

다변량 통계분석을 이용한 구룡광산지역 매질특성 결정인자 도출 연구

문용희¹⁾ · 송윤구¹⁾ · 문희수¹⁾ · 김재곤²⁾ · 고경석²⁾ · 전철민²⁾

1. 개요

환경부에서 매년 권역별로 실시하는 폐광산에 대한 일제실태조사는 현재의 오염상태를 파악하는데 중점이 두어져있고, 향후 오염확산에 대한 예측 및 평가가 이루어지지 않고 있다. 광미, 산성배수, 갯내수는 하천을 따라 하류부에 위치한 호소로 이동 집적되어 상수원 및 농업용수원의 지속적인 오염원으로 작용하고 있다. 광미의 유실과 산성배수 및 갯내수의 지표 유출에 의한 중금속의 거동 및 확산 예측에 대한 연구의 부족으로 폐광산의 환경관리에 많은 문제점을 노출시켜왔다. 중금속 확산 및 거동에 대한 정확한 이해와 예측은 상수원, 농업용수, 농경지의 중금속오염방지대책 마련의 기초자료가 된다.

중금속 거동에 영향을 주는 인자 도출을 위한 많은 연구들이 있었지만, 영향인자들의 도출과정과 이들로부터의 중금속 확산예측 모델링과정에 대한 체계적인 기법 제시가 매우 미미하였다. 본 연구에서는 실내모사실험 및 야외 관측을 통한 중금속 거동 영향인자의 정량적 도출을 시도하고, 그 결과를 다변량 통계분석법(multi-variate statistic analysis)을 이용, 보다 정밀한 중금속 확산 예측을 시도할 것이다.

2. 시료 채취 및 물리·화학적 특성 분석

구룡광산 광미야적장으로부터 17개 코어시료를 3-8m 구간에서 채취하여 물리적 특성 (입도 분포, 공극률, 비표면적), 화학적 특성 (pH, 원소 총합량, 0.1N HCl 추출농도, 양이온 교환능 (CEC), 염기성이온포화도(BS) 등)을 분석하였다. 덕음광산 채취시료에 대한 주요원소 및 중금속원소들의 총합량은 XRF (포항산업과학연구원, Rist)를 이용하여 분석하였다. 0.1N HCl 반응용액에서의 원소분석은 양이온의 경우 UV (Fe, Al, Mn), ICP-AES, AAS, ASV (Pb, Zn., Cd) 등을 이용하여, 음이온의 경우 HPLC를 이용하여 각각 실시한다. 야외에서의 특성을 기초로 시추코어시료 단면을 7개 구간으로 분리하여 특성을 기재하였다.

3. 판별분석

7개로 구분된 각 구간 시료들의 물리·화학적 특성 분석자료를 종합하여 판별분석을 실시, 각 구간의 분대 구분이 적절히 이루어졌는지를 검토하였고, 이와 함께 각 구간의 물리·화학적 매질 특성을 결정하는 주요 영향인자를 추출, 향후에 진행될 확산영향인자의 효율적 도출에 활용하고자 하였다.

핵심어 : 다변량 통계분석, 중금속 오염, 토양오염

- 1) 연세대학교 지구시스템과학과
- 2) 한국지질자원연구원

4. 결과

매질의 물리·화학적 특성 분석결과 중 총 15개 분석결과를 독립변수로 하여 7개 구간시료에 대하여 판별분석을 실시한 결과를 표 1~3에 요약하였다.

산출된 판별함수에 대한 각 독립변수의 영향도를 나타내는 표준화된 정준 판별함수 계수를 보면, 판별함수 1의 경우 SO₃, pH, MgO(XRF 분석값), Mn(0.1N HCl 처리 분석값), clay 함량 등이 주요 영향인자로, 판별함수 2의 경우 SiO₂, SO₃, MnO, Fe₂O₃ 등이 주요 영향인자로 나타났다(표 1).

표 2에 제시된 정준 판별함수를 이용, 각 분석시료의 판별점수를 산출하여 그 시료가 어느 분대로 분류되는 것이 타당한지를 판단할 수 있다. 구룡광산 시료의 분석결과 약 47%가 적절히 분대된 것으로 나타났다. 보다 적절한 분대를 위하여는 요인분석 등 추가적인 통계방법을 활용하여 주요 영향인자의 도출이 선행되고, 이를 이용한 판별분석이 수행되어야 할 것으로 판단된다.

표 3에 제시된 분류함수 계수(Fisher's 선형판별함수)를 이용할 경우 임의 시료에 대한 물리·화학적 분석결과를 이용하여 어느 분대에 속하는지를 예상할 수 있다. 이러한 방법은 중금속 확산예측 모델링에 요구되는 지수의 효율적 산정에 활용될 수 있다.

표 1. 표준화된 정준판별함수 계수.

표준화 정준 판별함수 계수

	함수					
	1	2	3	4	5	6
clay	.392	-.016	.230	-.132	-.144	.184
CEC	.132	.315	.082	-.416	-.162	-.354
pH	-.388	.229	.237	.194	.563	-.575
Fe	.053	-.224	-.192	-.188	.046	.390
Mn	-.433	-.152	-.216	.137	-.386	.326
Al	.345	-.006	-.442	.214	-.129	-.329
Cu	.087	-.168	-.240	.100	-.088	-.114
MgO	-.467	.379	-.040	1.218	-.704	.677
CaO	.336	-.311	.031	-.078	.687	.393
SiO ₂	.123	1.442	.096	.454	3.439	2.966
SO ₃	.669	.961	.279	-.068	2.573	1.496
Al ₂ O ₃	-.202	.268	-.114	-.287	.890	.707
MnO	.313	-.504	.117	-1.011	.683	-.409
Fe ₂ O ₃	.243	.491	.680	.482	.831	1.089

표 2. 정준판별함수 계수.

정준 판별함수 계수

	함수					
	1	2	3	4	5	6
clay	.054	-.002	.032	-.018	-.020	.025
CEC	.029	.070	.018	-.092	-.036	-.079
pH	-.249	.147	.152	.125	.361	-.369
Fe	.000	.000	.000	.000	.000	.000
Mn	-.002	-.001	-.001	.001	-.002	.002
Al	.000	.000	-.001	.000	.000	.000
Cu	.001	-.001	-.002	.001	-.001	-.001
MgO	-.485	.394	-.042	1.265	-.731	.703
CaO	.250	-.231	.023	-.058	.511	.292
SiO ₂	.015	.176	.012	.055	.420	.362
SO ₃	.123	.177	.051	-.013	.475	.276
Al ₂ O ₃	-.085	.114	-.048	-.122	.377	.299
MnO	2.497	-4.016	.936	-8.055	5.444	-3.255
Fe ₂ O ₃	.087	.175	.243	.172	.297	.389
(상수)	-.643	-14.227	-3.371	-3.245	-36.580	-29.981

표준화하지 않은 계수

표 3. 분류함수 계수(Fisher's 선형판별함수 계수).

분류 함수 계수

	Group						
	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	7.00
clay	-.057	-.092	-.133	-.183	-.194	-.187	-.219
CEC	3.601	3.476	3.456	3.425	3.427	3.548	3.529
pH	5.509	5.240	5.602	6.180	5.767	5.821	6.146
Fe	-.002	-.002	-.002	-.002	-.002	-.002	-.002
Mn	.017	.019	.021	.021	.024	.023	.021
Al	.002	.003	.001	.001	.001	.001	.001
Cu	.015	.018	.016	.014	.015	.015	.014
MgO	62.469	62.282	61.941	63.772	64.089	63.418	63.086
CaO	62.783	63.044	62.906	62.471	62.320	62.032	62.413
SiO2	60.416	60.198	60.092	60.303	60.279	60.062	60.608
SO3	53.439	53.178	52.979	53.085	52.975	52.833	53.391
Al2O3	53.280	53.140	53.282	53.289	53.379	53.248	53.748
MnO	72.038	74.233	79.042	66.348	63.885	66.682	68.833
Fe2O3	59.320	58.896	58.814	59.166	58.954	58.699	59.043
(상수)	-2732.640	-2712.314	-2707.645	-2724.691	-2720.355	-2702.314	-2748.922

Fisher의 선형 판별함수