

적각리 역암층의 지질공학적 분대와 공학적 특성 분석

박준영^{1)*} · 김장하¹⁾ · 배성호¹⁾ · 이정상¹⁾ · 김택곤²⁾

1. 서론

토목건설에 있어서 암반의 물성과 파괴양상과 같은 공학적 특성을 규명하는 것은 구조물의 시공성, 경제성 및 안정성을 확보하기 위한 중요한 과정이다. 그럼에도 불구하고 역암, 특히 완전 고화되지 않은 역암 암반의 경우 RMR과 Q-system같은 기존의 암반분류 방식과 NX규격의 시추코어를 이용한 암석시험은 그 분류기준과 크기의 특성상 직접적으로 적용되기 어렵다. 연구지역은 터널건설이 계획되어 있으며, 터널 구간 대부분이 이암과 완전 고화되지 않은 역암으로 구성된 적각리층이 분포하여 터널 설계를 위한 역암의 물성을 비롯한 공학적 특성의 검토가 절실하였다.

이를 위해서 먼저 순차층서학적 연구를 통해 적각리층의 역암을 C1, C2, C2A로 분류하고, 이 구간별 역암의 특징을 image analysis를 이용한 통계분석을 통해 정량화하였다. 이렇게 정량화된 역암의 암석학적 특성을 입력변수로 하여 RFPA를 통해 강도, 점착력, 내부마찰각 등의 주요 설계정수와 암반의 크기에 따른 물성변화, 역-기질 비에 따른 파괴양상 등 기타 공학적 특성을 분석하여 터널 설계의 기본자료로 활용하였다.

2. 본론

2.1 연구지역의 현황과 지질

연구지역은 강원도 삼척시 도계읍에 위치하며 38번 국도의 일부 구간의 건설공사가 예정되어 있는 구간으로 주요 구조물은 1km 이상의 2개의 터널건설이 예정되어 있다. 연구지역의 암상은 한반도 지체구조상 옥천습곡대의 북동부에 해당하며 고생대 조선누층군의 석회암층들과 평안누층군의 쇄설성 퇴적암층들, 중생대 백악기 경상누층군에 해당하는 퇴적암류 및 화산암류가 분포하고 있다.

터널이 통과하는 지층들 중 적각리층과 장성층은 터널의 건설에 불리한 요소로 작용할 소지가 있다. 장성층의 경우 기본적으로는 고화가 되어 있는 절리암반에 해당하여 기존의 RMR이나 Q-system과 같은 방법을 이용하여 터널설계를 위한 암반분류를 수행하는데에 무리가 없다. 그러나 적각리층의 경우는 기질이 완전 고화되지 않은 역암과 사암 및 이암으로 구성되어 있고(태백산지구지하자원조사단, 1962; 김정환, 2005) 절리의 발달이 미약하며 암반의 공학적 특성이 RMR이나 Q-system의 주요 분류 요소에 해당하는 절리의 발달보다는 역암의 암석학적 특성에 의해 더욱 큰 영향을 받아(임성빈 외, 2006) 기존의 암반분류법을 직접적으로 적용하는 데에 문제점을 내포하고 있다.

주요어 : 적각리층, 역암, RFPA, image analysis, 순차층서학적 분대

1) (주)지오제니컨설팅 (jypark@geogeny.biz)

2) (주)SK 건설

2.2 적각리층의 분대

역암은 역(rock)과 기질(matrix)로 구성되며 이의 공학적 특성은 역암의 입자크기, 역-기질 비, 역과 기질의 물성차 등에 따라 변화를 보인다(임성빈 외, 2006; Hippolyte, 2001). 역암의 파괴는 입자의 지지형태에 따라 차이가 나는데, 역 입자의 지지형태는 입자지지와 기질지지로 나눌 수 있다. 입자지지의 경우 역 입자를 통해 응력이 전달되므로 파괴나 변형이 주로 역 입자와 역-기질 경계를 위주로 발생 및 전파하며 기질지지의 경우 기질의 파괴나 변형이 우세하다. 이러한 입자의 지지형태는 입자의 모양과 입도의 분포, 역-기질 비 (역의 함량)에 의해 결정된다. 이러한 특징들을 종합해 보면, 역암은 일반적으로 역이 기질에 비해서 강한 물성일 경우, 역과 기질의 물성차가 작을수록, 역의 함량이 클수록 기질지지에 비해 강한 물성을 나타낼 것으로 예상된다.

설형으로 측방 상변화가 심하고, 성장단층활동으로 인한 각 지층 구성요소의 두께 변화가 심한 적각리층을 분대하기 위해서 성장단층과 퇴적분지형성의 기작과 퇴적상에 기반을 둔 순차층서학적 분석을 시도하였다. 노선을 따라 분지를 가로지르는 시추 결과를 종합한 결과 암상과 퇴적학적 특징이 수평적으로 연관되어 있음과, 최소 네 번 이상의 단층 성장기와 휴지기를 반복했음이 드러났다. 이 결과를 바탕으로 퇴적상을 단순화하면 크게 기질의 종류와 입자의 크기에 따라 M1, M2, C1, C2, C2A로 구분할 수 있다. 여기서 M은 이암우세대, C는 역암우세대를 의미하며, 1은 기질이 사질교질물을 포함하여 고화정도가 강한 것을, 2는 이질기질로 주로 구성되어 고화정도가 약한 것으로 정의하였다. C2A는 분지경계단층을 비롯하여 주요 성장단층의 주변에서 나타나는 각력암이다.

각 시추공에서 수행된 암상의 분대, 전기비저항 특성, Basic RMR, 일축압축시험 등의 결과를 비교분석한 결과 역암상의 분대가 전기비저항 특성 및 강도특성과 좋은 상관관계를 보임을 알 수 있었다. 그러나 RQD와 Basic RMR의 경우는 특별한 상관관계를 보이지 않아 기존 분류방법의 적용이 한계가 있음을 확인할 수 있었다. 또한, 이질보다는 사질교질물을 함유한 C1이나 M1의 강도가 더욱 강하게 나타났는데 이것은 기질의 강도와 역과-기질의 물성차가 강도에 영향을 미치는 영향을 반영한다.

2.3 Image Analysis

적각리층 역암의 분대별 특징인 역의 크기와 입도분포, 역-기질비, 역의 모양 등을 정량적으로 분석하기 위해 이미지 분석기법을 적용하였다. Image analysis는 영상자료로 부터 색상, 대비, 밝기 등 디지털화된 정보를 추출하여 분석하는 기법이다.

적각리층 역암에 대하여 C1 구간 2개소, C2 구간 3개소, C2A구간 4개소에서 영상정보를 추출했으며 그 각각의 분석 결과, 입도의 경우 C2A가 평균 62.2~120.1mm로 가장 크며, C2가 53.7~90.3mm, C1이 38.8~70.7mm로 나타났다. 분급은 C1이 가장 좋고 C2, C2A 순으로 나타나 퇴적당시의 환경을 잘 반영하고 있다. 역의 비율은 C1이 78.6~82.4%로 역암의 역함량의 최대치에 가깝고 입자지지를 하고 있으며, C2가 61.3~72.2%, C2A가 57.3%~68.4%로 나타났다. 특히 분급이 나쁜 C2와 C2A에서 60% 대 이하의 역함량은 이들의 일부가 기질지지 상태임을 지시한다.

2.4 RFPA 모델링

RFPA(Realistic Failure Process Analysis) code는 암석의 파괴-변형 과정을 실제에 가깝게 모델링하기 위한 수치해석 프로그램으로 Tang (1997)에 의해 개발되었다. RFPA는 격자변형 및 재생성 기법과 Mohr-Coulomb criteria를 비롯한 기존의 파괴식을 각각의 격자 셀

에 적용하고 실제 재료와 같이 각 격자셀이 비균질성의 물성을 갖는 것으로 규정하여 기존 FEM이나 DEM의 단점을 해결해준다. 즉, 각 셀은 균질한 물성을 가지는 것으로 가정하되 탄성계수, 강도 등의 전체 물성에서 이를 대표값으로 하는 weibull분포(Weibull, 1951)에 따라 셀의 물성이 정해진다. 해석진행과정에서 각 셀이 파괴식의 기준을 넘으면 파괴되어 응력이 해방되고 이에 따라 다시 격자를 형성하는 방법으로 전체 모델의 변형-파괴 과정, 응력변화, 물성변화, 변위, AE 등을 모델링할 수 있다. weibull 분포는 다음의 Eq. 1과 같다.

$$\phi = \frac{m}{\sigma_0} \left(\frac{\sigma}{\sigma_0}\right)^{m-1} \exp\left[-\left(\frac{\sigma}{\sigma_0}\right)^m\right] \quad \text{Eq. 1}$$

여기에서 σ 는 셀의 물성(예 압축강도), σ_0 는 평균 셀의 물성, m 은 비균질성을 나타내는 형태요소, ϕ 는 σ 의 분포함수를 의미한다.

RFPA에서 모델을 구성하기 위해서 image analysis의 결과를 따라 역비율과 입도분포를 C1, C2, C2A에 사용하였으며(입자의 모양은 구형으로 가정), 기질의 물성은 실내암석시험에서 얻어진 사질교질물을 포함하는 이암(M1)과 실트질 이하의 이질로 구성된 이암(M2)의 경암 물성을 사용하였다. 역의 물성은 적각리층 역암의 주변인 평안누층군의 장성층과 함백산층의 암석들로 구성되어 있어, 실내암석시험에서 구해진 평안누층군의 물성을 동일하게 적용하였다.

모델은 m 값 산정과 NX 실내시험의 예비분석을 위해 50×110mm 크기와 현지암반의 물성을 반영할 수 있는 크기와 해석속도를 감안하여 440×1000 크기의 두 가지로 구성하였다. 모든 모델링에서는 모델의 장축방향으로 step당 0.002%의 속도로 하중을 가했다.

NX규격의 모델의 일축압축시험 결과의 대표적인 파괴양상을 실내시험과 비교해보면 C1의 경우 역의 파괴와 기질의 파괴가 동시에 일어나는 복합파괴의 양상을 보이며 C2의 경우는 파괴가 주로 기질에서 발생하는 기질파괴의 양상을 보인다. 일축압축시험에서 C1, C2, C2A의 일축압축강도는 각각 68.82, 47.42, 39.36 MPa로 해석되었으며 이는 모델의 기준으로 삼은 실내시험의 시료에서 측정된 74.8, 44.0, 42.0 MPa와 비교적 잘 일치한다.

현지암반 규모의 특성을 반영하는 440×1000mm 대형 모델은 일축압축시험, 삼축압축시험에 대해 구속압을 0, 5, 10, 15 MPa로 증가시키며 모델링을 수행하였다. 그 결과 점착력, 내부마찰각, 변형계수 모두 C1에서 C2, C2A로 갈수록 감소하는 특징을 보인다. 여기에서 구해진 C1, C2, C2A의 점착력과 내부마찰각은 실내시험에서 구해진 C1, C2, C2A 값에 비해 현격하게 감소함을 알 수 있었다.

3. 결론

역암과 이암으로 주로 구성되어 있는 연구지역의 적각리층은 절리암반을 대상으로 하는 기존의 암반분류를 직접적으로 적용하기에는 무리가 있었으며 NX규격의 실내시험 또한 역 입자의 크기의 영향으로 합리적인 결과도출에 한계가 있었다.

이러한 문제를 해결하기 위하여 먼저 순차층서학적인 적각리층의 분석을 기반으로 공학적 특성에 큰 영향을 미치는 역암의 특징을 기준으로 적각리층의 역암을 C1, C2, C2A 구간으로 분대하고 image analysis를 통해 각 분대별 형상요소를 도출하여 이를 입력자료로 RFPA 모델링을 수행하였다

RFPA는 실제 현장과 실내시험 상황에서 나타나는 역암의 기질파괴와 입자파괴 등의 특성

비롯하여 크기효과에 의한 물성 감소 등의 특성을 잘 모사하였으며 이를 통해 실내시험과 기존암반분류 방법의 한계를 극복하고 적각리층 구간의 암반분류와 지반정수 산정을 합리적으로 수행할 수 있었다.

이 연구에서 사용된 이미지분석과 RFPA 분석방법은 기존의 지질학적, 암반공학적 분석법들과 종합적으로 복잡한 지질과 암반의 상태에서 기존 경험적인 방법의 한계를 극복하고 합리적인 결과를 도출하는 데에 폭넓게 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

김정환, 2005, 한국의 지층, 시그마프레스, 308p.

임성빈, 백용, 서용석, 2006, 역암퇴적층의 역학적 특성 추정을 위한 균질화법의 적용, 대한자원환경지질학회 2006년 춘계 학술발표회 논문집.

태백산지구지하자원조사단, 1962, 태백산지구지질도 고사리도폭.

Hippolyte, J. -C., 2001, Palaeostress and neotectonic analysis of sheared conglomerates: Southwest Alps and Southern Apennines, Jour. of Structural Geology, V23, 421-429.

Tang, C. A., 1997, Numerical simulation of progressive rock failure and associated seismicity, Int. Jour. of Rock Mech. Min. Sci., V34, 249-262

Weibull, W., 1951, A statistical distribution function of wide applicability. J. Appl. Mech., 293-297.