수계수는 감소하게 된다.

## 감사의 글

본 연구는 한국지질자원연구원에서 지원하는 기본사업 중 “산사태 위험도 산정시스템 및 피해 저감기술 개발” 연구의 일환으로 수행되었다.

## 참고문헌

홍원표, 송영석, 2002, 우리나라에서의 사면안정대책공법 적용사례 연구, 한국지반공학회 사면안정 학술발표회 논문집(초청강연), 1-28.

Huchinson, J. N., 1988, Morphological and geotechnical parameters of landslides in relation to geology and hydrogeology, In Landslides, Proc. 5th. Int. Symp. on Landslides, Vol. 1, 3-35.

Taylor, D. W., 1948, Fundamentals of Soil Mechanics, John Wiley and Sons, New York.