

GIS를 이용한 지질분포와 토양비소농도의 개연성에 관한 연구

김주선¹ · 이재영^{1*} · 김동욱²

¹서울시립대학교 환경공학부, ²국립공주대학교 환경공학과

A Study on the Probability between Geological Distribution and Soil Arsenic Concentration Using GIS

Ju-Sun Kim¹, Jai-Young Lee^{1*}, and Dong-Wook Kim²

¹Department of Environmental Engineering, University of Seoul, Seoul 02504, Korea

²Department of Environmental Engineering, Kongju National University, Cheonan 32588, Korea

ABSTRACT

This study investigated the probability of arsenic concentrations based on geological distribution using GIS and actual soil contamination surveys. To this end, isoconcentration curves were created by applying soil pollutant survey data from uncontaminated areas to the Surfer program. QGIS was used to overlay and visualize the previously created isoconcentration curves with a geological map to identify the relationship between geological structure and the distribution of arsenic concentrations in soil. Analysis of the soil survey data in conjunction with the geological map revealed that the top five areas with high arsenic concentrations were limestone and granite layers, accounting for 50% of the total, out of a total of 24 strata. Analysis of 89 strata in the top 20 areas centered on arsenic concentrations revealed that granite and limestone layers accounted for a high proportion of 40.4% of the total, indicating that areas with high soil arsenic concentrations are formed by granite and limestone layers. In conclusion, we were able to confirm that the actual distribution of arsenic concentrations in soils varies according to geological distribution, and that there is a possibility of a correlation between specific geological layers and soil arsenic concentrations. Future additional research is expected to be useful for identifying the direct and indirect distribution of arsenic concentrations according to geological distribution during large-scale environmental impact assessments and soil contamination investigations.

Key words : Arsenic distribution, Geographic information system, Strata

1. 서 론

토양은 지구형성의 기반이며 인간 및 생물이 살아가는 생존 기반의 중요한 구성 요소이다. 산업혁명 이후 인구의 증가와 산업의 발달로 인해 다양한 오염물질이 발생하고 있으며, 이러한 오염물질의 최종 종착지는 토양으로 귀결되어 지구상의 인간생활의 기본적인 행복도를 만족하기 위해서는 오염토양이 자연기원이던 인위적 오염이던 토양오염에

대한 예방 및 치유대책을 마련해야 한다.

우리나라도 환경문제가 대두됨에 따라 대부분의 국가에서와 마찬가지로 환경에 관심을 가지고 1970년대 이후 환경법을 제정하였으며, 해당 법주내의 환경영향평가법이 운영하고 있다. 일정규모의 개발사업에 대하여서는 환경영향평가를 실시하게 되어 있으며, 환경영향평가시 일부 지역에서는 토양내 중금속 농도가 토양오염우려기준을 초과하기도 한다. 또한 1995년 토양환경보전법에 토양환경평가제도를 새롭게 도입하고 토양환경보전정책을 실시하고 있다. 현재까지는 자연기원 토양에 대한 관심은 주로 불소 항목을 중심으로 제기되었으며, 이에 따라 2024년 토양환경보전법의 불소기준을 개정하였다.

Oh et al.(2003)는 서울 한강 이남 지역의 토지용도별 토양중 화강편마암, 화강암류지역에서 높은 불소농도를 확인하였다. Lee et al.(2018)는 2014년 인천국제공항 3,4단계

주저자: 김주선, 대학원생

공저자: 이재영, 정교수; 김동욱, 정교수

*교신저자: 이재영, 정교수

E-mail: leejy@uos.ac.kr

Received : 2025. 4. 4

Reviewed : 2025. 4. 15

Accepted : 2025. 10. 9

Discussion until : 2025. 12. 31

건설 사업부지내 불소오염 토양매립 문제 제기에 의해 수행된 불소 오염도 조사와 2018년 용유도 을왕산 지역의 암석내 불소의 자연적 기원 규명에 대한 연구에서 검출된 토양오염 우려기준을 초과한 불소가 자연적 기원임이 보고되었다.

Kwon et al.(2015)에 의하면 광산지역 토양의 경우 국내외의 농경지 토양 자연함유량과 비교한 결과에서 나라별로 다소 차이는 있으나 As는 30배, Pb은 8배 그리고 Zn은 5배 정도 높은 함량을 보여 광산에 의한 오염물질이 주변 농경지에 영향을 주는 것을 확인할 수 있었다. 연구지역의 벼(백미)시료와 국내 외 백미시료를 비교한 결과 전반적으로 오염된 지역에서 채취한 시료가 마케이나 가정에서 채취한 시료보다 높은 함량을 보이고 있어 토양 오염에 의한 영향이 있다는 것을 시사하고 있어 해당지역의 암질에 따른 영향이 큼을 알 수 있다.

Choi et al.(2023)는 국내 토양오염조사 자료를 바탕으로 오염물질의 분포현황과 지질과의 공간적 개연성을 확인하였으며, 비소항목의 경우 광산영향 범위내에서 높은 초과빈도를 보이고 있음을 밝혔다. Park et al.(2005)에 의하면 비소의 주요 자연 오염경로는 황철석을 비롯한 대수층 내에 존재하는 비소를 함유한 황화광물의 산화작용, 대수층의 광물에 흡착된 음이온의 비소와 인산염과의 이온교환 반응, 환원작용에 의한 수산화철에 흡착된 비소의 해리 등이라고 보고하였다. 이들은 울산 달천광산 주변에서 비소의 거동을 조사 [한 결과로써] 이 지역의 지층은 경상누층군의 울산층으로 분류된 퇴적암, 화산암 및 후기에 이들을 관입한 사문암과 화강암 등으로 구성되어 있다고 하였다.

Yoon et al.(2009)은 우리나라 토양의 중금속 자연배경 농도 평가를 위하여 전국 주요 지질단위인 대동층군, 백악기화강암, 옥천층군, 조선누층군, 평안층군, 경상누층군, 쥐라기화강암, 화산암, 변성암 등 산림지역 총 92개 지점에 대한 표토를 0.1N 염산 가용성 시험방법 및 왕수 시험방법으로 분석한 결과, 왕수시험방법에 의한 자연함유량 평균값(mg/kg)은 Cd 0.287, Cu 15.26, Pb 18.43, Cr 25.36, Zn 54.27, Ni 17.68, As 6.83으로 조사되었으며, As 전함량이 가장 높은 곳은 조선누층군으로 12.41 mg/kg이며, 가용성함량(1N HCl)은 변성암이 0.13 mg/kg으로 최대인 것으로 제시하였다.

그동안의 연구는 주로 불소를 대상으로 연구되었으나, 환경영향평가 수행에서의 토양 현황농도조사에서 중금속 부분을 살펴보면 비소농도가 타 중금속에 비해 지역별로 큰 편차를 보이고 있어 본 연구에서는 연구 대상 중금속으로 비소(As)만 고려하였다.

본 연구는 토양 내 자연기원 비소 농도 분포와 해당지역의 지질과의 연관성을 알아보았다. 이를 위해 오염되지 않은 지역의 토양오염물질 조사 자료를 Surfer 프로그램에 적용하여 등농도곡선을 작성하였고, 지리정보시스템(QGIS)를 이용하여 기 작성된 등농도곡선과 지질도를 중첩·시각화하여 지질구조와 토양내 비소농도 분포를 확인함으로써 개연성을 파악하고자 한다.

2. 본 론

2.1. 연구방법

국내 토양의 비소 농도 분포 현황을 파악하기 위해 환경영향평가정보시스템(eiass : <http://www.eiass.go.kr>)의 토양오염도 조사 결과를 바탕으로 데이터베이스를 구축하고 Surfer(26.3.269) 프로그램을 이용하여 등농도곡선을 작성하였다. 지리정보시스템(QGIS)을 활용하여 기 작성된 등농도곡선에 지질도를 중첩하여 해당지역의 지층을 추출 확인하였으며, 이를 바탕으로 지층 및 대표암상을 분석하였다.

2.1.1. 비소농도 자료 추출

토양조사지점은 환경영향평가정보시스템에 등록된 4,646 개의 환경영향평가서 중 토양조사 지점 4,152지점의 오염농도를 추출하여 모델링을 수행하였으며, 각 오염물질별 조사지점은 TM 좌표가 기록되어 있는 자료만 이용하였다. 환경영향평가정보시스템의 지리정보서비스내 환경영향평가 사업을 검색하여 제공된 모든 환경영향평가 내용의 상세정보를 찾을 수 있으며, 평가서 정보내에 기초 데이터를 추출할 수 있다. 이중 토양 항목내의 조사자료를 추출하여 기초 자료로 활용하였으며, 결과는 부록에 수록하였다.

Fig. 1은 Eiass에서 추출된 비소 조사 지점별 비소농도를 도식화하였다.

Table 1은 조사지점 중 비소농도가 높은 지역 순으로 정리한 것이며 비소농도가 높은 20개 지역을 연구대상지역으로 선정하였다.

2.1.2. 등농도곡선 작성

추출된 비소농도를 기초로 Surfer 프로그램을 이용하여 불규칙하게 분포된 비소데이터를 보간(interpolation)기법을 사용하여 격자화(gridding)한 후 등농도곡선을 작성하였으며, Fig. 2와 같이 지역에 따라 등농도곡선상 비소농도의 분포를 확인할 수 있었다.

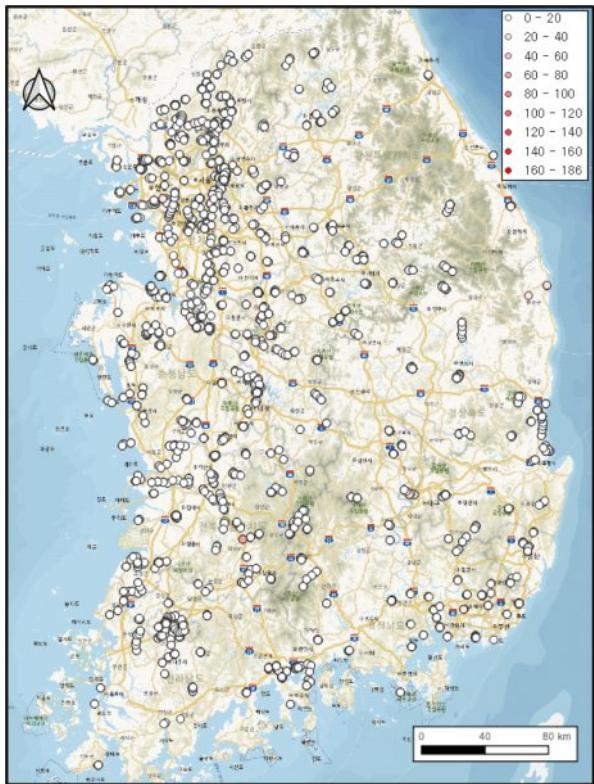


Fig. 1. Arsenic investigation site map.



Fig. 2. Arsenic concentration isoconcentration curve by region (unit: mg/kg. The number in the circle is the number of remarks).

Table 1. Arsenic concentration by branch

Survey Point (X) Coordinate (TM Central)	Survey Point (Y) Coordinate (TM Central)	As (mg/kg)	Remarks
228,832.0	237,183.0	185.700	①
321,284.0	414,259.0	80.330	②
390,899.0	437,231.0	76.130	③
390,899.0	437,231.0	71.730	③
228,832.0	237,183.0	60.730	①
218,398.0	482,907.0	58.470	④
262,638.2	160,297.1	55.537	⑤
322,494.0	413,752.0	46.480	②
218,398.0	482,907.0	44.990	④
258,900.0	466,116.0	35.960	⑥
322,494.0	413,752.0	32.570	②
390,899.0	437,231.0	30.730	③
180,766.0	447,005.0	29.956	⑦
402,501.1	384,548.8	29.610	⑧
332,774.0	265,558.0	29.500	⑨
217,319.0	482,766.0	29.120	④
366,470.0	196,634.0	27.600	⑩
262,638.2	160,297.1	26.940	⑤
268,587.0	243,426.0	26.800	⑪
324,898.0	418,739.0	26.510	⑫
366,793.0	196,768.0	26.500	⑩
283,240.8	366,746.5	24.944	⑬
329,869.0	266,870.0	24.800	⑨
179,686.0	439,189.0	24.800	⑦
180,766.0	447,005.0	24.500	⑦
262,161.0	160,478.0	24.417	⑤
332,774.0	265,558.0	24.200	⑨
329,869.0	266,870.0	24.000	⑨
331,630.0	265,050.0	23.900	⑨
355,857.0	397,828.0	23.700	⑭
353,631.0	437,128.0	23.100	⑮
167,572.0	456,718.0	22.982	⑯
331,630.0	265,050.0	22.600	⑨
372,308.0	245,205.0	22.450	⑰
179,686.0	439,189.0	22.200	⑦
351,704.0	432,633.0	22.100	⑮
361,117.4	336,049.5	22.020	⑱
324,898.0	418,739.0	21.800	⑫
332,774.0	265,558.0	21.700	⑨
413,638.3	390,925.5	21.520	⑧
353,631.0	437,128.0	21.300	⑮
202,606.0	473,250.0	21.090	⑲
258,900.0	466,116.0	20.400	⑥
283,659.6	366,890.8	20.348	⑬
262,183.8	159,530.5	20.210	⑤
329,869.0	266,870.0	20.100	⑨
262,183.8	159,530.5	20.010	⑤
257,943.0	463,326.0	19.780	㉚

Remarks) The numerical values presented in the remarks column represent a ranking of sampling sites in descending order of arsenic concentration. Identical values correspond to sites located within the same geographic region.

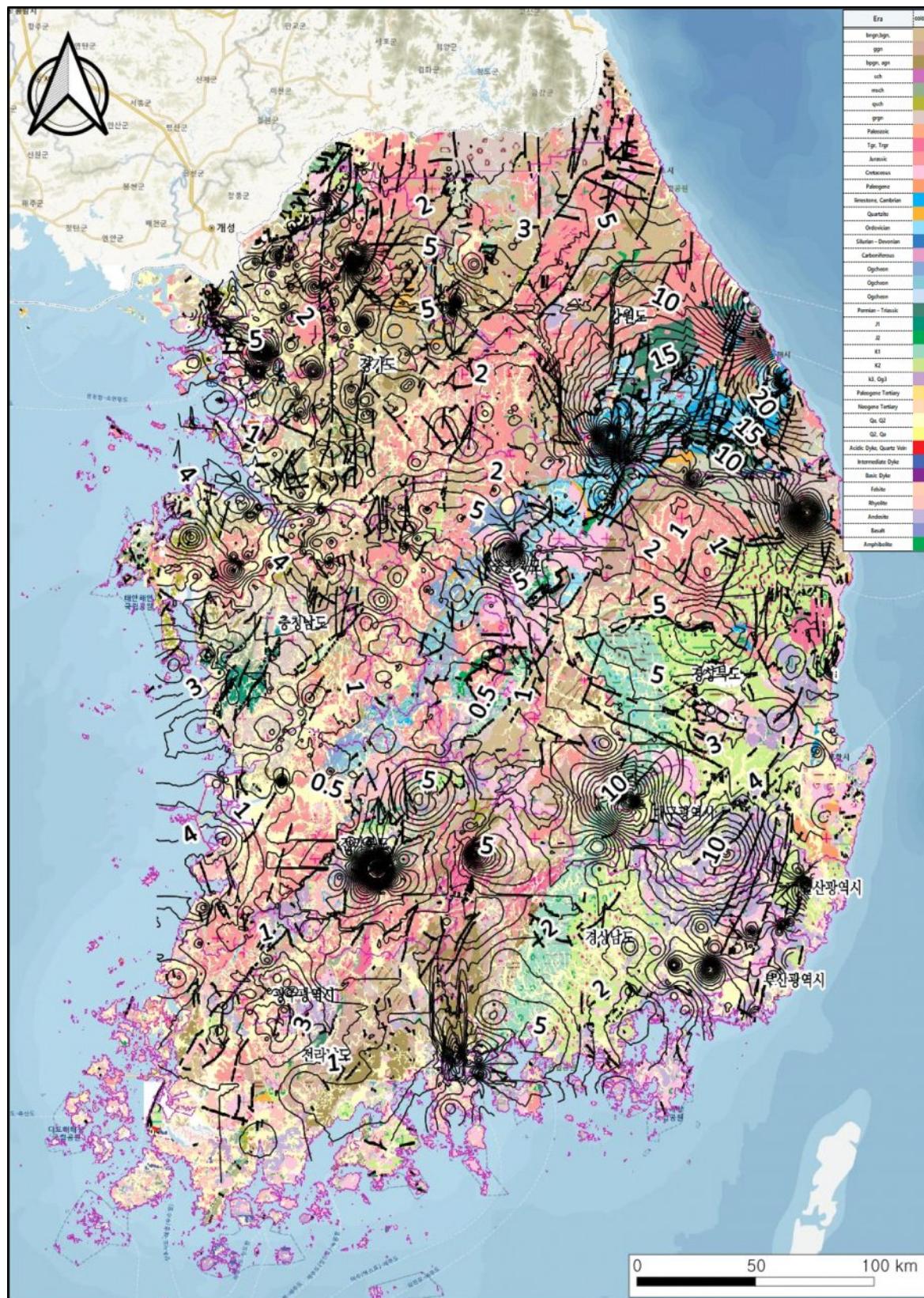


Fig. 3. Overlay of geologic map and arsenic isoconcentration curve.

Table 2. Strata and representative rocks by arsenic concentration distribution region

Region	Stratospheric symbol	Representative rocks
①	spfgr	Sunchang foliated granite, foliated porphyritic granite
	Qa	Sandstone, conglomerate, shale
	Kma	Sedimentary rock, sandstone
	Kss	Sedimentary rock, black shale, sandstone
	ms	Mica schist, phyllite, sericite
②	Kad	Acid pulse
	Oh	Light gray dolomite
	Qa	Sandstone, conglomerate, clay, shale
	Os	Gray limestone
③	Jbdr	Black mica granite
	CEw	Insectivorous limestone, green grey mudstone, gray shale
	Od	White, dark brown silicate, bro wn-gray sandstone
	Omg	Gray dolomite limestone, White limestone
	Qr	Conglomerate, sandstone, clay, shale
	CEp	Pink, white, and gray limesto ne, dolomite
④	Odu	Gray siliciclastic limestone
	Jpbgr	Porphyritic biotite granite
	Jdi	Diorite
	Qa	Sedimentary rock
	PCEbgn	Biotite gneiss
⑤	PCEbgn	Banded gneiss, migmatite gneiss, mica schist, sandy schist
	PCEggn	Porphyritic granitic gneiss
	Qa	Granitic gneiss
	Knk	Alluvium
⑥	Knk	Hasandong layer of the Gyeon gsang-gye Shindong layer
	Qa	Conglomerate, sandstone, clay, shale
	PCEbs	Biotite gneiss, Biotite schist
	Jdi	Diorite
	PCEdo	Gneiss on the eyeball
⑦	PCEeq	Quartzite
	Qa	Conglomerate, sandstone, clay
	Jdgr	Daebu granite, biotite granite and granite porphyry
	Ka	Andesite
⑧	PCEbngn	Alternating biotite and quartz- feldspar zones
	PCEgnb A	Granite gneiss A, coarse-grained porphyritic granite gneiss
	PCEy	Geumite, orthosedimentary slate, phyllite, mica schist, black phyllite
	PCEgnh	Granite gneiss, medium- to fine- grained porphyritic granite gneiss
	Qa	Conglomerate, sandstone, clay
⑨	Qy	Sandy clay and mudstone
	Kji	Gray and greenish-gray sandstones, mudstone shale, dark gray black shale, and sandy shale
	Keg	Mudstone, shale and sandstone
	Kha	Mudstone, shale, sandstone, and conglomerate
⑩	Qa	Soil, sand, gravel
	Kdap	Dodaedong Ansan bedrock
	Kgbr	Green breccia
	Kfph	Fusiform porphyry

Table 2. Continued

Region	Stratospheric symbol	Representative rocks
⑪	Tbgr	Biotite granite
	PCEpogn	Porphyritic metamorphic gneiss
	Qa	Soil, sand, gravel
	Pgr	Geojeong schist granite
⑫	TRmgr	Medium-grained granite
	Oy	Dark gray dolomite limestone
	Oh	Light gray dolomite
	Os	Gray dolomite
⑬	Qa	Sandstone, conglomerate, clay, shale
	PZoch	Black ferruginous phyllite, gray feldspar calcareous phyllite
	Qa	Brackish, brecci, clay, sand
	PZocg	Black slate, dark gray chlorite schist, limestone and graphitic coal-bearing shale
⑭	Klgr	Leucoclastic porphyry granite, biotite granite
	Qr	Sandstone, conglomerate, clay, shale
	PCEygo	Black tritstate, quartzite- noknite, quartz pneiss
	pm	Pegmatite migmatite
⑮	PCEgn	Granitic pharaohite
	Oj	grayish-white massive limestone
	Ch	Red-green shale sandstone, greenish-gray sandstone, reddish-white limestone
	Qr	Sandstone, conglomerate, clay, shale
⑯	CEp	White dark-colored limestone
	PCEms	Mica schist
	Qa	Soil, sand, gravel
	PCEbgn	Biotite schist
⑰	Qa	Conglomerate, sandstone, clay
	Ka	Andesite
	Kfl	Felsic rock
	Kbhgr	Biotite hornblende granite
⑲	Kds	Alcos sandstone, mudstone, conglomerate, conglomerate sandstone
	Qa	Sandstone, conglomerate, clay
	PCEsgn	Flake-granite gneiss
	gab	Coarse-grained granite
⑳	Jpbgr	Porphyry biotite granite
	Qa	Sedimentary rocks
	Jgbgr	pyrite-like biotite granite
	PCEbgn	Banded gneiss, migmatite gneiss, mica schist
	Jsgr	Seoul granite
	Jbgr	Biotite granite
	PCEbs	Biotite gneiss, biotite schist
㉑	Jdi	Diorite
	Qa	Conglomerate, sandstone, clay, mudstone
	PCEdo	Ocular gneiss
	PCEgn	Carboniferous gneiss
	PCEgn	Pyrrhotite gneiss

2.2. 연구결과

2.2.1. 비소농도별 지질분포도

비소농도별 지질 및 지층분석은 지질정보시스템(<https://data.kigam.re.kr/>)에 제시된 전국 5만 수치 지질도를 이용하여 비소 등농도곡선과 중첩하였다(Fig. 3). 중첩된 지질도를 이용하여 해당지역의 지층을 추출하였으며, 지질정보는 비소농도가 높은 상위 20개 지역에 대하여 지층 및 대표 암질을 Table 2에 나타내었다.

2.2.2. 지역별 지질 분석

비소농도분포가 높은 20개 지역에서의 상위 5개 지역의 지층 분석결과는 Fig. 4에서 Fig. 8까지 보여주고 있다.

비소농도분포가 높은 5개 지역중 가장 높은 ①번 지역의 지층은 순창엽리상 화강암층, 층적층, 마이산역암층, 산수동층, 변성퇴적암류, 암맥류 등으로 이루어져 있으며 대표 암상은 순창엽리상 화강암, 엽리상 반상화강암, 퇴적암, 역암, 아코식사암, 흑색세일 사암으로 구성되어 있다. 이 지역은 대부분 화강암층으로 사이에 퇴적암이나 사암 등이 인입되어 있다.

②번 지역의 지층은 조선계 대석회암층군 홍월리층, 신기하성층, 조선계 대석회암층군 삼태산층, 흑운모화강암 및 일부 고기하성층으로 대표 암상은 담회색돌로마이트, 회색 석회암, 사암, 역암, 점토, 이토, 흑운모화강암 등으로 구성되어 있다.

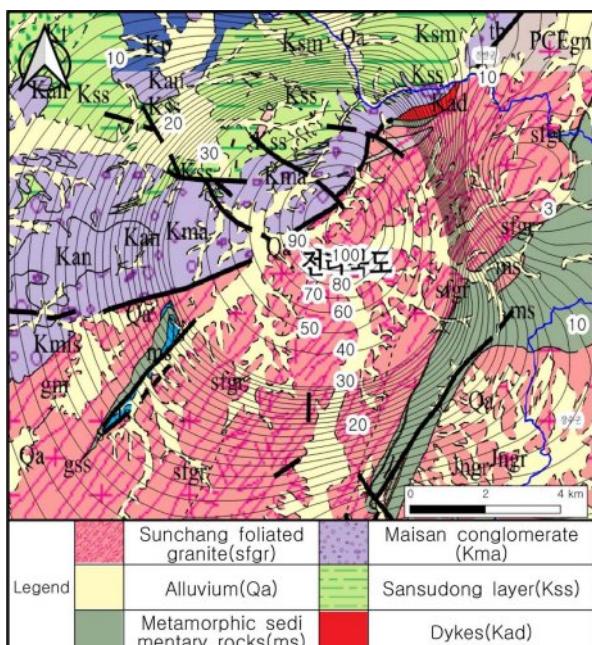


Fig. 4. Geological map and arsenic concentration distribution map of area 1.

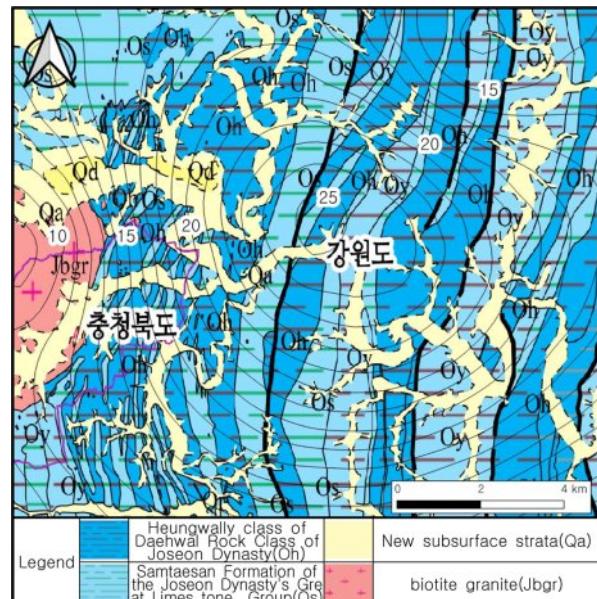


Fig. 5. Geological map and arsenic concentration distribution map of area 2.

③번 지역의 지층은 조선계 대석회암층군 동침규암층, 조선계 대석회암층군 화절층, 조선계 대석회암층군 풍춘석회암층, 조선계 대석회암층군 막동석회암층, 신기하성층, 조선계 대석회암층군 두무동층 등으로 대표 암상은 백색 대갈색규암, 갈회색 사암, 충식 석회암, 녹회색 이암, 회색

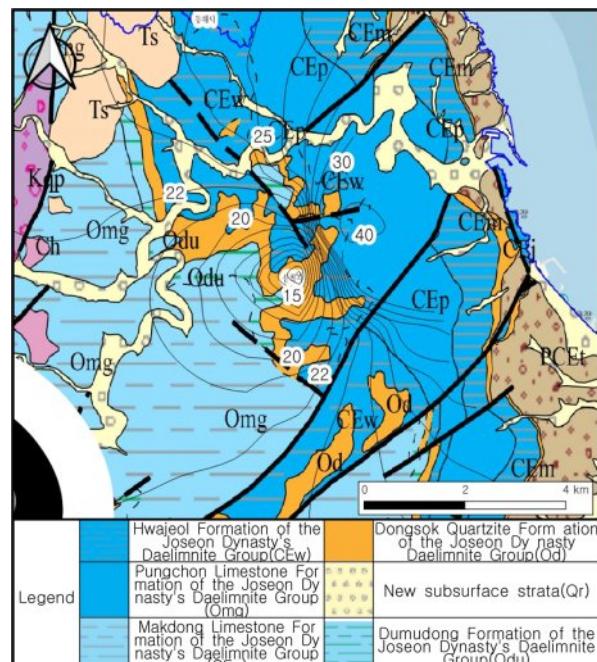


Fig. 6. Geological map and arsenic concentration distribution map of area 3.

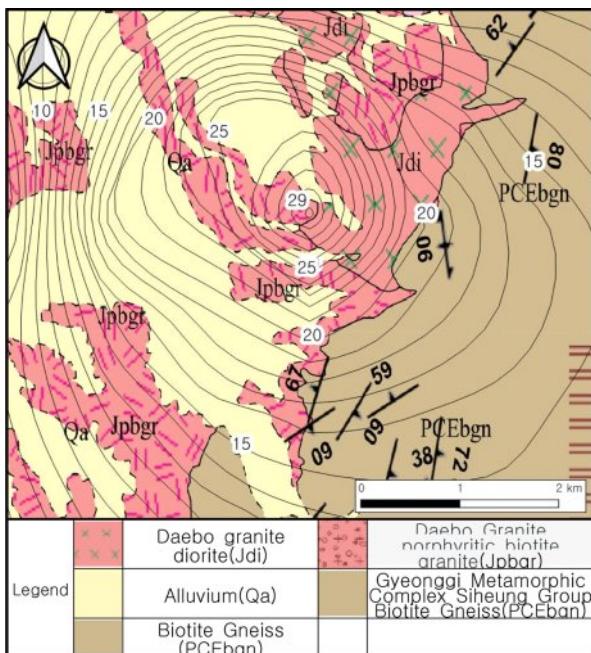


Fig. 7. Geological map and arsenic concentration distribution map of area 4.

세일, 회색충식석회암, 담홍색 백색 회색석회암, 돌로마이트, 회색돌로마이트질 석회암, 백색석회암, 역암, 사암, 점토, 이토 등이다.

④번 지역의 지층은 대보화강암 석록암, 대보화강암 반상 흑운모 화강암층, 충적층, 흑운모 편마암, 경기편마암복합체 흑운모편마암 등으로 대표 암상은 반상흑운모화강암, 퇴적암, 섬록암, 호상 편마암, 미그마타이트질 편마암, 운모편암, 일부 사질편암 협재 등이다.

⑤번 지역의 지층은 반상변정화강암질 편마암, 화강암질 편마암, 경상계 신동층군 하산동층, 충적층으로 대표 암상은 반상변정화강암질 편마암, 화강암질 편마암, 역암, 역질사암, 적색사암, 적색세일, 흙, 모래, 자갈 등이다.

상위 5개 지역을 포함하여 비소농도가 높은 20개 지역의 지층 및 대표암석을 분석하여 Table 2에 제시하였다. 비소농도가 높은 상위 5개 지역은 총 24개 지층 중 석회암층 7개 지층, 화강암층 5개 지층, 충적층 5개 지층, 편마암층 2개 지층, 퇴적암층 2개 지층, 기타 3개 지층으로 분석되었으며 석회암층 및 화강암층이 전체의 50%를 차지하는 것을 알 수 있다. 20개 지역의 총 89개 지층을 분석한 결과 화강암층은 21개 지층, 충적층 및 신기하성층은 20개 지층, 석회암층은 15개 지층, 편마암층은 11개 지층, 퇴적암류 2개 지층과 기타 20개 지층으로 나타나 화강암층 23.6%, 석회암층 16.8%, 충적층 및 신기하성층

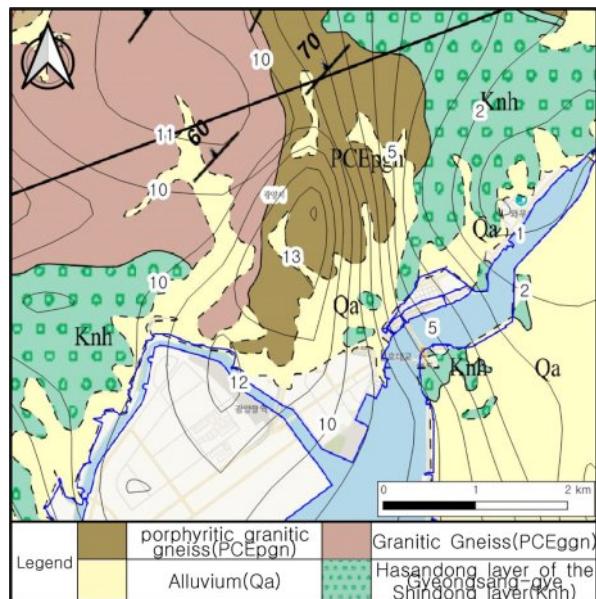


Fig. 8. Geological map and arsenic concentration distribution map of area 5.

22.5%로 화강암층 및 석회암층이 전체의 40.4%로 높은 비율을 보여주고 있다. 또한 충적층 및 신기하성층은 22.5%로 많은 지역에서 지층이 분포되어 있으나 대부분 타 지층 사이에 사암이나 역암, 세일 등으로 인입되어 있는 형태임을 확인할 수 있다.

2.3. 고찰

Table 2의 결과에서 비소농도가 가장 높은 3개 지역의 지층을 살펴보면 ①번 지역의 지층은 화강암층, ②번 지역의 지층은 석회암층, ③번 지역의 지층도 석회암층이 주요 지층임을 확인할 수 있었다. 비소농도가 높은 상위 5개 지역은 총 24개 지층 중 석회암층 및 화강암층이 전체의 50%로 높은 비율을 차지함을 알 수 있다. 비소농도 상위 20개 지역의 총 89개 지층을 분석한 결과에서 화강암층 및 석회암층은 전체의 40.4%로 높은 비율을 보여주고 있다.

이와 같이 비소농도가 높은 지역의 지층을 분석해 보면 대부분 화강암층과 석회암층이 주를 이루고 있음을 알 수 있었으며, 대표 암질도 화강암, 석회암임을 알 수 있다.

한반도는 선카브리아시대의 편마암 내지 편암에서부터 제4기의 현생퇴적층에 이르기까지 다양한 지질시대의 암석들이 분포하며 오랜 지질시대를 거치며 곳에 따라서는 수차례의 변성 및 전형작용을 겪으면서 습곡단층 등의 지질구조를 형성하고 있다. 중부 지역은 선캄브리아시대의 편마암류 및 편암류와 소규모로 분포하는 규암 및 석회암을

비롯하여 하부 고생대 조선누층군의 규암, 세일, 석회암과 상부고생대 평안층군의 사암, 세일 및 함탄층과 중생대 쥐라기에 관입한 소위 대보화강암들이 분포한다. 남부지역은 서쪽의 선캄브리아시대의 편마암류 및 편암류로 분포하는 소백산편마암류 및 지리산편마암류를 기저로 하여 한반도 동남부 경상도 지역을 중심으로 중생대 백악기에 형성된 소위 경상분지의 퇴적층인 경상누층군이 크게 분포한다. 그 외 불국사화강암과 제3기의 소규모 퇴전분지 및 제주도의 현무암류가 대표적인 지질이다.

지반을 구성하는 암석은 기원에 따라 크게 화성암, 퇴적암, 변성암으로 나눌 수 있다. 화성암은 지구내부 깊은 곳에서 마그마(magma)라고 불리우는 뜨거운 용융상태의 물질이 식어지고 결정되어서 만들어진 암석을 말하며, 암석종류는 화강암, 화강석록암, 섬장암, 섬록암, 반려암, 유문암, 안산암, 현무암, 석영반암 등이 있다. 퇴적암은 구성물질의 생성원인에 따라 크게 쇄설성 퇴적암과 비쇄설성 퇴적암을 나눌 수 있으며, 여러 경로로 분해된 물질들이 운반, 퇴적된 후 압착, 고화, 수화, 재결정 작용 등의 속성작용을 거치면서 생성된 암석을 말한다. 암석종류는 세일, 이암, 석회암, 이암 및 역암의 이층, 세립사암, 어란성 석회암, 조립사암, 역암, 무연탄 등이 있다. 변성암은 기존 암석이 기원 당시와는 다른 온도, 압력, 화학적 조건하에서 재결정 작용을 일으켜 새로운 조직과 광물조성을 가지는 암석으로 변화하는 작용 과정을 거쳐 생성된 암석을 말하며, 암석종류는 암쇄암, 안구상 편마암, 편암, 편마암 등이 있다.

Lim(2024)은 국내 44개 정수장(한강 유역 13개소, 금강 유역, 11개소, 영산강·섬진강 유역 6개소, 낙동강 유역 14 개소)에 대한 정수슬러지의 토양오염우려물질을 분석한 결과에서 유역별로 정수장 유입 원수내 중금속 농도가 현저하게 차이가 있었으며, 이는 오염원 이외에 유역내 자연 기원의 토양에 따라 유입수질이 다름을 유추할 수 있다.

따라서 해당 지층이 포함된 유역의 개발 사업이나 취수장 선택 시 토양 기반에 따라 중금속 중 비소농도의 편차가 클 것으로 판단되는 바, 지질적 차이에 따른 자연유래의 비소의 농도가 높은 지역적 특성 등을 고려한 기준범위를 확대할 필요가 있을 것으로 판단된다.

3. 결 론

본 연구에서는 GIS를 이용하여 지질분포와 실제 토양 오염 조사에 의한 비소농도와의 개연성을 파악하였다. 토양조사 자료를 지지도와 연계하여 분석한 결과에서 비

소농도가 높은 상위 5개 지역은 총 24개 지층 중 석회암층 및 화강암층이 전체의 50%로 높은 비율을 차지함을 알 수 있으며, 비소농도 중심의 상위 20개 지역의 총 89개 지층을 분석한 결과에서도 화강암층 및 석회암층이 전체의 40.4%로 높은 비율을 보여주고 있다. 이는 토양비소농도가 높은 지역이 화강암층과 석회암층으로 형성된 지역임을 알 수 있다.

따라서 지질분포에 따라 토양내 실제 비소농도 분포는 상이하고, 특정 지층과 토양 비소 농도의 개연성이 있음을 확인할 수 있었다. 향후 추가적인 연구를 통해 대규모 환경영향평가 및 토양오염 조사 시 지질분포에 따른 직간접적 비소 농도 분포 현황 파악 등에 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

References

- Choi, J.-J., Cha, K.-H., Jeong, G.-C., Kim, J.-T., and Park, S.-C., 2023, Using GIS modeling to assess the distribution and spatial probability of soil contamination of geologic origin in Korea, *The Journal of Engineering Geology*, **33**, 39-49.
- Kwon, J.C., Park, H.-J., and Jung, M.C., 2015, Correlation of arsenic and heavy metals in paddy soils and rice crops around the munmyung Au-Ag mines, *Econ. Environ. Geol.*, **48**(4), 337-349.
- Lee, J.H., Jeong, J.O., Kim, K.K., Lee, S.W., and Kim, S.O., 2019. Geochemical study on the naturally originating fluorine distributed in the area of yongyudo and Sammokdo, Incheon. *Econ. Environ. Geol.*, **52**(4), 275-290.
- Lim, B.-H. 2024, Fate of heavy metals in water purification sludge: Focusing on movement and soil recycling, Department of Environmental Engineering, Gongju National University, A doctoral dissertation.
- Park, M.E., Lee, M.H., Sung, K.-Y., Lee, P.K., and Kim, M.C., 2005, Effects of pH-Eh on natural attenuation of soil contaminated by arsenic in the dalchen mine area, *Econ. Environ. Geol.*, **38**(5), 513-523.
- Yoon, J.K., Kim, D.H., Kim, T.S., Park, J.G., Chung, I.R., Kim, J.H., and Kim, H., 2009, Evaluation on natural background of the soil heavy metals in Korea. *National Institute of Environmental Research*, **14**(3), 32-39.
- Yun, H.-S., Lee, J.-Y., Hong, S.-S., Yang, D.-Y., Kim, J.-Y., and Cho, D.-L., 2013, GIS-based Areal distribution ratios and characteristics of constituent rocks with geologic ages and rock types in jeonnam and gwangju areas, *Jour. Petrol. Soc. Korea*, **22**(2), 153-177.