

홍세선¹, 윤현수², 김정호³, 현혜자³, 이병태⁴, 이명종³, 김주용¹

¹한국지질자원연구원 지질환경재해연구부(hss@kigam.re.kr)

²한국지질자원연구원 지질기반정보연구부, ³한국지질자원연구원 지반안전연구부

⁴한국지질자원연구원 지하수지열연구부

1. 서언

국내의 석채자원은 건축 및 예술성을 지향하는 국민 문화적 정서경향에 따라 석채 내수는 상향되는 추세에 있다. 석채산업의 시장규모는 약 1조 2,000억원에 달하며, 수입은 2,002년도 기준 약 2억 8,800만불에 이른다. 이러한 석채자원에 대해 기술적 조사, 탐사 및 종합해석이 없이 다소 무작위적인 석산개발로 인하여 석산개발의 성공가능성이 크게 떨어지고 있다.

석채는 암석을 직육면체로 절개하여 활용하는 것이므로 심부암체에 대한 단층, 절리, 균열 및 미세암맥 등의 구조발달을 확인해야 하며, 구성광물, 광물의 입도, 함량비 및 결합상태 등 암석의 특성을 파악하고, 암석의 풍화정도 및 변질정도와 그 원인을 파악하여야만 한다.

그러므로 이 연구에서는 추후 개발할 심도와 범위를 가정하여, 암반의 적절한 지점에 시추지점 및 시추심도를 정하여 심부암체에 대한 시험시추를 실시한 후, 시추코아에 대한 정밀검층과 암석공학적인 물성시험으로 석채의 재질을 판정하고, 시추공 내에서 레이다 탐사와 텔레뷰어 탐사를 실시하여 각 시추공 사이 및 주변에 발달된 단층 및 절리의 발달상태를 파악하는 한편, 전기비저항 탐사를 실시하여 주요 구조선(단층 및 절리)의 발달과 풍화대의 심도 및 발달상태를 추적하였다. 또한 GPR탐사를 실시하여 수평절리 등의 발달을 확인하고, 시추코아의 칼라코아 스캐닝에 의한 품질평가 등 심부암반의 입체적인 자료를 확보하였다.

이 연구는 이러한 여러 평가기술을 이용하여 잠재 암석부존량, 암석자원의 개발 예상방향의 정확한 평가 예측으로 체계적이고 효율적인 개발 계획 수립에 도움을 주고자 하는데 그 목적이 있다.

2. 시추평가 대상석산의 위치와 지질

시험시추 대상지는 함열 17호의 석산채석지로서 현재 가행 중이다. 이 시추지는 중립질의 흑운모화강암으로서 주구성광물은 석영, K-장석, 사장석, 흑운모이며 부성분광물은 녹니석, 저어콘, 불투명광물등이 관찰된다. 부분적으로 장석반정이나 유색광물의 포획체를 함유하기도 한다.

시추지역 내의 암반은 절리면이 비교적 깨끗하여 산화착색이나 변질작용의 흔적은 거의 관찰되지 않는다. 단지 미약한 갈색의 산화착색면이 일부 나타난다. 절리의 방향은 N10°E, N4°E, N60°W, N70°W, N7°W, N64°W 등 북서방향이 가장 우세하게 발달되며 경사는 80° 내외로 비교적 고각도를 유지한다.

모든 시추공의 심도는 수평암반임을 고려하여 각 호공당 30 m로 하였으며 총 연장심도는 150 m이다.

3. 지질검층에 의한 부존평가

지질검층에서는 시추코아를 대상으로 아래의 물리탐사법으로는 확인이 불가능한 석채저하 요인들을 관찰기재로서 판단한다. 즉, 광물입도의 균질성, 함철황화광물 산출유무, 광물의 변

질도, 유색광물의 집합체(mafic enclave), 포획체, 석영맥, 페그마타이트와 같은 암맥류, 유색 또는 무색광물의 불균질한 배열 등 비록 신선하여 석재대상이기는 하지만 생산성을 저해하는 요인들을 검토하게 된다.

5개 시추코아는 중립질의 흑운모화강암과 세립질의 흑운모화강암으로 구분될 수 있으며, 시추주상도에서 보는 바와 같이 중립질암과 세립질암의 심도 변화는 대체로 불규칙한 편이다. DH-1호공에서 세립질 구간은 시추코아의 상단부에, DH-2호공에서는 하단부에, DH-3호공에서는 중, 하단부에 DH-4호공에서는 상단부에, DH-5호공에서는 중간부에 각기 위치하여 시추공 간의 연결은 어려운 편이다. 절리가 밀집되어 나타나는 DH-1, DH-2호공을 제외한 나머지 3개 시추코아는 비교적 절리의 발달이 거의 없어 석재의 부존율은 높은 편이다. 그러나 입도의 변화 양상과 세립질인 부분에서의 유색광물이나 무색광물의 띠가 형성되어 있는 것들은 석재 생산과정에서 품질을 좌우하는 요인이 될 수도 있을 것이다. DH-1호공과 DH-2호공은 비교적 절리와 파쇄대의 집중 현상이 뚜렷하여 석재의 부존율은 76%, 58%로 판정되었으나 DH-3, DH-4, DH-5호공은 30 m의 수직거리에 절리가 5개 미만으로 매우 양호한 석재의 부존율을 보이는 것으로 해석되었다. 각각의 석재의 부존율은 99%, 92%, 99% 이다.

4. 지질공학적 물성에 의한 품질평가

석재를 바닥재로 사용시에 영향을 받는 마모경도는 DH-1 39, DH-2 33, DH-3 32, DH-4 32, DH-5 40로서 이들 값은 32~40의 비교적 넓은 범위를 가지는데 이는 암석의 입도에 따라 큰 변화를 보임을 알 수 있다. 즉, DH-1과 DH-5 호공의 물성시료는 세립질인 반면 나머지 3개공의 물성시료는 중립질이다. 익산석재의 화강암 석재는 입도 차이에 의해 압축강도 대 마모경도, 인장강도 대 마모경도의 관계도에서는 뚜렷한 두 개의 경향을 이룬다. 그리고 압축강도 대 인장강도에서는 완만한 경의 관계를 나타낸다. 즉, 압축강도가 증가할수록 인장강도도 커짐을 알 수 있다. 그러나 물성값들은 모두 석재의 품질규격에는 적합하다.

5. 레이더 탐사에 의한 부존평가

레이더 토모그래피에서는 5 개의 시추공이 형성하는 다각형에서 DH-1과 2, 즉 북쪽으로 갈수록 저속도 이상대가 나타나며 따라서 열극의 발달 빈도도 높아진다. 이에 반해 남쪽으로 갈수록 레이더 파의 전파 속도는 거의 균일하여지며 따라서 열극의 발달 빈도가 현저히 줄어들음을 예측할 수 있다.

전기비저항 토모그래피에서는 시추공 DH-4와 DH-3 사이의 천부에 저비저항 영역이 나타나 있으며 이는 시추공 DH-4와 DH-3을 연결하는 4-3단면에 거의 나란하게 발달하는 파쇄대에 대한 영상을 보여주는 것으로 해석된다. 시추공 DH-3의 하부에는 다른 부분에 비하여 국부적으로 암반의 신선도가 약간 떨어지는 경향을 보여주고 있다.

6. 텔레뷰어와 칼라 코아스캐너에 의한 부존평가

우선 각 시추공에서 얻게 된 텔레뷰어 이미지에서는 그 자체로도 각종 불연속면(예: 단층, 파쇄대, 절리, 균열 등)의 위치(심도), 경사방향 및 경사각에 대한 정확한 정보가 제공된다. 각 시추공에 대한 불연속면의 통계학적 자료처리 결과를 각 시추공의 위치에 표현함으로써 본 석산의 절리구조에 대한 정보를 일별하여 나타내었다. 텔레뷰어 이미지에서 관찰된 모든 불연속면이 연장되었다고 가정하였을 경우, 표현된 시추공 사이 단면에 대한 face mapping

결과들은 그들에 대한 연장성 추정에 대한 정보를 제공하고 있다. 선정된 시추공 1호공과 2호공 주변에서는 절리 발달상이 관찰되고 있으며, 3호공, 4호공, 5호공에서는 절리의 발달이 거의 없어 실제 석산 개발에 있어 채석실수율이 상당히 양호할 것으로 판단된다.

칼라코아 스캐닝에 의해 촬영된 코아 이미지는 구성 광물의 입자 크기 및 분포 상태가 뚜렷하게 인식되고 있으며, 이러한 고분해능 이미지는 각 광물 성분의 함량을 산출할 수 있는 기본 자료로 활용할 수 있다. 또한 절리 발달상태의 미세한 변화는 물론 절리를 따라 암석이 변질되고 있음도 뚜렷하게 관찰되어 텔레뷰어 자료에서는 파악하기 어려운 그 주변의 미세한 균열이나 변질 상태의 정보를 용이하게 획득할 수 있었다.

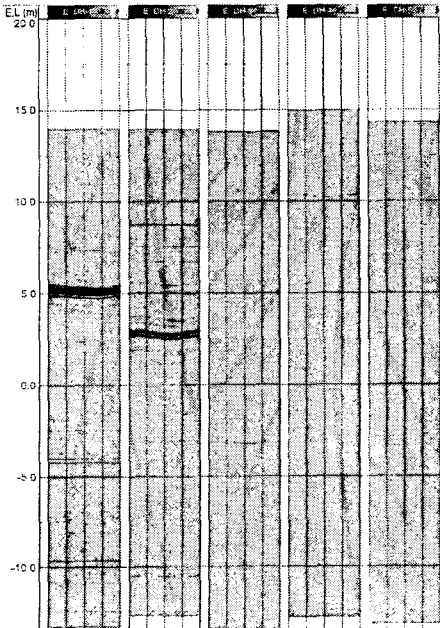


그림 1. 각 시추공(DH-1~DH-5)의 전심도구간에 대한 텔레뷰어 진폭이미지를 elevation level로 정렬한 모습.

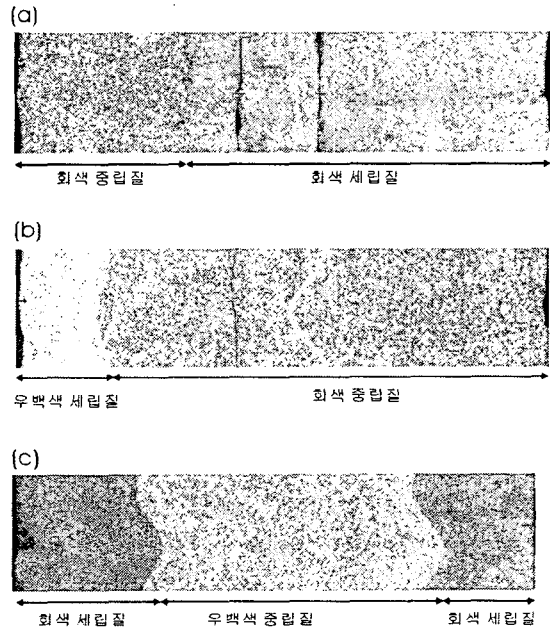


그림 2. 코아스캐너에 의해 나타나는 다양한 형태의 암상변화 상태.

7. 결론

심부암체의 발달상태를 내시경을 보듯 확실하게 암반의 구조선 및 변질대, 변화정도에 대하여 정확한 정보를 제공할 수 있는 다양한 암반 검층법을 이용하여 심부 석재자원의 발달상태를 보다 정량적으로 이해하고자 하였다.

시추코아의 지질검층으로 암맥 및 엽리 발달상태, 풍화 내지 변질 정도, 구성 광물과 같은 암반의 성격을 규명하고 물성테스터를 통해 석재의 재질 평가의 기준을 제시해준다.

시추공 레이더 탐사, 전기비저항, GPR 탐사를 통한 암상 및 파쇄대 분포의 3차원 영상화, 풍화암의 두께 예측 및 수평 절리의 영상화가 가능하며 텔레뷰어 탐사로서 지하 심부 암체에 분포하는 절리의 방향과 각도를 정확히 파악하여 시추공과 시추공 사이에 절리가 연장발달에 대한 예측을 가능케 한다. 한편, 칼라 코어스캐너를 통해 시추코어의 고분해능 이미지를 얻음으로써 코어에 대한 정량적인 분석의 가능성을 제시하였다. 이러한 기술을 석재자원 탐사에 적극 활용함으로써 적정 석재개발방향, 채석실수율의 향상에 도움을 주며, 비규격석과 규격석의 조기 예측이 가능케 되어 체계적이고 효율적 채석이 이루어질 수 있을 것이다.