

한반도 남쪽에서의 자연감마 분포 특성

박정빈¹ · 김태원² · 김영화^{3,*}

¹코오롱글로벌주식회사 에너지자원팀

²한국지질자원연구원 지진연구센터 원주 KRSR

³강원대학교 지구물리학과

요 약

605개 시추공에서의 감마검층 자료를 분석함으로써 한반도 남쪽 지역에서의 전체성분 자연감마 강도분포를 구하고 성인 및 암종 별 감마강도 특성을 제시하였다. 한반도에 집중적으로 분포하고 있는 화강암을 중심으로 대보화강암과 불국사화강암을 비교하고 경기육괴와 영남육괴를 비교함으로써 암체 및 육괴 별 감마 특성을 추적하였다. 얻어진 자연감마 강도분포는 태백-단양-하동 선을 경계로 동측의 낮은 감마와 서측의 높은 감마로 구분되었다. 대보화강암이 불국사화강암에 비하여 높은 감마값을 가지며, 특히 경기육괴에 분포하는 대보화강암이 영남육괴에 분포하는 대보화강암에 비해 현저히 높은 감마강도를 보였다. 아울러 감마이상대의 분포는 북동-남서 또는 동북동-서남서 방향의 일관된 방향성을 보이며 낮은 감마이상대의 위치가 금-은 광상구의 위치와도 좋은 상관을 보인다.

주요어: 감마검층, 전체성분, 감마강도 분포, 대보화강암, 육괴

Jeongbin Park, Taewon Kim and Yeonghwa Kim, 2014, Characteristics of natural gamma distribution in the southern Korean Peninsula. Journal of the Geological Society of Korea. v. 50, no. 6, p. 783-796

ABSTRACT: The distribution feature of natural gamma strength in the southern Korean Peninsula has been characterized by analyzing the gamma log data from 605 boreholes. Gamma strength properties, which are related to rock types, geological origins, intrusion times and tectonic massifs were also discussed in this study. The natural gamma distribution of southern part of the Korean Peninsula is characterized by higher gamma in the west and lower gamma in the east of the line connecting Taebaek, Danyang, and Hadong. The Daebo granite shows higher gamma strength than that of Bulguksa granite, specifically the Daebo granite in the Gyeonggi massif shows higher gamma value in the Gyeonggi massif than the Deabo granite in the Yeongnam massif. The gamma distribution reveals a lineation pattern parallel to the direction of NE-SW or ENE-WSW, and particularly the low gamma anomalies are well correlated with the locations of the gold-silver metallogenic provinces.

Key words: gamma log, total component, gamma strength distribution, Deabo granite, massif

(Jeongbin Park, Energy & Resources Team, Kolon Global Corp., 32 Songdogwahak-ro, Yeonsu-gu, Incheon 406-840, Republic of Korea; Taewon Kim, Wonju KRSR, Earthquake Research Center, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, KRSR, Wonju 220-122, Republic of Korea; Yeonghwa Kim, Department of Geophysics, Kangwon National University, Kangwondae Gil 1, Chuncheon 200-701, Republic of Korea)

1. 서 론

암석은 정도의 차이는 있지만 암석 내부에 존재하는 방사능 물질의 붕괴에 의하여 감마선을 방출하는 공통점을 가지며 그 감마선의 크기와 종류는 암종에 따라 다르다. 따라서 감마선을 측정하면 지질의 분포 상태나 구조, 유용광물의 존재 등을 밝히는데 효과적인

으로 사용될 수 있다. 이러한 탐사는 방사능을 이용한다는 관점에서 방사능탐사라고 하며, 방사선 중에서 침투력이 가장 높은 감마선만이 탐사의 대상이 된다는 관점에서 감마탐사라고도 불린다. 따라서 감마탐사는 감마선 검출기를 사용하여 지층이 방출하는 감마선의 강도와 유형을 측정하고 분석함으로써 감마선을 방출하는 지층의 분포 상태나 암종, 구조 등을 밝

* Corresponding author:

E-mail: yhkim@kangwon.ac.kr

히는 탐사방법이라고 정의할 수 있다. 감마탐사는 감마선을 발생시키는 3개의 주요 방사성원소인 우라늄, 토륨, 칼륨의 성분을 구분해서 측정하는 스펙트랄감마탐사(성분별 감마탐사)와 전체 총량을 측정하는 일반 감마탐사(전체성분 감마탐사)로 구분된다.

감마탐사는 지상에서 감마검출기를 직접 들고 다니며 지표면을 통해 방출하는 감마선을 측정하는 지표탐사, 항공기에 탑재된 검출기를 이용하는 항공탐사, 또는 시추공 내에서의 지구물리검층 형태인 감마검층으로 구분된다. 지표감마탐사는 이 3가지 탐사방법 중에서 가장 일반적이고 가장 쉽게 접근할 수 있는 탐사방법이다. 그러나 탐사에 이용되는 감마선의 짧은 암석 투과 능력(Mussett and Khan, 2000) 문제와 더불어 방사능 물질의 표면 용탈과 이동, 퇴적작용 등이 겹쳐져, 지표에 흔적이 나타나지 않거나 기반암의 특성과 다른 잘못된 정보가 얻어질 가능성까지 있다(Rogers *et al.*, 1978). 이와 같은 태생적인 탐사 한계로 감마탐사는 우라늄탐사(Zeller *et al.*, 1990)를 제외한 대부분의 영역에서 보조 탐사의 한계를 벗어나지 못하고 있다. 아울러 사용 검출기에 따라 달리 기록되어 온 반응이 다르게 기록되는 문제점 또한 감마자료의 정량적 활용을 가로막는 장애요소가 되고 있다.

항공방사능탐사는 감마검출기를 항공기에 탑재하여 수행하는 탐사방법으로 넓은 면적에 대하여 신속하게 자료 획득이 가능할 뿐만 아니라, 자기탐사나 전자파 탐사 등의 자료와 함께 획득할 수 있어 활용빈도가 높은 탐사방법이다(Zeller *et al.*, 1990; Shin *et al.*, 2013). 그러나 지표탐사에서와 마찬가지로 지하에 존재하는 방사성 지질의 존재가 나타나지 않거나 기반암의 특성과는 다른 정보가 나타날 가능성, 또는 탐사 결과가 검출기에 사용되는 결정의 감도에 따라 크게 좌우되는(Mussett and Khan, 2000) 문제점들을 가진다. 우리나라에서는 전체 면적의 약 50%에 대한 항공감마탐사가 수행되었으며, 특히 경상분지와 태백산 지역에서 집중적으로 수행되었다(Koo *et al.*, 1997).

한편 감마검층은 시추공 속에서 공벽을 이루는 지층으로부터 방출하는 감마선을 측정하는 탐사방법이다. 따라서 감마선의 짧은 암석 투과 능력이 탐사에서의 장애 요인이 되지 않아 정확한 탐사가 가능한 것이 감마검층의 가장 큰 장점이다. 아울러 방사능물질의 표면 용탈과 이동, 재퇴적에 의해 왜곡된 탐사정보가 획득될 가능성(Rogers *et al.*, 1978)이

거의 없다는 점도 큰 장점이다. 검출기에 따른 상이한 반응의 문제점은 감마검층에서도 여전히 존재하나 측정에서의 표준화가 잘 되어 있어 자료간의 상호 비교가 상대적으로 용이하다는 장점까지 가진다.

이와 같은 감마탐사의 유형별 특징 관점에서 볼 때, 지표감마탐사는 광역적인 지질을 대상으로 하는 연구에서는 적용하기 어려운 존재이다. 항공감마탐사 또한 원격탐사자료가 가지는 불리한 점에다 탐사 지역의 특정지역 편중과 미탐사 지역(Koo *et al.*, 1997)이 많아 전국적인 규모의 연구에 이용되기에는 부족한 형편이다. 결국 현 단계에서는 감마검층만이 이러한 연구를 위한 유일한 통로가 될 것으로 보인다. 뿐만 아니라 우리나라에서의 감마검층 자료에서는 동일 기준으로 보정된 동일 제조사의 감마검층기(Robertson gamma sonde)로 획득된 자료가 절대적으로 많아, 전국 규모의 자료간의 상호 비교가 가능한(Kim, 2014) 추가적인 이점까지 있다. 단, 국내에서 성분별 측정 기법의 적용이 늦어, 지질 해석에 절대적으로 유리한 스펙트랄감마탐사 결과(Serra, 1984; Dickson and Scott, 1997; McCafferty and Van Gosen, 2009)를 이용하지 못하고 전체감마강도의 측면에서 지질과의 연관성을 추적해야함이 감마검층 활용에서의 어려움으로 나타난다.

그러나 동일 제조사의 감마검층기에 의하여 획득된 자료가 전국적으로 분포하여 상호 비교할 수 있다는 사실이 가진 의미는 크며, 이는 13개 주요지질 지역에서의 검층자료를 이용하여 암층구분 및 지질 구조해석의 가능성을 타진한 것이 국내 감마 연구의 유일한 예(Lee *et al.*, 1994)로 남아 있는 사실과 크게 대조를 이룬다. 이러한 관점에서 이 연구에서는 그동안 한반도의 남쪽 지역을 대상으로 동일한 제조사의 감마검층기로 얻어진 감마자료를 수집하고 분석하여, 한반도 남쪽에서의 감마강도 분포 상태와 주요 지질 단위, 지질 시대, 성인 및 육피별 특성과 연관된 감마특성을 추적하고자 하였다.

2. 지질 및 자료 특성

2.1 지질

한반도의 남쪽 지역에는 시대적으로는 선캠브리아기로부터 신생대에 이르는 거의 전 지질시대에 걸쳐 있고 암종별로는 화성암, 변성암, 퇴적암에 속하는

다양한 종류의 암석들이 분포하고 있다(그림 1).

화성암은 주로 고생대 말부터 신생대 초에 이르는 기간 동안에 있었던 3차례의 화성활동 주기를 통해 생성되었으며(Park, 2012), 그중의 절대 다수는 쥬라기에서 백악기 초에 걸쳐 있었던 대보조산운동에 의한 대보화강암과 백악기에서 제3기 초에 있었던 불국사변동에 의한 불국사화강암으로 구성되어 있다(Kim, 1970a; Jeong and Chang, 1996). 두 화성암체의 대부분은 화강암으로 구성되며 화강암의 많은 부분은 흑운모화강암인 것으로 나타나고 있다. 대보화강암은 북북동-남남서 방향의 큰 구조선을 따라서 대상으로 관입한 등립상 중립질-조립질의 흑운모화강암 또는 화강섬록암이다. 불국사화강암은 북동

-남서방향과 북북동-남남서 방향의 구조선을 따라서 관입한 등립상 중립질-세립질 흑운모화강암, 또는 화강섬록암(Geological Society of Korea, 1999)으로서 대보화강암에 비하여 대상 분포의 경향이 약하고 공간적으로는 경상분지에 집중 분포하는 점에서 차이를 보인다. 대보화강암의 주성분 광물은 석영, 사장석, 알칼리장석, 흑운모, 각섬석, 백운모이며 불국사화강암은 석영, 알칼리장석, 사장석, 각섬석, 흑운모 등이 주성분으로 알려지고 있다(Geological Society of Korea, 1999).

변성암은 가장 오랜 지질역사를 가지며 이후의 모든 화성암, 퇴적암의 기반을 형성할 뿐만 아니라, 국토의 절반 이상을 차지하는 넓은 분포를 보인다.

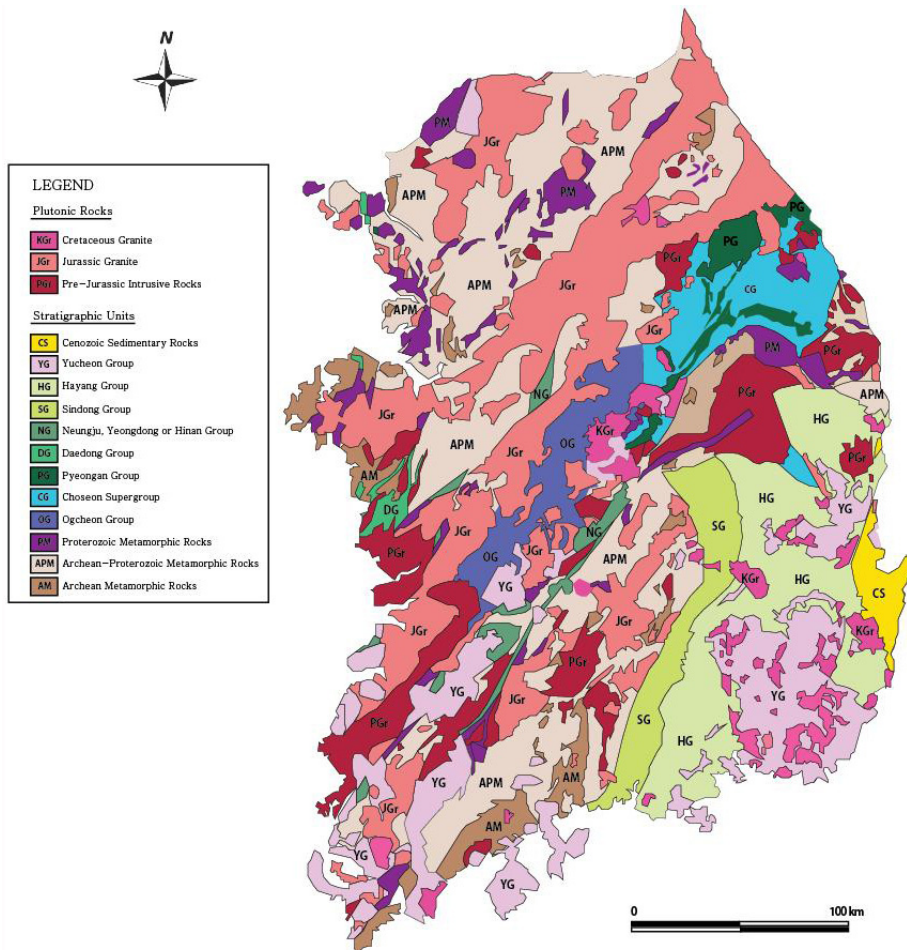


Fig. 1. Geological map simplified from the geological map of Korea (1:1,000,000) published in 2001 by the Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources.

변성암 분포는 주로 경기육괴, 영남육괴, 그리고 옥천대(또는 옥천변성대)로 구분하여 설명된다(Kim, 1970a; Kang, 2012). 경기육괴는 낭림육괴 남측의 경기지역을 중심으로 강원, 충청 지역에 이르러 옥천대와 접하는 북북동-남남서 방향으로 연결되는 선캄브리아기의 변성암과 이를 관입한 백악기 이전의 화강암 분포지에 해당한다. 영남육괴는 옥천대와 경계를 이루는 강원 남부지역에서 소백산으로 연결되는 북북동-남남서 방향의 선캄브리아기 변성암의 주 분포 지역으로서 동남쪽으로 경상분지와 접하고 있다. 영남육괴의 분포지역이 대부분 소백산맥 지역에 해당되므로 소백산육괴(Lee, 1973)라고도 불린다. 경기육괴와 영남육괴를 분리하고 있는 옥천대의 중심은 충주와 대전의 남부 지역을 통과하고 있다.

경기육괴와 영남육괴 모두 편마암복합체, 편암복합체, 화강암질암으로 주로 구성되며 양 육괴간의 암상 차이는 크지 않은 것으로 보고된다(Geological Society of Korea, 1999). Kim (1970a)은 두 육괴간의 층서대비가 가능하다는 관점에서, Lee (1973)는 두 육괴 모두 결정질 편마암류의 범주를 벗어나지 않는다는 관점에서 두 육괴가 동일지괴인 것으로 판단하였다. Kihm *et al.* (2010)은 두 육괴가 동일한 지괴에 속하거나 최소한 고생대 초까지는 두 육괴가 동일한 지괴였던 것으로 보았다. Kim *et al.* (2003)은 두 육괴에서 가장 오래된 퇴적층의 형성시기가 약 19억년으로 일치하는 반면 신원생대 화성활동에서는 상이한 점을 들어 1,870 Ma를 기준으로 그 이전에는 동일한 지체구조적 역사를 가졌으나 이후에는 다른 역사를 가진 것으로 보고하였다. Park *et al.* (2006)은 두 지괴의 분리 이후의 지구조적 환경변천사가 동일하지 않을 가능성을 제시하였으며, Lee *et al.* (2010) 또한 화강암체의 연대 분포가 상당히 다르다는 관점에서 두 육괴에서의 지구조적 환경이 다를 수 있음을 보고했다.

한편, 옥천대는 아직까지 시대가 분명하지 않은 옥천누층군의 존재를 비롯하여 고생대 퇴적암인 조선누층군과 평안누층군 및 중생대의 대동계 지층에 다, 이들을 관입한 중생대 화성암의 존재에 이르기까지 매우 다양한 지질 분포로 구성된다(Kang *et al.*, 2012). 옥천대는 문경-단양-영월-평창을 경계로 북동부 고생대 퇴적암 지역을 태백산대로, 남서부 변성암지역을 옥천변성대로 해서 구분할 수 있으나

(Kang *et al.*, 2012), 옥천대 내에서의 구조선 구분에 대한 연구자들의 주장은 약간씩 달리 나타나고 있다(Kim, 1970a; Cluzel *et al.*, 1990; Chough *et al.*, 2000).

퇴적암은 주로 고생대, 중생대 그리고 신생대 퇴적암으로 구분된다. 고생대 퇴적암은 소량의 사암과 셰일을 포함하는 천해성 탄산염질암인 조선누층군과 천해성 내지 육성기원의 쇄설성 퇴적암인 평안누층군(Kang *et al.*, 2012)으로 구성되며 주 분포지는 강릉, 삼척, 영월 정선을 중심으로 한 강원도 일대와 제천, 단양을 중심으로 한 충청도 지역이다. 중생대 퇴적암으로는 충남탄전을 비롯하여 영월, 단양, 김포 등지에서 발견되는 대동층군, 그리고 경상분지를 중심으로 발달하고 있는 경상계 퇴적층이 있다. 신생대 퇴적암의 주된 분포지는 포항분지로서 주로 역암과 셰일로 구성된 제3기 지층이 발달하고 있다.

2.2 자료 특성

일반적인 감마측정에서 감마검출기에 따라 감마반응이 달리 나타나 광역적 자료 구성이 어려운 문제를 해결하기 위해, 국내에서 사용빈도가 가장 높은 것으로 나타난 Robertson Geologging사의 자연 감마검출기로 획득된 자료만을 수집하였다. 토목지질조사, 먹는샘물 환경영향평가, 지하수조사 등 다양한 목적으로 수행된 모든 감마검출 자료를 대상으로 하여 총 953개 지점에서의 자료가 수집되었다. 수집된 자료 중에서 위치정보가 분명하지 않거나 기반암의 풍화 정도가 심한 구간에서 획득된 218개 지점의 자료가 제외되고, 다시 측정지역의 지층명이 분명하지 않은 130개의 자료들을 제외시킨 결과, 최종적으로 605개의 감마자료를 활용할 수 있었다(그림 2). 이를 지질 기원별로 보면 가장 많은 260개의 자료가 변성암에서 얻어졌으며 화성암과 퇴적암에서 각기 236개와 109개의 자료가 얻어졌다. 암종별 분포를 보면, 화성암에서는 화강암, 화강섬록암, 유문암, 안산암, 그리고 현무암이 포함되며, 변성암에서는 편암과 편마암, 퇴적암에서는 사암, 셰일, 석회암에 화산암인 응회암 및 화산각력암까지 포함되어 있다. 그 중에서 편마암과 화강암에서의 자료가 각각 148개와 137개로서 전체 감마자료의 약 47%가 이 두 암종에 집중하고 있다. 자료의 수가 대체로 지질 분포의 면적에 비례함을 보여 분석에 활용된 자료는 남한지역 주요 단위 지층의 감마특성을 대변할 수

있을 것으로 기대된다.

그러나 감마자료 위치도(그림 2)가 나타내는 바와 같이, 지역 간 자료 밀도의 불균형은 상당히 큰 편이다. 대체로 수도권 지역과 서, 남부 해안 지역들이 자료 밀도가 높은 지역으로 나타나고 있는 반면에, 태백산맥, 차령산맥, 소백산맥 등 산맥지역에서의 자료 밀도는 낮게 나타나고 있다. 이 현상은 지구물리 검층을 수행한 시추공의 위치 선정이 개발지역 중심으로 이루어졌음을 보이며 특히 휴전선과 동해안 일대에서의 자료밀도가 가장 낮게 나타난다. 수집된 자료는 대부분을 차지하는 ASCII 파일 형태와 일부 인쇄된 형태의 검층곡선 그래프로 구성된다. ASCII 자료는 캐나다 지구물리검층학회에서 제안하고 검층자료의 국제표준으로 채택된 LAS (Log Ascii Standard) 파일의 한 가지 양식으로 통일된 것이며 보고서 중의 감마곡선 또한 LAS 파일의 출력 결과물이다.

시료의 지점별 감마강도를 결정하기 위해서는 먼저 각 시추공 중에서의 대상 구간이 선정되었다. 대

상 구간의 선정에는 암상 변화가 작은 구간, 절리 및 파쇄대의 영향이 적은 구간, 연암 이상의 암반 구간, 가급적 풍화도가 낮은 구간, 그리고 일정한 감마분포를 보이는 구간(James, 1973) 등이 고려되었다. 결정된 대상구간에서 구해진 감마 평균값을 각 지점에서의 감마강도로 삼았다. 이용된 감마곡선은 평활화 기법이 적용된 것으로 특히 ASCII 자료인 경우에는 모두 N=21의 이동평균법이 동일하게 적용되었다. 반면에 인쇄된 형태의 검층곡선 자료인 경우에는 일부 필터 정보가 불명한 경우도 포함되어 있다.

모든 자료는 감마선의 유형을 구분하지 않고 방출되는 우라늄, 토륨, 그리고 칼륨 동위원소의 감마선 총량으로 표시되어 있다. 동일 제조사의 감마검층기로부터 얻어진 자료임에도 불구하고 감마선의 측정단위는 국제표준단위인 API 단위와 상용단위인 cps 단위가 섞여 있다. 이 연구에서는 Robertson Geologging사의 감마검층기 사이에서의 검출기 반응 특성(Kim, 2014)을 이용하여 모든 감마자료를 API 단위로 표시하였다. 각 감마자료가 나타내는 지질의 결정은 시추 주상도, 1:50,000 지질도폭 및 설명서, 또는 1:1,000,000 지질도를 이용하여 이루어졌다.

3. 감마분포의 특성

3.1 전반적인 분포 특성

그림 3은 감마강도 자료로부터 작성된 남한지역에서의 감마분포이다. 20 API 내외의 낮은 감마이상이 제천, 단양, 무주 부근에서 관찰되며 200 API 이상의 높은 감마이상이 포천, 철원, 양양, 속리산, 덕유산, 내장산, 화순 부근에서 나타난다. 220 API를 상한으로 한 스케일 문제로 그림에서는 잘 구분되지 않지만 가장 높은 감마는 전북 장수와 강원도 철원 일대에서 나타나며 약 700 API에 이르는 값이다. 감마분포도에서 나타난 가장 큰 특징은 태백, 단양, 김천, 거창, 하동을 연결하는 선(이하 태백-단양-하동선)을 경계로 한 큰 차이로서, 낮은 감마분포가 주로 분포하는 동측 권역과 높은 감마분포가 우세하게 나타나는 서측 권역이 좋은 대조를 보인다.

서측의 높은 감마 권역 중에서도 가장 뚜렷이 높은 감마 지역은 철원, 포천, 동두천, 강화 등 경기와 강원 북부 지역으로 주라기 화강암의 주 분포 지역에 해당된다. 부분적으로 낮은 감마분포도 협재되어

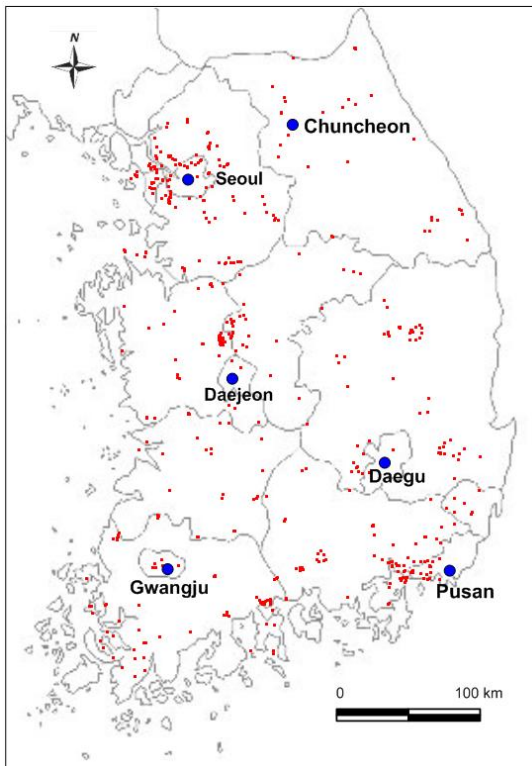


Fig. 2. Locations of gamma data collected in this study.

있으나 서울, 인천, 수원지역에 있는 소규모 높은 감마분포까지 아우르면서 가장 큰 규모의 높은 감마이상대를 형성하고 있다. 이 이상대의 동쪽인 강원도 양양과 진부 일대에서는 혼성편마암 지역에서 높은 감마이상대가 형성되어 있다. 충청지역에서는 보은과 대전을 중심으로 해서 논산까지 연결되는 높은 감마분포가 나타나는데, 옥천계에 속하는 변성암과 쥬라기 화강암의 일부가 이 높은 감마이상대의 중심에 위치하고 있다. 전라지역에서는 장수, 고창, 영광으로 연결되는 높은 감마분포의 존재가 뚜렷하며, 화순에서 진도 방향으로 단속적으로 연결되는 높은 감마분포의 존재 또한 주목할 만하다. 이 지역들은 화성암, 변성암, 퇴적암에 속하는 여러 종류의 암석들이 복잡하게 분포하고 있는 지역이며, 높은 감마 이상의 중심이 화강암, 편마암, 그리고 유천층군에 속하는 일부 화산암류 위에 나타나고 있다.

낮은 감마분포지로 특징 지워지는 태백-단양-하동 선의 동측 권역에서도 울진, 경주, 부산, 함안, 고성에서 상대적으로 높은 감마값의 존재가 인지되고 있다. 이 높은 감마이상은 화강암과 화강암질편마암, 세립질 퇴적암, 또는 화산암의 분포와 연관된 것으로 나타난다. 그러나 이들은 160 API 이하의 감마값으로 태백-단양-하동 선의 서쪽에 분포하는 높은 감마이상에 비해서 감마강도가 낮을 뿐만 아니라 규모도 작아 결과적으로 태백-단양-하동 선의 동측 권역 전체를 낮은 감마 지역으로 보이게 한다. 낮은 감마 이상의 중심은 태백-단양-하동 선 바로 동측에 위치한 폭 100 km 내외의 대상 구역으로 20~60 API의 감마강도를 보인다. 이 낮은 감마 지역은 고생대 퇴적암과 소백산편마암 복합체, 그리고 백악기 퇴적암 분포 지역에 해당되는데, 특히 경상분지와의 경계부근에 있는 고생대 석회암과 지리산 편마암 복합체 중에서 낮은 감마값이 나타나, 20 API 내외에 이르는 매우 낮은 감마이상대를 형성하고 있다. 경상분지 내 신동층군과 일부 하양층군 분포지역에서도 30~80 API의 낮은 감마값이 나타나면서 결과적으로 북북동-남남서 방향의 넓고 큰 규모의 낮은 감마이상대를 형성한다.

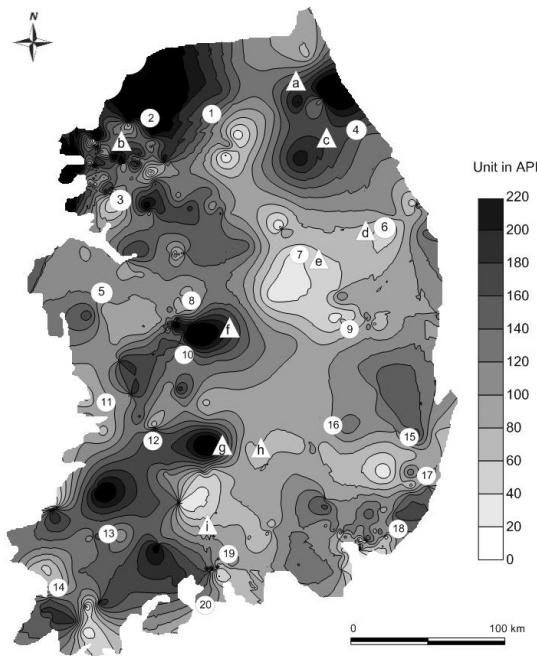


Fig. 3. Distribution of gamma strength in the southern Korean Peninsula (1: Chuncheon, 2: Pocheon, 3: Suwon, 4: Gangneung, 5: Yesan, 6: Taebaek, 7: Danyang, 8: Cheongju, 9: Andong, 10: Daejeon, 11: Gunsan, 12: Jeonju, 13: Gwangju, 14: Mokpo, 15: Gyeongju, 16: Daegu, 17: Ulsan, 18: Pusan, 19: Hadong, 20: Yeosu, a: Seoraksan, b: Bukhansan, c: Odaesan, d: Taebaeksan, e: Sobaeksan, f: Sokrisan, g: Deogyusan, h: Gayasan, i: Jirisan).

전체적으로 높은 감마 분포지역으로 분류되는 태백-단양-하동 선 서측 권역에서는 높은 감마 사이에서 매우 양호한 방향성을 가진 낮은 감마이상대가 관찰된다. 북쪽으로는 간성-양구-홍천-양평을 연결하는 낮은 감마대와 하남-과천-화성으로 연결되는 낮은 감마대의 존재가 인지된다. 이들 낮은 감마이상은 일부 화강암과 함께 편마암류 분포 지역 내에 위치한다. 중부 지역에서는 단양에서 청주를 거쳐 청양, 보령 쪽으로 더욱 현저한 낮은 감마이상대가 분포 발달하고 있다. 단양-보령을 연결하는 낮은 감마이상은 형태상으로는 단양, 태백을 연결하는 낮은 감마이상대와 동일 연장선 위에 위치하고 있다. 그러나 후자가 퇴적암의 분포 특성에 기인한 낮은 감마이상대임에 반하여 전자는 화강암과 변성암 그리고 일부 퇴적암 분포가 만들어 낸 선구조란 점에서 구별된다. 무주에서 김제에 이르는 낮은 감마이상대도 시기를 달리하는 여러 종류의 변성암과 화강암이 복잡하게 분포하는 상태에서 대상으로 형성된 뚜렷한 이상대란 점에서 주목된다. 남원-광주-목포 일대에서도 화강암과 변성암, 그리고 화산암류의

Table 1. Comparison of gamma strength between igneous, metamorphic and sedimentary rocks.

Classification	No. of Data	Gamma Strength (API unit)	
		Range	Mean
Igneous rock	239	23 - 692	134.0
Metamorphic rock	260	13 - 400	131.3
Sedimentary rock	109	3 - 196	93.0

Table 2. Comparison of gamma strength among and within sedimentary rocks.

Classification	No. of Data	Gamma Strength (API unit)	
		Range	Mean
Shale	30	72 - 178	115.0
Sandstone	12	19 - 118	65.9
Conglomerate	8	43 - 156	96.4
Non-clastic rocks	6	3 - 30	16.4
Pyroclastic rocks	8	44 - 196	107.5

분포지역에서 형성된 비교적 뚜렷한 대상의 낮은 감마이상대가 관찰되고 있다.

3.2 지질환경에 따른 특성

3.2.1 기원별 감마특성

남한지역에서의 감마값 분포는 대체로 퇴적암 지역에서 낮은 감마값이 나타나고 화성암과 변성암 지역에서 높은 감마값을 보인다. 이는 지질 기원별 감마값의 분포를 분석한 표 1에서 퇴적암, 화성암, 및 변성암의 평균 감마강도가 각기 93 API, 134 API, 및 131 API인 것으로 설명된다. 즉, 퇴적암의 감마강도가 가장 낮고 변성암과 화성암의 순으로 증가하는 양상을 보인다. 물론 퇴적암의 낮은 감마강도에는 특히 비쇄설성 퇴적암의 낮은 감마값이 반영되어 있지만 셰일이나 화산쇄설성 퇴적암의 감마강도까지 낮은 것이 크게 영향을 미친 것으로 보인다. 이는 비쇄설성 퇴적암인 석회암 자료의 수가 전체 퇴적암의 5% 정도에 불과하다는 사실로도 짐작할 수 있다. 결과적으로 거의 모든 퇴적암은 화성암 및 변성암에 비해서 낮은 감마값을 보인다. 퇴적암 내에서의 암종별 감마분포의 내역은 표 2와 같다.

반면에 400 API 이상의 높은 감마분포는 모두 화성암 지역에서 관찰되며 최대 감마값은 705 API에 이른다. 반면에 변성암의 감마강도는 모두 400 API 이하의 값으로, 화강암에 비하여 확실히 값의 범위가 작게 나타난다. 그러나 평균값에 있어서는 화성암과

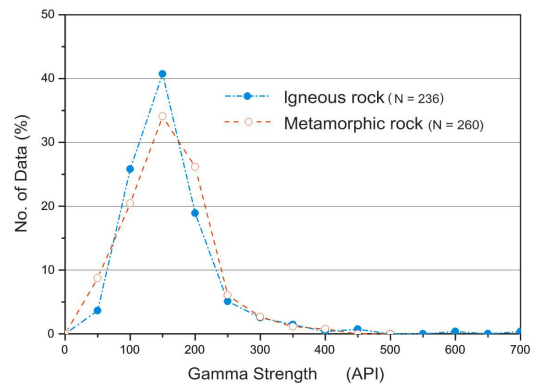


Fig. 4. Comparison of frequency distribution of gamma strength data in between igneous and metamorphic rocks.

거의 비슷한 수준으로 접근하는데 이는 화성암과 변성암 모두, 전체의 약 80%에 해당되는 자료가 50~200 API의 동일 범위 내에 속해 있기 때문으로 설명된다. 즉, 화성암에서는 소수의 특수 환경에서 높은 감마값들이 관찰됨을 보이며 이는 화성암에서의 높은 방사능물질의 이동성(Keys, 1979)을 반영하는 것으로 간주된다. 이와 같은 화성암과 변성암에 있어서 감마강도의 빈도 분포 차이는 그림 4에 제시되었다.

3.2.2 암종별 감마분포 특성

얻어진 감마자료는 다양한 종류의 지질을 대표하

고 있으나 자료의 수와 지질분포상의 중요성을 함께 고려하여 분석 대상 암종을 선정하였다. 단위 암종당 감마 자료 수의 최소값을 9개로 하였을 때 한반도 남쪽 지역에 분포하는 주요 암석들이 대부분 포함되었으며 결과적으로 11개의 암종이 분석 대상으로 선정되었다. 화성암에는 화강암, 화강섬록암, 유문암, 안산암의 4개 암종, 변성암에는 편암과 편마암의 2종, 퇴적암에서는 사암, 셰일, 석회암의 3종과 화산암인 응회암 및 화산각력암이 포함되며 이들 암종간의 평균 감마강도가 그림 5에 비교되어 있다.

한반도에 분포하는 가장 일반적인 암종 중의 하나인 화강암에서는 137개의 감마자료가 평균 147 API의 감마값을 보인다. 화강암의 대부분을 차지하고 있는 흑운모화강암만을 대상으로 하는 경우, 111개의 감마자료가 151 API의 평균값으로 감마강도가 증대된다. 자료의 수가 적으나 복운모화강암에서도 거의 비슷한 수준의 147 API의 값이 얻어진 반면에 각섬석화강암과 우백질화강암인 경우에는 각기 119 API와 99 API의 상대적으로 낮은 감마값을 보인다. 화강암 전체 관점에서 본 감마분포는 23 API에서 705 API에 이르는 매우 넓은 변화폭을 보인다.

화강섬록암은 126 API의 평균값으로 화성암 중에서 화강암에 이어 두 번째로 높은 감마값을 보이며 110 API의 유문암과 78 API의 안산암 순으로 감마값이 낮아짐을 보인다. 감마값만으로 볼 때 유문암에 포함된 자료의 상당 부분은 전형적인 유문암이 아닐 가능성을 보인다. 단 하나인 자료만 있어, 분석에서 제외된 현무암의 경우 73 API의 비교적 높은

값을 보였지만 화성암의 화학조성에 따른 차이인 산성 > 중성 > 고철질암으로의 감마값 감소의 경향 (Keys, 1979)만은 대체로 잘 반영하고 있다.

남한지역에서 가장 넓게 분포하는 편마암은 가장 많은 148개의 자료가 13~400 API의 감마분포를 보이며 평균값은 123 API로서 화강암에 비하여 10% 정도 작은 값으로 나타난다. 편마암 자료의 98%는 호상편마암, 호상흑운모편마암, 또는 화강편마암에 해당되는데, 호상편마암 및 호상흑운모편마암이 130 API의 상대적으로 높은 감마값을 기록하는 반면에 화강편마암은 106 API의 상대적으로 낮은 감마값을 보인다. 편마암에 비해 분포면적이 작은 편암은 모두 14개의 소수의 자료가 71~189 API의 좁은 감마분포를 보이지만 평균값은 129 API로서 편마암과 비슷한 수준으로 나타난다. 편암 중에서는 복운모편암이 141 API의 가장 높은 감마를 보이며 흑운모편암의 119 API에 이어 석영편암이 104 API로 가장 낮은 값을 보인다. 자료수가 너무 작아 비교 분석의 대상으로 삼지는 않았지만 변성암 중에서는 혼펠스와 석회질 편마암의 감마값이 가장 낮게 나타났다.

한편 퇴적암 중에서는 쇄설성퇴적암인 셰일과 사암이 각기 100 API와 75 API의 평균 감마값을 보인 반면에 비쇄설성퇴적암인 석회암에서는 21 API의 평균값으로 퇴적암 중에서는 물론, 모든 암종 중에서도 가장 낮은 값을 기록한다. 화산쇄설성퇴적암에 해당되는 응회암이 114 API의 평균값을 보였고 화산각력암에서도 112 API로서 거의 같은 감마강도를 보인다.

3.2.3 암체/권역 별 감마분포 특성

먼저, 생성 시기에 차이가 있으면서도 암상 차이는 적은 데다 암체별 분포가 넓고 자료수가 많은 대보화강암과 불국사화강암 간의 감마강도 특성이 비교되었으며 그 결과가 표 3으로 제시되었다. 분석대상을 흑운모화강암으로 한정하여, 암상의 차이를 최소화한 상태에서 얻어진 결과와 각 암체에 속하는 모든 화강암을 다 포함시킨 경우에서 대보화강암과 불국사화강암의 평균감마가 각기 139.6 API : 106.8 API, 그리고 154.8 API : 111.7 API로서, 모두 대보화강암에서 30~40% 감마강도가 높게 나타났다. 최대값의 분포에 있어서는 177 API에 불과한 불국사화강암에 비해서 대보화강암에서는 700 API 가까운 높은 감마값까지 나타나 더 큰 차이를 보인다.

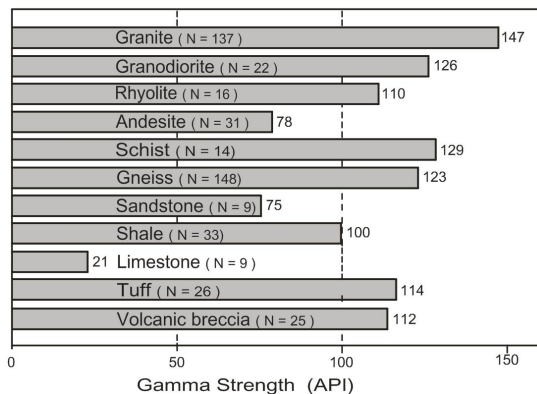


Fig. 5. Averaged gamma strength values for main rock types in the southern Korean Peninsula.

Table 3. Comparison of gamma responses between Daebo and Bulguksa granites.

Period	Rock Type	No. of Data	Range (API)	Mean (API)
Daebo granite	biotite granite	71	37 - 692	139.6
	all types	129	37 - 705	154.8
Bulguksa granite	biotite granite	26	23 - 177	106.8
	all types	40	23 - 177	111.7

Table 4. Comparison of geochemical composition in between Daebo and Bulguksa granites.

Classification	K ion content (mg/l) (Cho <i>et al.</i> , 1998)	K ₂ O content (%) (Lee and Kim, 2012)
Daebo granite	0.90 (0.26~2.06)	4.05 ± 0.83
Bulguksa granite	0.33 (0.07~0.53)	3.82 ± 1.13

Table 5. Comparison of gamma strength in granites between Gyeonggi massif, Ogcheon belt and Yeongnam massif.

Classi- fication	Deabo			Deabo and Bulguksa
	Biotite Granite	Granite	Igneous	Igneous
Gyeonggi Massif	168.4 (N=34)	192.8 (N=53)	183.9 (N=61)	184.2 (N=62)
Ogcheon Belt	133.8 (N=25)	134.4 (N=56)	135.0 (N=60)	132.3 (N=74)
Yeongnam Massif	70.3 (N=12)	111.8 (N=20)	111.8 (N=21)	100.4 (N=33)

두 화강암체 사이에서의 이와 같은 감마강도 차이를 뒷받침할 일차적 관심은 조암광물의 차이에 있으나 주성분광물과 부성분광물의 구성이 유사하여 대보화강암에서 보고되는 백운모의 존재(Geological Society of Korea, 1999)가 불국사화강암에 대한 대보화강암의 높은 감마 현상과 연결될 희미한 고리 정도로 나타났다. 이에 비해 대보화강암에서 높게 나타난 칼륨 이온 농도(Cho *et al.*, 1998), 또는 K₂O 함량비(Lee and Kim, 2012)에 대한 지화학분석 결과(표 4)는 두 화강암체 간의 방사능강도 차이를 설명할 보다 구체적인 연결고리로 보인다. 칼륨 자체가 방사성 동위원소인데다, 칼륨을 포함한 저온성 광물들이 방사능원소와의 친화성이 좋은 점(Rogers *et al.*, 1978; Solomon, 2005)을 감안한다면 두 화성암체에서의 칼륨성분의 차이는 바로 대보화강암과 불국사화강암 간의 감마강도 차이를 설명할 수 있는 정량적 요인이 될 수 있기 때문이다.

한편 대상을 대보화강암으로 한정시키고 육괴별 감마강도 차이를 비교한 경우에는, 경기육괴와 영남육괴 사이의 감마강도 차이가 대보화강암과 불국사

화강암 간에 나타난 차이보다도 더 크게 나타났다. 표 5에서 제시된 바와 같이 경기육괴 내에 분포하는 흑운모화강암은 평균 감마강도가 168.4 API이며 영남육괴 내에 분포하는 흑운모화강암이 70.3 API의 감마강도로서 두 육괴간 감마강도의 차이가 배 이상으로 증대됨을 보인다. 육괴별 관찰대상을 화강암 및 화성암 전체로 넓혀 비교한 경우에도 차이가 조금씩 감소하지만 어느 경우이든 두 육괴간의 강도 차이는 70% 이상으로 나타난다. 경기육괴 내에 있는 화강암이 매우 높은 감마값을 보이는 반면에 영남육괴 내의 화강암들은 인접한 경상분지 내의 불국사화강암과 비슷한 수준의 낮은 감마값을 보인다. 두 육괴 사이에 위치한 옥천대는 대체로 중간 값을 보인다. 이 결과는 육괴별 차이와 화성암체별 차이가 함께 존재함을 보이며 육괴별 차이가 암체별 차이를 크게 능가하는 것으로 나타난다.

한편, 경기육괴와 영남육괴 간 비교의 일환으로 편마암을 대상으로 하여 감마강도를 비교한 결과는 표 6으로 나타났다. 편마암 전체를 대상으로 하는 경우, 경기육괴에서 131 API, 영남육괴에서 104 API

Table 6. Comparison of gamma strength in gneiss between Gyeonggi massif and Yeongnam massif.

Classification	Lithology	No. of Data	Range (API)	Mean (API)
Gyeonggi massif	Gneiss	124	20 - 400	130.6
	Granitic Gneiss	25	52 - 265	110.5
Yeongnam massif	Gneiss	22	13 - 249	103.6
	Granitic Gneiss	17	13 - 249	98.8

로 나타나며, 화강편마암으로 범위를 축소한 경우에도 경기육괴에서 111 API, 영남육괴에서 99 API로서 두 경우 모두 경기육괴에서의 감마값이 높게 나타나고 있다. 경기육괴 쪽에서의 감마강도가 높게 나타나는 현상은 화강암에서의 경우와 마찬가지로이며 그 감마강도 차이는 30% 이하로서 약간 떨어지는 수준을 보인다. 즉, 관입암이나 피관입암 모두 경기육괴 쪽에서 높은 감마강도를 보이며, 관입암 쪽에서의 감마강도 차이가 약간 큰 것으로 요약된다.

한편 관입암체와 관입당한 암체를 비교하면, 경기육괴에서는 관입암체가 관입당한 암체에 비해 감마강도가 현저히 높은 반면에 영남 육괴에서는 양자간의 감마강도가 비슷하거나 관입암이 오히려 낮은 감마를 보이게까지 하여, 어느 관점에서든 감마강도에 있어서의 육괴별 차이는 현저한 것으로 보인다.

3.3 감마분포의 방향성

그림 3에서 제시된 감마강도분포에서는 태백-단양-하동 선을 경계로 하여, 동측 권역과 서측 권역에서 이상대의 분포 양상이 크게 다른 것으로 나타났다. 동측 권역에서는 경상분지 내에 분포하는 화강암과 화강암질편마암, 화산암, 심지어 퇴적암의 분포와도 연관되어 나타나는 높은 감마이상들이 약하고 복잡하여 일관된 방향성을 찾을 수 없다. 낮은 감마이상의 경우에도 태백-단양-하동 선과 평행하게 나타나는 북동-남서 방향 및 북북동-남남서 방향의 큰 폭의 이상대가 인지되나 이들은 각각 고생대 퇴적층과 경상계 신동층의 분포가 주로 반영된 결과로 나타났다.

반면에 태백-단양-하동 선의 서측 권역에서의 감마분포에서는 지층분포와 관계가 먼 높은 감마와 낮은 감마이상들이 북동-남서, 또는 동북동-서남서 방향으로 일관되게 나타나며 특히 낮은 감마이상대에서의 방향성이 뚜렷하다. 가장 우세한 동북동-서남서의 방향은 청주-청양-보령의 낮은 감마이상대에

서부터 무주-김제를 연결하는 낮은 감마이상대, 그리고 남원-광주-목포를 연결하는 낮은 감마이상대에서 잘 나타난다. 북동 또는 북북동에 가까운 방향은 강원, 경기지역인 간성-양구-홍천을 연결하는 낮은 감마이상대 및 하남-수원-화성을 연결하는 낮은 감마이상대에서 나타난다. 높은 감마이상은 낮은 감마이상만큼 강하지는 않으나 방향성만큼은 동일한 경향을 유지하고 있다. 보은-대전-논산으로 연결되는 높은 감마분포와 장수-고창-영광으로 연결되는 높은 감마분포가 뚜렷하고 일관된 동북동-서남서 방향을 보이며 화순-진도를 연결하는 높은 감마의 분포 또한 동북동-서남서 방향을 보인다. 반면에 경기지역과 강원 북부 지역에서의 높은 감마이상대는 상대적으로 약한 북동-남서, 또는 북북동-남남서 방향을 보인다. 이와 같이 이 권역에서의 감마분포는 북부 지역에서의 북동-남서 방향성과 중부와 남부 지역에서의 동북동-서남서 방향성으로 특징 지워진다.

한편 낮은 감마이상대는 주라기의 금-은 광상구와 좋은 상관관을 보인다. 그림 6이 바로 감마분포 위에 Kim (1970b)에 의해서 제시된 금-은 광상구 위치를 도시한 결과로서, 가장 큰 규모로 보고된 4개의 금-은 광상구의 위치가 태백-단양-하동 선의 서측 권역에서의 낮은 감마 선구조와 매우 좋은 상관관을 보여주고 있다. 특히 북쪽에 있는 2개의 낮은 감마이상대는 위치와 방향 모두 광상구와 잘 일치된다. 반면에 남쪽에 있는 동북동-서남서 방향의 다른 2개의 낮은 감마이상대는 위치에 있어서만 좋은 상관관을 보이고 있다.

4. 토의 및 결론

605개의 시추공 감마검층자료로부터 한반도 남쪽에서의 전체성분 감마강도 분포를 구했다. 그 결과, 20 API 미만의 낮은 감마값부터 700 API에 이르는 높은 감마값까지 나타났다. 감마강도 분포는 지역마다 상대적인 높은 감마와 낮은 감마가 공존하고

있어 복잡한 양상을 보이지만 대체로 경기 중북부, 강원 북부, 충청도, 전라도 지역에서 높은 감마값이 우세한 반면에 경상도와 강원 남부 지역에서는 낮은 감마값이 나타나는 양상을 보인다. 이와 같은 분포는 남한지역의 감마분포를 태백-단양-하동 선을 경계로 동측의 낮은 감마와 서측의 높은 감마분포로 구분할 수 있게 한다. 이 차이는 일차적으로, 서측에 높은 감마지질인 화성암과 변성암이 분포하고 동측에는 낮은 감마지질인 퇴적암이 넓게 분포하기 때문에 생긴 결과이지만, 동측 권역에 주로 분포하는 불국사화강암의 감마강도가 서측 권역의 대보화강암에 비해 현저히 낮아서 만들어진 결과이기도 하다.

불국사화강암과 대보화강암 사이에 나타난 큰 감마강도 차이는 먼저 두 화강암체의 광물 및 지화학적 조성 차이에서 그 원인을 찾을 수 있다. 특히 두 화강암에 있어서의 K성분을 중심으로 한 지화학적 조성 차이(Cho *et al.*, 1998; Lee and Kim, 2012)는 칼륨 자체가 방사성원소이며 다른 방사성원소와의

친화성까지 좋은 점을 감안할 때 제시된 감마강도의 차이를 설명할 수 있는 하나의 중요한 요인이 될 것으로 보인다.

또 한편으로는 대보화강암을 형성시킨 마그마가 불국사화강암을 형성시킨 마그마에 비해 고방사성이라는 가정도 가능하다. 여기에는 대보화강암이 0.708을 상회하는 비교적 높은 Sr초생값에 주로 S 타입의 화강암인 반면에 불국사화강암은 Sr초생값이 기준값에 미치지 못하는 낮은 값이며 주로 I 타입 화강암으로 나타나는 연구 결과들(Kim and Shin, 1990; Geological Society of Korea, 1999)이 좋은 연관성을 보인다. 뿐만 아니라 미량원소나 희토류원소의 분포 경향과 노름광물의 삼각도점시 결과 등(Lee *et al.*, 1987; Geological Society of Korea, 1999)이 대보화강암이 조산대 및 주변암석의 심한 혼화작용의 산물인 반면에 불국사화강암은 현무암질 암석으로부터의 분화되었음을 시사하고 있음도 매우 고무적이다. 사실 맨틀과 지각, 해양과 대륙지각 간의 현저한 방사능 함량 차를 감안할 때, 기원이 맨틀인지 지각인지의 문제는 그 화성암체 전체의 감마강도 결정에서 크게 영향을 미치는 요인이 될 수 있다. 따라서 대보화강암과 불국사화강암 간의 감마강도 비는 대보화강암이 지각기원에 가까운 반면 불국사화강암은 맨틀 또는 하부지각 기원에 가까운 것으로 본 해석(Geological Society of Korea, 1999)과 좋은 일치를 보인다.

그러나 감마강도 차이가 대보화강암과 불국사화강암 간의 비교에서보다도 대보화강암을 대상으로 한 육괴별 비교에서 더 크게 나타났음은 근원마그마의 특성에 대한 고려를 매우 복잡하게 만든다. 대보화강암의 마그마 특성에 대한 육괴별 구분 및 관입환경의 차이까지 고려해야 함을 시사한다. 관입환경 중에서는 근원마그마의 이동거리, 피관입암과의 상호작용(interaction), 관입암체의 규모 등이 고려 요소가 될 수 있을 것이다. 이와 관련하여, 태평양판과의 거리가 증가하는 영남육괴, 옥천대, 경기육괴의 순서가 바로 감마강도의 순서와 일치하는 현상이 가진 지질학적 의미도 흥미로울 수 있다. 높은 감마의 경기육괴 화강암이 큰 규모의 저반 형태를 보이는 반면에 낮은 감마인 영남육괴 및 경상분지 내 화강암이 주로 작은 규모의 암주형태로 분포하고 있는 현상 또한 관입암체의 규모가 미치는 영향을 가리키

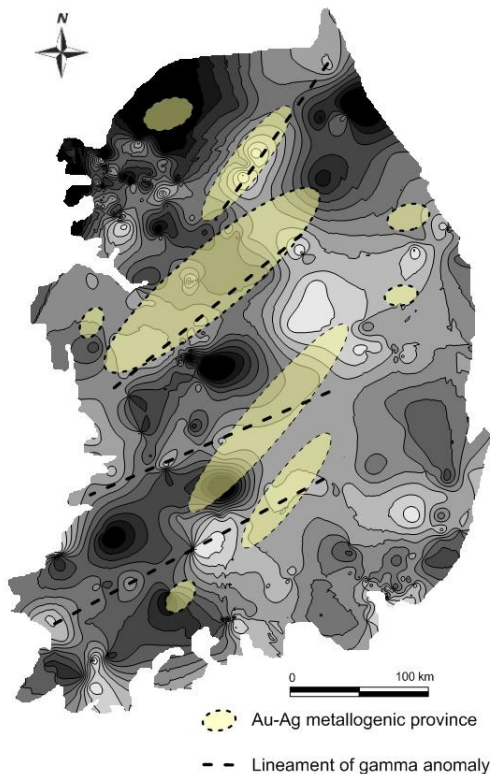


Fig. 6. Correlation of lower gamma anomalies and Au-Ag metallogenic provinces.

는 것으로 해석할 수도 있겠다. 화성암체의 관입 규모는 주변 모암과의 방사성물질의 교환(Stuckless and Nkomo, 1978)의 용이성과 직결될 수 있기 때문이다. 영남육괴에서 관입암과 피관입암의 감마강도가 비슷한 현상까지 감안하면 더욱 복잡한 연립방정식이 된다.

결국 화성암체 또는 육괴별 간의 감마강도 차이에는 여러 영향 요소들이 중첩된 것으로 보아야 할 것이다. 특히 화성암체 내에서의 방사성 물질의 활발한 이동성(Keys, 1979)을 감안하면 각 요소가 어느 정도의 영향을 미쳤는지에 대한 보다 구체적인 논의는 암체별, 육괴별 감마 자료가 더 보강된 이후에 가능할 것이며, 특히 감마분석검층에 의한 성분별 감마자료가 보충될 후일을 기약해야 할 것으로 보인다.

감마강도 분포가 가진 또 하나의 특성은 태백-단양-하동 선의 서측에서 일관된 방향을 가진 감마이상대가 많이 발견되는 점이다. 이 감마이상대의 방향성은 사용된 감마자료의 밀도를 감안할 때 상당히 강한 방향성이라고 할 수 있으며, 특히 동북동-서남서 방향이 우세한 낮은 감마이상대의 존재가 주목된다. 이 권역에서 지층 분포가 감마이상대의 방향에 크게 영향을 미친 곳은 없어 보인다. 지질분포를 제외하고서 선형적인 방사능 분포를 설명하기 위해서는 방사능 물질의 유동 통로로서의 단층 및 절리의 존재(Stuckless and Nkomo, 1978; Keys, 1979)를 생각하지 않을 수 없다. 더욱이 4개의 낮은 감마이상대 중에서 북쪽에 있는 2개의 낮은 감마이상대는 인접한 단층과 연결될 수 있어 긍정적이다. 남쪽에 있는 2개의 낮은 감마이상대는 단층, 절리의 존재와 직접 연결시키기 어려우나 낮은 감마이상대의 위치가 금-은 광상구의 위치와 좋은 상관을 보여 결과적으로는 열극구조로의 연결 가능성을 높이고 있다.

일반적으로 금속 광상이 형성될 때 중광물과 친화성이 큰 방사성물질의 집적이 함께 이루어짐(Goldsmith, 1966; Keys, 1979)을 감안할 때 열극구조와 연관된 이상관의 의미가 클 수 있기 때문이다. 광상구의 위치가 높은 감마이상대보다도 낮은 감마이상대와 더 밀접한 상관을 보인 현상에 대해서는 광상이 형성될 때 방사능 물질의 집적이 일어나는 곳이 있다면 주변에 저방사능 특성을 보이는 곳이 더 넓게 존재해야 한다는 논리에다 광상조사와 연관

된 감마검층 자료가 없는 자료 특성이 고방사능 분포를 제대로 반영하지 못한 것으로 설명할 수 있겠다. 그러나 이를 뒷받침할 다른 구체적인 자료가 없는 현 상황에서는 가능성만에 의지한 논의의 수준을 벗어나지 못하는 게 사실이며, 향후 연구의 과제로 기대된다.

연구결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 한반도의 남쪽 지역에 분포하는 암석의 감마강도는 화성암>변성암>퇴적암의 순으로 값이 낮아지며 평균값에 있어서 화성암과 변성암의 감마강도는 비슷하게 나타났다.
- 2) 한반도의 남쪽 지역에 분포하는 주요 암석의 감마강도가 확인되었으며 화강암이 평균 147 API 단위로 가장 높고 석회암이 평균 21 API로 가장 낮게 나타났다.
- 3) 대보화강암과 불국사화강암의 감마강도를 비교한 결과 대보화강암에서 높은 감마값이 나타났다. 흑운모화강암으로 암상을 제한한 경우나 화성암전체로 확대한 경우에서 비슷한 결과가 나타났으며 그 차이는 30~40% 규모에 이른다.
- 4) 경기육괴와 영남육괴를 비교한 결과에서는 경기육괴가 영남육괴에 비하여 현저하게 높은 감마강도를 보였으며 그 차이는 전체 대보화강암과 불국사화강암 간의 차이보다 크게 나타났다. 이러한 경향은 대보 흑운모화강암만을 대상으로 한 경우나, 대보화강암에 속하는 모든 화성암, 그리고 육괴내의 모든 화성암으로 범위를 넓힌 경우에도 비슷하게 나타났으며, 옥천대는 경기육괴와 영남육괴의 중간에 해당되는 감마강도를 보였다.
- 5) 화강암에서의 감마강도 차이에는 K성분의 차를 포함한 지화학적 조성 차이를 비롯하여 근원 마그마의 특성 차, 마그마 이동거리, 화강암체의 관입 규모 등이 복합적으로 영향을 미친 것으로 보인다.
- 6) 한반도 남쪽 지역에서의 감마강도 분포는 태백-단양-하동 선을 경계로 동측의 낮은 감마와 서측에서의 높은 감마로 큰 차이를 보이며 서측의 높은 감마 권역에서는 높은 감마와 상대적인 낮은 감마이상이 일관된 방향성을 가지며 특히 동북동-서남서 방향성이 우세하게 나타난다.
- 7) 낮은 감마이상대는 금-은 광상구의 위치와 좋

은 상관관을 보여 낮은 감마이상대가 금속 광상의 탐사 지표가 될 수 있는 가능성을 보인다.

사 사

이 연구는 여러 곳에 산재하고 있는 감마자료의 수집에 기초해서 이루어졌다. 도움을 주신 분들을 일일이 다 거명할 수도 없고 익명을 전제로 한 도움까지 있었기에 자료수집에 협조해 주신 모든 분들의 도움을 묶어 감사드린다. 논문 심사를 해주신 심사위원께 감사드리며 특히 많은 도움을 주신 김지수 교수께 깊이 감사드린다. 이 연구는 2014년도 강원대학교 학술연구조성비(과제번호-120131192)로 연구되었다.

REFERENCES

- Cho, B.W., Sung, I.H., Choo, C.O., Lee, B.D. and Kim, T.K., 1998, Hydrochemical characteristics of natural mineral water in the Deabo and Bulguksa granites. *The Journal of Engineering Geology*, 8, 247-259 (in Korean with English abstract).
- Chough, S.K., Kwon, S.T., Ree, J.H. and Choi D.K., 2000, Tectonics and sedimentary evolution of the Korean peninsula; a review and new view. *Earth Science Reviews*, 52, 175-235.
- Cluzel, D., Cadet, J.P. and Lapierre, H., 1990, Geodynamics of Ogcheon Belt (South Korea). *Tectonophysics*, 183, 41-56.
- Dickson, B.L. and Scott, K.M., 1997, Interpretation of aerial gamma ray surveys-adding the geochemical factors. *AGSO Journal of Australian Geology and Geophysics*, 17, 187-200.
- Geological Society of Korea, 1999, *Geology of Korea*, Sigma Press, 802 p (in Korean).
- Goldsmith, L.H., 1966, Some fundamentals of potash geology as a guide to exploration, *Society of Petrophysicists & Well Log Analysts 7th Annual Logging Symposium*, Tulsa Oklahoma, May 9-11, O 15 p.
- James, K. Hallenburg, 1973, Interpretation of gamma ray logs. *Society of Petrophysicists & Well Log Analysts, 14th Annual Logging Symposium*, Lafayette Louisiana, May 6-9, GG 29 p.
- Jeong, C.S. and Chang, H.W., 1996, Geochemistry of the Daebo granitic batholith in the central Ogcheon belt, Korea: A preliminary Report. *Journal of Korean Institute of Mining Geology*, 29, 483-493.
- Kang, J.H., Hayasaka, Y. and Ryoo, C.R., 2012, Tectonic evolution of the central Ogcheon belt, Korea, *Journal of Petrological Society of Korea*, 21, 129-150 (in Korean with English abstract).
- Keys, W.S., 1979, Borehole geophysics in igneous and metamorphic rocks, *Society of Petrophysicists & Well Log Analysts 20th Annual Logging Symposium*, Houston, USA, June 3-6, OO 26 p.
- Kihm, Y.H., Kee, W.S. and Jin, G.M., 2010, Geological Structures of Jucheon area contact area between Ogcheon belt and Gyeonggi massifs, *Journal of Korean Institute of Mining Geology*, 43, 637-648 (in Korean with English abstract).
- Kim, K.H. and Shin, Y.S., 1990, Petrochemistry of the Granitic rocks in the Chungju, Wolaksan and Jecheon granite Batholiths. *Journal of Korean Institute of Mining Geology*, 23, 245-259 (in Korean with English abstract).
- Kim, O.J., 1970a, Geology and Tectonics of the mid-central region of South Korea. *Journal of Korean Institute of Mining Geology*, 2, 73-90 (in Korean with English abstract).
- Kim, O.J., 1970b, Gold-silver metallogenic provinces in South Korea. *Journal of Korean Institute of Mining Geology*, 3, 163-167 (in Korean).
- Kim, T.W., 2014, A study on natural gamma distribution in the Korean peninsula. MSc thesis, Kangwon National University, Chuncheon, 66 p (in Korean with English abstract).
- Kim, Y.J., Park, J.B. and Cho, D.R., 2003, SHRIMP U-Pb geochronology of Precambrian basement rocks from the Gyeonggi and Yeongnam Massifs Korea: their tectonic implications. *Korea Science and Engineering Foundation Report*, 21 p (in Korean with English abstract).
- Koo, S.B., Lee, T.S., Choi, J.H., Kim, K.E., Park, Y.S. and Sung, N.H., 1997, A study on airborne radiometric/magnetic survey of Angye, Kimcheon, and Sunsang areas and map compilation of the Gyeongsang basin. *Korea Institute of Geology, Mining and Materials, KR-96(C) -2*, 98 p (in Korean with English abstract).
- Lee, D.Y., Lim, J.U. and Yum, B.W., 1994, The use of gamma ray logging for identifying lithology and geological structures. *Journal of Geological Society of Korea*, 30, 467-474 (in Korean with English abstract).
- Lee, H.S., Park, K.H., Song, Y.S., Kim, N.H. and Orihashi, Y., 2010, LA-ICP-MS U-Pb zircon age of the Hongjesa granite in the northeast Yeongnam massif. *Journal of Petrological Society of Korea*, 19, 103-108 (in Korean with English abstract).
- Lee, S.G. and Kim, D.Y., 2012, Geochemical composition

- of the continental crust in Korean peninsula. *Journal of Petrological Society of Korea*, 21, 113-128 (in Korean with English abstract).
- Lee, S.M., 1973, Application of metamorphic facies and facies series to the tectonics of Korea. *Journal of Geological Society of Korea*, 9, 11-23 (in Korean with English Abstract).
- Lee, S.M., Kim, S.W. and Jin, M.S., 1987, Igneous activities of the Cretaceous to Early Tertiary and their tectonic implications in South Korea. *Journal of Geological Society of Korea*, 23, 338-359 (in Korean with English abstract).
- McCafferty, A.E. and Van Gosen, B.S., 2009, Airborne gamma-ray and magnetic anomaly signatures of serpentinite in relation to soil geochemistry, northern California. *Applied Geochemistry*, 24, 1524-1537.
- Mussett, A.E. and Khan, M.A., 2000, *Looking into the Earth*. Cambridge University Press, 470 p.
- Park, K.H., 2012, Cyclic igneous activities during the late Paleozoic to early Cenozoic period over the Korean peninsula. *Journal of Petrological Society of Korea*, 21-2, 193-202 (in Korean with English abstract).
- Park, K.H., Lee, H.S., Song, Y.S. and Cheong, C.S., 2006, Sphene U-Pb ages of the granite-granodiorites from Hamyang, Geochang and Yeongju areas of the Yeongnam massif. *Journal of Petrological Society of Korea*, 15, 39-48 (in Korean with English abstract).
- Rogers, J.W., Ragland, P.C. and Nishimori, R.K., 1978, Varieties of granitic uranium deposits and favorable exploration areas in the eastern United States. *Economic Geology*, 73, 1539-1555.
- Serra, O., 1984, *Fundamentals of well-log interpretation*, Elsevier Science publishing Co. Inc., 423 p.
- Shin, E.J., Ko, K., An, D. and Han, G., 2013, Interpretation of Airborne magnetic and radioactive data for the uranium deposit in Geumsan area, Jigu-Muli-wa-Muli-Tamsa, 16, 36-44 (in Korean with English abstract).
- Solomon, A.O., 2005, A study of natural radiation levels and distribution of dose rates within the younger granite, Ph.D. Thesis, University of Jos Nigeria, Jos, Nigeria, 257 p.
- Stuckless, J.S. and Nkomo, I.T., 1978, Uranium-lead isotope systematic alkali-rich granites from the Granite mountains, Wyoming: Implications for uranium rocks. *Economic Geology*, 73, 427-441.
- Zeller, E.J., Dreschhoff, G.A.M. and Thoste, V., 1990, Uranium resource evaluation in Antarctica. *American Geophysical Union Antarctic Research Series*, 51, 95-116.

투 고 일 : 2014년 10월 29일

심 사 일 : 2014년 11월 3일

심사완료일 : 2014년 11월 27일