

열수맥의 농임요소를 리용한 고기주응력상태결정방법

리 광 철

열수맥들은 해당 지역의 지체구조작용과 밀접한 호상관계속에서 형성된다. 각이한 시기에 일어난 지체구조작용들에 의하여 형성된 열수맥들을 구분하기 위하여 열수맥의 농임요소를 리용하여 그것을 형성시킨 구조응력상태를 해명하기 위한 여러가지 방법들[1]이 제기되었다. 그러나 이 방법들은 풀이의 믿음성이 낮고 계산량이 방대한 부족점이 있다.

론문에서는 열수맥의 농임요소에 기초하여 풀이의 근사값을 얻어 보다 정확한 풀이를 구할수 있는 방법론을 제기하고 그것을 선행연구자들의 고기주응력상태결정방법과 결합시켰다.

1. 열수맥의 농임요소에 의하여 고기주응력상태를 결정하기 위한 선행방법의 제한성

선행연구[1]에서는 열수맥형성의 물림새를 분석하고 다음과 같은 열수맥방위분포의 확률모형을 제기하였다.

단일분포인 경우

$$P_B(v|\sigma_0, E) = 1/A \cdot \exp(v^T \sigma v) \quad (1)$$

혼합분포인 경우

$$P_{MB}(v|\theta, w) = \sum_{n=1}^N w^n P_B(v|x^n) \quad (2)$$

여기서 σ 는 응력텐소르로서 $\sigma = \text{diag}(1, \Phi, 0)$, v 는 열수맥의 농임요소를 나타내는 단위벡토르, A 는 상수, E 는 주방위를 나타내는 직교행렬로서 $E = (e_1, e_2, e_3)$, Φ 는 응력비, x^n 은 n 번째 무리의 지수벡토르로서 $x^n = (e_1^n, e_1^n, e_1^n, \Phi^n)$, $\theta = (x^1, x^2, \dots, x^n)$, w 는 매 단일분포들의 무게결수벡토르이다.

선행방법의 원리는 주어진 열수맥의 농임요소분포를 혼합분포로 근사시키고 그것을 여러개의 단일분포들로 분할하는 방법(그림 1)으로 구조응력상태들을 분할한 다음 서로 다른 구조응력상태에서 형성된 열수맥들의 무리를 구분하는것이다.

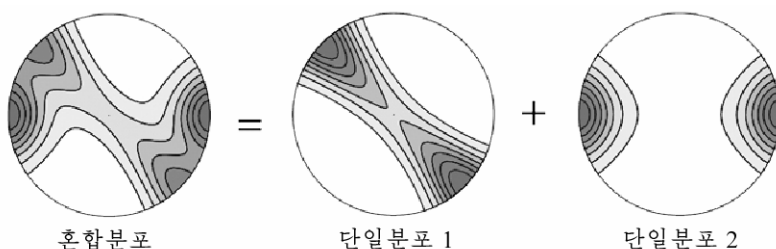


그림 1. 선행방법의 원리

이 방법은 다음과 같은 제한성을 가지고있다.

우선 계산량이 매우 많은것이다.

하나의 단일분포를 나타내는 밀도함수를 설정하기 위하여서는 4가지 지수들 즉 e_1 , e_2 , e_3 , Φ 를 결정하여야 하는데 만일 N 개의 단일분포들로 이루어진 혼합분포인 경우에는 $4N$ 개의 지수를 결정하여야 한다. 그런데 선행방법에서는 초기지수값설정을 우연수발생법을 리용하여 100번이상 진행하고 초기화된 매 지수에 관하여 풀이탐색을 진행하기때문에 계산량이 대단히 많다.

다음으로 정확한 지수값탐색가능성이 적은것이다.

선행방법에서 리용하는 최량화알고리즘인 Simplex법은 초기지수값의 약간의 변화에도 최종풀이가 크게 차이나는 부족점이 있다. 다시말하여 지수들의 초기값을 어떻게 설정하는가에 따라 계산반복회수와 계산결과의 수렴성이 완전히 달라진다. 이것은 정확한 지수값을 찾아낼 가능성이 매우 적으며 정확한 답을 찾자면 초기값설정회수를 늘여야 한다는것을 의미한다.

2. 구조응력상태결정의 수렴성과 계산속도를 높이기 위한 방도

선행방법의 제한성을 극복하기 위하여 열수맥의 농임요소자료에 기초하여 4개 지수 e_1 , e_2 , e_3 , Φ 의 초기값을 설정하였다. 그 원리는 구면공간에서 자료개수에 의하여 설정되는 일정한 원추각을 가진 작은 원을 매 자료점을 중심으로 하여 그런 다음 작은 원들이 4개이상 겹치는 구역을 하나의 무리로 구분하는 방법으로 초기무리를 가르고[1] 매 무리에 대응되는 벡토르 $x=(e_1, e_2, e_3, \Phi)$ 의 초기값들을 설정하는것이다.

농임요소자료로부터 x 의 초기값을 설정하는 방법은 다음과 같다.

① 무리를 구분하기 위한 작은 원의 원추각을 결정한다.(그림 2)

반경이 1인 단위구면에서 점들이 균등분포한다고 가정했을 때 1개의 자료점에 대응하는 작은 원의 원추각 ω 는 다음 식으로 계산한다.

$$\omega = \arccos(1 - 1/n)$$

② 구면공간에서 매 자료점을 중심으로 작은 원들을 그리고 이 작은 원들이 4개이상 겹치는 경우에 원안에 들어가는 모든 자료점들을 하나의 무리로 본다.(그림 3)

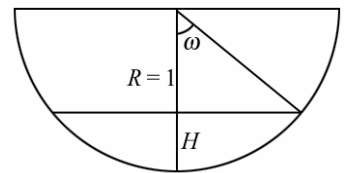


그림 2. 작은 원의 원추각 결정원리

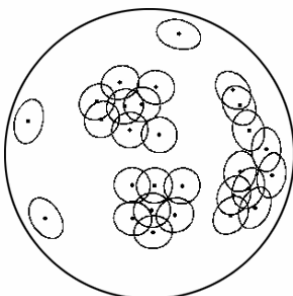


그림 3. 작은 원의 겹침관계에 의한 무리짓기

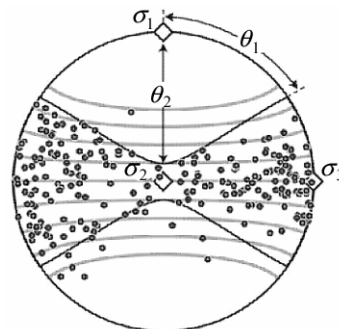


그림 4. θ_1 , θ_2 의 의미

③ 구분된 매 무리에 대하여 e_1, e_2, e_3, Φ 의 값을 결정한다.

매 무리에 대응하는 e_1, e_2, e_3 의 값은 그 무리에 속하는 열수맥방위텐소르의 고유벡토르와 같다. 그리고 Φ 는 다음의 식으로 계산한다.

$$\Phi = 1 - \frac{1 - \cos 2\theta_1}{1 - \cos 2\theta_2}$$

여기서 θ_1, θ_2 는 그림 4와 같이 결정한다.

3. 모형자료를 리용한 방법의 믿음성검증

우리는 제기한 방법의 믿음성을 검증하기 위하여 표 1, 2의 자료에 기초하여 2개 무리의 열수맥자료모임들을 생성하였다.(그림 5, 6)

표 1. 모형 1의 놓임요소자료

경사방위/(°)	경사각/(°)	경사방위/(°)	경사각/(°)	경사방위/(°)	경사각/(°)
98	31	243	26	62	40
90	35	256	30	299	33
75	30	251	38	308	30
56	31	269	39	243	35
47	31	276	33	116	37
112	32	294	23	91	29
129	33	305	36	91	36
121	44	288	39	281	30
107	41	277	44	271	34
93	43	272	36	261	29
99	19	269	19	258	35
230	39	230	27		
233	33	63	36		

표 2. 모형 2의 놓임요소자료

경사방위/(°)	경사각/(°)	경사방위/(°)	경사각/(°)	경사방위/(°)	경사각/(°)
157	38	39	44	316	40
145	45	27	43	328	41
137	37	208	39	324	33
127	46	217	44	301	50
118	38	222	36	289	51
103	30	235	27	286	40
92	23	263	23	299	26
98	41	265	28	67	31
90	50	246	36	253	39
81	47	241	45	276	40
76	40	264	50	287	36
65	44	268	47	125	40
58	40	273	39	124	34
45	40	254	40	147	34
49	33	286	37	225	42
40	31	304	35	234	50
33	37	316	34		

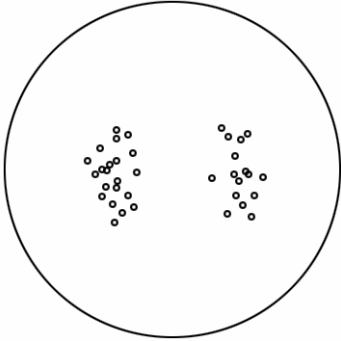


그림 5. 모형 1의 투영점분포
 $\mu = 0.5, \Phi = 0.5$

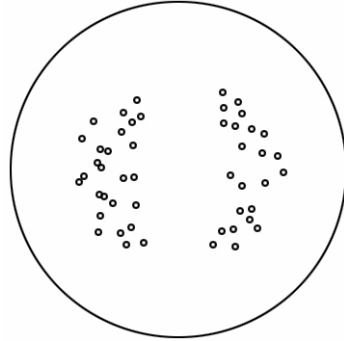


그림 6. 모형 2의 투영점분포
 $\mu = 0.3, \Phi = 0.7$

다음으로 모형 1의 자료를 x, y, z 축주위로 각각 30, 80, 10° 만큼 회전시키고 모형 2의 자료를 x, y, z 축주위로 각각 10, -10, -10° 만큼 회전시킨 다음 2개 자료를 결합시켰다. 이때 두 모형의 투영점분포가 사귀지 않도록 하였다.

다음으로 논문에서 제기한 방법과 선행방법을 리용하여 이러한 모형을 생성한 응력상태를 평가하였다.(그림 7)

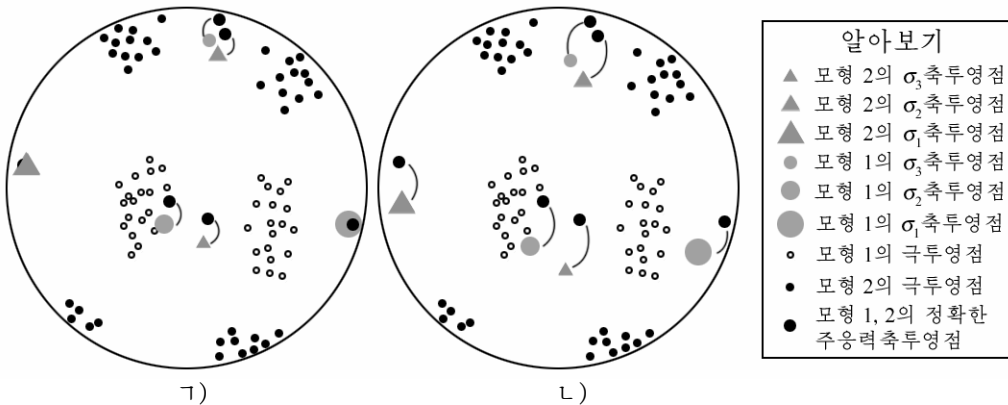


그림 7. 모형 1, 2의 응력상태평가결과
7) 제기한 방법, 8) 선행방법

그림 7에서 보는바와 같이 논문에서 제기한 방법과 선행한 방법은 모두 모형을 비교적 정확히 구분하였다. 그리고 응력비와 내부마찰계수도 설정한 값과 거의 일치한다. 그러나 선행방법과 논문에서 제기한 방법으로 결정한 주응력축들의 방향은 크게 차이난다.

또한 응력상태를 결정하는데 걸린 시간은 선행방법인 경우 3h정도이지만 논문에서 제기한 방법으로는 20min밖에 걸리지 않았다.

이로부터 논문에서 제기한 방법이 계산정확도와 계산속도의 측면에서 선행방법보다 우월하다는것을 알수 있다.

맺는 말

열수맥농임요소자료에 기초하여 주응력축방향의 초기값을 설정하면 고기주응력상태결정방법의 정확성과 계산속도를 높일수 있다.

참 고 문 헌

- [1] Atsushi Yamaji et al.; Journal of Structural Geology, 33, 1148, 2011.

주체106(2017)년 5월 5일 원고접수

Determination Method of the Paleo-Stress State using the Attitude of Veins

Ri Kwang Chol

Previous method, estimating the paleo-stress state with the attitude of veins, has some disadvantages such as the hardness to explore the correct answer and the large amount of calculation.

I suggested a method to enhance the correct of answer and the rate of calculation, preselecting the initial value of principle stress axis based on the attitude of veins.

Key words: attitude, stress, veins