제주도 지하공기의 분포

성문석[1*], 김진허[2], 소인섭[3,4], 강성금[1], 고성준[1], 김인중[3,4], 고문환[1]

[1]제주특별자치도 농업기술원

[2]한국농촌공사 제주지역본부

[3]제주대학교 생명자원과학대학

[4]제주대학교 아열대농업생명과학연구소

Distribution of Basal Underground Air in Jeju Island

Moon-Seok Sung[1*], Jin-Hoe Kim[2], In-sup So[3,4], Seong-Geun Kang[1], Sung-Joon Ko[1], In-Jung Kim[3,4], Moon-Hwan Ko[1]

[1]Jeju Special Self-Governing Province Agricultural Research and Extension Services. Jeju 697-701, Korea;

[2]Jeju-do Office, Korea Rural community ad Agriculture corporation. Jeju 690-072, Korea;

[3]College of Applied Life Sciences, Jeju National University, Jeju 690-756, Korea;

[4]Research Institute for Subtropical Agriculture and Biotechnology, Jeju National University, Jeju 690-756, Korea

ABSTRACT

The results are analyzed from GIS data developed by Korea Rural Community and Agriculture Corporation for the development of agricultural water. The districts of underground geologic structure in Jeju island where underground air is distributed are lava cave, pyroclastic, open joint, and crushing zone. Such districts are identified to be a possible area to utilize underground air (85% in Jeju island). The district of underground air being distributed is irregular by district. Considering the frequency of securing air ventilation layer and the economic cost of boring, about more and less 50m of boring depth would be profitable.

서 론

제주도의 지표 지질은 다공질 화산암이 주요 구성 암층으로서, 과거 1960년대 이후 제주도의 지하수조사 및 관정개발이 이루어지면서 화산암층 내에 공기를 통과시킬 수 있는 통기층의 존재가 인식되어 미래에 지하공기의 에너지 자원화에 대한 기대가 예상되어 왔으며, 최근 시설재배 난방용 화석에너지의 투자부담에 의한 농업경제성이 떨어지기 때문에 저렴하고 이용하기 용이한 대체에너지의 개발·이용에 대한 사회적 요구가 높아지면서 목적이 확실한 연구가 진행 중에 있다.

본 연구는 대략 5차 화산폭발로 생성된 제주도의 특수 지층구조(박, 1994; 박과 권, 2993; 부 등, 2006)가 함유하고 있는 지하공기가 연중 일정온도(14~19℃)를 유지하므로 이를 농업용 시설하우스

등의 난방에너지로 이용할 경우 여타의 경비 투여가 거의 없는 순수 천연에너지를 무한정 얻을 수 있는 가능성에 착안하였다. 따라서 제주도의 지역별 고도별에 따른 지하공기 이용한계 지역과 고도를 설정하기 위한 기초조사를 실시하였다. 또한 우연히 발견한 사실이지만 제주도의 지하에서 흡입되는 공기에는 3,000~10,000 ppm 농도의 CO_2가 함유된 것으로 확인 된 바 이들의 부가적 이용에 대한 효용성에 대하여도 시험을 통한 증명을 하여 앞으로 많은 작물별 이용성(김 등, 2007 : 송 등, 1997; 장 등, 2006)을 극대화하기 위한 시험이 필요한 실정이다.

이에 따라 본 연구에서는 제주도의 지역별 고도별에 따른 지하공기 이용한계 지역과 고도를 설정하기 위한 기초조사를 실시하였다.

재료 및 방법

1. 지하공기개발용 시추공사

한국농촌공사 제주도본부에서 지하공기 개발을 위해 경제성과 환경 및 공학적 안정성의 균형을 고려하여 적정 시추공법 및 시추심도, 직경 등을 검토하였다. 시추심도, 시추직경, 지층분석 및 풍량시험 결과와 시공 과정에서 환경 및 공학적 안정성을 고려해서 굴착과정 및 시추공 개발과정을 선택하였다.

시추공개발 공정은 상부구간 오염방지 그라우팅, 천공, 시추공 보호자재 설치 순서로 진행되었다. 상부구간 오염방지를 위한 주변 공간 그라우팅은 지표에서 부터 5m내외로 시행하였고, 그 두께는 50~75 mm내외로 시공하였다.

2. 지하공기성분 분석

시추공 배출 지하공기를 보건환경연구원에 의뢰하여 환경정책기본법에 정한 대기환경기준 항목 일부(CO, SO_2, NO_2, O_3)의 함량을 측정하였고, 지하공기의 온도, 습도, 풍속, CO_2 함량 등을 측정하였다.

결과 및 고찰

1. 환경공학적 안정성 검토

1970년 이래로 제주도 전역에 개발된 약 5,000여공의 지하수관정 시공의 경우 지반공학적 재해가 발생한 사례는 거의 보고되지 않고 있으며, 지하공기 개발을 위한 시추공 굴착에 있어서도 지반공학적 위험성은 매우 적을 것으로 판단되었다.

다만, 너무 얕은 심도에서 용암동굴이 발견되거나 스코리아 또는 화산쇄설층이 지표에서부터 두텁게 발달되어 있는 지역에서는 시추장비의 무게 때문에 전도 또는 지반붕괴의 우려가 있으므로 작업을 피하는 것이 바람직하며, 시추공 간의 거리·는 굴착 진동으로 인한 기존 시추공의 지층변화가 발생되거나 지하공기가 서로 흡입 송풍되지 않도록 해야 할 것으로 판단된다.

지하공기는 자연 상태로 지하암반 내에 들어있거나 유동되는 공기로 상당량의 습도를 유지한 체 지하 암반내의 가스들과 혼합되어 있을 것으로 추정하였으나 제주도 화산암은 최근 화산활동이 없어 화산 가스의 직접유출은 없었다(권과 이, 1997).

시추공 배출 지하공기를 보건환경연구원에 의뢰하여 환경정책기본법에 정한 대기환경기준 항

Table 1. The ingredients of underground air erupted from borehole.

	Area	Observed date	CO	SO_2	NO_2	O_3
Standard	Air environment in Korea	-	25[1)]	0.15	0.15	0.1
	In jeju	-	13	0.1	0.1	0.1
Survey	Hallim geumneungri	28. Jul. 2006	0.035	0.000	0.002	0.003
	Pyoseon Gasiri	10. Jan. 2007	0.053	0.000	0.002	0.002

[1)] Average per an hour, unit : ppm

목 일부를 측정한 결과로서 주요성분에 대한 측정값들이 모두 대기환경 기준치를 이하의 매우 양호한 공기질 상태를 보였다(Table 1).

지하수관정 개발 시 제주도 지하수관리 조례로 정한 시추공 주변공간 그라우팅 시설을 지하공기 시추공 굴착 시에도 동일하게 설치토록 하되 시추심도가 50 m 내외로 비교적 낮은 여건 등을 고려하여 주변공간 그라우팅 심도는 Fig. 1과 같이 지표부에서부터 5 m이상으로 결정함이 합리적일 것으로 사료된다. 지하공기 시추공의 주변공간 그라우팅은 공벽을 통한 지표수의 직접 유입을 차단할 뿐 아니라 지상공기의 지하유입을 차단하여 지하공기의 온도 변화를 최소화 할 수 있을 것이다.

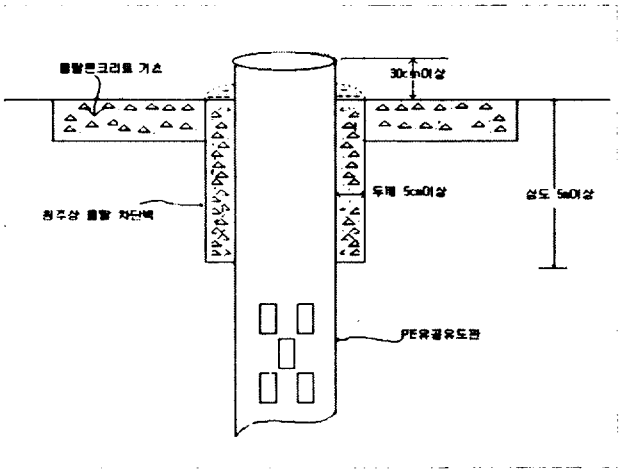

Fig. 1. Grout facility mimetic diagram for protecting the underground water of adjacent region being polluted.

2. 제주도내의 지하공기이용 가능지역 분포

현재까지 제주지역의 지표지질도 및 기설 지하공기 이용시설 80 개소의 지질주상도의 지층분석으로 시추공 개발예정지에 대하여 분석한 결과에 의하여 제주도내 지하 공기층 개발 가능지역은 제주도 전체 면적의 대략 85%로 추정되었다.

제주도 북·서쪽 지역인 한림지역은 표고 50~150 m에 시추심도 45~51 m로 굴착하였고 지하공기 온도는 16.0~18.2℃ 범위이었으며 습도는 80~87%, CO_2 함량은 650~2,300 ppm 선이었다. 한경지역은 표고 70~126 m에 41~51 m로 굴착하였고 지하공기 온도는 16.9~18.6 ℃ 범위 이었으며 습도는 85~87%, CO_2 함량은 630~4,955 ppm 이었다. 애월지역은 표고 84~400 m에 시추심도 48~76 m로 하여 굴착 하였고 지하공기온도는 16.8~19.0 ℃ 범위 이었으며 습도 80~89%, CO_2 함량은 680~2,200 ppm이었다(Table 2-1, Fig. 2). 이렇듯이 CO_2의 함량이 적게는 600 ppm에서 많게는 5,000 ppm까지 차이를 나타내는데 이는 지대별 즉 고도차에 의한 지하공기의 함량에 기인하지 않나 사료된다.

구제주시 지역은 표고 126~367 m에 시추심도 40~55 m로 굴착하였고 지하공기온도는 16.8~17℃ 범위 이었으며 상대습도는 85~97%, CO_2함량은 2,000~3,800 ppm 이었는데 제주도의 서북지역 4곳으로 한정하여 볼 때 제주시를 중심으로 한 지역이 지대별, 지역별 CO_2 함량 차이가 가장 적었다. 따라서 제주시 권역에서는 지하공기 이용의 경우 냉·난방의 효과는 물론 CO_2의 이용 가능성이 안정적으로 높음을 알 수 있었다. 제주도 북동지역의 조천 지역은 표고 26~250 m에 시추심도는 40~50 m로 굴착하였고 지하공기온도는 16.8~19.0℃ 범위이었으며 습도는 83~90%, CO_2 함량은 700~1,670 ppm이었다. 구좌 지역은 표고 50~367 m에 시추심도 40~55 m로 굴착하였고 지하공기 온도는 16.8~18℃ 범위이었으며 습도는 85~97%, CO_2함량은 1,200~3,800 ppm이었다(Table 2-2, Fig. 2).

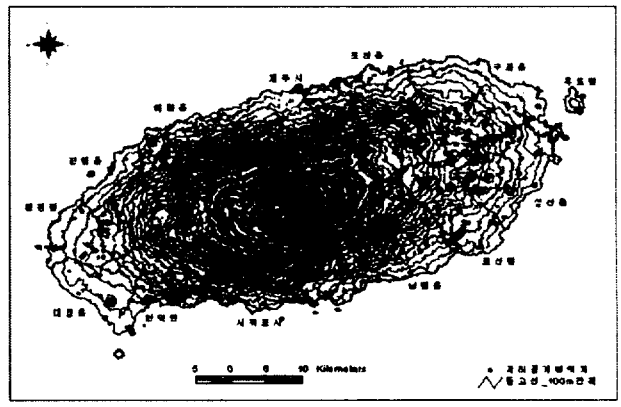

Fig. 2. The map of regional distribution of underground air borehole in Jeju.

Table 2-1. Air quality and air ventilation layer of the facility for using underground air in Jeju, 2006~2007.

	Area	Altitude (EL.m)	Boring depth (m)	Underground air				Pyroclastic layer (%)	Basalt ventilation layer (%)
				Temp. (℃)	Humidity (%)	Airflow (m^3/min)	CO_2 (ppm)		
Hallim	Geumak 902	150	50	18.1	-	-	2,340	21.6	11.8
	Sangdae 1207-3	133	50	18.2	-	300	2,267	-	-
	Sangmyeong 1150	144	45	16.9	87	100	2,300	20.0	4.4
	Wollim 426	100	51	16.0	80	70	650	-	-
	Wollim	54	48	16.0	80	70	650	-	-
Han-gyeong	Cheongsu 109-1	-	49	16.0	85.8	100	420	22.4	0
	Cheongsu 1060	86	51	16.9	87	80	2,300	0	21.6
	Gosan 91-1	-	51	17.5	85	70	4,000	27.5	39.2
	Josu 2241	76	50	18.6	-	-	4,955	-	-
	Jeoji 3127	126	41	17.0	86	80	650	-	-
	Jeoji 2848-1	121	41	-	-	-	-	4.9	24.4
	Nakcheon 45	-	45	18.0	85.5	85	1,840	-	-
	Nakcheon 1349	70	52	18.0	85	60	2,200	0	76.9
Aewol	Bongseong 951	300	60	19.0	-	-	1,200	-	-
	Nabeup San 102	-	42	17.0	85	60	1,200	21.4	0
	Susan 1138-1	84	76	16.8	87	60	2,000	-	-
	Sangga 1469-1	136	48	19.0	89	70	680	25.0	0
	Sogil 1273	122	60	18.0	88	70	1,200	4.83	25.8
	Yusuam 204-3	400	56	17.8	80	80	2,200	42.9	0

Table 2-2. Air quality and air ventilation layer of the facility for using underground air in Jeju, 2006~2007.

	Area	Altitude (EL.m)	Boring depth (m)	Underground air				Pyroclastic layer (%)	Basalt ventilation layer (%)
				Temp. (℃)	Humidity (%)	Airflow (m^3/min)	CO_2 (ppm)		
Jocheon	Daehuel 2062-3	-	-	18.6	-	-	1,342	28.6	21.4
	Hamdeok 572-8	56	47	17.0	89	108	2,300	27.7	0
	Jocheon	80	43	-	-	-	4,600	-	-
	Sinchon 2924	34	40	18.0	89	100	1,450	0	45.0
	Sinchon 3224-2	34	31	18.0	85	70	3,000	22.5	0
	Sinchon 3159	26	41	19.0	83	80	1,670	12.1	0
	Sunhuel 2624	79	50	18.1	-	-	860	-	-
	Wasan 803	119	49	17.6	90	128	700	38.5	0
Gujwa	Jongdal 3290	53	40	18.0	89	80	1,200	27.5	0
	Sehwa	50	40	18.0	87	80	1,200	-	-
Jejusi	Aradong San 1	300	43	17.0	97	108	3,500	-	-
	Ara2dong 218-1	-	40	17.0	82	100	1,800	-	-
	odeungdong 782	300	40	17.0	88	110	2,000	17.5	0
	Yonggang 1116	367	55	16.8	85	78	3,800	50.9	10.9

Table 2-3. Air quality and air ventilation layer of the facility for using underground air in Jeju, 2006~2007.

	Area	Altitude (EL.m)	Boring depth (m)	Underground air				Pyroclastic layer (%)	Basalt ventilation layer (%)
				Temp. (℃)	Humidity (%)	Airflow (m^3/min)	CO_2 (ppm)		
Andeok	Gamsan 2656	132	55	17.0	87	70	5,200	4.5	0
	Sangchang 2290	170	40	17.0	88	90	5,100	35.0	0
	Sangchang 2381-1	153	40	17.0	83.4	100	1,700	2.5	0
	Sangchang 2439-2	144	63	17.0	85	90	2,500	-	-
	Seogwang 2414	155	40	17.0	86	70	1,800	20.0	77.5
	Seogwang san 24-1	240	72	17.5	86	70	470	9.7	23.6
Seo-gwi-posi	Dosundong 1293-3	180	42	17.0	90	100	1,200	16.7	0
	Deapodong 256	169	40	18.0	83	30	3,100	10.0	0
	Jungmundong 722-1	215	56	17.0	89	-	3,500	48.2	0
	Jungmundong 720	213	68	17.0	87	64	3,000	13.2	0
	Saekdaldong 996	222	41	17.0	88	95	1,200	7.3	7.3
	Sanhyodong 1031-3	174	45	17.0	89	95	3,700	37.8	20.0
	Sangyedong 1546-1	120	41	17.0	85	85	3,700	15.0	30.0
	Topyeongdong 12-10	345	-	17.0	85	90	950	50.0	0
	Sanghyodong 454-2	145	40	17.0	80	70	1,250	5.2	26.0

Table 2-4. Air quality and air ventilation layer of the facility for using underground air in Jeju, 2006~2007.

	Area	Altitude (EL.m)	Boring depth (m)	Underground air				Pyroclastic layer (%)	Basalt ventilation layer (%)
				Temp. (℃)	Humidity (%)	Airflow (m^3/min)	CO_2 (ppm)		
Pyoseon	Gasi 3665	-	80	16.1	93	87	13,100	-	-
	Gasi 242	87	67	17.0	84	60	3,170	17.9	0
	Sehwa 2160-1	-	52	-	-	-	800	8.1	1.6
	Sehwa 2217	95	51	17.0	89	80	2,200	46.1	2.0
	Sehwa 924	-	40	17.0	88	100	3,100	11.1	0
	Sehwa 852	99	45	17.0	88	70	1,400	15.5	0
	Sungeup 1462	137	45	17.0	85	70	1,900	6.6	84.4
	Sinsan 1388-1	61	45	17.0	85	90	1,950	42.2	44.4
Namwon	Hannam 399-5	139	68	17.0	84	60	2,400	13.2	30.9
	Hannam 446-1	107	45	17.0	89	100	2,600	13.3	11.1
	Harye 1500-2	149	53	17.0	89	65	4,500	37.7	0
	Sillye 1388-2	138	51	17.0	85	80	2,200	39.2	0
	Sillye 2050	226	68	17.0	87	70	3,000	7.4	0
	Uigwi 80-5	124	62	17.0	84	70	2,500	6.5	33.9
	Uigwi 391-2	85	51	17.0	83	70	3,800	27.5	2.0

제주도 남·서쪽 지역인 대정 지역은 현재까지 지하공 시추가 없는 것은 밭작물 재배 지역이므로 시설재배가 적어 지하공 이용도가 낮았다. 안덕 지역은 표고는 132~240 m에 시추심도 40~72 m로 굴착하였고, 지하공기온도는 17.0~17.5℃ 이었으며 습도는 85~88%, CO_2함량은 470~5,200 ppm이었다. 구 서귀포시 지역은 해발고도 120~345 m에 시추심도 40~68 m로 굴착하였으며 지하공기온도는 17~18℃ 범위이었고 습도는 83~90%, CO_2함량은 1,200~3,700 ppm이었다(Table 2-3, Fig. 2).

남서쪽 지역인 남원지역은 표고 85~226 m에 45~68 m를 굴착하여 지하공기 온도는 17.0℃ 범위이었고 습도는 84~89%, CO_2함량은 2,200~4,500 ppm이었다. 표선 지역은 표고 87~300 m에 40~80 m를 굴착하여 지하공기온도는 16.1~17.0℃ 범위이었고 습도는 84~89%, CO_2함량은 1,400~13,100 ppm이었다(Table 2-4, Fig. 2).

제주도에서 투수성 지질구조를 이용하여 지하공기를 개발할 수 있는 지역은 지질적으로는 화산쇄설층 및 개방형 절리 비율이 낮은 산방산군에 속하는 조면암류 분포지역(장 등, 2006)외 모든 지역이 가능할 것으로 확인되었으나, 표고가 25 m이하인 지역에서는 지하수층과 길이가 짧으므로 시추심도 역시 길지가 않아서 비록 가능성은 있으나 성공 확률이 상대적으로 더 낮을 것으로 판단되므로 제주도 지하공기개발 가능 지역은 녹색지역으로 분석될 수 있었다.(Fig. 3)

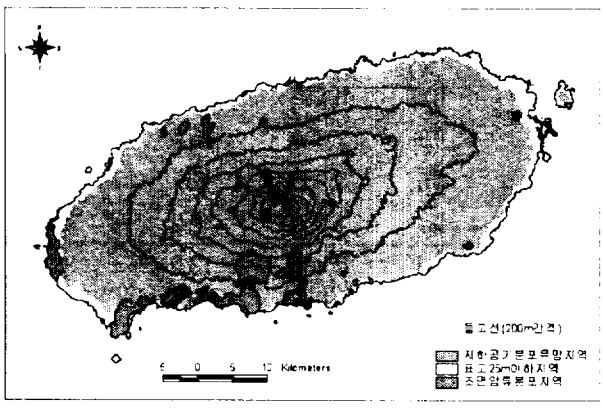

Fig. 3. The map of regional distribution being possible for the development of underground air in Jeju.

적 요

지층분석을 통해 제주도내 지하공기의 이용이 가능한 지역은 산쇄설층, 수축절리, 및 파쇄대 등으로이의 분포를 조사해본 결과 제주도내 현무암 및 화산쇄설암류가 지표지질의 95% 이상을 점유하므로, 지하공기를 냉·난방에너지로 활용하는 농업현장 적용은 제주도 내 85% 지역에서 가능할 것으로 판단되었다.

사 사

본 연구는 농촌진흥청에서 지원하는 특성화사업 특정연구과제에 의해 수행된 연구로, 감귤화훼센터와 아열대농업생명과학연구소의 시설을 이용하고 지원을 받았음.

참 고 문 헌

1. 권병두, 이희순. 1997. 화산섬의 지구물리학적 및 환경지질학적 특성 비교연구: 제주도와 하와이제도. 한국지구과학회지 18:217-237.
2. 김진회. 2007. 지하공기 이용의 문제점 및 효율적인 활용방안. 수출란특화작목산학연협력단. 지하공기를 이용한 시설원예 냉·난방 연구 세미나 p.9-37
3. 장광화, 박준범, 권성택. 2006. 제주도 조면암류의 지화학적 특징. 대한지질학회지 42:232-252.
4. 부성안, 정교철, 박창근. 2006. 지하수 관정을 이용한 제주도 생성 메커니즘. 대한지질 공학회지 4:177-186.
5. 박준범. 1994. 제주도 화산암의 지화학적 진화. 연세대학교 박사학위논문 p.305
6. 박준범, 권성택. 1993. 제주도 화산암의 암석화학적 진화 : 제주 북부지역의 화산층서에 따른 화산암류의 암석기재 및 암석화학적 특징. 대한지질학회지 29:39-60.