지질학회지 제 55권 제 2호, p. 247-256, (2019년 4월)
J. Geol. Soc. Korea, v. 55, no. 2, p. 247-256, (April 2019)
DOI http://dx.doi.org/10.14770/jgsk.2019.55.2.247

ISSN 0435-4036 (Print)
ISSN 2288-7377 (Online)

<Technical Report>
제주도 투수성지형의 형태별 분류 및 오염취약성 평가기법 제안

김남주[1,‡] · 유영권[2] · 전병추[3] · 김대성[1]

[1](주)지오엔지니어링
[2]한국수자원공사
[3]동부엔지니어링(주)

요 약

이 연구는 제주도에 분포하는 투수성지형을 형태적으로 분류하고 이들에 대한 오염취약성 평가방안을 제안하기 위해 수행되었다. 투수성지형은 지표의 오염물질이 지하로 유입되고 유동하는 통로 역할을 하기 때문에 지하수 오염에 매우 취약한 구조이다. 현재 오염취약성 평가시 주로 사용하는 DRASTIC의 경우 제주도의 투수성지형의 특성을 반영하기에는 큰 문제점이 있다. 따라서 제주도의 투수성지형을 분류하고 이에 맞은 취약성 평가 방법을 제안하여 보다 현실적인 취약성 평가가 이루어져야 한다. 2017년 9월부터 12월까지 제주도 내 360개소의 투수성지형과 주변 오염원의 분포현황을 조사하였다. 투수성지형은 지형적 특성에 따라 토양피복형, 돌출형, 함몰형과 개방형으로 구분하였다. 또한 오염취약성 평가의 인자로 투수성지형의 형태, 연결성, 투수성지형의 반경 500 m 내에 위치한 잠재오염원을 개수, 잠재오염원과의 최소 이격거리, 지하수위 상・하 구배를 고려한 상수도용 관정 설치 유무와 지형경사 등을 선정하였다. 선정된 각각의 인자를 10점으로 배점하였고, 이를 합산한 결과를 안심, 관심, 주의, 경계지점 구분하였다. 그 결과 관심지점이 259개소, 안심 지점이 70개소, 주의 지점이 31개소 분포하였다. 이번 연구에서 제안된 투수성지형의 형태별 분류와 오염취약성 평가기법은 각각의 인자에 대한 중요도가 고려되지 않았다. 이후 투수성지형의 오염취약성 평가 결과에 대한 신뢰성을 높이기 위해서는 각 평가인자들의 중요도를 반영하고 추가적으로 필요한 인자를 선정하기 위한 연구가 필요하다.

주요어: 투수성지형, 오염취약성

Namju Kim, Young Kwon You, Byeongchu Jeon and Daesung Kim, 2019, A proposal of classification and evaluation method of pollution vulnerabilities by a highly permeable terrain in Jeju Island. Journal of the Geological Society of Korea. v. 55, no. 2, p. 247-256

ABSTRACT: This study was conducted to morphologically classify the permeable terrain in Jeju Island and to suggest an evaluation method for its contamination vulnerability. The permeable terrain is a very vulnerable structure for groundwater contamination because it serves as a channel for contaminants to migrate in aquifer. DRASTIC widely used for contamination vulnerability assessment is difficult to reflect characteristics of the permeable terrain in Jeju island. Therefore, the permeable terrain was classified with morphology and a realistic contaminant vulnerability assessment suitable to the permeable terrain was proposed. A field survey was conducted on the 360 sites in Jeju island along with the surrounding contamination sources from September to December 2017. The permeable terrains were divided into soil clad, extrudion, dent and open type by mophologic characteristics . Also, the factors for the contaminant vulnerability assessment were selected, such as the shape of permeable terrain, the connectivity of permeable terrain, the minimum distance from contamination sources, the presence or absence of groundwater for waterworks, and the slope of the topography. Scores were allocated to each factor up to 10 points for each permeable terrain type, and the combined scores were used to divide the vulnerability into safety, interest, attention, and caution. As a result, there were 259 sites of interest, 70 sites of safety, and 31 sites of attention. The contaminant vulnerability assessment for the permeable terrain proposed in this study do not consider importance for each factor. To improve the results of contaminant vulnerability assessment of permeable terrain importance of the factors should be reflected and a study is necessary to select additional required factors.

‡ Corresponding author: +82-31-559-0883, E-mail: deposits@chol.com

Key words: highly permeable terrain, pollution vulnerabilities

(Namju Kim and Daesung Kim, Geo Engineering Co., LTD., Namyangju 12226, Republic of Korea; Young Kwon You, Korea Water Resources Corporation, Daejeon 34132, Republic of Korea; Byeongchu Jeon, Dongbu Engineering Co., LTD., Seoul 04323, Republic of Korea)

1. 서 론

제주도는 상부에 투수성이 높은 다공질의 현무암질 용암류로 이루어져 있고 용암의 흐름으로 인해 형성된 용암튜브의 형태로 채널을 형성한다(Greeley, 1987). 과거 용암의 분출 및 유동과 관련된 지형 중에 지표에 노출되어 있는 형태로 숨골, 곶자왈(Jeju Special Self-Governing Province, 2009)이라 부르는 투수성이 높은 지형이 분포한다. 투수성지형은 화산의 분출, 용암의 흐름형태와 냉각환경에 따라 지하의 공동과 절리의 형태로 발달하여 지하수 함양에 크게 기여하고 있으나, 이를 통해 지표의 오염물질이 대수층으로 쉽게 유입되기 때문에 지하수 오염에 매우 취약하다(Book publishing Science technology, 1996; Jeju Special Self-Governing Province, 1996).

최근에 제주도 중산간 지역에 분포하는 초지에 관행적 농업행위로 살포하는 액비와 한림지역에 밀집해 있는 대규모 양돈농가에서 발생한 가축분뇨의 불법배출로 인해 지하수가 오염된 사례가 있었다. 이와 더불어 중산간 지역의 농경지에 살포하는 화학비료, 축산시설에서 배출되는 축산폐수, 여러 개발사업 등으로 인해 지하수 내 질산성질소의 농도가 지속적으로 증가되고 있다.

숨골과 지하수의 흐름에 연관성을 찾기 위해 과거 중장비를 동원해 직접 숨골 내로 물을 주입하는 시험을 실시한 결과 대량의 물이 유입되는 것을 확인하였다(Song *et al*., 1996). 이후 여러 매체를 통해 제주도 내의 투수성 지질인 숨골, 곶자왈, 동굴함몰지, 동굴 등이 지하수가 주로 유입되는 통로이며 동시에 지표의 오염물질이 유입되어 지하수가 직접적으로 오염된 사례를 보도하고 있다. 이에 따라 높은 투수성을 지닌 지형에 대해 관리방안의 필요성이 대두되고 있다.

오염취약성평가에 주로 사용되는 DRASTIC (United States Environmental Protection Agency, 1991) 기법은 제주도의 숨골과 같이 투수성이 높은 지형의 특성을 반영하는 인자가 없어 투수성지형에 대한 오염취약성 평가에 사용하기에는 부적합하다. 이번 연구에서는 제주도 내 높은 투수성을 지닌 지형을 형태별로 분류하고 오염원의 유입 및 유동에 영향을 미치는 인자들을 활용하여 제주도에 분포하는 투수성지형에 대한 오염취약성 평가기법을 제안하였다. 이번 연구에서 제안한 오염취약성 평가기법은 제주도 내 투수성지질 구조 주변에서 이루어지는 여러 개발행위로 인한 지하수 오염을 예방 및 평가하는데 도움을 줄 수 있을 것이다.

2. 연구지역

제주도에는 숨골, 곶자왈, 용암동굴, 동굴함몰지 등과 같이 투수성이 매우 높은 지형이 분포하며 이러한 지형을 투수성지형이라고 부른다. 투수성지형은 제주도의 동부지역에 38.3%, 서부지역에 32.8%가 분포한다(Jeju Special Self-Governing Province, 1996; Song *et al*., 1996).

투수성지형은 북동쪽인 구좌와 조천유역에 각각 87과 55개소가 분포하고, 이는 만장굴이 위치하는 거문오름 동굴군과 동일한 분포를 보인다. 서쪽은 대정, 한경, 한림유역에 각각 47, 33, 32개소가 분포하며, 이는 협재 인근의 동굴군과 동쪽의 곶자왈 도립공원과 분포범위가 일치한다(그림 1; Cultural Heritage Administration, 2003).

제주기상관측소에서 1998~2017년까지 20년 동안 관측된 기상자료에 따르면, 제주도의 연평균기온은 16.2℃이고, 상대습도는 68.0%이며, 평균풍속은 3.3 m/s로 나타났다. 연평균강수량은 1,526.4 mm이며, 7~9월에 년 강수량의 48%가 집중적으로 발생하였다(Meteorological Office).

2017년 기준으로 제주도의 새올행정시스템에 등록되어 있는 지하수 시설은 4,818개소이다. 지하수 시설 중에 생활용은 1,432개소, 공업용은 148개소, 농/어업용은 3,231개소, 기타용은 7개소이다. 생활용수 중 상수도로 활용되는 시설은 356개소이며, 이 시설로부터 1,975.67 천m^3/년의 상수도가 보급된다.

3. 숨골과 곶자왈의 일반적 특징

숨골과 곶자왈은 높은 투수성을 보이지만 지표에 노출되어 있는 형태가 다소 차이를 보인다. 제주도에서 숨골은 과거부터 강우가 발생한 이후 지표수가 지하로 유입되는 곳을 의미한다. 숨골의 대부분이 용암튜브의 천장이 함몰되어 형성된 곳으로, 작은 암괴들이 뒤섞여 있는 형태와 함몰지를 토양이 피복하고 있는 형태로 분포하고 있다(그림 2a, 2b; Jeju Special Self-Governing Province, 2009).

투수성지형 중에 곶자왈의 경우 해수면에서 고도 600 m 까지 약 224.6 km^2의 면적으로 분포한다. 주로 중산간 지역에 위치한 곶자왈은 토양이 발달이 미약하고 잡석과 잡목으로 덮여 있어 경작지로 활용되기 보다는 나대지로 있는 경우가 일반적이다. 곶자왈을 덮고 있는 잡석은 화산의 분산물인 화산탄, 화산자갈, 스코리아로 구성되어 있다(그림 2c; Song *et al.*, 1996).

4. 연구방법

이번 연구는 2017년 6월부터 2018년 11월까지 수행된 제주도 지하수기초조사 보완용역의 일환으로 수행되었다. 2017년 9월부터 2017년 12월까지 야외조사를 수행하였다. 야외조사 시 투수성지형의 위치를 확인하고 이를 형태적으로 분류하기 위해 원근, 근경 사진을 촬영하였다. 이중 수목에 의해 진입이 불가능한 지역에서는 드론(DJI Mavic Pro)을 이용

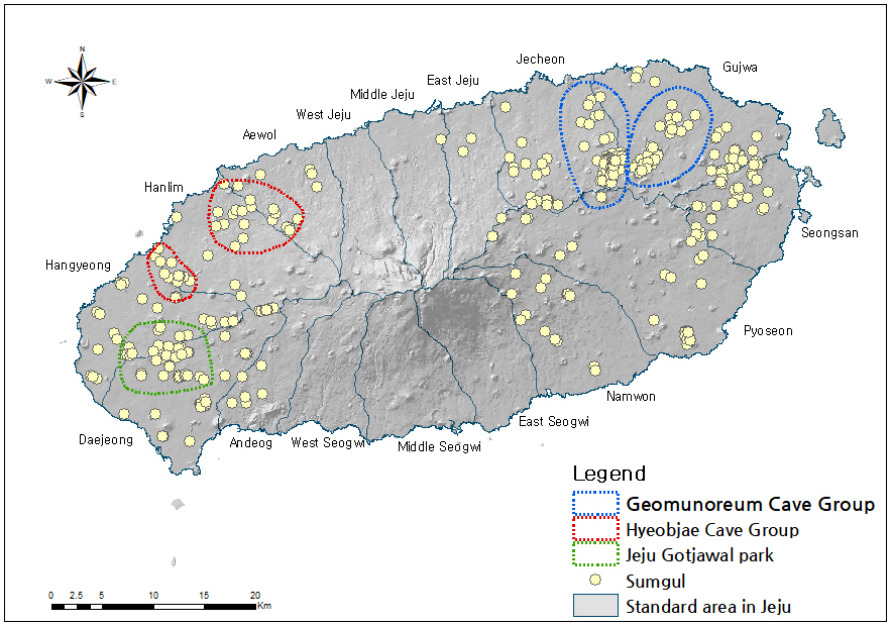


Fig. 1. Distribution of permeable terrain in Jeju.

(a) (b) (c)

Fig. 2. A representative form of permeable terrain in Jeju (a) Sumgol, (b) Collapsed cave, (c) Gotjawal.

Table 1. Distribution of permeable terrain in Jeju.

Std. Area	Area (km^2)	Area Ratio (%)	Number of sites	Number Ratio (%)
Total	1,828.30	100.00	360	100
Aewol	85.30	4.67	17	4.72
East Jeju	75.30	4.12	4	1.11
Middle Jeju	89.80	4.91	-	-
West Jeju	89.50	4.90	-	-
Jecheon	126.20	6.90	55	15.28
Gujwa	172.50	9.44	87	24.17
Seongsan	114.90	6.28	34	9.44
Pyoseon	207.30	11.34	31	8.61
Namwon	133.50	7.30	14	3.89
East Seogwi	107.10	5.86	-	-
Middle Seogwi	106.30	5.81	-	-
West Seogwi	82.80	4.53	-	-
Andeog	62.50	3.42	6	1.67
Daejeong	130.80	7.15	47	13.06
Hangyeong	102.80	5.62	33	9.17
Hanlim	141.70	7.75	32	8.89

하여 촬영하였다.

이번 연구지역은 제주도 전체에 분포하는 360개소의 투수성지형이며 투수성지형의 위치정보는 제주도청 환경보전국에서 수집하였다(표 1).

5. 투수성지형의 형태별 분류결과

투수성지형의 형태별 분류는 현장에서 육안으로 관찰하여 노출형태별로 4가지로 분류하였다(표 2). 첫 번째는 토양피복형으로 이 지형은 투수성지형의 유출부가 함몰지의 형태로 이를 토양이 피복하고 있어 오목한 형태를 유지한다. 둘째는 돌출형으로 규모가 가장 작게 발달한 형태이며 용암의 냉각과정에서 형성된 작은 구릉형태(투물러스)가 많으며 평지와 산지에 고루 분포한다(Walker, 1991). 돌출형은 토양의 피복두께가 얇거나 피복되어 있지 않은 형태로 식생의 발달이 미약하거나 잡목으로 피복되어 있다. 셋째는 함몰형으로 토양피복형보다 상대적으로 작은 규모가 많고 산지에 주로 분포하여 접근이 어렵다. 함몰형은 식생의 발달이 돌출형과 유사하게 발달하고 있다. 넷째는 개방형으로 제주도에 분포하는 화산동굴과 형태가 동일하다(Cultural Heritage Administration, 2003).

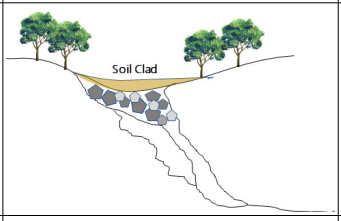
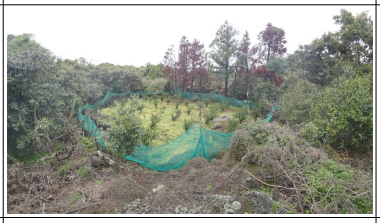
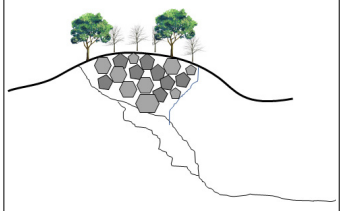
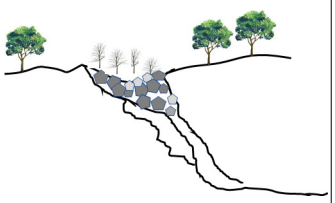
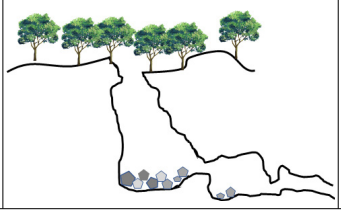
야외조사 시 지표에 노출된 투수성지형만을 확인할 수 있어 그 면적과 규모를 확인할 수 없어 투수성지형들 간의 연결성을 확인하기가 매우 어려웠다. 그러나 투수성지형들 간의 연결성은 오염원의 이동에 매우 중요한 인자이므로, 이 연구에서는 지표에 노출되어 있는 지점을 중심으로 반경 500 m 이내에서 서로 중복되는 투수성지형들은 서로 연결되어 있다고 가정하였다.

이 가정은 인접해 있는 투수성지형과의 거리가 500 m 이내에 분포하는 경우가 전체에 91.4%로 총 329개소를 차지한다. 또한 거문오름 동굴군의 조사결과(Cultural Heritage Administration, 2003) 투수성지형이 연결되어 동굴군을 형성하고 있다. 이에 따라 투수성지형의 연결성을 갖는 최대 반경을 500 m로 설정하였다.

6. 오염취약성평가의 인자

제주도의 투수성지형의 분포양상과 지하수의 상호관계를 고려하여 영향인자를 선정하고 각각의 인자들의 분포곡선 분석을 통해 등급화와 배점을 배분

Table 2. Classification of permeable terrain in Jeju.

Type	Schematic Diagram	Picture	Number of sites
Soil clad			316
Extrution			16
Dent			15
Open			13

하였다.

오염취약성평가의 인자는 여섯 가지로 구분하였다. 첫째, 투수성지형의 지표노출 형태, 둘째, 연결성에 따른 군집형태, 셋째, 반경 500 m 내에 위치한 잠재오염원을 개수, 넷째, 잠재오염원과의 최소 이격거리, 다섯째, 잠재오염원 인근 500 m 이내의 상수도용 관정의 유무 및 상.하류 구배현황, 여섯째, 지형경사 등을 오염취약성 평가 인자로 선정하였다(표 3). 또한 각각의 정규분포 분석을 통해 배점기준을 선정하였다(표 4).

6.1 투수성지형의 형태 및 연결성

투수성지형의 형태에 따른 오염취약성은 지표의 노출형태에 따라 개방형이 가장 높은 것으로 평가하였다. 또한 잡목피복형인 돌출형과 함몰형의 경우 지표에서 오염원의 유입이 상대적으로 쉬운 함몰형이 좀 더 오염에 취약한 것으로 평가하였다. 토양피복형은 함몰형과 유사한 형태이나 토양이 피복되고 대부분 농경지로 활용되고 있는 점을 고려하고 토양의 오염저감능을 고려하여 관리가 상대적으로 수월하다는 측면에서 오염 취약성이 가장 낮은 것으로 평가하였다. 형태별로 토양피복형이 316개소로 가장 많이 분포하고, 돌출형이 16개소, 함몰형이 15개소이고 개방형이 13개소가 분포하고 있다(그림 3a).

투수성지형을 중심으로 500 m 이내에 1개의 투수성지형만 분포하는 곳이 55개소로 연결성을 보이

Table 3. Pollution vulnerability assessment factor of permeable terrain.

Factor	Content
Type of Number of sites	The shape of permeable terrain
Connectivity of Number of sites	Connectivity of Number of sites within a range of 500 m of the Sumgul
Number of pollution	Number of pollution sources within a range of 500 m of the Sumgul
Distance of Pollution	Minimum distance of pollution soureces within a range of 500 m of the Sumgul
Groundwater for waterworks	The presence or absence of groundwater for waterworks
Topographical slope	Topographical slope

Table 4. Criteria for assessment of pollution vulnerability of permeable terrain.

Item	Grade							
Type of permeable terrain	Criteria		Soil clad		Extrution		Dent	Open
	Score		4		6		8	10
Connectivity of permeable terrain	Range	(%)	0	15~31	32~48	49~65	66~82	83-100
		ea	0	1	2~3	4~6	7~12	>13
	Score		0	2	4	6	8	10
Number of pollution	Range	(%)	0	41~52	53~64	65~76	77~88	89~100
		ea	0	1	2~3	4~6	7~11	>12
	Score		0	2	4	6	8	10
Distance of Pollution	Range	(%)	0	41~52	53~64	65~76	77~88	89~100
		(m)	-	500~467	466~443	442~420	419~398	>397
	Score		0	2	4	6	8	10
Groundwater for waterworks	Criteria		None		within 500 m upstream		within 500 m Downstream	
			Safety		Attention		vulnerable	
	Score		0		5		10	
Topographical slope	Range	(%)	0~20	20~40	40~60	60~80	80~100	
		(°)	<1.5	1.5-4	4-8	8-13	>13	
	Score		2	4	6	8	10	

지 않는 지점이 전체의 15.3%를 차지하고, 5개 이하의 투수성지형이 연결성을 갖는 지점이 전체의 57.5%, 500 m 이내에 10개 이상의 투수성지형이 군집을 형성하고 있는 곳이 26개 군집으로, 이 군집에 총 94개소의 투수성지형이 분포한다(그림 3b). 투수성지형들 간의 연결성은 지하수의 오염취약성 평가에서 매우 중요하기 때문에 향후 추가적인 연구를 통해 투수성지형들 간의 연결성을 확인하거나 또는 이를 확인할 수 있는 기술개발을 통해 이 연구에서 제안한 오염취약성 평가기법에 대한 신뢰성을 높이는 것이 필요하다.

6.2 투수성지형과 잠재오염원과의 연관성

투수성지형 인근의 잠재오염원 분포현황은 미국의회 기술평가국에서 정한잠재오염원인 6군 33종을 기준으로 구분하였고(Office of Technology Assessment, 1988), 잠재오염원의 자료는 제주도 환경보전국과 제주연구원에서 수집하였으며, 2017년 제주통계연보에 보고된 자료도 같이 활용하였다. 오염원의 종류로는 가축분뇨가 배출되는 축산단지, 지하 유류 저장시설이 있는 주유소, 오수처리 시설, 개인 하수처리시설, 오폐수 배출시설 등이 있다. 이 잠재오염원들 중 투수성지형 반경 500 m 이내에 분포하는 거리와 개수

를 분석하였다.

오염물질 유입에도 취약한 투수성지형의 특성상 잠재오염원의 규모보다는 존재의 유·무가 더욱 중요하다. 잠재오염원으로부터 오염물질이 투수성지형으로 유입될 경우 유동거리가 길수록 잠재오염원으로부터 오염물질 유출 시 투수성지형에 미치는 영

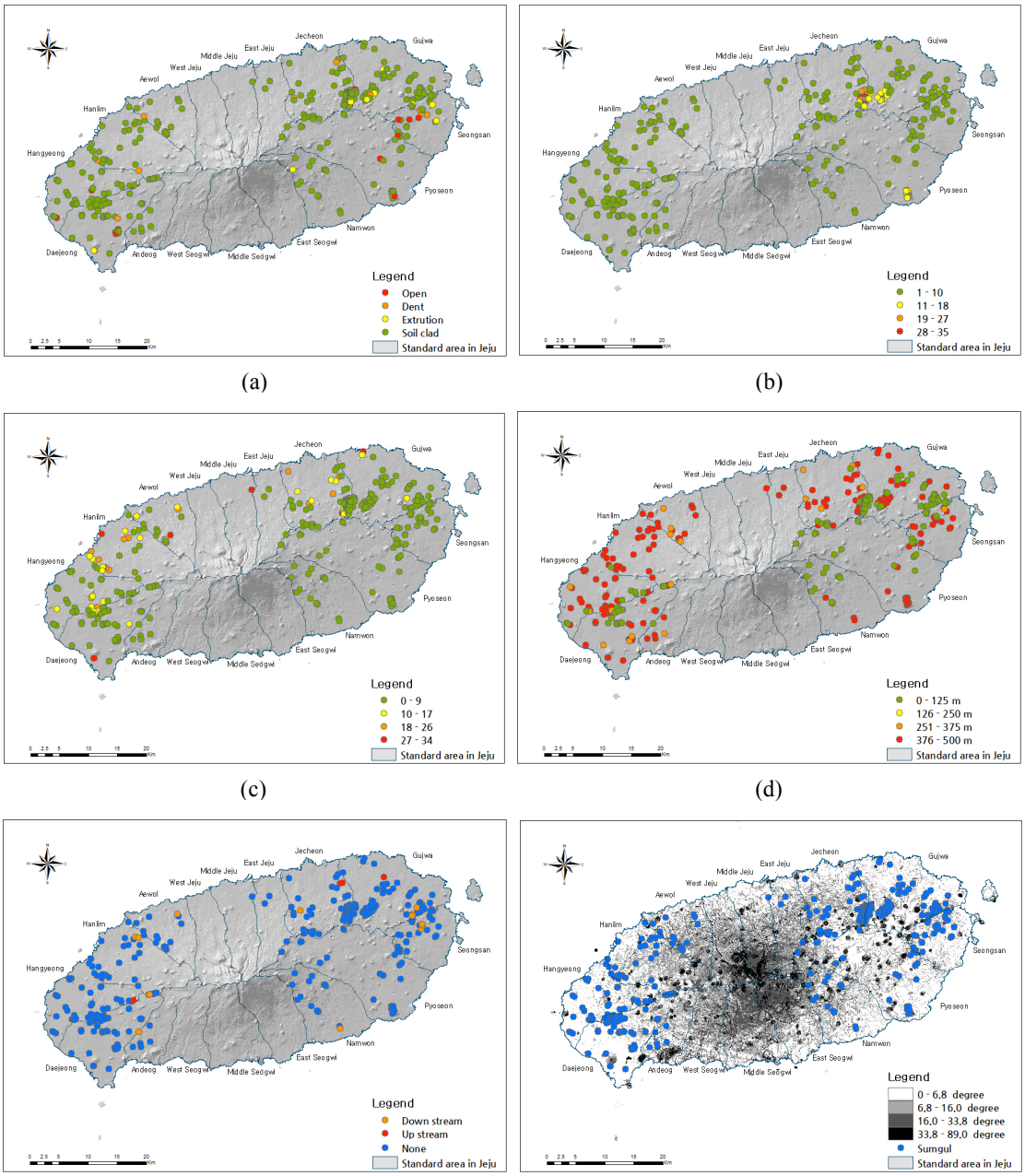


Fig. 3. Results of contaminant vulnerability evaluation for permeable terrain in Jeju. (a) Distribution status by type of permeable terrain, (b) Connectivity analysis of permeable terrain, (c) Number of pollution sources within 500 m, (d) Distance of pollution within 500 m, (e) The presence or absence of groundwater for waterworks within 500 m, (f) Topographical slope.

향이 감소될 것으로 판단하여 배점을 구분하였다.

개인하수처리시설이 10,057개소로 가장 많이 분포하고, 지정폐기물 배출시설이 1,456개소, 가축분뇨 배출시설이 1,279개소 분포한다.

투수성지형 인근 500 m 이내에 위치하는 잠재오염원을 그림 3c에 나타내었다(그림 3c). 잠재오염원이 가장 많이 분포하는 지역은 축산단지와 대규모 돈사가 밀집하여 있는 한림과 한경지역이고 투수성지형 500 m 이내에 잠재오염원이 10개 이상 분포하고 있는 지점이 98개소에 달한다. 잠재오염원의 개소수에 대한 배점은 최소 1개소 이상 오염원이 분포하는 지점을 2점, 12개이상 분포하는 지점을 10점으로 각각 2점씩의 간격을 두고 5등분 하였다. 잠재오염원이 10개미만 분포하는 지점이 전체의 46.1%이고 투수성지형을 중심으로 500 m 이내에 34개소의 잠재오염원이 위치하는 곳도 1개소 있다.

또한 투수성지형과 잠재오염원과의 이격거리를 확인하기 위해 반경 500 m 이내에 위치하고 있는 잠재오염원위 위치를 그림 3d에 나타내었다. 반경 400 m 이내에 잠재오염원이 위치하는 곳은 총 178개소이고 300～400 m 범위에 잠재오염원이 분포하는 곳이 34개소이다. 잠재오염원이 400～500 m 이내에 분포하는 지점은 전체의 49.4%를 차지하며, 투수성지형을 기준으로 300 m 지점에 오염원이 분포하는 곳도 2개소이다.

6.3 투수성지형과 관정형 상수도시설과의 관계

제주도의 상수원은 일부 저수지를 활용하는 저수형 상수원과 지하수 관정을 이용한 관정형 상수원으로 구분할 수 있다. 이중 지하수관정 형태로 존재하는 상수원만을 대상으로 투수성지형 연관관계를 분석하였다. 2017년을 기준으로 제주도 새올행정시스템에 등록되어 있는 지하수 시설 중 투수성지형 인근의 반경 500 m 내에 설치되어 있는 상수원 목적의 지하수 관정을 분류하고 이 시설들이 투수성 지형을 중심으로 지하수 흐름의 상류 또는 하류에 분포하는지를 분석하였다.

2017년 기준, 제주도에 등록된 4,818개 지하수 시설 중에 상수원으로 사용되는 관정은 총 332개소이며 이들은 모두 생활용으로 분류되어 있다. 상수원으로 사용되는 관정은 남원수계에 35개소, 대정수계에 35개소, 조천수계에 수계에 34개소가 분포한다.

투수성지형 인근 500 m 이내에 위치하는 상수원을 그림 3e에 나타냈다.

지하수관정의 용도가 상수도시설이고 투수성지형을 중심으로 500m 이내에 위치하는 관정은 21개

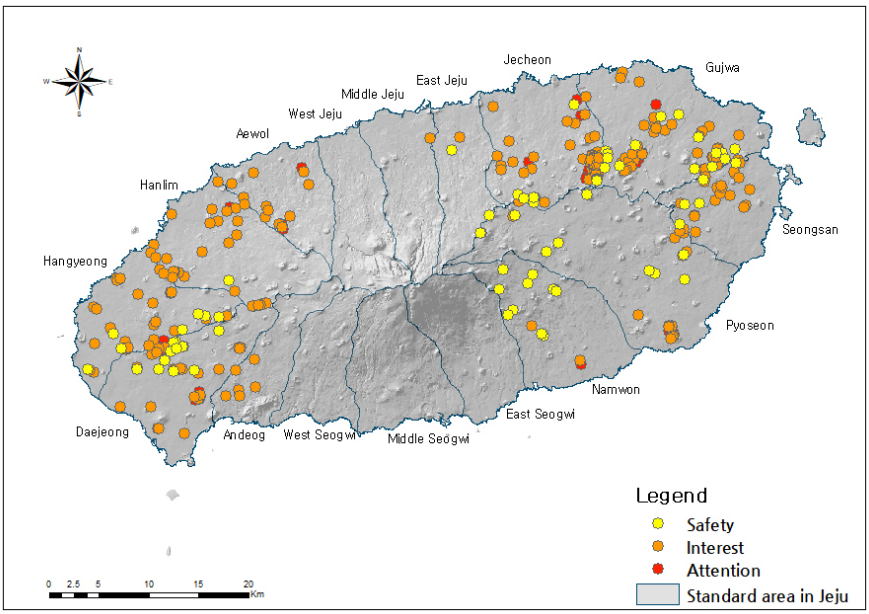


Fig. 4. Comprehensive analysis results of contaminant vulnerability evaluation.

소이다. 이중 지하수 흐름의 상류에 상수도용 지하수관정이 위치하는 관정이 12개소, 지하수 흐름의 하류에 위치하는 관정이 9개소이다. 따라서 500 m 이내에 시설의 유무관계를 구분하고, 이때 오염원이 유동할 때 상대적으로 오염원 유입에 취약한 하류지점에 배점을 높이 하였다.

6.4 투수성지형의 경사에 분류

투수성지형의 경우 형성과정에서 용암의 성분, 냉각과정과 용암의 흐름형태를 결정하는 지형적 요인이 가장 큰 영향을 갖는다. 이렇게 형성된 투수성지형의 경사는 유입된 오염원과 이를 운반하는 지하수의 흐름속도와 밀접한 관계가 있다. 따라서 현재의 지표 지형경사를 분석하여(QGIS) 투수성지형의 경사를 분석하였다.

투수성지형이 위치하는 지역의 지형경사가 0～5° 사이가 총 311개소로 전체의 86.4%를 차지하고, 5～10°가 39개소로 전체의 10.8%에 해당한다. 가장 급경사를 이루는 곳이 16°로 1개 지점이 이에 해당한다(그림 3f).

6.5 종합평가

위에서 설명한 각각의 인자에 대한 분포를 종합적으로 평가하고, 데이터의 분포범위와 중간값을 고려하여 배점을 균등분할하여 책정하였으며, 절대평가 시 배점의 분배는 인자별 오염에 취약한 순서로 균등분배하였다. 각각 인자이 분포평균은 이격거리 431 m, 연결성 7.58개소, 잠재오염원 7.05개소, 경사도 2.5°이다.

오염취약성 평가에 영향을 주는 인자들을 고려하여 종합적으로 분석한 결과를 그림 4에 나타내었다. 배점을 60점 만점에 15점씩 4등분하여 안심, 관심, 주의, 경계지역으로 구분하였다. 이중 관심지역이 259개소로 가장 많이 분포하고, 안심지역이 70개소, 주의지역이 31개소 분포하고, 경계에 해당하는 지역은 없는 것으로 분석되었다. 이중 주의에 해당 하는 지점을 대상으로 각각의 인자가 평균값을 상회하는 인자를 분석하면 오염원과의 이격거리, 오염원의 개수, 투수성 지형의 연결성이 높은 배점에 큰 영향을 미쳤다.

7. 결 론

이번 연구에서 제시한 투수성지형의 오염취약성 평가를 위한 등급화는 각각의 인자에 대한 중요도(가산점) 평가가 이루어지지 않은 상태로, 이후 각각의 인자에 대한 중요도의 추가적인 논의와 연구가 필요할 것으로 판단된다.

또한 오염취약성 평가의 인자로 설정한 6개의 인자 이외에 추가적으로 고려하여야 할 부분이 있으나, 현실적으로 투수성지형의 규모조차 확인할 수 없는 상황에서 인자를 추가한다면 불확실성을 높이는 결과를 초래할 것이다.

예를 들면, 오염원의 규모는 소량의 오염물질이 유입되더라도 오염취약성이 높은 투수성지형의 특성상 평가인자에서 배제하였고, 규모보다는 존재의 유·무에 기준을 두었다.

또한 지하수를 통한 오염원의 유동에 가장 중요한 인자인 수리전도도는 투수성지형의 구조가 육지의 일반적인 흐름양상과 다르고, 매우 빠른 형태임을 감안하여 평가인자에서 제외하였다.

투수성지형의 규모는 조사결과 개방형을 제외하면 토양과 식생에 의해 피복되어 있는 형태가 대부분이고, 이에 따른 지표에 노출되어 있는 유입부의 규모 및 연결성을 확인할 수 없어 오염취약성 평가인자에서 제외하였다.

이번 오염취약성 평가는 면적이 적용되지 않은 점(Point) 개념의 평가 방법으로 이후 추가적으로 발견되거나 개발에 따라 지표에 노출되는 투수성지형의 오염취약성에 대한 평가가 신속하게 이루어 질 수 있을 것이다. 또한 지하수의 지하수공 개발 위치를 선정 시 주변에 투수성지형이 위치할 경우 투수성지형에 대한 오염취약성 평가가 이루어져 투수성지형으로 유입되는 오염물질에 대한 관리의 기초 자료로 활용할 수 있을 것으로 기대한다.

감사의글

본 연구를 위해 분석에 필요한 자료의 제공과 아낌없는 조언을 주신 제주특별자치도 환경보전국 물정책과 김기표 주무관님과 양원석 주문관님께 감사드립니다.

REFERENCES

Book publishing Science technology, 1996, Development of underground water and environmental measures. p.

1-2611.
Cultural Heritage Administration, 2003, Report on the Survey of Natural Cave in Jeju Island.
Greeley, R., 1987, The role of lava tubes in Hawaiian volcanoes. In Volcanism in Hawaii, U.S. Geological Survey Professional Paper, 1350, 1589-1602.
Jeju Special Self-Governing Province, 1996, A comprehensive survey of middle Area Jeju Island.
Jeju Special Self-Governing Province, 2009, Jeju Local Language Dictionary. 1-266.
Office of Technology Assessment (OTA), 1988, Identifying and Regulation caecinogens. 25-20.
Song, S.T., Koh, G.W. and Yoon, S., 1996, A Study on the Structure of Sumgul and the Gotjawal Area Affecting amount of underground water and Pollution of Underground Water in Jeju Island. 1996 Conference of soil and groundwater environment (Abstracts), Incheon, April 21, 68-69 (in Korean).
United States Environmental Protection Agency (EPA), 1991, Assessing UST Corrective Action Technology, US EPA/600/2-91/053, 13-123.
Walker, G.P.L., 1991, Structure and origin by injection of lava under surface crust of tumuli. Bulletin of Volcanology, 53, 546-558.

Received : January 28, 2019
Revised : February 24, 2019
Accepted : March 11, 2019