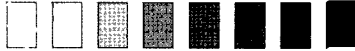


논 단



# 경남 산청일대 섬장암의 장석자원 활용타당성 연구

고 상 모 · 유 장 한 · 김 용 욱

한국지질자원연구원 광물자원연구본부

국내 하동-산청지역의 회장암 분포지 북동편에는 네 개의 섬장암체가 분포하고 있으며(그림 1), 대체로 유색광물인 각섬석 및 흑운모를 함유하나 특정구간은 유색광물이 매우 소량이며

장석 함유량이 높은 구간이 존재한다. 특히 장석 함유량이 높은 둔철산 섬장암체 중 산청군 신등면과 산청읍 일대 산청지적 26호, 36호, 46호, 56호, 57호 5개 광구지역의 약 13 km<sup>2</sup>

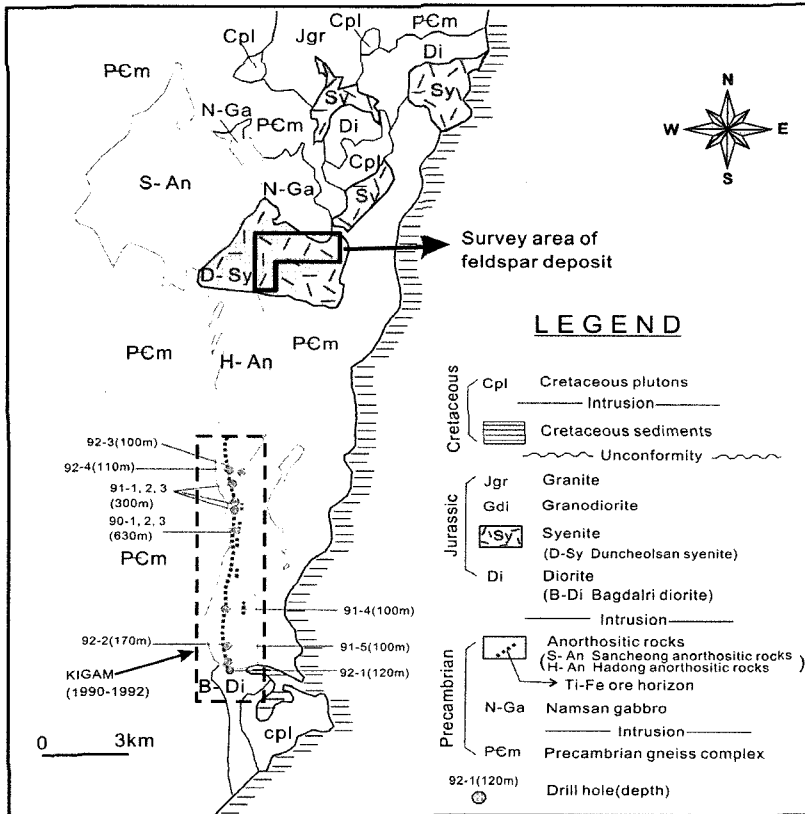


그림 1. 경남 하동-산청지역의 단순화 된 지질도 및 조사위치도.

에 대해 장석자원조사를 수행 하였다(그림 1). 미국 및 일본을 비롯한 여러나라에서는 네펠린 섬장암을 장석대용으로 활용하고 있다. 따라서 하동-산청지역의 섬장암체에 대한 장석자원으로서의 활용 타당성조사는 국내 자원을 효율적으로 개발하여 높은 자급율을 유지 시킬 수 있을 것으로 기대된다. 섬장암체를 대상한 장석자원으로서의 조사는 국내에서는 지금까지 수행된 적이 없으며, 국내 무용자원을 활용함으로써 국내자원의 활용화를 극대화시킬 수 있다는 점에서 매우 의의가 크다고 본다.

### 지 질 (Geology)

연구지역은 선캄브리아기 반상변정질-미그마타이트질 편마암, 주라기로 추측되는 반려암, 섬록암 및 섬장암으로 구성된다(김용준 외, 1991; 그림 2).

반상변정질-미그마타이트질 편마암은 산청도폭 전체적으로는 동남부에서 북동방향으로 폭 넓게 분포하지만, 조사지역 내에서는 26호 광구 북단에서 소규모로 분포한다. 이 편마암은 동측으로는 섬장암과, 그리고 서측으로는 반려암과 각각 접하고 있으며 지질구조상 상기 두 암층의 상위에 놓인다. 조사지역을 약간 벗어난 북측에서는 세립화강편마암의 주입과 섬장암의 관입을 받고 있다. 본 암은 주로 반상변정질 미그마타이트로 되어 있으나 일부 안구상편마암과 주입형으로 생각되는 편마암에는 호상구조와 티그마틱 습곡이 현저하다. 광물조성은 석영, 정장석, 미사장석, 사장석 및 흑운모로 구성되며 반상변정은 사장석이며 장경이 1cm, 단경이 0.5~0.7cm 내외의 구형을 이루는 것이 많다(김옥준 외, 1964).

반려암질암은 산청도폭 내에서 대표적인 분포지는 정수산 일대이다. 조사지역 26호 및 36호 광구 북단에서 썩기형의 형태로 분포하는데

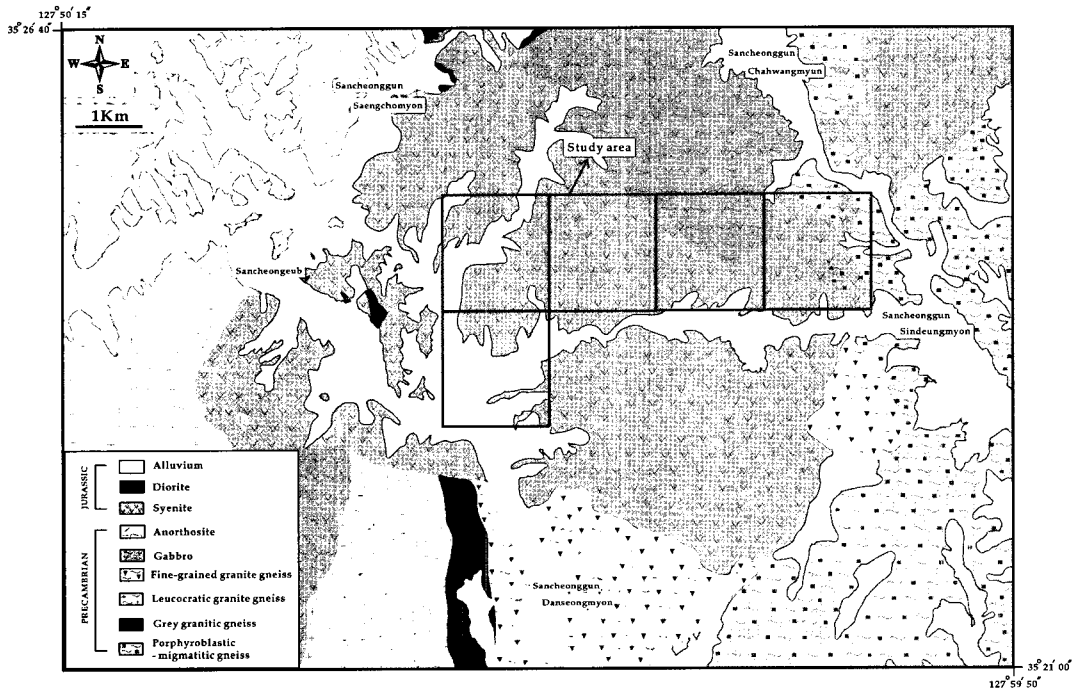


그림 2. 조사지역의 지질도 (1:50,000 산청지질도폭, 김옥준 외, 1964).

이것은 정수산 일대의 본암 일부가 남향하면서 본역으로 발달한 것이다. 이 암은 조사지역 내에서는 섬장암에 의해 관입되어 있으나 조사 외 지역에서는 세립 편상 화강암에 의해서도 관입 되어 있다. 입상조직을 나타내며 사장석과 단사회석, 보통 휘석 등으로 주로 구성되고 소량의 각섬석, 감람석, 사문석 및 녹니석을 함유한다(김옥준 외, 1964).

섬록암은 산청도폭 북동단에 위치한 황매산 일대에 주로 분포하나 조사지역 내에서는 26호 광구 동남부에서 섬장암 내에 소규모의 포획체로써 분포한다. 본암은 조사지역을 포함해서 산청도폭 전 구간에서 화강암, 섬장암 및 세립 편상화강암에 의하여 각각 관입 되어 있다. 사장석, 각섬석을 주성분광물로 하고 약간의 석영과 흑운모를 수반하며, 이들 광물들은 모두 타형이며 각섬석은 석영과 사장석의 많은 포유물을 갖고 있어 반상조직을 보이기도 한다(김옥준 외, 1964).

산청도폭에서 섬장암은 산청읍을 중심으로 주로 동남북 지역에서 광범위하게 분포한다. 전체적으로 북서측에서 회장암, 북동측은 반려암 질암 및 남측은 세립화강편마암을 각각 관입한 관입상을 나타낸다. 본 암의 암상은 세립 섬장암과 중조립 섬장암으로 대별되며 또한 석영을 함유하는 경우도 있어 석영 섬장암 등도 기재되고 있다(김옥준 외, 1964). 조사지역에서 섬장암 분포지 중 대체로 해발 500m를 기점으로 상부쪽은 중조립이 우세하고 하부는 세립질인 경우가 흔하다. 세립 섬장암과 중조립 섬장암은 모두 등립질이며 입자의 크기는 상당히 점적이다. 세립 섬장암으로부터 중조립 섬장암으로 점이적인 변화를 보이는 부분에서는 각섬석의 반정을 갖는 반상조직을 보이기도 한다. 일반적으로 각섬석 장경은 3~5mm이며 단경은 1.5~2.0mm 정도이다. 구성광물은 퍼사이트질 장석, 각섬석을 주성분으로 하며 부성분광물로 사장석 및 석영을 함유한다. 본 암중에는 부분적

으로 소량의 금속광물이 함유되기도 하며, 곳에 따라서는 장석맥이나 중성 암맥류 등이 이차적으로 관입한 곳이 도처에서 확인되기도 한다.

충적층 및 이회류(mudflow)는 주변 정수산 및 둔철산 등 해발고도 800여 미터이상으로 산세가 험한 관계로 충적층은 이들 사이에 소규모로 길게 발달되는 형태를 나타내고 있으며, 충적층퇴적과 비슷한 제4기를 전후로 하여 대규모 홍수 등에 의해 퇴적된 이회류층이 알카리 화강암이나 섬장암체 상부에서 간헐적으로 확인되기도 한다. 이회류층은 점토, 실트 및 모래크기의 입자들이 미고결 상태로 혼화되어 적갈색을 띠는 기질부를 형성하고, 알카리 화강암 및 섬장암류 등의 pebble 및 boulder등의 크기를 가지는 역들을 포함하며, 역들의 원마도는 대체적으로 불량한 편이다. 기질부는 X-선 회절분석에 의해 광물 감정한 결과, 정장석류 및 석영류를 주로하고 소량의 사장석류 등으로 구성되어 이들 광물들이 주로 이 지역의 기반암류에서 유래되었음을 알 수 있다.

### 섬장암체의 화학조성

#### (Chemical compositions of syenite body)

둔철산 섬장암체의 북동편 5개 광구지역에 대한 화학조성 특히  $K_2O+Na_2O$  함량비를 파악하기 위하여 조사지역의 서쪽 끝인 산청읍 병정리 및 정곡리에서 동쪽 끝의 울현리까지 400미터의 간격으로 13개 line을 남북으로 그어 각 line에 대해 100미터 간격으로 시료를 채취하였다(그림 3). 채취된 시료에 대한 주 구성원소 분석에 의하면, 1번에서 5번 line까지 서편 지역에 분포하는 암석들의  $SiO_2$ 함량은 대략 72~75 wt.%정도로써 중성 심성암인 섬장암계열의 암석들에 비해서 훨씬 높은  $SiO_2$ 함량을 나타내어 산성 심성암류인 알카리 화강암의 범주에 해당된다. 동쪽으로 가면서 점진적으로  $SiO_2$ 의

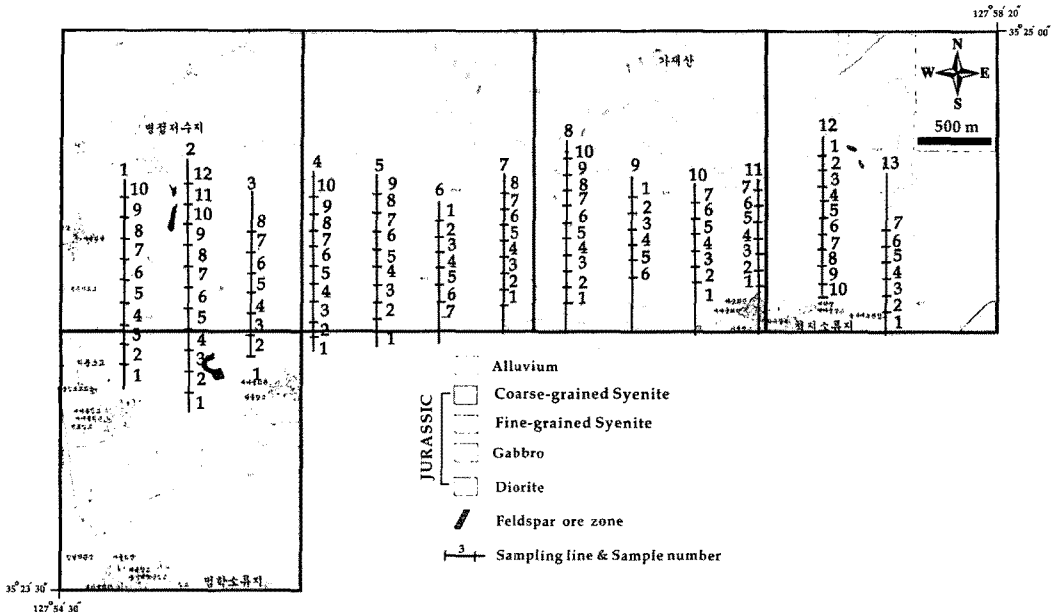


그림 3. 조사지역의 지질도, 시료채취선 및 시료번호

함량이 감소하는 경향을 나타내면서 11 line에서 13 line의 암석들은 대략 SiO<sub>2</sub> 62-64 wt.%로서 석영 섬장암의 화학조성을 나타낸다(그림 4) (Hatch et al., 1984). 서편 지역에서 동편으로 가면서 SiO<sub>2</sub>함량은 현저히 감소하는 반면, 그 밖의 모든 주 구성원소(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaO, MgO, K<sub>2</sub>O, Na<sub>2</sub>O, TiO<sub>2</sub>, MnO, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 및 작열감량)의 함량은 점진적으로 증가되면서 중성암류가 가지는 화학조성에 가까워짐을 볼 수 있다(그림 4).

### 장석광상 (Feldspar deposits)

조사지역인 둔철산 섬장암체의 지표조사에 의하면 조직, 암상 및 산출상태가 섬장암 및 알카리 화강암류로 구별된다. 이 암체 중 유색광물류를 거의 포함하지 않는 양호한 품질의 2개 장석광체에 대한 개략적인 규모를 확인하였으

며, 섬장암체 및 알카리 화강암체 중에서 유색광물류의 함량이 비교적 적은 부분에 대한 등간격 복합시료를 채취하고(그림 3), 이들 시료 내에 포함되는 유색광물류를 자력선별기로 제거하여 대규모 알카리 장석광상으로서의 활용 가능성 여부를 추정하였다.

연구지역에서 확인되는 장석광상에 대한 기재는 야외에서 육안으로 쉽게 구분할 수 있는 조직, 암상 및 산출특성 등에 의해 우백질 조립 장석 광체와 우백질 세립장석 광체로 구분된다.

### 우백질 조립장석광체

산청지적 56호 광구의 중앙부에 위치한 산청읍 병정리 가촌마을의 남쪽으로 연결되는 작은 골짜기에서 폭 4-5미터 이상, 연장 100여 미터 규모로 확인된다. 광체는 담홍 내지는 담황색을 띠고 유색광물의 함량이 적으며 심성암체의 입상조직을 나타내는 괴상광체이다. 야외조사에서

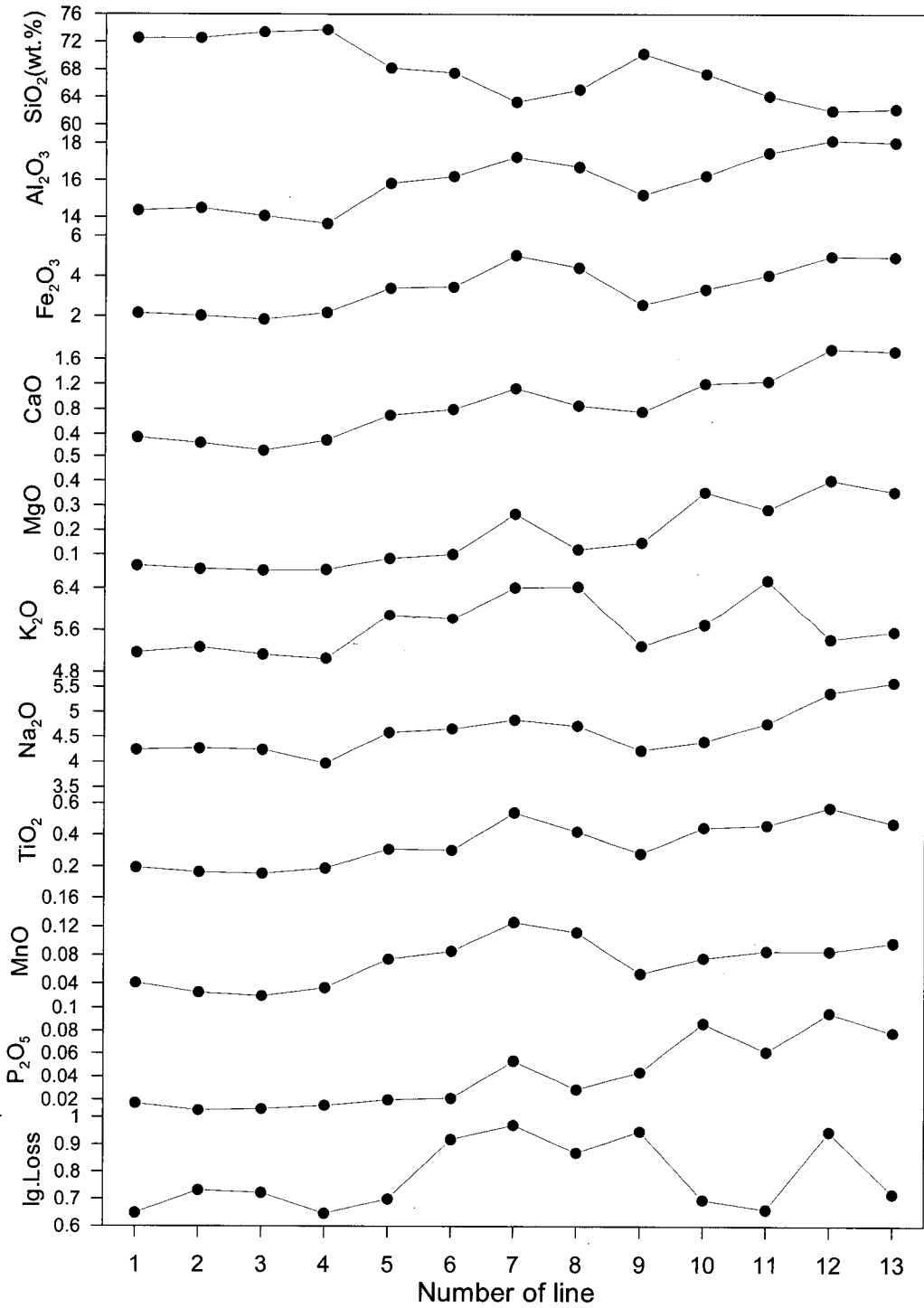


그림 4. 시료별 화학조성비(1번부터 13번 라인방향은 서에서 동편으로 이동방향).

표 1. 각 시료의 주원소 화학조성

시료 번호	1-1	1-2	1-3	1-4	1-5	1-6	1-7	1-8	1-9	1-10
SiO <sub>2</sub>	74.24	69.97	62.37	74.26	75.03	74.72	72.36	73.66	76.18	72.67
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13.55	15.67	16.42	14.05	13.50	13.65	14.73	14.80	13.16	14.10
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.80	2.40	6.99	1.49	1.40	1.25	1.96	0.89	0.95	2.33
CaO	0.30	0.28	1.04	0.38	0.30	0.41	0.20	0.22	0.19	0.17
MgO	0.04	0.03	0.25	0.05	0.04	0.06	0.02	0.03	0.02	0.01
K <sub>2</sub> O	5.07	5.97	5.76	5.01	4.51	5.24	5.08	4.72	4.83	5.56
Na <sub>2</sub> O	4.10	4.45	5.36	4.10	4.32	3.47	4.28	4.58	3.98	3.83
TiO <sub>2</sub>	0.16	0.19	0.63	0.13	0.13	0.13	0.17	0.14	0.09	0.19
MnO	0.04	0.05	0.15	0.03	0.04	0.02	0.03	0.01	0.01	0.03
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.01	0.01	0.07	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02
I. loss	0.47	0.74	0.65	0.54	0.43	0.73	0.97	0.81	0.43	0.72
Total	99.78	99.76	99.69	100.05	99.71	99.69	99.81	99.87	99.85	99.63
시료 번호	2-1	2-2	2-3	2-4	2-5	2-6	2-7	2-8	2-9	2-10
SiO <sub>2</sub>	73.54	72.95	69.42	73.99	70.68	71.93	72.69	74.82	72.68	68.78
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13.80	15.27	16.00	14.16	15.26	15.02	14.29	13.38	14.50	15.08
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.19	0.66	2.70	1.19	2.62	1.84	2.05	1.54	1.86	4.35
CaO	0.16	0.08	0.28	0.17	0.21	0.21	0.16	0.13	0.28	0.75
MgO	<0.01	<0.01	0.01	0.03	<0.01	<0.01	0.01	0.02	0.04	0.09
K <sub>2</sub> O	4.75	5.77	5.73	4.76	5.39	5.51	5.35	5.00	5.21	5.70
Na <sub>2</sub> O	4.69	4.03	4.54	4.50	4.57	4.33	4.28	4.07	4.26	4.30
TiO <sub>2</sub>	0.16	0.08	0.19	0.12	0.25	0.13	0.17	0.10	0.16	0.34
MnO	0.01	0.01	0.03	0.03	0.03	0.01	0.02	0.02	0.03	0.10
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.01	<0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02
I. loss	0.47	1.01	0.91	0.82	0.85	0.86	0.78	0.70	0.74	0.50
Total	99.78	99.86	99.82	99.78	99.87	99.85	99.81	99.79	99.77	100.01
시료 번호	2-11	2-12	3-1	3-2	3-3	3-4	3-5	3-6	3-7	3-8
SiO <sub>2</sub>	75.30	73.93	73.50	72.94	73.77	74.58	73.03	73.03	71.96	74.58
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13.42	13.69	13.98	14.57	13.70	13.87	14.28	14.34	14.08	13.74
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.27	1.93	1.63	1.57	1.89	1.28	? 2.00	2.08	2.90	1.47
CaO	0.42	0.30	0.37	0.07	0.07	0.07	? 0.08	0.06	0.17	0.17
MgO	0.07	0.06	0.08	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.01	0.01	0.04
K <sub>2</sub> O	4.97	5.14	5.53	5.27	5.12	4.82	5.02	5.29	5.16	4.88
Na <sub>2</sub> O	3.76	3.93	3.30	4.63	4.09	4.41	4.50	4.37	4.62	4.04
TiO <sub>2</sub>	0.13	0.17	0.17	0.12	0.17	0.13	0.16	0.13	0.24	0.14
MnO	0.02	0.02	0.02	0.01	0.02	0.01	0.03	0.02	0.05	0.02
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.01	0.01
I. loss	0.47	0.67	1.10	0.66	0.74	0.66	0.72	0.70	0.50	0.70
Total	99.84	99.85	99.70	99.85	99.58	99.83	97.74	100.03	99.70	99.79

경남 산청일대 석장암의 장석자원 활용타당성 연구

표 1 (계속)

시료 번호	4-1	4-2	4-3	4-4	4-5	4-6	4-7	4-8	4-9	4-10
SiO <sub>2</sub>	70.60	70.61	75.68	68.60	75.80	75.94	74.95	74.32	75.04	76.09
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12.44	14.74	13.29	15.44	12.80	12.76	13.68	14.48	13.50	13.36
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.54	3.08	0.99	3.79	1.86	1.62	1.13	0.59	1.37	0.63
CaO	0.38	0.67	0.17	0.65	0.26	0.11	0.07	0.14	0.36	0.23
MgO	0.05	0.08	0.01	0.07	0.01	<0.01	<0.01	0.01	0.04	0.03
K <sub>2</sub> O	4.77	5.36	5.27	5.89	4.58	4.54	4.99	5.23	5.03	4.90
Na <sub>2</sub> O	3.73	4.34	3.17	4.11	3.90	4.44	4.41	4.20	3.85	3.62
TiO <sub>2</sub>	0.54	0.27	0.09	0.30	0.12	0.11	0.10	0.11	0.14	0.13
MnO	0.11	0.07	0.01	0.08	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.02	0.03	0.01	0.02	0.01	<0.01	<0.01	0.01	0.01	0.01
I. loss	0.39	0.63	1.12	1.04	0.53	0.32	0.45	0.78	0.50	0.71
Total	99.57	99.88	99.81	99.99	99.88	99.85	99.79	99.88	99.86	99.72
시료 번호	5-1	5-2	5-3	5-4	5-5	5-6	5-7	5-8	5-9	6-1
SiO <sub>2</sub>	63.29	64.30	64.65	64.24	64.25	68.90	73.81	75.30	75.28	68.08
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17.13	17.58	17.51	17.11	16.82	15.83	13.94	13.46	13.06	16.34
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.44	3.99	3.86	4.78	4.99	2.96	1.67	1.15	1.64	3.11
CaO	0.85	0.91	0.85	1.01	1.03	0.73	0.35	0.29	0.29	0.59
MgO	0.14	0.12	0.07	0.11	0.08	0.07	0.06	0.04	0.06	0.06
K <sub>2</sub> O	6.49	6.51	6.48	6.47	6.50	5.76	5.00	4.98	4.84	5.86
Na <sub>2</sub> O	4.90	5.17	5.22	5.07	5.03	4.60	3.99	3.59	3.70	4.91
TiO <sub>2</sub>	0.42	0.34	0.46	0.42	0.45	0.29	0.14	0.13	0.14	0.30
MnO	0.17	0.09	0.08	0.10	0.11	0.06	0.02	0.02	0.02	0.07
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.02	0.03	0.02	0.03	0.03	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01
I. loss	0.95	0.76	0.62	0.50	0.42	0.62	0.82	0.91	0.70	0.71
Total	99.80	99.80	99.82	99.84	99.71	99.84	99.81	99.88	99.74	100.04
시료 번호	6-2	6-3	6-4	6-5	6-6	6-7	7-1	7-2	7-3	7-4
SiO <sub>2</sub>	67.57	70.87	66.38	67.56	63.84	68.19	62.56	62.72	62.68	63.70
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.72	14.99	16.53	16.39	17.53	15.94	17.90	17.69	17.47	17.29
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.11	2.49	3.96	3.07	4.38	3.00	4.91	4.92	5.05	4.90
CaO	0.74	0.57	0.89	0.78	1.44	0.56	0.68	1.38	1.36	1.14
MgO	0.05	0.07	0.06	0.09	0.30	0.07	0.37	0.38	0.30	0.24
K <sub>2</sub> O	5.76	5.19	5.98	5.76	5.78	6.43	5.95	5.95	6.39	6.49
Na <sub>2</sub> O	4.72	4.25	4.62	4.83	5.15	4.14	4.63	5.01	4.91	4.87
TiO <sub>2</sub>	0.34	0.23	0.34	0.24	0.47	0.21	0.67	0.60	0.57	0.52
MnO	0.10	0.07	0.10	0.08	0.11	0.07	0.11	0.13	0.13	0.12
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.01	0.02	0.02	0.01	0.07	0.01	0.08	0.08	0.06	0.05
I. loss	0.92	1.00	0.94	0.92	0.71	1.23	2.15	0.96	0.80	0.81
Total	100.04	99.75	99.82	99.73	99.78	99.85	100.01	99.82	99.72	100.13

표 1 (계속)

시료 번호	7-5	7-6	7-7	7-8	8-1	8-2	8-3	8-4	8-5	8-6
SiO <sub>2</sub>	63.01	63.47	63.88	64.38	74.93	66.27	62.83	63.34	62.88	65.37
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17.27	17.04	16.91	16.47	13.52	15.91	17.38	17.22	16.96	16.99
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.03	5.20	4.89	5.30	1.27	4.39	5.05	4.76	5.46	3.94
CaO	1.22	1.16	0.92	1.14	0.28	1.00	1.11	0.98	1.08	0.67
MgO	0.24	0.21	0.19	0.19	0.02	0.17	0.25	0.19	0.24	0.07
K <sub>2</sub> O	6.65	6.60	6.65	6.58	5.02	6.27	6.70	6.68	6.79	6.65
Na <sub>2</sub> O	4.81	4.89	4.85	4.76	3.97	4.45	5.07	4.80	4.71	4.36
TiO <sub>2</sub>	0.52	0.46	0.52	0.46	0.10	0.44	0.51	0.53	0.50	0.39
MnO	0.13	0.14	0.12	0.13	0.02	0.13	0.14	0.12	0.14	0.08
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.05	0.03	0.04	0.04	0.02	0.04	0.06	0.05	0.05	0.02
I, loss	0.84	0.75	0.82	0.64	0.69	0.71	0.65	0.95	0.83	1.19
Total	99.77	99.95	99.79	100.09	99.84	99.78	99.75	99.62	99.64	99.73
시료 번호	8-7	8-8	8-9	8-10	9-1	9-2	9-3	9-4	9-5	10-1
SiO <sub>2</sub>	62.92	63.92	65.03	63.46	68.42	67.73	70.82	73.86	70.61	78.16
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17.11	17.19	17.54	17.31	16.09	16.20	15.01	13.84	14.91	11.91
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.35	4.97	3.75	5.15	2.64	3.24	2.59	1.62	2.73	0.90
CaO	0.97	0.89	0.65	0.92	1.00	1.06	0.79	0.41	0.53	0.32
MgO	0.06	0.07	0.04	0.09	0.24	0.23	0.15	0.04	0.08	0.01
K <sub>2</sub> O	6.83	6.48	6.09	6.73	5.70	5.23	4.98	4.94	5.63	4.35
Na <sub>2</sub> O	4.77	4.93	5.27	4.88	3.99	4.67	4.28	3.99	4.22	3.48
TiO <sub>2</sub>	0.48	0.50	0.28	0.48	0.34	0.38	0.29	0.16	0.24	0.08
MnO	0.13	0.11	0.12	0.13	0.05	0.08	0.06	0.03	0.05	0.02
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.02	0.01	0.01	0.01	0.09	0.05	0.05	0.01	0.02	<0.01
I, loss	1.05	0.78	0.98	0.87	1.24	0.89	0.87	0.90	0.84	0.60
Total	99.69	99.85	99.76	100.03	99.80	99.76	99.89	99.80	99.86	99.83
시료 번호	10-2	10-3	10-4	10-5	10-6	10-7	11-1	11-2	11-3	11-4
SiO <sub>2</sub>	62.97	67.06	69.88	67.83	62.48	63.03	63.42	63.04	61.02	63.93
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17.79	16.39	15.38	16.44	18.01	17.76	17.79	18.11	18.19	17.48
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.08	3.54	2.68	2.79	4.58	4.72	4.12	4.14	5.67	4.01
CaO	1.35	1.31	1.04	0.97	1.53	1.88	1.40	1.44	1.69	1.19
MgO	0.44	0.41	0.25	0.27	0.51	0.58	0.32	0.29	0.45	0.31
K <sub>2</sub> O	6.92	5.23	5.32	6.27	6.08	5.73	6.37	6.36	6.30	6.92
Na <sub>2</sub> O	4.71	4.57	4.19	4.43	4.83	4.63	5.11	5.14	4.72	4.72
TiO <sub>2</sub>	0.55	0.46	0.33	0.38	0.63	0.69	0.44	0.51	0.64	0.52
MnO	0.10	0.08	0.06	0.06	0.11	0.10	0.08	0.10	0.11	0.09
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.79	0.09	0.06	0.05	0.11	0.12	0.08	0.08	0.07	0.08
I, loss	0.69	0.67	0.66	0.59	0.94	0.73	0.57	0.60	0.86	0.55
Total	99.69	99.81	99.85	100.08	99.81	99.97	99.70	99.81	99.72	99.80



표 1 (계속)

시료 번호	11-5	11-6	11-7	12-1	12-2	12-3	12-4	12-5	12-6	12-7
SiO <sub>2</sub>	67.62	63.82	66.15	64.00	59.92	62.01	63.16	62.20	61.35	64.31
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16.35	17.57	16.91	18.06	18.28	17.96	18.37	17.50	17.98	18.53
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.96	3.99	3.36	3.66	5.94	5.22	3.83	5.59	5.61	2.97
CaO	0.90	0.94	1.10	1.23	2.52	1.81	1.66	1.77	1.82	1.06
MgO	0.13	0.25	0.23	0.27	0.67	0.41	0.29	0.44	0.43	0.20
K <sub>2</sub> O	6.49	7.13	6.22	5.87	5.51	5.13	5.59	5.51	5.66	5.49
Na <sub>2</sub> O	4.43	4.59	4.65	5.27	4.93	5.35	5.33	5.01	4.99	6.00
TiO <sub>2</sub>	0.27	0.44	0.40	0.44	0.72	0.66	0.52	0.69	0.76	0.36
MnO	0.07	0.07	0.08	0.06	0.11	0.08	0.06	0.08	0.10	0.05
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.03	0.05	0.04	0.04	0.19	0.08	0.08	0.07	0.06	0.06
I. loss	0.56	0.89	0.60	0.94	0.89	1.08	0.88	1.10	1.11	0.75
Total	99.81	99.74	99.74	99.84	99.68	99.79	99.77	99.96	99.87	99.78
시료 번호	12-8	12-9	13-1	13-2	13-3	13-4	13-5	13-6	13-7	
SiO <sub>2</sub>	59.00	62.25	63.24	62.86	60.76	60.96	61.89	62.91	63.08	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18.66	17.91	18.19	18.85	18.30	17.73	17.39	17.72	18.05	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7.32	4.61	4.00	3.90	5.77	6.06	5.70	4.88	4.25	
CaO	2.55	1.37	1.47	1.74	1.79	2.15	1.75	1.57	1.56	
MgO	0.59	0.32	0.28	0.27	0.36	0.52	0.39	0.35	0.31	
K <sub>2</sub> O	3.97	6.06	5.75	5.30	5.44	5.39	5.58	5.73	5.74	
Na <sub>2</sub> O	6.18	5.38	5.66	5.99	5.85	5.26	5.59	5.23	5.52	
TiO <sub>2</sub>	0.57	0.41	0.38	0.34	0.54	0.57	0.52	0.50	0.45	
MnO	0.15	0.08	0.08	0.07	0.12	0.13	0.10	0.10	0.08	
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.18	0.10	0.09	0.08	0.08	0.08	0.09	0.06	0.07	
I. loss	0.60	1.17	0.65	0.62	0.68	0.90	0.73	0.78	0.67	
Total	99.77	99.66	99.79	100.02	99.69	99.75	99.73	99.83	99.78	

인접한 섬장암과의 명확한 관계는 확인되지 않으나, 섬장암을 관입한 후기 암체로 추정된다(그림 3).

현미경 관찰에 의하면 우백질 조립장석광체의 주 구성광물은 반자형내지는 타형의 퍼다이트 장식류를 주로 하고 칼스바드 쌍정에 의한 소광을 흔하게 나타내며, 약간의 석영류를 포함하며 유색광물은 거의 확인되지 않는다(그림

5-A, B). B급 광체에서는 장식 및 석영류외에 극심하게 변질된 각섬석류로 추정되는 진한 흑갈색의 유색광물이 소량 포함되기도 한다.

대부분의 섬장암류의 특성에서와 같이 석영류가 다소 적게 포함되며, 석영의 형태 역시 후기 변질등에 의해 용식되어 완곡한 형상을 주로 나타내며, 통상적으로 심성암체가 지하 심부의 안정된 상태에서 관입하여 생성되는 등립상

조직에 의한 자형의 석영은 거의 확인되지 않는다. 주로 장식 등의 간극을 채우는 형태이거나 관입후에 작용한 열변성등에 의해 석영결정의 외곽이 완만한 용식구조를 흔하게 나타낸다.

화학조성에 의하면  $\text{SiO}_2$  함량은 65.9-76.4 wt.%로서 다소 높아 산성 심성암의 범주에 속하며,  $\text{K}_2\text{O}$  및  $\text{Na}_2\text{O}$ 는 4.9-7.4 wt.%, 3.1-5.1 wt.%로서 높은 편으로 알카리 화강암계열로 분류되며, 분화 말기에 장식류 및 소량의 석영 등이 농집된 후 알카리 화강암류를 관입한 것으로 추정된다.

Skaergaard 복합체(Carmichael, 1974)와 Southern California 저반(Huang, 1962) 등 유사한 심성암체의 분화과정과 비교하기 위한  $\text{FeO}(\text{total})-\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}-\text{MgO}$  및  $\text{K}_2\text{O}-\text{Na}_2\text{O}-\text{CaO}$  성분의 삼각그림표에 의하면 대부분의 알카리 화강암류 및 섬장암체는 마그마 분화과정 후기에 생성된 암체들이며, 우백질 조립장석광체 및 세립 장석광체는 분화과정의 거의 끝에 생성된 산물임이 확인된다(그림 6).

### 우백질 세립장석광체

우백질의 세립질 장석광체는 산청지적 57호 광구 북부에 소재한 산청읍 정곡리의 외정마을과 내정마을 사이에 위치한다. 광체는 두 마을 사이에서 송전선 공사를 위해 임시도로 개설시에 절개한 2-3부 능선에서 폭 20미터 이상, 연장 100여 미터 이상의 규모로 북북동 방향의 능선을 따라 확인되며, 두 마을사이의 계곡에서는 확인되지 않다가 내정마을에서 북서로 100여미터 떨어진 소로에서 맥상 노두로 확인되기도 한다. 광체는 육안으로 담홍내지는 담황색을 띠는 다소 미정질에 가깝거나 반심성암의 조직에 가까운 비교적 세립질에 가까운 조직을 나타낸다(그림 5-J, K). 본 세립질 장석광체는 지형적으로는 유색광물을 많이 포함하는 섬장

암류의 하부에 위치하나 노두상으로 명확한 상하관계는 확인되지 못 하였으나, 내정마을 북서 소로에서 맥상으로 확인되는 등 섬장암류를 후기에 관입한 맥상광체로 추정된다.

현미경 관찰에 의하면 우백질 세립 장석광체 역시, 주 구성광물은 반자형내지는 타형의 피사이트 장석류를 주로 하며, 소량으로 포함되는 석영 역시 등립상 조직이 아닌 다소 용식된 세립의 석영립들로 산포되어 나타나며, 특별한 유색광물은 확인되지 않으나, 미립상의 불투명 유색광물이 소규모로 산포되어 나타나기도 한다. B급 광체에서는 장식 및 석영류 외에 극심하게 변질된 각섬석류로 추정되는 진한 흑갈색의 유색광물과 함께(그림 5-D) 정체 불명의 불투명 광물류가 소량 확인되기도 한다.

화학조성에 의하면  $\text{SiO}_2$  함량은 72.1-76.8 wt.%로서 다소 높아 산성 심성암의 범주에 속하며,  $\text{K}_2\text{O}$  및  $\text{Na}_2\text{O}$ 는 4.9-6.0 wt.%, 3.2-4.6 wt.%로서 알카리 화강암계열로 분류될 수도 있겠다. 마그마의 분화과정과 비교하기 위한  $\text{FeO}(\text{total})-\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}-\text{MgO}$  및  $\text{K}_2\text{O}-\text{Na}_2\text{O}-\text{CaO}$  성분 함량의 삼각도에 의하면 우백질 세립광체 역시 분화과정 최후기에 속하는 산물로 확인된다(그림 6).

### 선광시험결과

전기한 우백질 장석광체는 유색광물류가 거의 포함되지 않으며 분석결과 원광상태로 국내 장석광상의 품위 기준을 상회하여 정제 등의 후 처리가 필요하지 않으나, 알카리 화강암 및 섬장암체는 육안상으로도 유색광물류가 다소 확인되어 이들의 효과적인 제거에 의해 자원이 가치가 요구된다. 정제를 위하여 각 line별 대표시료 13개를 150 메쉬 이하로 분쇄하여, 이들에 포함된 각섬석, 운모 및 기타 함철 티탄포함 유색광물류를 자력선별기로 제거하여, 정제하지 않은 원광시료와 비교하였다.

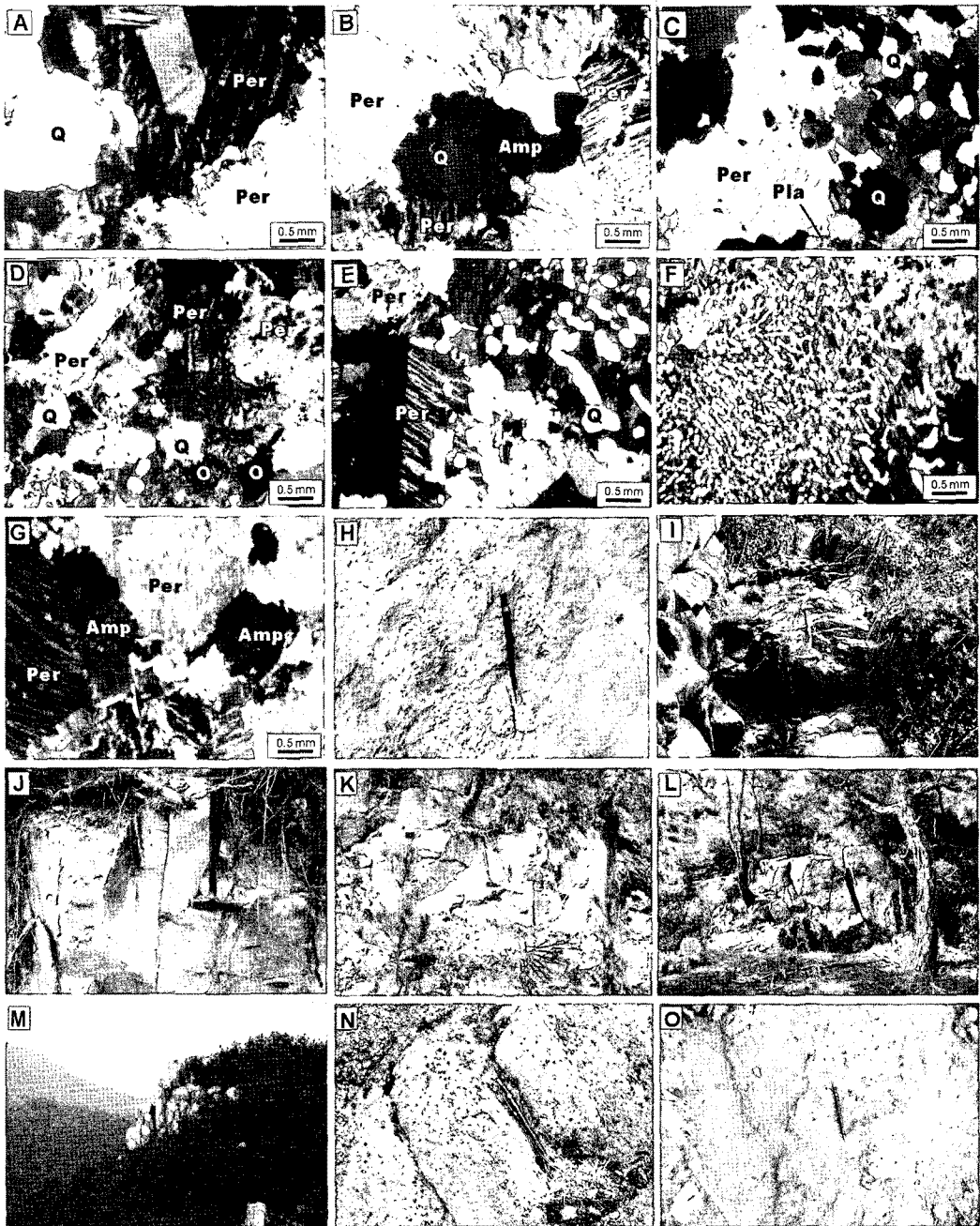


그림 5. A, B: 조립질 장석광체; C, D: 세립질 장석광체; E, F: 문상조직을 나타내는 세립질 장석광체; G: 섬장암의 현미경 사진, H, I: 조립질 섬장암체 노두; J, K: 세립질 섬장암체; L, M, N: 섬장암의 노두; O: 섬장암 포획암을 가지는 제4기 이회류.

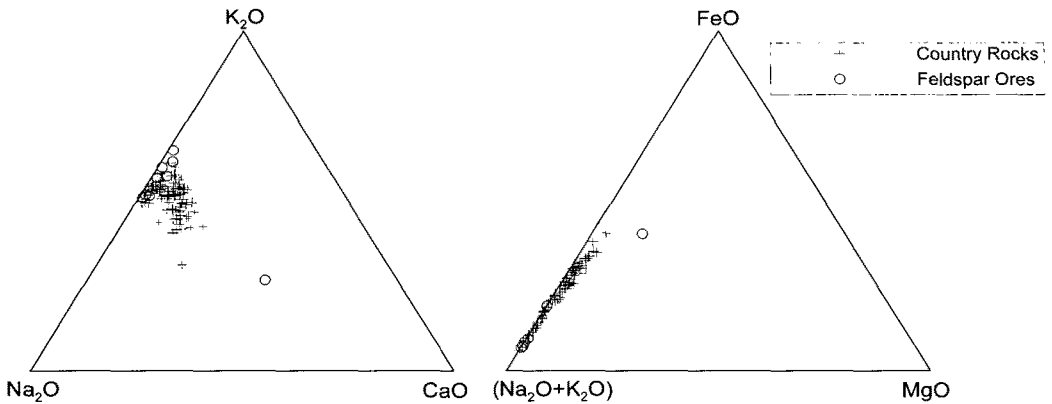


그림 6. K<sub>2</sub>O-Na<sub>2</sub>O-CaO and (K<sub>2</sub>O+Na<sub>2</sub>O)-FeO-MgO 삼각도.

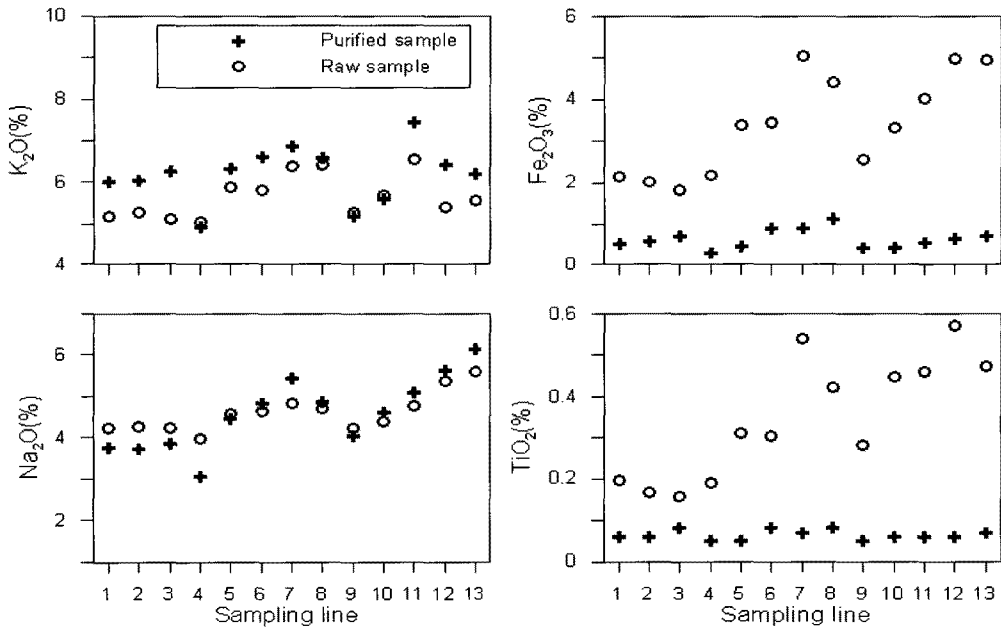


그림 7. 원시료와 자력선별기로 정제한 시료의 화학조성비교.

정제시료에 대한 화학성분 분석결과, SiO<sub>2</sub> 및 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>는 큰 변화가 없으나, 가장 중요한 K<sub>2</sub>O 및 Na<sub>2</sub>O 등의 주요성분은 5.1-6.9 wt.% , 3.1-6.1 wt.%로 다소 향상되어 나타난다. 이와 반대로, 유색광물의 주요성분인 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(total) 및 TiO<sub>2</sub>는 0.3-1.15 wt.% 및 0.05-0.08 wt.% 정

도로서 원광석에 비하여 1/3수준으로 감소되었으며, 그밖의 주요 유색광물 구성성분인 MgO, MnO 및 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 등도 대체적으로 1/3이하로 감소되어 양질의 장식광상으로의 이용 가능성이 높아졌음을 확인할 수 있다(그림 7).

## 자원량 (Resources)

매장량 산출은 '한국공업규격 석회석 매장량 산출기준(KS E 2801)'을 탄력적으로 적용하였다. 매장량 산출시 적용한 매장량의 종류는 '추정 매장량'으로서 '석회석 광량계산 기준(KS E 2801)'에서는 추정매장량을 적용할 경우에는 노두분포선, 경도, 시추공 등의 거리, 간격, 심도 등이 세밀히 규정되어 있으나, 본 보고서에서는 이 규정을 따르지 않았음에도 추정 매장량으로 산출하게 된 것은 1/10,000 축척의 확대도면으로 야외 지질조사를 통해서 전반적인 지질특성과 대상암석내의 장식광체 부존 상태가 상세히 파악되었기 때문이다. 즉, 비교적 넓은 범위에 걸쳐서 균질성을 가지며 거대한 암체를 이루는 화강암 등의 심성화성암류들, 편마암 등의 변성암류가 분포된 지역에서는, 정밀조사를 통한 지질특성 파악과 분포된 암종에 대한 암석학적인 해석만으로도 채석대상암체의 부존상태를 상세하게 파악 할 수 있어 실제로는 '확정 매장량'의 적용도 가능하다고 본다. 이상의 기준을 탄력적으로 적용하면서 다음과 같이 추가로 기준을 몇 가지 더 설정하여 매장량을 산출하였다 (그림 8).

첫째, '석회석 광량계산 기준(KS E 2801)'에서 제시된 추정광량 및 예상광량(추정광량에서 하부로 60m되는 지점 부터의 광량)의 구획에 관한 기준은 본 보고서에서는 추정, 예상광량을 분리 산출하지 않고 일괄 추정광량으로 통일

한다.

둘째, 매장량 산출이 이루어진 구간은 비교적 유색광물을 적게 포함되고 장식입자가 크며 자력선별에 의해 장식광으로 활용이 가능할 만큼 품질이 향상된 구간을 대상으로 한다.

셋째, 최저개발수준(광산개설지점)은 조사지역 남쪽에서 동서방향으로 개설된 60번 지방도(정곡리에서 모례리 까지)의 해발고도를 기준으로 한다. 그러나 해발고도의 표고차가 심해 각 시료라인별로 해당되는 해발고도를 다음과 같이 적용키로 한다.

넷째, 채광 작업장은 지형 및 지질에 관계없이 모두 수평으로 처리한다.

다섯째, 각 단면간 간격은 400m로 하고 이 간격(두 단면간)내 광량은 두 단면적의 평균을 적용한 값으로 한다.

여섯째, 공제율(30% 적용)은 조사지역내의 관입암에 의한 변질부 발생, 작도 및 도면오차 등을 최대한 반영시킨 값이다.

일곱째, 최종 매장량은 상기 조건에 의해 구해진 값에서 비중 2.5, 공제율 30%, 안식각 70°의 채굴구배선과 여기에 가채율 30%를 적용한 값으로 한다. 매장량 산출에서 가채율이란 기술적, 경제적으로 채석이 가능한 양의 비율을 말하는데 가채율을 저하시키는 요소로 단층이나 파쇄대의 발달로 인해 채광을 하락, 최종 제품의 생산과 매각 과정 등에서 발생하는 취급 손실, 수급과정에서 발생하는 감손 등을 말한다. 가채율은 한국지질자원연구원과 광업진흥공사에서는 통상 확정매장량에 대해서는 90%, 추

표 2. 시료채취 라인별 최저개발지점으로 적용시킨 해발고도

라인번호	적용해발고도	라인번호	적용해발고도	라인번호	적용해발고도
1-1' line	120m	6-6' line	230m	11-11' line	380m
2-2' line	120m	7-7' line	270m	12-12' line	340m
3-3' line	130m	8-8' line	290m	13-13' line	
4-4' line	160m	9-9' line	340m		
5-5' line	200m	10-10' line	400m		

표 3. 자원량 산정표

단면선	단면적 (m <sup>2</sup> )	평균단면적 (1) (m <sup>2</sup> )	연장 (2) (m)	매장량(M/T) (1)x(2)x2.5	가채량 x30%	비 고
1-1'	120,000	120,000	225	67,500,000	47,250,000	○ 1-1' 단면 상한연장은 최대폭 300m, 최소폭 150m로 중간치인 225m로 함. ○ 13-13' 단면 하한연장은 최대폭 400m, 최소폭 50m로 중간치인 225m에서 분포면적이 원통형이므로 추가로 30% 가감함. ○ 정제를 위한 분말화 및 자력선별작업에 의한 유색광물류의 제거과정에 약 40%(wt)의 중량감소 적용하여 가감함.
2-2'	208,500	164,250	400	164,250,000	114,975,000	
3-3'	81,500	145,000	"	145,000,000	101,500,000	
4-4'	98,500	90,000	"	90,000,000	63,000,000	
5-5'	132,500	115,500	"	115,500,000	80,850,000	
6-6'	100,500	116,500	"	116,500,000	81,550,000	
7-7'	112,500	106,500	"	106,500,000	74,550,000	
8-8'	143,000	127,750	"	127,750,000	89,425,000	
9-9'	42,500	92,750	"	92,750,000	64,925,000	
10-10'	49,500	46,000	"	46,000,000	32,200,000	
11-11'	50,000	49,750	"	49,750,000	34,825,000	
12-12'	150,000	100,000	"	100,000,000	70,000,000	
13-13'	55,000	102,500	"	102,500,000	71,750,000	
		55,000	157	21,587,500	15,111,250	
		계		1,345,587,000	941,911,000	
		정제후 광량		565,146,600		

정제장량의 경우에는 70%의 가채율을 적용하고 있는데 본 보고서에서도 추정매장량에 따른 가채율을 70%로 적용키로 한다.

여덟째, 알카리 화강암 및 섬장암류는 다량의 유색광물과 석영 등을 함유하고 있어 자력선광 등 정제과정에서 40%의 감량이 예상된다.

이상의 모든 요인들을 고려하여 산출된 정제 장석광량은 565,000,000 M/T이다(표 3).

### 결 론 (Conclusions)

섬장암체내에서 확인된 장석광체는 우백질 조립상, 세립상 및 괴상(섬장암체 자체)으로 구분된다. 우백질 조립 장석광체가 폭 4-5m 이상, 연장 약 100m의 규모로 확인된다. 광체는 담홍 내지는 담황색을 띠고, 유색광물의 함량이

적으며 심성암체의 입상조직을 나타내는 맥상 광체이다. 퍼사이트 장석류로 주로 구성되고, 약간의 석영을 포함하며 유색광물은 거의 확인되지 않는다. SiO<sub>2</sub>함량이 65.9~76.4 wt.%, K<sub>2</sub>O 및 Na<sub>2</sub>O는 4.9~7.4 wt.% 및 3.1~5.1 wt.%를 나타낸다. 우백질 세립 장석광체는 폭 20m 이상, 연장 100 여m 이상 규모로 북북동방향으로 연결된다. 광체는 담홍 내지는 담황색을 띠며 세립질 조직을 나타낸다. 이 세립질 장석광체는 반자형 내지는 타형의 퍼사이트 장석류로 주로 구성되며, 세립의 석영립들로 산포되어 산출한다. B급 광체에서는 심하게 변질된 각섬석류로 추정되는 진한 흑갈색의 유색광물과 함께 불투명광물류가 소량 확인되기도 한다. SiO<sub>2</sub>함량은 72.1~76.8 wt.%, K<sub>2</sub>O 및 Na<sub>2</sub>O 함량은 4.9~6.0 wt.% 및 3.2~4.6 wt.%이다. 상위의 두광체 외 대규모로 분포하는 섬장암류 자체도

경남 산청일대 섬장암의 장식자원 활용타당성 연구

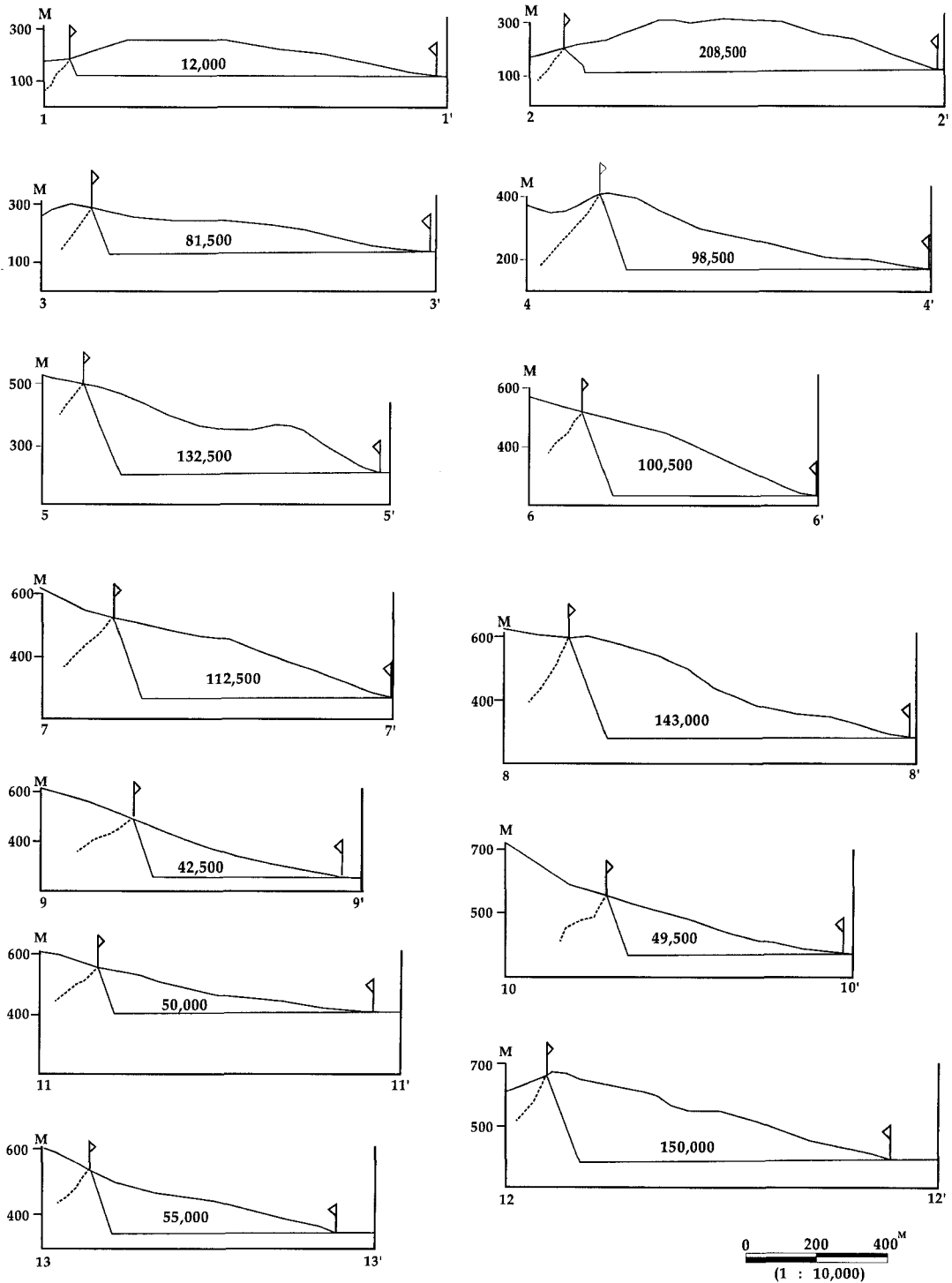


그림 8. 자원량 산정구간을 나타내는 13개 라인에 대한 단면도

비교적 높은 알카리 함량 ( $K_2O+Na_2O$ )을 나타내기 때문에, 이들의 활용 가능성에 대한 연구를 수행하였다. 조사지역 100 여  $Km^2$  이상의 분포면적을 가지는 섬장암체는 유색광물인 각섬석과 흑운모를 함유하기 때문에 자력선별기를 사용하여 1차 선별하였다. 섬장암체는 중립 내지는 조립질로서 반자형 내지는 타형의 퍼사이트 장석류가 주로 산출하며, 소량으로 사장석류가 수반되기도 한다. 소량의 석영이 수반되며, 각섬석류 및 운모류는 심한 변질작용에 의해 다소 지저분한 형상을 나타내고 고철질광물을 수반하기도 한다. 전암의  $SiO_2$ 가 61.0~76.1 wt.%,  $K_2O$  및  $Na_2O$  함량이 4.0~6.8 wt.% 및 3.3~6.2 wt.%이다. 1차 정제된 시료의 화학 조성은  $SiO_2$  65.4~75.2 wt.%,  $K_2O$  및  $Na_2O$ 는 5.1~6.9 wt.% 및 3.1~6.1 wt.% 로서 일반적으로  $SiO_2$ 는 감소되고 총 알카리는 증가 되었다. 특히  $Fe_2O_3$ (total) 및  $TiO_2$ 는 0.3~1.15 및 0.05~0.08 wt.% 정도로서 원광석에 비하여

1/3수준으로 감소하여 양질의 장석광상으로서의 이용가능성이 크다. 조사지역 장석자원의 확인된 지질학적 매장량은 565,000,000 M/T이다.

## 참고문헌

- 김옥준, 박희인, 김기태, 홍만섭, 박양대, 윤선 (1964) 1:50,000 한국지질도 산청도폭 및 설명서.
- 김용준, 이창신, 강상원 (1991) 영남육괴 지리산지구에 분포하는 중성-염기성 심성암류에 대한 암석지화학. 지구과학회지, 12, 100-122.
- Carmichael, I. S. (1974) Igneous Petrology. McGraw-Hill international series in the earth and planetary sciences, 46-77.
- Huang, W.T. (1962) Petrology, McGraw-Hill Book Company, 200-207.