



<Technical Report>

강원도 지역 골재의 현황과 지구화학적 특징

박영윤^{1,2} · 유재영^{1,2,*} · 김용재³ · 채정석³ · 장병욱³

¹(사)한국녹색지구환경연구소
²강원대학교 지질 · 지구물리학부
³한국원자력안전기술원

요 약

이 연구는 강원도 지역에서 생산되는 골재의 현황을 분석하고 골재의 광물조성과 주성분의 함량을 이용하여 골재의 지구화학적 특성을 평가하였다. 2016년에 강원도에서 생산된 골재는 2005년에 비해 약 6.4배 증가한 22,659 m³/년이다. 2018년에 강원도 내 140개의 골재채취업체가 등록되어 있었다. 생산된 골재는 레미콘(40.3%), 도로기반재료(15.3%), 아스콘(8.1%) 등에 사용된다. 이 연구에서는 골재를 모래와 자갈로 구분하고 85개 골재생산업체에서 117개의 시료를 채취하여 광물조성과 주성분을 분석하였다. 모래와 자갈은 주로 석영(14.3~84.3%), 사장석(0~42.9%), K-장석(0~31.1%), 백운모(0~24.8%), 흑운모(0.4~20.3%)로 구성된다. 모래는 SiO₂의 함량변화에 따라 증가 또는 감소경향을 뚜렷이 보여주는 성분들이 관찰되지 않았으나 자갈에서는 SiO₂의 함량증가에 따라 Al₂O₃, K₂O, Na₂O는 증가하고 CaO와 L.O.I.는 감소하는 경향을 보였다. 이번 연구는 서로 다른 지질작용을 겪은 시료가 혼합된 제품을 대상으로 이루어졌기 때문에 암석의 성인, 진화 및 풍화를 이해하는 데 한계가 있었다.

주요어: 골재, 모래, 자갈, 광물조성, 지구화학적 특성, 강원도

Youngyun Park, Jae-Young Yu, Yong-Jae Kim, Jung Seok Chae and Byung-Uck Chang, 2019, Status and geochemical characteristics of the constructional aggregate in Gangwon area. Journal of the Geological Society of Korea. v. 55, no. 3, p. 365-376

ABSTRACT: This study was conducted to analyze the status and to evaluate the geochemical characteristics of the constructional aggregate using its mineral compositions and major component contents in Gangwon area. In 2016, Gangwon Province produced 22,659 m³/year aggregate which is 6.4 times bigger than 2005 production. In 2018, 140 companies were registered as the aggregate suppliers in Gangwon Province. The aggregate products are used in manufacturing remicon (40.3 %), road subbase (15.3 %), and ascon (8.1 %). In this study, the aggregate was classified into sand and gravel and 117 samples were collected from 85 aggregate companies to analyze mineral compositions and major component compositions. Sand and gravel are mainly composed of quartz (14.3~84.3%), plagioclase (0~42.9%), K-feldspar (0~31.1%), muscovite (0~24.8%), and biotite (0.4~20.3%). Sand did not show any tendency of variation against with SiO₂ content change, but in gravel, Al₂O₃, K₂O and Na₂O were increased with SiO₂ content increase and CaO and L.O.I. decreased. Because this study was conducted on the products which were mixture of the samples that had experienced different geological processes, there was a limit to understanding the petrogenesis, evolution, and weathering of the rocks.

Key words: aggregate, sand, gravel, mineral composition, geochemical characteristic, Gangwon-do

(Youngyun Park and Jae-Young Yu, Korean Research Institute of Green Earth Environmenl, Chuncheon 24341, Republic of Korea; Youngyun Park and Jae-Young Yu, Division of Geology and Geophysics, Kangwon National University, Chuncheon 24341, Republic of Korea; Yong-Jae Kim, Jung Seok Chae and Byung-Uck Chang, Korea Institute of nuclear Safety, Daejeon 34142, Republic of Korea)

* Corresponding author: +82-33-250-8557, E-mail: jyu@kangwon.ac.kr

1. 서 론

최근 유해물질로부터 안전한 생활환경을 조성하려는 사회적 요구가 증가하면서 건축자재 내 중금속, 잔류성 유기오염물질 및 자연방사능물질과 같은 유해물질에 관한 관심이 높아지고 있다. 이러한 유해물질에 장기간 노출되는 경우에 질병을 일으킬 수 있으며 일부 물질은 발암물질로 알려지면서 건축자재 및 이로부터 유출되는 유해물질의 함량 및 거동과 관련된 조사 및 연구가 활발히 이루어지고 있다(Amrani and Tahtat, 2001; Appleton, 2005; ARPNSA, 2008; KINS, 2019). 외국에서는 이러한 연구결과들을 바탕으로 건축자재 내 유해물질에 대한 위해성을 평가하고 관리기준을 제시하는 등의 노력들이 활발하게 이루어지고 있다(EC, 1999; Cooper, 2005; Goronovski *et al.*, 2018).

국내에서는 1990년대 초에 실내에서 자연방사성 물질에 의한 방사능이 인체에 나쁜 영향을 끼칠 수 있을 가능성이 제기되었고(Jang *et al.*, 1992), 이후에 지하수, 실내 공기, 산업물질 및 건축자재 등에 포함된 유해물질의 농도와 이들에 대한 유해성 평가 및 관리방안에 관한 연구들이 활발하게 이루어졌다(Yu *et al.*, 2009; Cho *et al.*, 2012; Park, 2014; Park *et al.*, 2014; Yun *et al.*, 2016). 2015년 환경부는 국내외 시멘트 내 유해성분의 농도 및 위해성을 평가하고 관리방안을 제안하였으나(Jeon *et al.*, 2015), 최근까지 건축자재에 직접 사용되는 자갈 및 모래 골재에 대한 유해성분의 농도범위 및 위해성 평가는 체계적으로 이루어지지 않았다.

국내에서 골재는 연간 약 1.3억 m³ 채취되며 국내에서 가장 많이 소비되는 자원이다(Hong *et al.*, 2015). 1993년 골재채취법 제정 이후에 골재의 개발, 복구 및 활용분야의 연구 및 조사들이 활발하게 수행되었다(Kim *et al.*, 2004; Sa *et al.*, 2013; MLIT and K-water, 2014). 최근에 골재 내 유해물질의 농도를 일부 보고하였고(KINS, 2007; Park, 2014; Park *et al.*, 2014), 암석과 토양 내 천연방사성물질들의 거동특성에 관한 연구가 수행되었다(Lee *et al.*, 2008). 그러나 국내에서 생산되는 자갈과 모래 골재의 원료물질에 대한 지구화학적 특징에 관한 연구는 활발하게 이루어지지 않았다. 국내에서 우수한 골재를 안정적으로 공급

하기 위해서는 골재로써 활용이 가능한 자원의 분포 및 매장량에 대한 분석이 필요하다. 또한, 국내 석재와 수입 석재를 구분할 수 있는 과학적인 근거를 마련하는 것도 필요하다(Kim *et al.*, 2015). 이 연구에서는 강원도 지역에서 생산되는 골재의 현황을 조사하고 이들의 광물조성과 주성분의 함량을 이용하여 지구화학적 특성을 평가하였다.

2. 골재의 일반적인 특징

2.1 골재의 정의

골재는 건설 및 토목공사에서 사용되는 자원으로 골재채취법에서 “하천, 산림, 공유수면, 기타 지상/지하 등에 부존되어 있는 암석, 모래, 자갈로써 건설공사의 기초재료로 사용되는 것”을 의미한다. 그리고 한국산업규격(KSF2523)에서는 “콘크리트, 모르타르, 석회반죽, 역청질 혼합물 등과 같이 결합재에 의하여 뭉쳐서 한 덩어리를 이룰 수 있는 건설용 광물질 재료로서 화학적으로 안정한 것, 다만 물 혼합재 및 경합재는 제외”로 정의한다(KAA, 2019). 국내에서 화강암과 편마암을 자갈 골재로 사용하는 경우가 많지만, 골재로 사용하기 위해서는 암석의 종류보다는 다음과 같은 조건을 우선 만족시켜야 한다(KAA, 2019). 첫째, 신선하고 유해물질을 포함하지 않을 것, 둘째, 물리적 내구성이 클 것, 셋째, 화학적 안정성이 높은 것, 넷째, 치밀하고 높은 강도를 갖는 것, 다섯째, 입방체나 구형으로 표면이 매끄럽지 않아 부착력이 큰 것, 여섯째, 내화성일 것이다.

2.2 골재의 분류

골재는 입도, 생산방법, 중량 등에 의해서 분류된다. 입경에 따라서는 굵은골재(>5 mm)와 잔골재(<5 mm)로 구분하고, 생산방법에 따라서는 천연골재와 인공골재로 구분한다. 또한, 중량에 따라서는 보통(비중: 2.50~2.65), 경량(비중: <2.50) 및 중량골재(비중: >2.70)로 구분한다(KAA, 2019). 이 연구에서 채취한 시료는 이러한 분류법을 사용하지 않고 입자크기만을 고려하여 자갈(>2 mm)과 모래(<2 mm)로 구분하였다. 이들 골재는 콘크리트와 기층용에 각각 78.5%(자갈 44.1%, 모래 34.4%)와 62%(자갈 48.0%, 모래 14%)의 비율로 사용되고 있다(그림 1).

3. 연구방법

3.1 자료수집 및 골재현황 분석

국내에서 골재채취업체에 대한 자료는 지방자치단체의 골재관리부서, 한국골재협회, 골재자원정보관리시스템 등에서 수집이 가능하다. 이번 연구에서는 골재자원정보관리시스템(<https://www.agris.go.kr/>)에서 2018년도 기준, 강원도에 등록된 업체 자료를 수집하였다. 수집된 자료는 강원도 내 시·군별 분포 현황을 분석하였다.

국내의 골재생산량은 골재업체가 제출한 자료를 근거로 산출되지만, 실제의 생산량과는 다소 차이를 보인다. 자갈 골재의 생산량은 각 지역의 통계연보에서 확인할 수 있지만, 모래 골재의 생산량은 확인할 수 없다. 이 연구에서는 2005~2016년 강원통계연보로부터 산림에서 채취된 자갈 골재의 연도별 및 시·군별 생산량 자료를 수집하여 강원도 내 골재의 생산현황을 분석하였다.

3.2 시료채취 및 화학분석

2018년도 강원도 내 18개 시·군에 140개의 골재채취업체가 등록되어 있다. 140개 업체 중에 2018년도 5월부터 7월까지 86개의 업체가 가행 중이었으며 가행 중인 업체 중에 85개 골재채취업체에서 117개의 자갈(78개)과 모래(39개)를 채취하였다(그림 2). 자갈과 모래는 각각 13~45와 0.15~2.0 mm 규격의 시료를 주로 채취하였다. 채취된 시료는 증류수로 세척 후 120°C에서 24시간 건조한 후 분말로 분쇄하

여 분석 전까지 상온에서 보관하였다. 준비된 시료 중 일부를 이용하여 강원대학교 공동실험실습관의 XRD (X'Pert PRO MPD, PANalytical)를 이용하여 40kV, 30mA의 가속전압과 전류조건에서 5-80°구간(2θ)에서 광물의 종류를 분석하였다. XRD 분석결과는 제4기연구소의 지로콘트(SIROQUANT) 프로그램을 이용하여 골재를 구성하는 광물의 함량을 계산하였다. 주성분(SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , K_2O , Na_2O , TiO_2 , MnO , P_2O_5 , Cr_2O_3 , L.O.I.)의 함량은 한국기초과학지원연구원 대구센터의 XRF (Tiger S8, Bruker)로 분석하였다.

4. 결과 및 토의

4.1 골재업체 현황

2018년도 강원도 18개 시·군 중에 화천, 속초, 동해를 제외한 15개 시·군에 140개의 업체가 등록되어 있다. 전체의 40.7%가 강릉(32개소)과 삼척(25개소)에 위치하며 이들 지역을 제외한 13개 시·군에 3~10개소의 업체들이 위치한다(그림 2). 강원도에서는 골재를 산림과 육상골재로 분류하여 관리하고 있으며 산림골재는 주로 자갈을 생산하고 육상골재는 자갈과 모래를 생산한다. 시료채취 기간에 가행 중인 86개 업체 중에 산림, 육상 및 산림과 육상골재를 모두 생산하는 업체는 각각 전체의 44.7, 41.2 및 14.1%로 산림골재를 채취하는 업체가 육상골재를 채취하는 업체보다 다소 많았다. 채취된 시료는 자갈과 모래가 각각 66.7과 33.3%로 모래에 비해서 자갈이 약 두

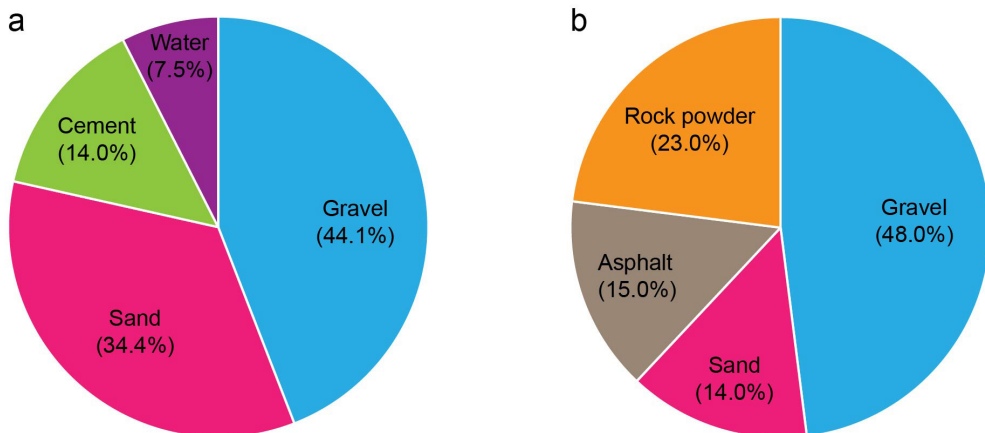


Fig. 1. Compositions of (a) concrete and (b) subbase in Korea (KAA, 2019).

배 더 많았다(그림 3a). 자갈 중 56.4%는 화강암, 편마암, 석회암 등의 단일 암석으로 구성되었으며 석회암(28.2%), 화강암(17.9%), 편마암(10.3%) 순으로 많았다. 나머지 43.6%는 화강암, 편마암, 규암, 편암 등의 여러 암석으로 구성되었다(그림 3b). 이번 연구에서 자갈 골재에서 암석의 종류에 관계없이 입도만을 고려하였다.

4.2 골재생산 및 활용 현황

강원도는 시생대와 원생대의 변성암류와 변성퇴적암류가 기반암을 이루며 매우 넓은 범위에 분포한다. 변성암류들은 북동-남서방향의 대상으로 분포하고, 변성퇴적암류들은 주로 북서쪽의 철원지역을 중심으로 분포한다. 고생대의 퇴적암류들은 남동쪽의 태백, 정선, 영월지역에 넓게 분포한다. 시생대, 원생

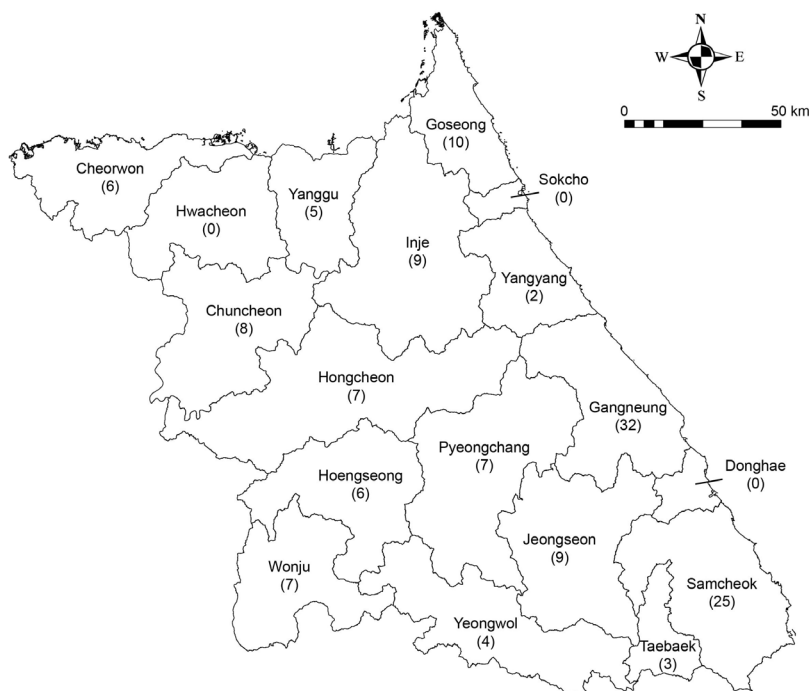


Fig. 2. Distribution of the aggregate company in Gangwon (KAA, 2019).

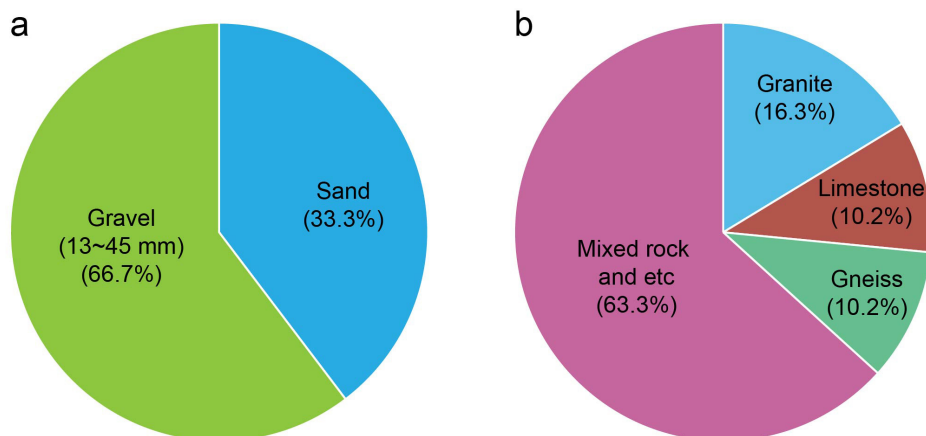


Fig. 3. Shares of kind of (a) the aggregate samples and (b) rocks constituting gravels.

대 및 고생대 암석들을 중생대의 화성암류들이 관입하였으며 중앙에 넓게 분포한다. 이들 암석을 신생대의 충적층이 부정합으로 피복한다(그림 4).

강원도 내 골재는 전체 면적의 약 70%를 차지하는 화강암류와 편마암류 지역에서 자갈 형태의 골재를 생산된다. 특히, 고생대 탄산염암 지역에서는 시멘트를 생산하는 업체들이 위치하지만, 저품위의 탄산염암은 자갈 골재로 사용되고 자갈보다 작은 입자의 골재는 기층용 골재로 활용한다. 자갈은 주로 석산의 암석을 파쇄하여 생산되지만, 고성에서는 육상 골재 중 수 m 크기의 자갈을 분쇄하여 자갈 골재를 생산하는 사례가 조사되었다. 또한, 터널굴착, 하천

정비 및 대규모 토목사업으로부터 반출되는 암석으로부터 골재를 생산하는 사례도 조사되었다. 과거 하천 주변 또는 하상에 퇴적된 퇴적물로부터 생산되는 모래는 현재 저지대의 논과 밭에서 채취가 이루어진다. 모래는 자갈과 비교하여 매장량이 상대적으로 매우 적어 평균 약 1년 정도 가행이 되는 것으로 조사되었다.

2005~2016년까지 강원도의 자갈 생산량은 전체적으로 꾸준히 증가하는 경향을 보인다. 특히 2006년에 급격하게 증가하였지만, 이번 연구에서는 증가 원인을 규명하지 못 하였다. 2005년(3,520 m³/년)과 비교해서 2016년에는 22,659 m³/년으로 약 6.4배 증가하였다(그림 5). 강원도에서 생산된 골재들은 주로

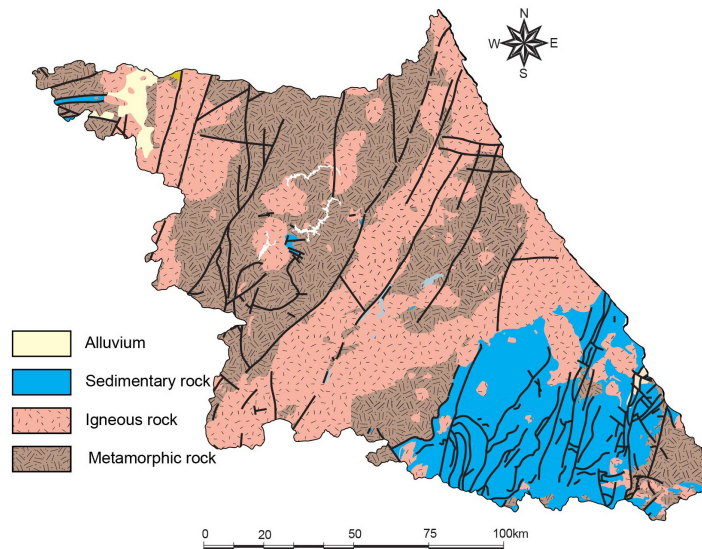


Fig. 4. Geologic map of Gangwon (KIGAM, 2019).

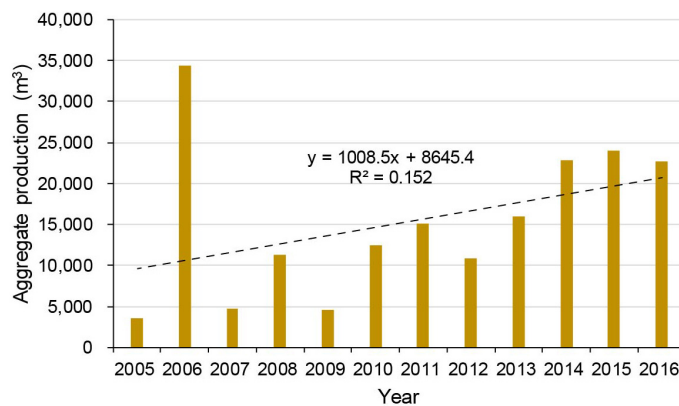


Fig. 5. Aggregate production of Gangwon-do from 2005 to 2016 (Gangwon province, 2019).

레미콘(40.3%), 도로기반재료(15.3%), 아스콘(8.1%)에 사용되지만, 일부 골재들은 골프장, 건축미장재료, 하천제방 및 축대, 정수장, 콘크리트 석재, 정원석, 유리원료 등에 사용된다.

4.3 골재의 광물조성

모래는 주로 석영(36.7~83.1%), 사장석(3.3~40.3%), K-장석(4.3~21.0%), 백운모(0~13.1%), 흑운모(0~12.0%), 녹니석(0~9.70%), 견운모(0~6.4%) 등으로 구성된다. 탄산염암 지역에서 생성되는 일부 골재에서 탄산염 광물(방해석과 백운석)의 함량이 88.1%로 매우 높게 나타난다. 석영의 함량에 따른 사장석, K-장석, 흑운모 및 백운모의 함량변화를 분석하였다(그림 6). 사장석은 석영이 증가함에 따라 감소하는 경향을 보인다(그림 6a). 석영은 화학적 풍화에 매우 강한 반면에 사장석은 상대적으로 석영보다 화학적 풍화에 약하기 때문에 이러한 결과를 보인 것으로 판단된다. 또한, 이번에 채취된 대부분 시료들이 과거 하천에

의해서 운반 및 퇴적되었기 때문에 이러한 경향이 뚜렷이 나타난 것으로 판단된다. K-장석은 석영의 함량 변화에 따라 뚜렷한 증가 또는 감소의 경향을 보이지 않는다(그림 6b). 석영과 K-장석은 다른 광물과 비교해서 화학적 풍화에 잘 견디기 때문에 일정 범위 내에서 산점상으로 분포하는 것으로 판단된다. 흑운모는 석영의 함량이 적을 때에는 분포 범위가 매우 넓지만, 석영의 함량이 점차 증가함에 따라서 흑운모는 점차 감소하는 경향을 보인다(그림 6c). 백운모의 함량은 석영의 함량변화에 따라 뚜렷한 증가 또는 감소의 경향을 보이지 않는다(그림 6d).

자갈은 주로 석영(14.3~84.3%), 사장석(0~42.9%), K-장석(0~31.1%), 백운모(0~24.8%) 등으로 구성되며, 탄산염암이 넓게 분포하는 정선군과 영월군에서는 방해석과 백운석 등의 탄산염 광물의 함량이 47.1~100%로 매우 높게 나타난다. 자갈에서 석영과 사장석, K-장석, 흑운모, 백운모는 뚜렷한 증가 또는 감소의 경향을 보이지 않았다(그림 6). 석영, 사장석, K-장

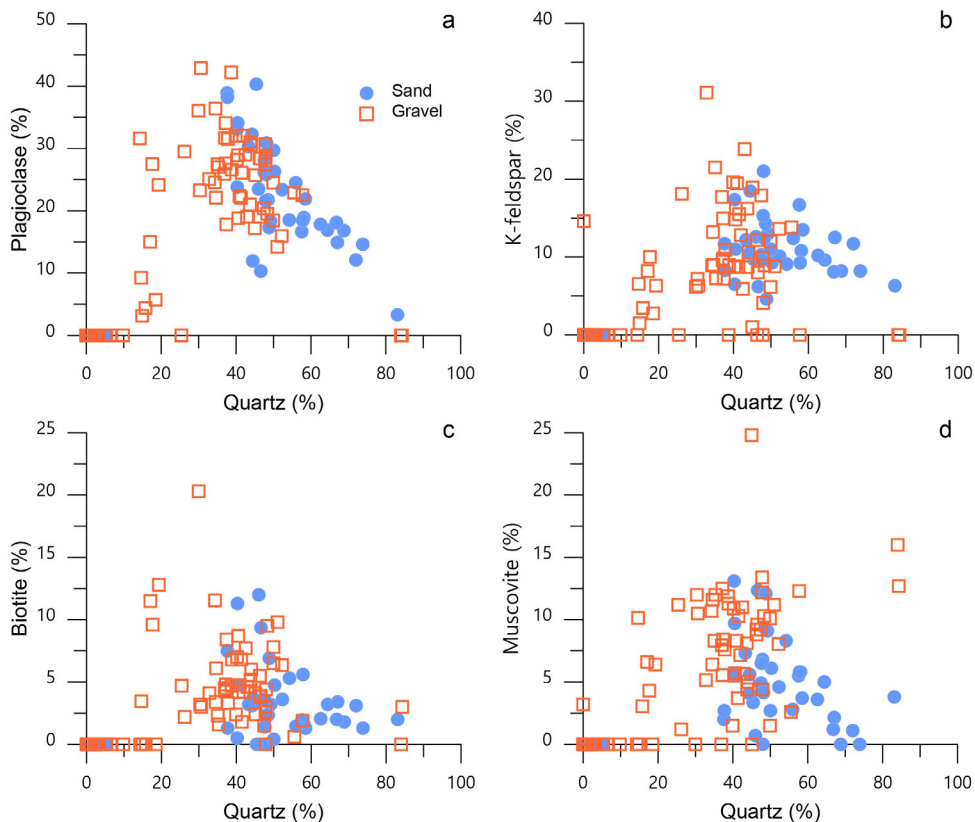


Fig. 6. Relationship between the contents of quartz and those of plagioclase, k-feldspar, biotite and muscovite.

석, 백운모는 화강암과 편마암을 구성하는 주요 광물이며 이들의 함량비도 거의 유사하다(그림 7). 또한, 채취된 자갈 중에 28.2%가 화강암과 편마암의 단일 암석으로 구성되고 여러 암석이 혼합된 시료들 중에 규암과 규장암이 포함되기는 하지만 주로 화강암과 편마암의 함량이 높은 경우가 많아서 이러한 결과가 나타난 것으로 판단된다. 화강암으로 구성된 자갈의 석영, 사장석, K-장석의 함량비를 이용하여 암

석 분류도에 도시하면 몬조화강암(monzogranite) 내지 화강섬록암(granodiorite)에 해당된다(그림 8). 편마암은 주로 편마암, 호상편마암, 안구상편마암 등이 포함되며, 일부 지역에서는 화강편마암 또는 화강암 질편마암을 포함하기도 한다.

4.4 골재의 화학조성

모래의 주성분은 SiO_2 와 Al_2O_3 의 함량이 각각 66.2~

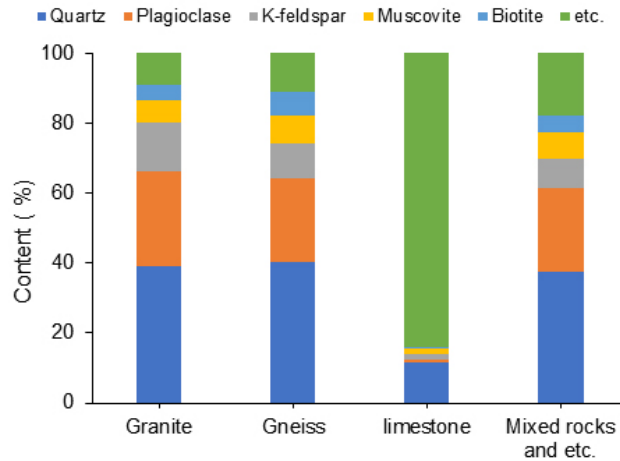


Fig. 7. Mineral compositions of the granite, gneiss, limestone, and mixed rocks and etc. constituting the gravel.

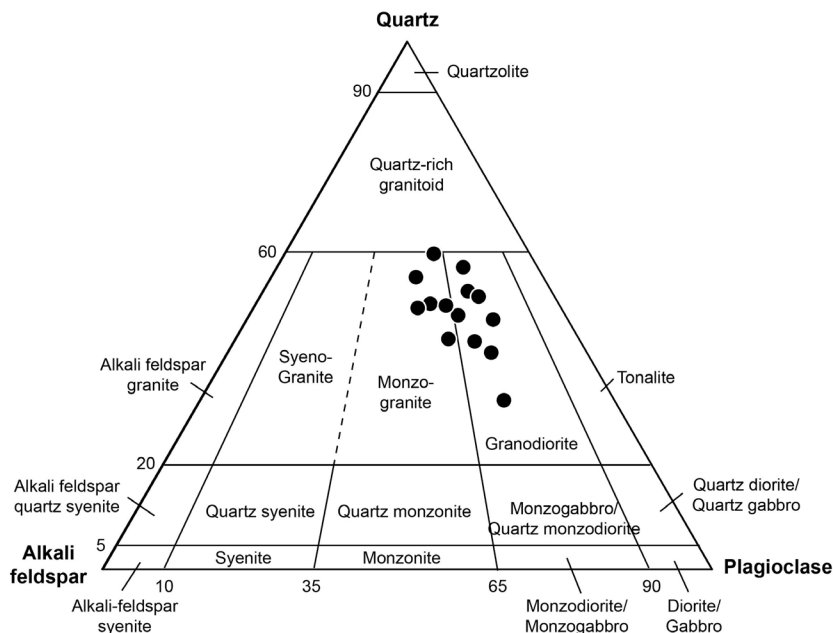


Fig. 8. Classification of plutonic rock using mineral compositions.

84.3과 8.7~16.0%로 매우 높았다. K_2O 와 Na_2O 도 각각 2.2~5.4와 0.6~3.3%의 함량을 보였다. 주구성광물을 구성하는 성분 중에 Al_2O_3 와 Fe_2O_3 (0.7~5.9%)는 K_2O 및 Na_2O 보다 높은 함량을 보였다. 이것은 풍화가 진행될수록 K_2O 와 Na_2O 가 광물로부터 용탈되

어 이들의 함량이 점차 낮아지지만, Al_2O_3 와 Fe_2O_3 는 풍화가 진행될 때 광물 내에 남아있기 때문이다 (Merino *et al.*, 1993).

모래 내 SiO_2 의 함량변화에 따른 주성분들의 함량변화를 그림 9에 나타내었다. 일반적으로 암석에

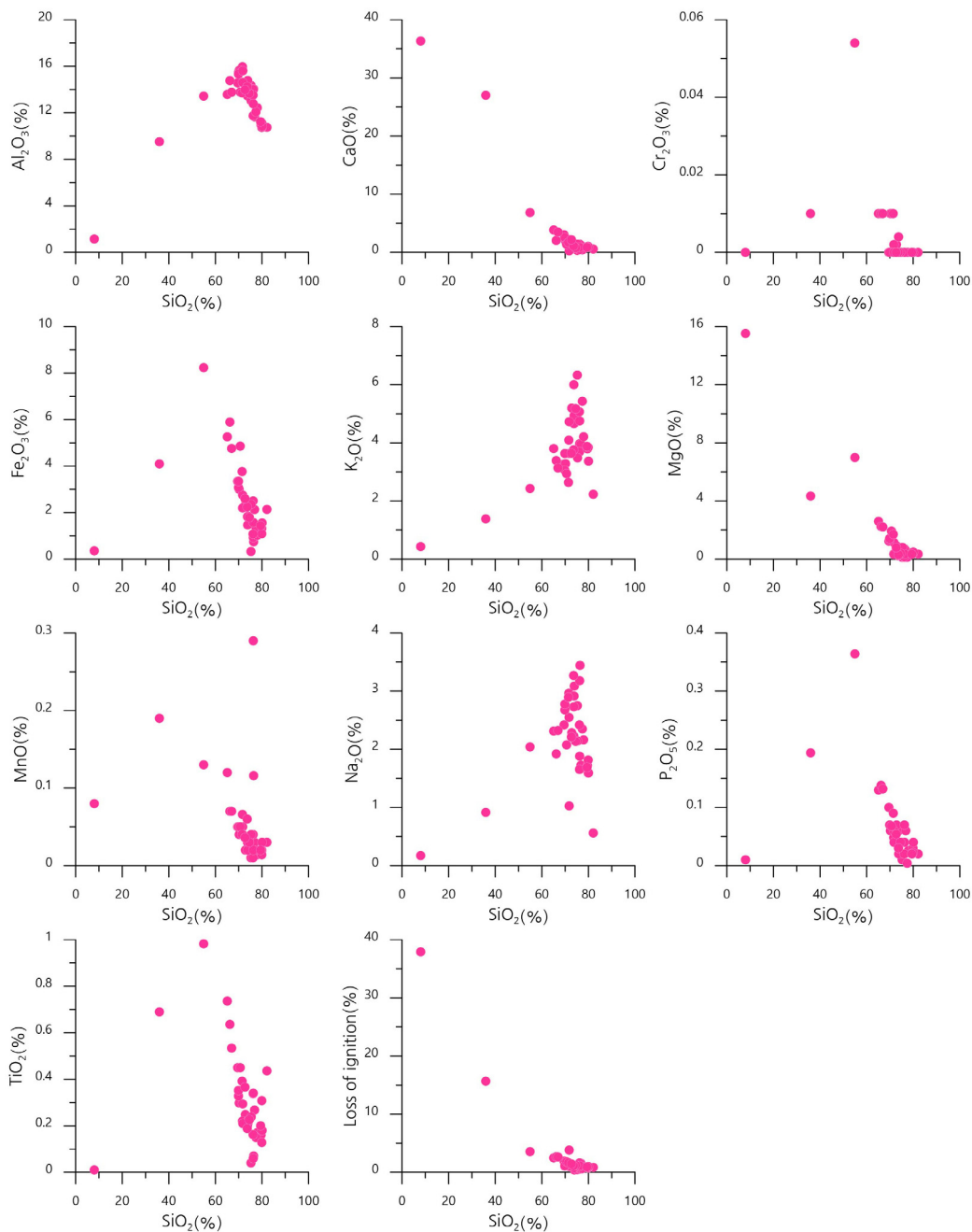


Fig. 9. Relationship between the contents of SiO_2 and major components in sand.

서 풍화가 진행될수록 SiO_2 의 함량이 증가함에 따라 Al_2O_3 와 Fe_2O_3 는 점차 증가하고 Na_2O 와 K_2O 는 점차 감소하는 경향을 보인다(Jeon and Lee, 2002). 그러나 이번 연구에서는 SiO_2 의 함량변화에 따른 증가 또는 감소의 경향을 명확하게 보여주는 성분들은 관

찰되지 않았다. 이번 연구대상이 여러 지역의 다양한 풍화작용으로 형성된 모래이기 때문에 암석에서 풍화가 진행될 때 관찰할 수 있는 성분들의 함량변화가 관찰되지 않은 것으로 판단된다. 모래 내 사장석과 K-장석의 평균 함량이 각각 21.0과 10.2%인 것에

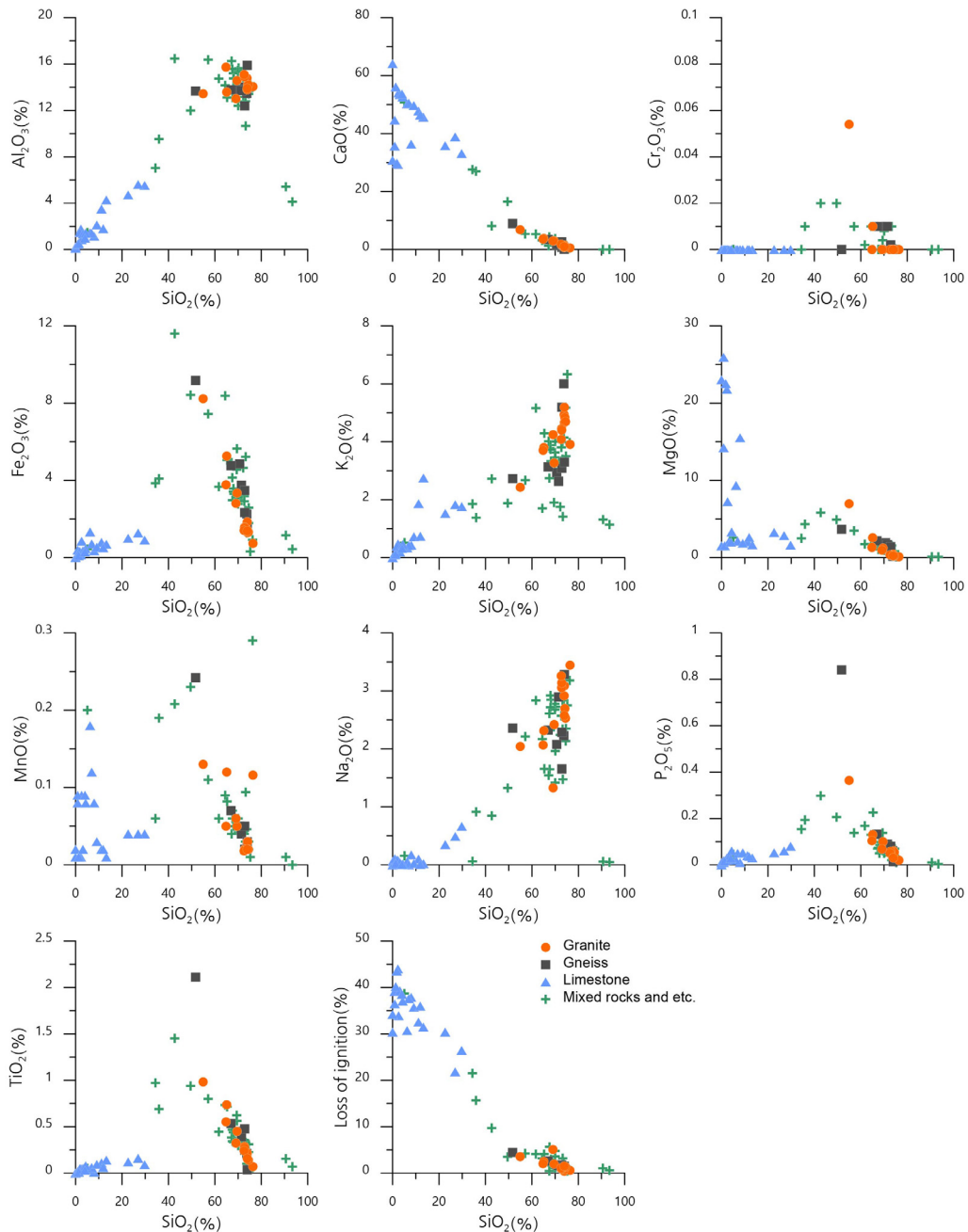


Fig. 10. zRelationship between the contents of SiO_2 and other major components in gravel.

비해서 Na_2O 와 K_2O 의 함량이 상대적으로 낮게 측정된 것으로 판단된다. 이것은 모래 내 장석이 녹니석과 견운모 등으로 변질되면서 결정형은 유지가 되더라도 Na와 K이 다른 성분들과 치환 또는 용탈되어 제거되었을 가능성이 있다는 것을 의미한다(Hellmann *et al.*, 2003).

자갈은 주로 SiO_2 (34.4~93.4%), CaO (0~27.6%), Al_2O_3 (4.1~16.5%), L.O.I. (0.4~21.5%) 등의 함량이 높게 나타난다. 여기에서 L.O.I.는 loss of ignition으로 높은 온도로 가열 시 가스 상태로 빠져나가는 성분들로 유기물이나 수분을 많이 포함하는 시료에서 높게 나타난다. 시료 중에 규암과 규장암 등이 포함되어 있어 일부 시료에서 SiO_2 함량이 93.4%로 매우 높게 나타난다. 또한, 탄산염 지역에서 채취된 자갈은 탄산염 광물의 영향으로 CaO (27.0~64.1%)와 MgO (1.5~25.9%)의 함량이 매우 나타난다.

자갈 내 SiO_2 의 함량변화에 따른 주성분들의 함량변화를 그림 10에 나타내었다. 전체적으로 SiO_2 의 함량이 증가함에 따라 Al_2O_3 , K_2O , Na_2O 는 증가하는 경향을 보이지만 CaO 와 L.O.I.은 감소하는 경향을 보였다. 이것은 SiO_2 , Al_2O_3 , K_2O , Na_2O 는 규산염광물의 주요 성분들로 화강암과 편마암에서는 높은 함량을 보이고, 탄산염 암석에서는 낮은 함량을 보였기 때문이다. 그러나 암석별로 살펴보면 SiO_2 함량변화에 따라 뚜렷이 증가 또는 감소하는 경향을 보이는 성분들은 관찰되지 않았다. 암석의 화학조성은 암석의 성인, 발달 및 풍화와 밀접한 관련이 있다. 이번 연구에서는 이러한 고려없이 여러 암석들에 대한 화학조성을 분석하였기 때문에 나타난 결과로 판단된다. 향후 이러한 연구를 수행하는 경우에 시료 중 우세한 암석의 종류에 따라 지구화화적인 특성이 다르게 나타날 것으로 판단된다.

5. 결 론

이 연구는 강원도 지역에서 생산되는 골재의 현황을 분석하고 골재의 광물조성과 주성분의 함량을 이용하여 골재의 지구화학적 특성을 평가하기 위해서 수행되었다. 골재는 입도, 생산방법, 중량 등에 의해서 분류되지만, 이 연구에서는 자갈과 모래로 구분하였다. 2018년 강원도에는 140개의 골재업체가 등록되었으며 이 중 85개소에서 117개의 시료를 채

취하였다. 골재의 56.4%는 화강암, 편마암, 석회암 등의 단일 암석으로 구성되지만, 나머지 43.6%는 두 개 이상의 암석으로 구성되며 현장에서는 암석의 종류보다는 입자의 크기에 따라서 용도가 달라지는 것을 확인하였다. 강원도 내 2016년도 골재생산량은 2005년 대비 약 6.4배 증가한 22,659 m^3 /년이었으며 주로 레미콘(40.3%), 도로기반재료(15.3%), 아스콘(8.1%) 등에 사용된다. 모래는 주로 석영, 사장석, K-장석, 백운모, 흑운모로 구성되면 풍화의 영향이 반영되어 석영의 함량이 증가함에 따라 사장석과 흑운모는 감소하는 경향을 보였지만 K-장석과 백운모는 증가 또는 감소하는 경향이 뚜렷이 관찰되지 않았다. 그러나 SiO_2 의 함량변화에 따라 증가 또는 감소하는 경향을 명확하게 보여주는 성분들은 관찰되지 않았다. 자갈도 주로 석영, 사장석, K-장석, 백운모, 흑운모로 구성되었다. 자갈을 구성하는 화강암은 주로 몬조화강암 내지 화강섬록암에 해당되며, 편마암은 주로 편마암, 호상편마암, 안구상편마암 등이 포함된다. 자갈의 주성분들은 전체적으로 SiO_2 의 함량 증가에 따라 Al_2O_3 , K_2O , Na_2O 는 증가하는 경향을 보였고, CaO 와 L.O.I.는 감소하는 경향을 보였다. 그러나 암석의 종류별로 살펴보면 SiO_2 의 함량변화에 따라 뚜렷이 증가 또는 감소하는 경향을 보이지 않았다. 이번 연구는 서로 다른 지질작용을 겪은 모래와 자갈을 대상으로 이루어졌기 때문에 모래(퇴적물) 또는 자갈(암석)에서 관찰되는 일반적인 경향성이 관찰되지 않았다. 따라서 국내 골재의 체계적인 관리를 위해서는 국내에서 생산 및 소비되는 골재를 대상으로 직접 분석이 이루어져야 할 것으로 판단된다.

감사의 글

이 연구는 강원대학교 대학회계학술연구조성비(관리번호-520170517)와 한국원자력안전기술원의 “생활주변방사선 안전관리 이행 기술기반 구축”사업의 지원을 받아 수행하였다. 이 논문을 심사해주신 익명의 두 분 심사위원께 감사드립니다.

REFERENCES

- Amrani, D. and Tahtat, M., 2001, Natural radioactivity in Algerian building materials. Applied Radiation and

- Isotopes, 54, 687-689.
- Appleton, J.D., 2005, Chapter 10 Radion in air and water, In: Selinus, O., Alloway, B.J., Centeno, J.A., Finkelman, R.B., Fuge, R., Lindh, U. and Smedley, P. (eds), *Essentials of medical geology: impact of the natural environment on public health*. Elsevier Academic Press, London, 227-262.
- ARPNSA (Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency), 2008, Management of naturally occurring radioactive material (NORM). Radiation Protection Series Publication No. 15, Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency, 117 p.
- Cho, Y.H., Kim, C.J., Yun, J.Y., Cho, D.H. and Kim, K.P., 2012, External exposure due to natural radionuclides in building materials in Korean dwellings. *Journal of Radiation Protection*, 37, 181-190 (in Korean with English abstract).
- Cooper, M.B., 2005, Naturally occurring radioactive materials (NORM) in Australian industries—review of current inventories and future generation. ERS-006, EnviroRad Services Pty. Ltd. 38 p.
- EC (European Commission), 1999, Radiological protection principles concerning the natural radioactivity of building materials. Radiation protection 112, European Commission, 16 p.
- Gangwon province, 2019, <http://www.provin.gangwon.kr> (June 18, 2019).
- Goronovski, A., Joyce, P.J., Björklund, A., Finnveden, G. and Tkaczyk, A.H., 2018, Impact assessment of enhanced exposure from naturally occurring radioactive materials (NORM) within LCA. *Journal of Cleaner Production*, 172, 2824-2839.
- Hellmann, R., Penisson, J.M., Hervig, R.L., Thomassin, J.H. and Abrioux, M.F., 2003, An EFTEM/HRTEM high-resolution study of the near surface of labradorite feldspar altered at acid pH: evidence for interfacial dissolution-precipitation. *Physics and Chemistry of Minerals*, 30, 192-197.
- Hong, S.S., 2015, It publishes a special issue for the use of rocks in the fields of stone, aggregate and cultural assets. *The Journal of the Petrological Society of Korea*, 24, 149-151 (in Korean).
- Hong, S.S., Lee, C.O., Lee, J.Y. and Kim, Y.S., 2015, Evaluation of the quality of the underground dimension stones -The example of the granite quarry in the Geochang area-. *The Journal of Petrological Society of Korea*, 24, 233-252 (in Korean with English abstract).
- Jang, S.Y., Ha, J.W., Seo, J.W., Yoon, S.C., Kim, B.W., Jeong, D.Y., Jeong, L.I. and Kim, J.S., 1992, The probabilistic risk assessment due to indoor exposure to ^{222}Rn daughters in Korea. KAERI/RR-1045/91, Korea Atomic Energy Research Institute, 99 p.
- Jeon, S.R. and Lee, J.H., 2002, Geochemistry of major and minor elements in a soil profile formed by weathering of granite: an example from the two-mica granite in the Jinan area, Jeonbuk, *Journal of the Geological Society of Korea*, 38, 293-307 (in Korean with English abstract).
- Jeon, T.W., Kang, Y.Y., Hwang, D.G., Park, S.O., Kim, Y.J., Ryu, H.Y., Hong, S.Y., Kim, T.H. and Shin, S.K., 2015, Research of proposal content standard of hazardous substances in the cement products. National Institute of Environmental Research, NIER-RP2015-349, 39 p. (in Korean with English abstract).
- KAA (Korea Aggregates Association), 2019, <http://www.aak.or.kr> (May 21, 2019).
- KIGAM (Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources), 2019, <https://mgeo.kigam.re.kr> (May 21, 2019).
- Kim, J.Y., Kwon, Y.H., Kim, S.H., Roh, T.H., Maeng, J.H., Song, Y.I., Jeon, I.S., Jung, S.W., Cho, K.W., Joo, Y.J., Lee, Y.I., Lim, H.S., Lee, S.J., Park, J.H. and Lee, J.H., 2004, Environmental Impacts and Mitigation of Rock Quarry Exploitation - Stream Sediment and Benthic Macroinvertebrate Community Structure in Lotic Systems -. KEI/2004/RE-16, Korea Environment Institute, 277 p (in Korean with English abstract).
- Kim, K.K., Jwa, Y.J., Hong, S.S. and Lee, K.W., 2015, A comparative study on the whole rock magnetic susceptibility and SHRIMP zircon U-Pb geochronology of the domestic dimension stone and Chinese similar dimension stone. *The Journal of Petrological Society of Korea*, 24, 273-289 (in Korean with English abstract).
- KINS (Korea Institute of Nuclear Safety), 2007, Assessment of radiation risk for the Korean population. KINS/GR-355, Ministry of Science and Technology, 263 p (in Korean with English abstract).
- KINS (Korea Institute of Nuclear Safety), 2019, Establishment of technical basis for implementation on safety management for radiation in the natural environment. KINS/ER-337, Korea Institute of Nuclear Safety, 303 p (in Korean with English abstract).
- Lee, H., Moon, K.H., Kim, J.S., Ahn, J.K. and Kim, H.C., 2008, Distribution of some environmental radionuclides in rock and soils of Guemjeong-gu area in Busan, Korea. *The Journal of the Petrological Society of Korea*, 17, 179-190.
- Merino, E., Wang, Y. and Nahon, D., 1993, Kinetics and mass transfer of pseudomorphic replacement: Application to replacement of parent minerals and kaolinite by Al, Fe, and Mn oxides during weathering. *American Journal of Science*, 293, doi:10.2475/ajs.293.2.135.
- MLIT (Ministry of Land, Infrastructure and Transport) and K-water, 2014, Report on the aggregate resources

- survey in Chuncheon, Hongcheon and Tongseong. Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 235 p.
- Park, H.C., Choi, H.S., Cho, S.Y. and Kim, S.H., 2014, Numerical study on indoor dispersion of radon emitted from building materials. *Journal of Korean Society of Environmental Engineers*, 36, 325-332 (in Korean with English abstract).
- Park, K.B., 2014, Radon mitigation of building materials using radon reducing paint. Ph.D. thesis, Hoseo University, Seoul, 135 p (in Korean with English abstract).
- Sa, G.H., Joo, Y.J., Lee, S.B., Choi, J.G. and Jeon, J.U., 2013, Recovery and application measures of exploited stone quarry sites in different location type. Policy Report 2013-12, Korea Environment Institute, 102 p (in Korean with English abstract).
- Yu, Y.J., Lee, C.W. and Kim, M.G., 2009, Development of a building materials database; volatile organic compounds, formaldehyde emission rates and chemical compositions. *Analytical Science and Technology*, 22, 57-64 (in Korean with English abstract).
- Yun, S.W., Lee, J.Y. and Park, Y.C., 2016, Occurrence of radionuclides in groundwater of Korea according to the geological condition. *The Journal of Engineering Geology*, 26, 71-78 (in Korean with English abstract).

Received : May 28, 2019

Revised : June 18, 2019

Accepted : June 18, 2019