

선구조 밀도에 따른 지열류량 분포 특성 분석

백 승균¹⁾, 김 형찬²⁾, 박 맹언³⁾

Analysis on distribution characteristics of heat flow related with lineament density

Seunggyun Baek, Hyoungchan Kim, Maengeon Park

Key words : Lineament density(선구조밀도), Heatflow(지열류량), Gyeongsang Basin(경상분지)

Abstract : 선구조 밀도에 따른 지열류량 분포 특성을 파악하기 위하여 선구조의 빈도 및 연장에 의한 선구조 밀도 분포도를 각각 작성하고, 측정 위치별 지열류량 값과 비교 분석하였다. 두드러진 단층의 발달과 많은 온천이 분포하는 경상분지 남부를 연구 대상지역으로 하였으며, 음영기복도 및 위성영상으로부터 1km 이상되는 1337개의 선구조를 추출하였고, 빈도 및 길이에 따른 선구조 분포 밀도도를 작성하였다. 연구 지역 내 51개의 지열류량 자료를 이용하여 측정위치별 선구조 밀도 값을 획득하고 지열류량 값과의 상관성을 파악하기 위하여 선형회귀 분석을 실시하였다.

1. 서론

지열의 부존은 열전달 매체인 물이 지하심부로 들어가 심부 지열을 얻어 상부로 올라올 수 있는 지하수의 순환체계가 있어야 하며, 투수성이 우수한 단층대 및 파쇄대와 같은 지질구조와의 관계가 중요하다(Vrouzi, 1985).

선구조(lineaments)는 지각구조를 반영하는 직선 또는 완곡의 지형요소로서 단층, 절리, 파쇄대, 암맥, 지층경계, 습곡 등과 같은 구조적 불연속면과 연관되므로(Sabins, 1978), 지구조 운동의 규명, 일반지질 연구, 광물탐사 연구, 자연재해 예측 연구, 수리지질 연구 등과 관련된 자료의 해석 및 분석단계에서 중요한 역할을 한다(Lee and Chi, 1995).

이 연구에서는 연구지역의 선구조를 분석함으로써 지질구조선에 의한 지하수의 공급과 이와 관련된 지열류량 분포 특성을 파악하고자 하였다.

선구조의 추출은 Landsat-7 ETM+ 위성영상(해상도 30m)으로부터 육안 판독하였고, 태양광 편중에 따른 오차를 줄이기 위해, 수치표고모형(DEM) 자료(해상도 30m)로부터 작성한 음영기복도와 수계망을 같이 이용하여 선구조를 추출하였다.

선구조의 밀도분석은 선구조의 공간적인 분포를 파악하는데 매우 유용하며, 선구조 수와 총 길이의 합을 이용하여 밀도를 계산하는 방법이 가장 보편적인 방법이다(Hardcastle, 1995). 이 등(2004)은 선구조 밀도와 지하수 산출성과의 관계를 확인한 결과 선구조 수와 길이를 고려하고 연장성도 고려한 선구조 밀도가 그렇지 않은 밀도에 비해 암반지하수 산출성과 보다 밀접한 상관성을 보인다고 하였다. 본 연구에서는 선구조의 수 및 연장에 따른 선구조 분포 밀도도를 각각 작성하였다.

지열류량(heat flow)은 지구내부로부터 지표로의 열 흐름으로 암석의 열전도도(thermal conductivity)와 지온경사(thermal gradient)를 측정하여 산출한다.

2. 본론

2.1 연구 방법

연구 지역은 두드러진 단층의 발달과 높은 지열에너지 부존 가능성으로 인해 많은 지질, 지구화학 및 지구물리학적 연구가 수행되었으며, 동래, 해운대, 부곡, 마금산, 고성 등의 온천이 분포하는 경상분지 남부지역을 대상으로 하였다.

- 1) 한국지질자원연구원 지하수지열연구부
E-mail : sgbaek@pknu.ac.kr
Tel : (042)868-3074 Fax : (042)868-3358
- 2) 한국지질자원연구원 지하수지열연구부
E-mail : khc@kigam.re.kr
Tel : (042)868-3074 Fax : (042)868-3358
- 3) 부경대학교 환경지질학과
E-mail : mepark@pknu.ac.kr
Tel : (051)620-6232 Fax : (051)628-6432

Table 1. Heat flow on study area.

HF-NO	TMx(m)	TMy(m)	Thermal Conductivity(W/mK)	Thermal Gradient (°C/km)	Heat Flow (mW/m ²)
1	141956	178209	1.985	17.71	35.2
2	142459	178168	1.985	21.46	42.6
3	141938	178097	1.985	22.34	44.4
4	142453	178101	1.985	22.95	45.6
5	240440	234782	1.652	29.18	48.2
6	240831	234859	1.652	29.26	48.3
7	240721	234957	1.652	31.01	51.2
8	142273	185424	0.000	0.00	54.0
9	142073	191540	2.490	22.50	56.1
10	172468	206559	0.000	0.00	57.2
11	142419	178123	1.985	29.07	57.7
12	142281	185235	2.316	25.05	58.0
13	208882	181509	3.114	19.22	59.8
14	159198	223969	2.069	28.98	60.0
15	142525	185022	2.316	26.13	60.5
16	159363	224384	2.213	27.38	60.6
17	143625	177287	1.985	30.57	60.7
18	174050	228031	2.545	24.22	61.6
19	197136	180975	2.847	22.23	63.3
20	206107	228673	2.621	25.08	65.7
21	208932	181492	3.114	21.21	66.0
22	226506	228368	2.511	26.35	66.2
23	213185	184380	2.890	23.06	66.6
24	138757	178230	2.710	25.06	67.9
25	132226	235609	3.263	21.52	70.2
26	196817	193201	3.032	23.25	70.5
27	208968	181496	3.114	22.70	70.7
28	226582	228239	2.639	26.99	71.2
29	166386	200662	3.600	20.00	72.0
30	156655	237425	2.734	26.53	72.5
31	208923	181506	3.114	23.28	72.5
32	214181	217758	0.000	0.00	72.6
33	162011	212085	0.000	0.00	72.8
34	208885	181491	3.114	23.38	72.8
35	142951	177823	1.985	37.00	73.5
36	208224	188405	3.175	23.61	75.0
37	208075	193101	3.175	24.58	78.0
38	206130	228728	3.131	25.42	79.6
39	154852	182209	2.327	34.29	79.8
40	207137	173902	3.976	20.10	79.9
41	206230	228805	3.131	25.84	80.9
42	204503	235877	2.661	30.82	82.0
43	204494	235445	2.661	32.00	85.1
44	211864	200607	2.980	30.00	89.3
45	204321	235402	2.661	36.08	96.0
46	189933	231823	4.098	24.26	99.4
47	198222	202449	2.560	39.00	99.8
48	215737	218944	3.874	26.00	100.7
49	143421	181396	2.460	41.10	101.1
50	144658	180383	2.535	41.06	104.1
51	143604	177249	1.985	55.00	109.2
Average			2.443	25.17	70.4

본 연구에서는 연구지역 내 51개의 지열류량 자료를 이용하였으며(김 등, 2004), 최소 35.2mW/m², 최대 109.2mW/m², 평균 70.4mW/m²로서, 남한

의 평균 지열류량 값 64±14 mW/m²보다 높았다 (Table 1).

연구지역 내 51개 지열류량 자료의 측정위치별 선구조 밀도 값을 획득하고 지열류량 값과의 상관성을 파악하기 위하여 선형회귀 분석을 실시하였다.

2.2 결과 및 토의

위성영상 및 음영기복도를 판독한 결과 길이가 1km 이상 되는 총 1337개의 선구조를 추출하였고 (Fig. 1), 주 선구조군의 방향은 N10-30°E로서, 경상분지에 발달한 주요 단층들과 일치하였다 (Fig. 2).

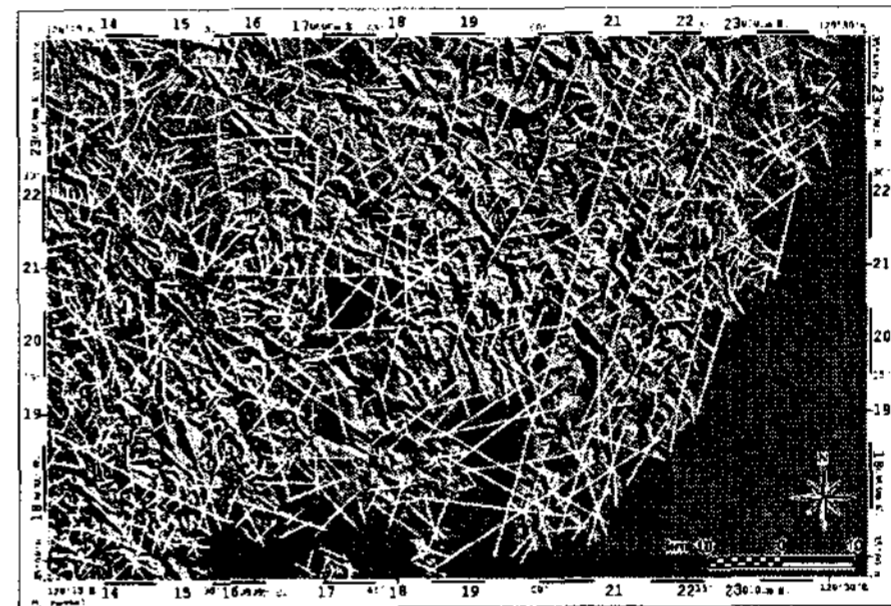


Fig. 1. Lineament map with shaded relief map (Azimuth 315°, Altitude 45°).

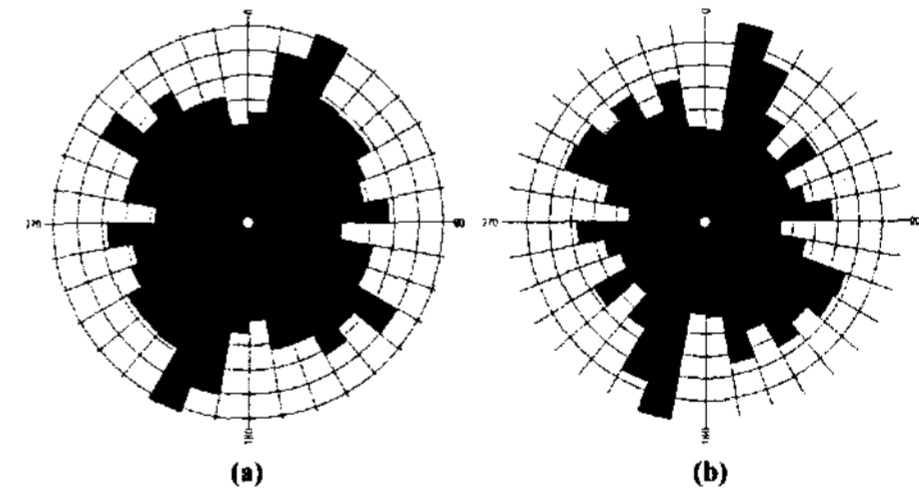


Fig. 2. Rose diagram of lineament frequency (a) and length (b).

추출된 선구조를 이용하여 선구조의 빈도 (frequency) 와 길이(length)에 따른 선구조를 각각 작성하였으며, 그 결과는 Fig. 3, 4와 같다.

이로부터 연구지역내 51개 지열류량 측정위치에 대한 선구조밀도 값을 획득하였고, 지열류량 값과의 상관성을 파악하기 위하여 그래프에 도시하고 선형회귀분석을 실시하였다.

선구조의 빈도에 의한 밀도분포와의 선형회귀 분석 결과 $y = 42.482x + 55.671$ (y : 지열류량, x : 선구조밀도)이고, 상관계수 $R^2 = 0.0927$ 이다(Fig. 5). 선구조의 길이에 의한 밀도분포와의 선형회귀 분석 결과 $y = 12.359x + 68.558$ (y : 지열류량, x : 선구조밀도)이고, 상관계수는 $R^2 = 0.0115$ 이다 (Fig. 6).

선형회귀분석 결과 상관계수가 대단히 작아서 선구조 밀도와 지열류량의 상관성을 해석하기는 곤란하였으나, 선구조의 빈도에 의한 밀도분포에서 밀도가 증가함에 따라 지열류량이 증가하는 양상을 파악할 수 있었다(Fig. 5). 이는 지질구조선이 밀집된 곳에서는 지하수의 순환이 상대적으로 원활히 이루어져 지열수의 생성 및 분포에도 직접적으로 영향을 주는 것으로 사료된다.

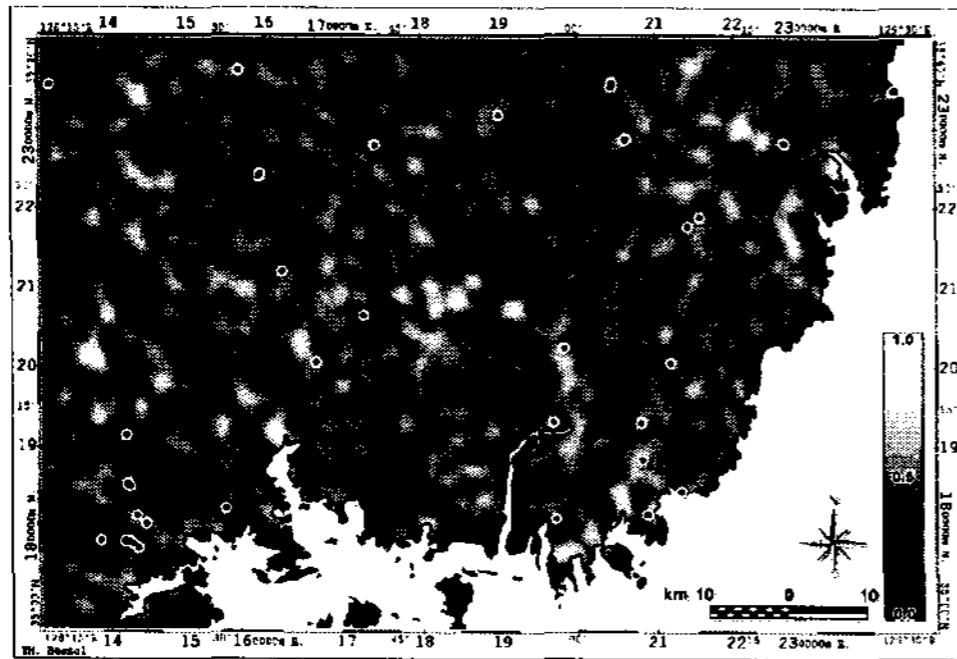


Fig. 3. Lineament density map using frequency and the locations of heat flow.

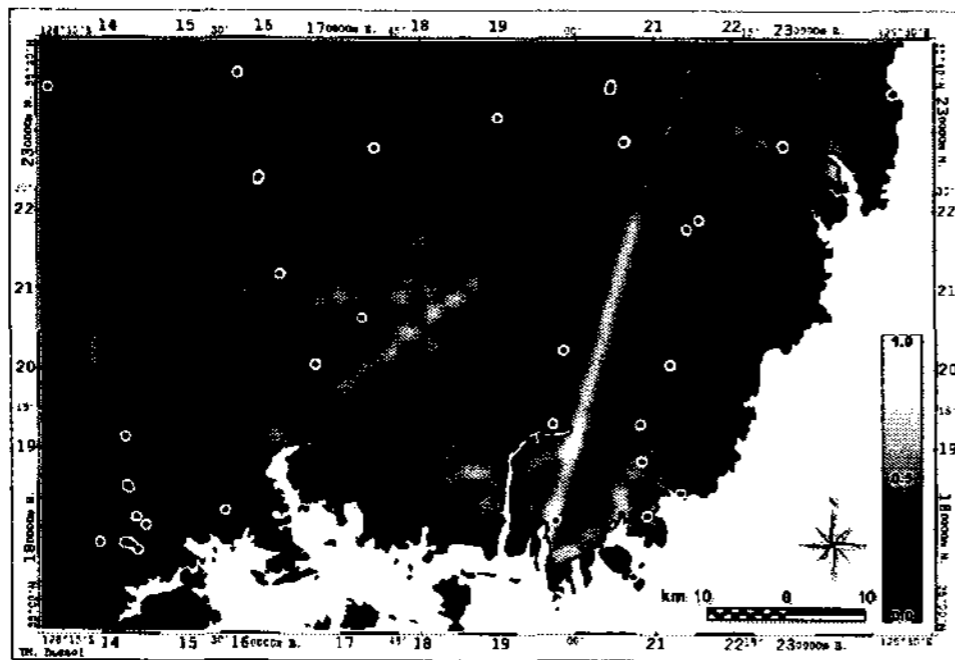


Fig. 4. Lineament density map using length and the location of heat flow.

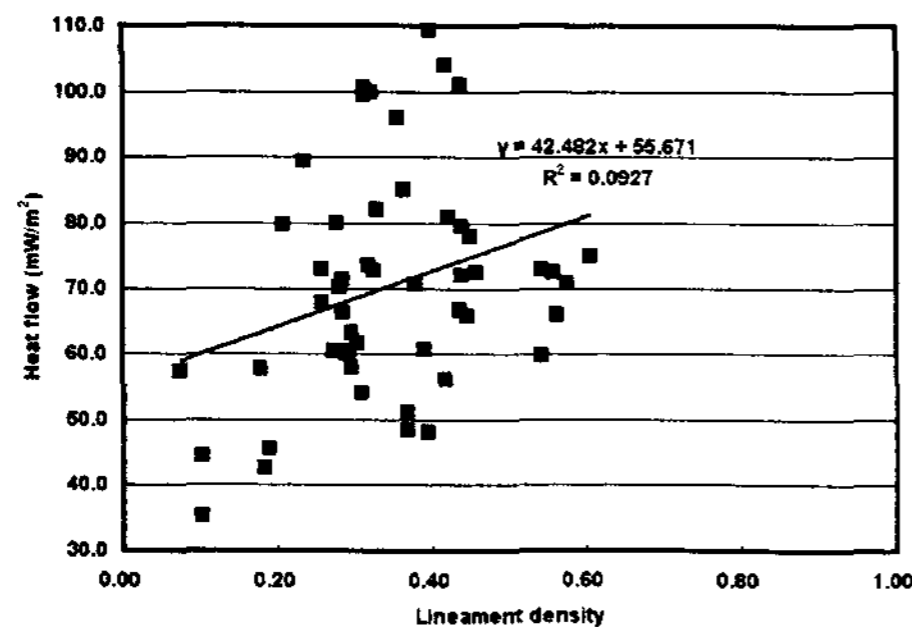


Fig. 5. Relationship between lineament density using frequency and heat flow.

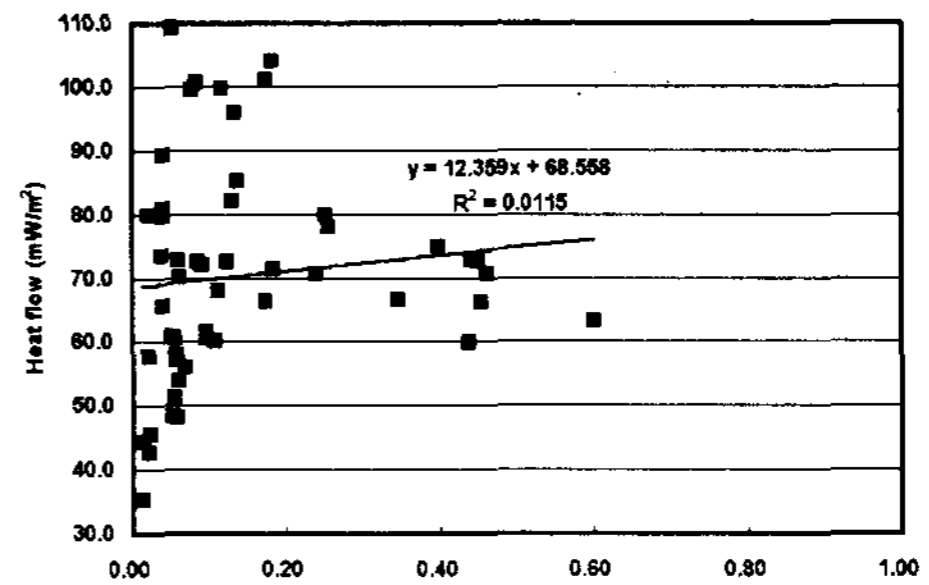


Fig. 6. Relationship between lineament density using frequency and heat flow.

3. 결론

경상분지 남부지역으로 대상으로 하여, 음영기복도 및 위성영상으로부터 1km 이상되는 1337개의 선구조를 추출하였고, 빈도 및 길이에 따른 선구조 분포 밀도도를 작성하였다. 연구 지역 내 51개의 지열류량 자료를 이용하여 측정위치별 선구조 밀도 값을 획득하고 지열류량 값과의 상관성을 파악하기 위하여 선형회귀 분석을 실시하였다.

선형회귀분석 결과 상관계수가 낮아 선구조 밀도와 지열류량의 상관성을 해석하기는 곤란하였으나, 선구조의 밀도가 증가함에 따라 분명한 지열류량의 증가 양상을 파악할 수 있었다.

향후 보다 정밀한 상관성 분석을 위해서는 남한 전역에 대한 선구조 판독과 수계 분포 및 지하수위 자료와 통합한 해석이 요구된다.

후기

본 연구는 에너지관리공단의 에너지·자원기술개발 사업의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

References

- [1] 김형찬, 이사로, 송무영, 2004, "남한지역 지질특성과 지열류량의 상호 관련성", 자원환경지질, Vol. 37, No. 4, pp. 391-400.
- [2] 이사로, 김용성, 이재욱, 박재현, 우익, 2004, "선구조 밀도 분석 기법 개발 및 지하수 산출 특성에의 적용", 지질학회지, Vol. 40, No. 3, pp. 293-304.
- [3] Hardcastle, K. C., 1995, "Photolineament factor: a new computer-aided method for remotely sensing the degree to which bedrock is fractured", Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, Vol. 61, pp. 739-747.
- [4] Sabins, F., Jr., 1977, "Remote Sensing: Principles and interpretation", W. H. Freeman and Company, USA.

- [5] Vrouzi, F., 1985, "Research and development of geothermal resources in Greece: Recent status and future prospects", *Geothermics*, Vol. 14, No. 2/3, pp. 213-227.