

제 41 회 전국 과학 전람회
지 구 과 학

설악산의 지질

-지질분포와 암석기재의 특징-

춘천기계공업고등학교 교사 : 최 명 윤
강원 과학 고등 학교 교감 : 강 신 성

목차

1. 연구 동기 및 목적	3
2. 연구 범위 및 방법	1
2-1. 연구 범위	1
2-2. 연구 방법	1
3. 연구 내용 및 결과	2
3-1. 연구 지역의 지형 및 지질	2
3-2. 암석기재	7
3-3. 화성암류의 화학분석	13
3-4 설악산 화강암체 생성과 지구조 환경	29
4. 결론 및 제언	32
* 참고문헌	33
* 사진 설명	35

1. 연구 동기 및 목적

한반도는 대부분 선캄브리아대의 화강편마암과 중생대의 화강암으로 되어 있다. 화강암류는 고생대 말에서 중생대 트라이아스기에 관입한 화강암, 중생대 쥐라기의 대보화강암 및 백악기와 고 제 3기에 걸쳐 생성된 불국사화강암으로 구성되어 있다. 이중 불국사화강암은 경상분지에 산재하는데 설악산과 금강산에도 분포한다.

연구된 바에 의하면 설악산 국립공원일대는 대부분 화강암류이나 편마암과 퇴적암도 소량으로 분포한다(이 대성, 1982. 정창희 외, 1985. 민경원, 1993). 미시령과 창암계곡, 설악동 입구, 쌍천에는 매우 다양한 전석이 있는데, 이들은 응회암류의 조석을 이룬 것이 많다. 이러한 사실은 설악산의 지질이 기존에 연구 보고된 것보다 더 다양함을 암시한다.

한편 설악산은 중·고등학생들의 수학여행 코스인 만큼, 지도교사로서 자연의 근간(根幹)이 되는 지질학적인 고찰을 하는데 도움을 얻기 위해 이 연구를 시작하였다.

이 연구는 기존 연구결과를 근거로 지질분포를 확인하고 각 암석의 야외산출상태, 광학적 특징을 규명하고, 가장 넓게 분포하는 화성암류에 대해서는 주성분 원소와 미량성분의 화학분석을 통해 암석학적 특징을 밝히고자 한다.

이 연구 결과는 같은 시기에 생성된 경상분지의 불국사화강암과 비교 연구할 수 있는 자료와, 설악산을 자연학습장으로 안내하는데 필요한 기초자료로 활용할 수 있다.

2. 연구 범위 및 방법

2-1. 연구 범위

연구 지역은 설악산 국립공원 일대로, 행정 구획상, 서쪽에 인제군, 동쪽에 고성군 양양읍 속초시가 접하고 있다.

2-2. 연구 방법

2-2-1. 야외 조사

1993년 9월부터 1995년 7월까지 16회의 야외조사를 실시하였다. 국립지리원에

서 발간된 1/50,000 1/25,000 설악산과 속초지형도, 이 발표된 설악산 지역 지질도(정 창희 외, 1985)를 참고하여 노두관찰, 시료 채취(표1, 그림 2) 및 사진촬영을 하였다.

2-2-2. 박편 제작과 편광현미경 관찰

채취한 시료 중에서 신선한 시료 56개를 박편으로 제작하여 편광현미경 관찰을 하였다.

2-2-3. 연마편 제작과 모드 분석

각 화성암체의 대표적인 시료 16개를 모두 분석하였다. 모드 분석은 연마편을 제작하고 이 연마편을 불산(HF)에 녹인 후, BaCl₂와 sodium cobaltnitrate의 처리로 알칼리 - 장석을 착색(노란 색)시킨 다음 실물환등기로 확대 투시하여 부피 %를 구하였다.

2-2-4. 화성암류의 화학성분 분석

각 암체의 대표적인 시료 16개를 기초과학연구센터에 의뢰하여 XRF(주성분 원소) 및 ICP 분광법(미량원소)으로 화학분석을 하였다.

3. 연구 내용 및 결과

3-1. 연구 지역의 지형 및 지질

3-1-1. 지형

설악산 국립고원지역은 태백산맥의 일부인 설악산맥으로 동서방향 약 18km, 남북방향 약 14km에 이르는 고구마 모양이다. 천연보호구역은 설악산맥에 의하여 외설악과 내설악으로 구분된다.

태백산맥은 한국의 척추산맥으로 고 제3기(약 6,000만년-2,500만년 전)에 일어난 융기작용으로 만들어졌다. 한반도는 신 제 3기에 일시적인 침강에 따른 융기로 서해와 남해의 침강해안과 다도해를 형성하고, 서남쪽으로 기울면서 동쪽이 융기하여 태백산맥이 되었으며, 서해안까지 약 200km, 동해안까지 약 15km-20

km거리로 동해안쪽으로 치우쳐 있다. 설악산맥 역시 서쪽으로 완만하게, 동쪽으로 급하게 기울어져 있다. 최고봉인 대청봉(1708m)을 비롯하여 북으로 마등령(1326m) 대승령(1210m) 안산(1403m), 남쪽으로 점봉산(1424m) 가리봉(1518m)이 있고 곳곳에 잔류 평탄면이 산재한다. 이 고위 평탄면들은 해수면 가까운 수준에서 이루어진 준평원이 높이 솟아 설악산맥을 이룬 후에 침식을 받아 낮아지면서 형성된 지형이다.

한편 내설악의 백담계곡과 수렴동계곡은 이상적인 수지상(樹枝狀)인데 (그림1), 이 지역이 준평원일 때 흐르던 곡류가 지반의 상승으로 빠른 침식작용이 진행된 함입곡류(陷入曲流)이다. 한계령의 서쪽과 동쪽의 계곡은 간단한 우모상(羽毛狀)인데 침식에 의한 단층곡을 따라 발달되었기 때문이다.(이대성, 1967)

설악산이 훌륭한 경관으로 명승지가 된 것은 화강암의 특성인 절리의 발달 때문이다. 절리는 마그마가 식으면서 화강암이 굳을 때 체적의 감소로 일어나는 틈인데 보통 3방향으로 발달한다. 3방향으로 절리는 서로 거의 직각을 이루므로, 3방향이 모두 잘 발달되면 큰 주사위 꼴의 덩어리로 떨어진다. (사진1) 이 주사위 꼴의 암괴가 분리되고 오랜 시간 풍화작용이 진행된다면 모서리가 떨어져 나가면서 둥근 바위로 변하는데 유명한 설악산의 흔들바위는 이렇게 만들어진 것이다. (사진2) 만약 한 방향의 절리가 현저하게 발달하면 특유한 경관을 형성한다. 수평방향의 절리가 발달한 가리산 계곡의 수평바위, 수직방향의 절리가 발달한 울산바위, 천불동 계곡의 괴면암, 와선대 등 모두 설악산의 절경을 이루고 있다. (사진3) 그리고 절리가 교차하는 곳에는, 오목한 함지에 들어간 돌이 유수에 의해 함지의 벽을 마멸함으로서 더욱 넓게 된 돌개구멍(POT HOLE)이 곳곳에 발달되어 있다. 대승 폭포가 만든 깊은 소, 사중폭포의 깊은 소, 비룡폭포의 깊은 소등이 그 예이다.

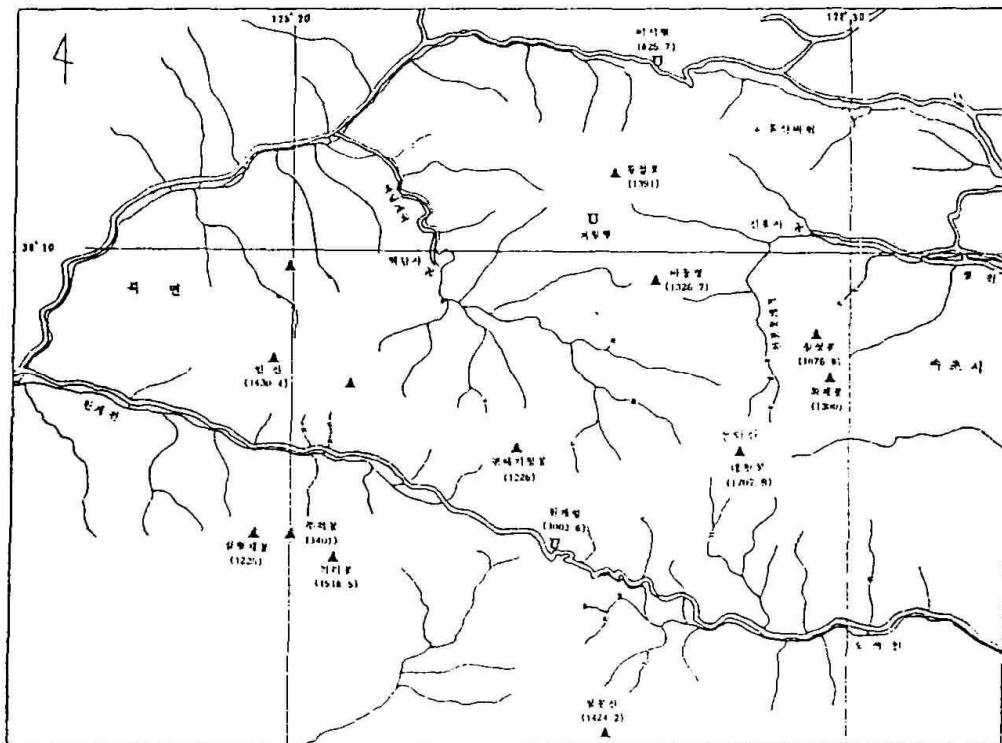
3-1-2. 지질

설악산 국립공원지역은 한반도 중동부인 경기육괴내 북동-남서방향의 대규모 화강암 저반의 일부이며, 주로 선캠브리아기의 변성암류와 중생대의 화성암류로 이루어져 있다. 대청봉 정상부근과 외설악 남동부는 화강암질 편마암, 반상변정(班常變晶) 편마암 및 우백질 편마암으로 이루어져 있다. 내설악 백담사 남측에 중생대 퇴적층이 소규모 분포하나(사진4) 대부분 화강암이다.

설악산 화성암류는 우백색 내지 담홍색으로 조립등립질인 설악산 화강암 울산 화강암 점봉 산화강암, 중립질인 각섬석화강암 흑운모화강암, 홍색장석이 뚜렷이 구분되는 홍색장석 반상질 화강암, 담록색 내지 다회색 바탕에 반정과 암편이 보

이는 아화산암, 섬록암 및 화강반암으로 구성되어 있다.

연구지역의 지질도는 <그림3>과 같고, 화강암류의 분포영역은 정창의 등 (1985)이 제시한 지질도와 약간의 차이가 발견되어 소폭 수정하였다.



<그림1> 설악산 지역의 수계

3-2. 암석기재

3-2-1. 화성암류

가. 모드 조성

16개의 연마편을 이용한 모드 분석은 실물 환등기로 착색면을 방안지(5mm, 칸수 50*70=3,500, B4용지 크기)에 투시하여 알칼리 장석(노란 색) 석영(회색) 및 사장석(흰색)이 차지하는 면적을 백분율로 구하였다.

모드 분석 결과 <표2>에서 보는 바와 같이 석영(Q)은 17.9% - 49.5%, 정장석(Af) 15.8% - 60.4%, 사장석(Pl) 9.0% - 49.9% 그리고 유색광물(M)은 2.1% - 13.9%이다. 석영-정장석-사장석의 함량비를 삼각도(그림4)에 나타내 보니 화강암과 화강섬록암 영역에 속함을 알 수 있다. 또 석영과 장석(정장석+사장석), 유색광물관계를 나타낸<그림5>에서 석영:장석=35:65 부근에 많이 도시되었다. 따라서 설악산 지역의 화성암은 화강암 계열임을 알 수 있다.

<표2> 구성 광물의 백분율

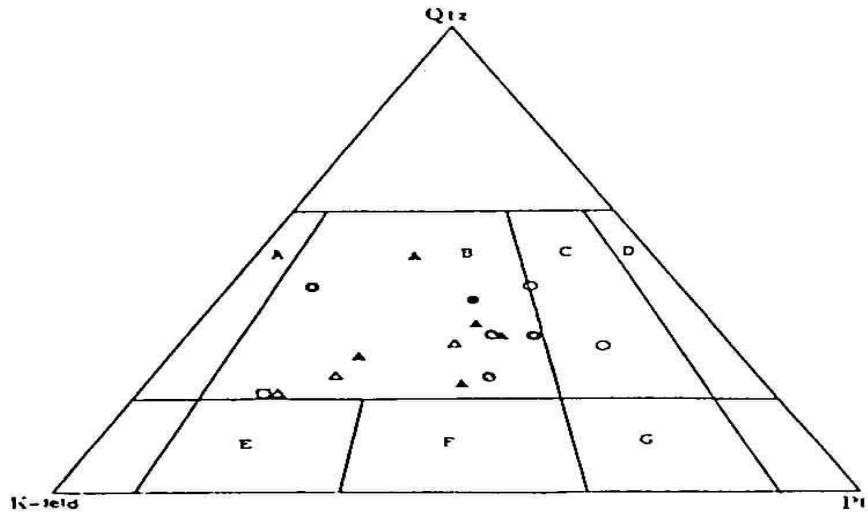
연마편No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	평균
석영	40.1	39.6	23.7	22.1	35.5	27.4	32.9	32.4	49.5	17.9	32.5	21.0	32.8	42.5	31.5	30.2	31.4
정장석	17.7	26.5	50.3	38.2	29.8	43.8	27.3	32.4	29.4	54.4	28.7	60.4	23.6	45.0	34.5	15.8	34.9
사장석	32.7	28.7	20.2	36.4	32.6	20.5	37.0	38.5	17.6	13.8	35.9	16.5	41.0	9.0	31.9	49.9	28.9
유색광물	9.5	5.3	5.8	3.4	2.1	8.3	2.7	5.7	3.5	13.9	2.9	2.1	2.6	3.5	2.1	4.2	4.9

나. 화성암의 육안 및 편광 현미경 관찰

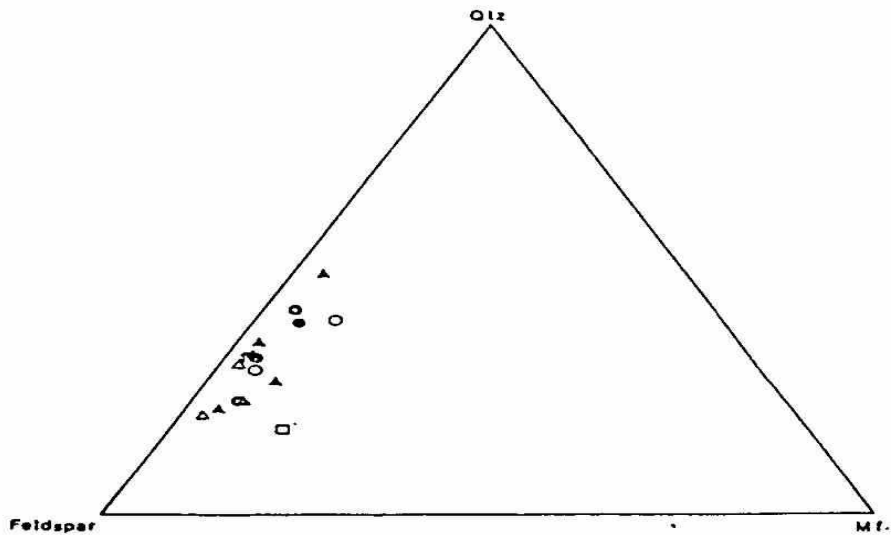
설악산 국립공원지역에 가장 넓게 분포하는 화성암류를 현미경하 조직과 화학 분석 결과(후술)에 따라 <표3>과 같이 분류하였다. 단, 표본채취를 못한 섬록암은 제외했다.

<표3> 설악산 화성암의 분류

	암석이름	기존 야외명(정창희 외, 1985)	연마편 No. 화학분석 No.	부호	사진 No.
1	각섬석화강암	각섬석화강암	2	●	5
2	조립흑운모 화강암	울산화강암 점봉산화강암 설악산화강암	8,11,13,14	◎	6,7,8
3	흑운모화강암	흑운모화강암	1,16	○	9
4	홍색장석반상 화강암	홍색화강암	3,12,15	△	10
5	아화산암	마산암	4,5,6,7,9	▲	11,12
6	화강반암	화강반암	10	□	13



<그림4> 석영 - 알칼리장석 - 사장석의 함량관계(Qtz-Af-Pl삼각도)



<그림5> 석영 - 장석 - 유색광물의 함량관계(Qtz-Fs-Mf삼각도)

① 각섬석화강암

각섬석화강암은 육안관찰에서 55%정도의 백색장석과 약 40%의 투명한 석영으로 구성되며 유색광물로는 각섬석과 흑운모가 약 5%정도인 중립질 조직이다. 현미경관찰에서 장석은 사장석, 퍼싸이트, 미사장석 및 정장석으로 구분되는데, 사장석은 대부분 견운모화 되었다. 알바이트 트윈이 가끔 보이며 큰 결정이 깨어진 형태로 나타난다.

장석내 작은 알갱이의 석영과 장석이 seriate texture를 이루며 좁은 틈 사이에 백운모가 충전되어 있다. 격자상 쌍정을 보이는 미사장석이 초기에 정출한 자형의 광물을 에워싼 모양인 poikilitic texture를 이루고 있다. 석영은 여러 개의 입자가 집합된 consertal texture부분이 많고 대부분 파동소광을 보인다. 흑운모는 담갈색 내지 황갈색으로 다색성을 보이며 변질되어 녹니석화 된 부분도 있다. 각섬석은 연 녹색에서 녹색으로 변하는 다색성을 나타낸다.

부성분광물로 백운모 자철석 스피넬 지르콘이 들어 있다.

② 조립 등립질 화강암

연구 지역의 대부분을 차지하는 이 암석은 담홍색 내지 유백색을 띤 조립질이며 입자의 크기가 비슷한 등립질을 이루고 있다. 특히 울산화강암의 입자는 이 지역 화강암류중에서 가장 크며 직경 1cm정도를 이루고 있다.

주성분 광물은 석영 장석 흑운모이며, 모드분석에서 석영은 23%-43%이고, 칼리 장석은 24%-45%, 사장석은 9%-41%이다. 장석류는 사장석 미사장석 퍼사이트로 나타나는데 대부분 퍼사이트를 이루고 있다. 이 퍼사이트는 큰 결정들로 사장석 흑운모 녹염석 등을 내포하고 있다. 사장석은 알바이트 쌍정이 발달되었고 부분적으로 견운모화 되었다. 특히 누대구조를 보이는 결정에서는 중심부가 심하게 견운모화 되어 있다. 격자상 쌍정이 발달한 미사장석은 비교적 후기 정출물로 자형의 사장석 결정과 녹염석 결정을 내포하고 있다. 흑운모는 연갈색 내지 황갈색으로 녹니석화한 부분이 많고 방사능 혼을 많이 포함하고 있다. 불투명광물로 자철석이 상당량 들어 있고 한계령 휴게소일대의 설악산화강암에는 적철석도 들어 있다. 부성분 광물로 지르콘 녹염소 스피넬이 나타난다. 비선대 부근의 설악산화강암에의 석류석이 상당량 나타난다. 이 석류석은 석영의 봉합상구조 사이에 나타나는데 변질되어 녹니석으로 된 부분도 있다.

점봉산화강암에 들어 있는 석류석은 큰 결정이 깨진 형태로 나타난다.

③ 흑운모화강암

이 암석은 백색 바탕에 검은 색 흑운모가 산재한 중립질 조직을 이루고 있다. 주성분광물은 백색 장석과 석영 흑운모이고 모드조성상 석영이 약 30%-40%, 알카릴 장석이 약 16%-18%, 사장석이 약 33%-50%, 유색광물이 약 4%-10% 된다. 사장석은 큰 결정을 이루고 많은 내포물(석영 흑운모 백운모 정장석 등)을 함유하고 있다. 알바이트 쌍정이 잘 발달되어 있고 대부분 견운모화되었다. 특히 누대구조가 발달된 경우 중심부는 심하게 견운모화되어 있다. 미르메카이트조직이 다수 보인다.

정장석의 칼스바드 쌍정이 가끔 보이고, 큰 결정은 내포물을 함유한 Poikilitic texture를 이루고 있다. 흑운모는 녹니석화 된 부분이 많고, 방사능 혼을 많이 갖고 있다. 부성분광물로 자철석 적철석 지르콘 녹염석 백운모가 나타난다.

편마암과 접촉부에 있는 일부시료(Point No.1.3.36)에 나타나는 엽리는 압쇄엽리와 성인에 있어서 차이가 있다. 즉 이 암상 연변부에 국한적으로 발달하는 엽리는 관입체 연변부에만 국한되어 있지만 압쇄작용이나 구조운동에 의해 생성된 엽리는 대체로 광물입자들이 길게 신장되거나 깨져 있고 또 재 결정화되어 나타난다. 현미경 관찰에 의하면 석영입자가 파동소광을 보이고 일부 잘게 부서진 봉합상구조를 이룬다.

④ 홍색장석 반상화강암

이 암석은 분홍색 장석이 대부분을 차지하여 전체적인 암석의 색깔도 분홍색이다. 일부 지역(Chem.No.15)은 화강암조직을 보이나 대부분 반정과 석기가 뚜렷이 구분되는 반상조직을 나타낸다. 화강암조직보다는 반암조직에 가까워 이번 연구에서 황색장석반상화강암으로 명명하였다.

주성분광물은 석영 장석 흑운모이며, 모드 조성상 석영이 약 21%-32%, 알칼리장석이 약 35%-60%, 사장석이 약 17%-32%, 유색광물이 약 2%-6%이다. 장석류는 대부분 정장석으로 칼스바드 쌍정이 잘 발달하였고 큰 결정 주변에 방사상으로 미세조직이 발달되었다. 사장석은 대부분 견운모화되어 알바이트 상정이 희미하게 보인다.

흑운모는 대부분 녹니석화 되어서 녹니석의 양이 흑운모보다 더 많다. 부성분광물로 지르콘 알라나이트 자철석 녹염석 백운모가 나타난다.

⑤ 아화산암

이 암석은 담녹색 내지 회색이며 석영결정, 장석결정, 검은 색 암편 및 화강편마암 암편이 육안으로 관찰된다. 모드조성상 석영이 22%-50%, 칼리장석이 약 27%-44%, 사장석이 약 18%-37% 그리고 유색광물이 약 2%-8%이다. 현미경하에서 석영은 반자형 내지 타형으로 대부분이 용식되어 구멍이 파인 만입구조를 나타낸다. 장석류는 알바이트 쌍정을 보이는 사장석과 칼스바드 쌍정이 보이는 정장석 및 소량의 미사장석과 퍼사이트로 반자형 내지 타형을 이루고 있다. 큰 장석 결정은 깨지거나 용식되어 있는데 내부까지 용식되어 있는 것도 있다. 이는 화산분출시 이미 정출된 결정이 부글거리는 가스와 용액으로 손상 당했기 때문이다.

기질은 석영 장석 흑운모등이 미세조직을 이루고 있다. 부성분광물로 녹염석 알

라나이트 자철석 백운모 녹니석등이 나타난다. 일부 시료(Chem.No.5)에서는 만입구조를 보이는 석영과 장석결정 주위에 발달한 방사상 조직이 관찰된다.

한편 안량암 부근 홍색장석반상화강암과의 접촉부 시료(point No,40)는 구과상조직을 이루고 있다. 구과상 조직은 용암의 급속한 냉각과정에서 분리된, 휘발성 성분이 많이 함유된 잔류 용액에 의해서 유리질의 기질이 탈유리화 형태로 변질되어 생성된 것이다. (Holmes,1920;Morse, Warren and Donnay,1932)가 암석은 SiO_2 함량이 약 74%-80%로 성분상 유문암질응회암이다.

⑥ 화강반암

이 암석은 짙은 색 바탕에 백색 장석이 반정을 이룬 반상조직을 이루고 있다. 모드조성상 석영이 약 18%, 칼리장석이 약 54%, 사장석이 약 14% 유색광물이 약 14%정도 차지한다. 석영은 대부분 석기를 이루며 micrographic texture를 보인다. 사장석은 알바이트 쌍정이 일부 발달하였고 대부분 견운모화 되어 있으며 결정은 자형으로 반정을 이루고 있다. 정장석에 일부 칼스바드 쌍정이 나타나고 흑운모는 대부분 녹니석화 되었다. 불투명광물로 자철석이 상당량 산재하고 적철석도 약간 들어 있다. 부성분 광물로 알라나이트 녹염석이 나타난다. 누대구조를 보이는 큰 사장석 결정은 누대구조를 따라 견운모화 되어 있다.

3-2-2. 퇴적암류

내설악 중앙부에 분포하는 설악산 층은 축성사지와 감투봉(972m)을 지나 대승령 북쪽에 이르는 폭 2km정도의 퇴적층이다. 암회색 셰일에서 식물화석(*Equisetites* sp.)의 파편이 발견되어 중생대 백악기 층임이 밝혀진(정창희 회 1985) 이 지층은 북쪽에 우백질 편마암과 단층으로 접하고 남쪽은 설악산화강암과 서쪽은 흑운모화강암과 단층접촉하고 있다. 단층은 동서방향주향에 경사는 거의 수직이다. 층서는 하부에서 상부로 흑색 셰일, 회색 셰일, 담회색 석회암과 셰일의 호층, 적색 셰일과 적색 사암, 적색 각력암, 적색 사암순으로 되어 있다. 주향은 $\text{N}40^\circ \text{W}$ - $\text{N}70^\circ$ 로 50° - 80° 북으로 경사져 있다. 각 암층사이에는 점이 적으며 그 두께는 10m 내외이다.

하부의 석회암은 심한 습곡구조가 발달된 곳이 있고(사진4), 셰일과 호층리를 이루며 생물의 흔적은 현미경하에서 셰일의 기질(氣質)부분이 15%이상 되므로 와케로 분류되고 암편은 대부분 응회암이므로 Lithic greywacke에 속한다.

적색 각력암은 규암 화강암 편마암 셰일 등의 암편과 중립 내지 셰일의 적색 사암질 기질로 구성되어 있다. 암편의 크기는 장경 수 cm에서 20cm에 이르는 다

양함을 보이고 모가 난 것이 많다. 즉 원마도가 낮고 분급 부분의 암편은 각이 기질의 경계부는 방해석으로 채워져 있는데 이는 염기성 화산암성분인 사장석이 Ca성분을 보충해 주었기 때문으로 해석된다. 따라서 설악산 층의 퇴적 당시 화산활동이 있었음을 알 수 있다.

3-2-3. 변성암류

가. 우백질 편마암(LGn)

이 암석은 내설악 수렴동계곡 남서쪽에 동서방향 약 2km, 폭 약 0.5km로 소규모 분포하며 설악산 층과 부정합, 일부 단층 접촉하고 있다. 주구성광물은 백색장석과 석영으로 우백색을 띄며 유색광물이 소량(약 2%내외)들어 있다.

나. 화강암질 편마암(GGn)

이 암석은 연구 지역 남동부 대청봉 북쪽 200m 부근에서 약 1km의 폭으로 동서방향 약 6km에 걸쳐 분포한다. 북측으로 설악산화강암과 관입 접촉하고, 남측은 반상변정편마암과 접하고 있다. 엽리의 주향은 대청봉 부근에서 N60° E 내지 N70° E로 이 편마암체의 대상(帶狀)분포 방향과 일치하며 경사는 남쪽으로 40°-70°이다. 국부적으로 주향이 거의 NS인 곳도 있다. 또 한 이 지역 중북부 마등령 서쪽 2km부근에서 북서방향으로 연장되어 산출되고, 서남부 한계천 부근에 3군데 소규모 분포한다. 마등령 북서방향의 화강편마암은 엽리의 방향이 일정치 않은데 주향 N45E N70° E, 경사 50° NW내외이고 N50° W 410° SW, N20° W 70° NE인 곳이 있다.

중청봉 일대의 암석은 백색과 흑색광물이 층상을 이루고 흑색광물의 양이 많아서 호상편마암 내지 혹은 모 편마암으로 보인다. 그러나 현미경 하에서 백색광물과 흑색광물은 10cm이상 연장되지 않고 또 흑운모의 양도 적으므로 화강편마암이다. (사진19)

이 암석은 석영과 장석으로 구성된 무색 광물과 유색광물인 흑운모가 편마구조를 이루며, 곳에 따라 반상(班常)의 변정(變晶)이 파쇄 압쇄 신장되어 안구상조직을 보여 주기도 한다. 현미경하에서 안구 부분의 장석은 큰 결정을 이루고 있으나 석영은 작은 입자들이 봉합상 조직을 이루고 파동 소광을 보이고 있다. (사진 21,22)

다. 반상 변정 편마암(PGn)

이 암석은 대청봉 200m 북방에서부터 남쪽 방향의 폭 약 3km 동서방향으로 분포하며, 서쪽으로는 한계령 동북쪽 2.5km지점까지, 동쪽으로는 양양군 오가리를 지나 연구지역 경계선을 넘어 연장 분포한다. 분포지의 남쪽은 설악산화강암, 서쪽은 흑운모화강암에 의해 관입 접촉하고 있다.

이 암석은 큰 변정 반정을 많이 함유하는 반상변정편마암이다. 변정의 크기

는 장경 5-10cm로 암석 체적의 약 90%정도이고 단면이 원형에 가깝다. 변정은 백색의 장석과 석영이며 그 사이는 중립의 광물들이 들어 있다. (사진18)

3-3. 화성암류의 화학분석

3-3-1. 주성분 원소

연구 지역 화성암류의 암체별 화학조성의 특징과 분화경향을 규명하기 위하여 실시한 주성분 원소의 분석 값과 CIPW norm값은 <표4>와 같다.

<표4> 주성분원소의 함량과 CIPW norm값(wt%)

	Bb-GR		C-Bi-Gr		Bi-Gr				PP-Gr				SV			Por-Gr	
Chen.No	2	8	11	13	14	1	16	3	12	15	4	5	6	7	9	10	
SiO2	71.74	72.61	76.97	71.99	77.84	70.96	75.62	72.95	72.52	77.83	77.91	74.33	76.10	78.15	79.91	66.50	
Al2 O3	15.27	14.63	13.22	14.10	12.80	15.45	14.10	14.41	14.81	12.91	13.13	14.02	13.10	12.06	11.73	15.20	
Fe2 O3	0.82	0.93	0.32	0.56	0.36	0.91	0.21	0.87	1.08	0.30	0.31	0.93	0.82	0.70	0.70	2.08	
FeO	1.61	1.34	0.81	1.07	0.94	1.34	1.07	1.21	0.81	0.80	0.54	0.94	0.81	0.67	0.54	2.41	
TiO2	0.27	0.23	0.06	0.17	0.05	0.49	0.12	0.26	0.26	0.03	0.04	0.17	0.12	0.14	0.13	0.67	
MnO	0.04	0.04	0.02	0.09	0.01	0.02	0.01	0.04	0.02	0.02	0.01	0.04	0.04	0.02	0.02	0.07	
CaO	2.79	0.06	0.21	1.38	0.44	1.81	1.26	0.33	0.52	0.37	0.44	0.62	0.39	0.46	0.31	2.55	
BgO	0.89	0.22	0.05	0.37	0.03	0.74	0.31	0.29	0.20	0.04	0.12	0.10	0.51	0.15	0.17	1.52	
K2O	1.53	5.25	4.85	4.25	4.35	3.83	4.65	5.51	5.67	4.47	4.28	5.44	4.43	4.54	4.45	4.39	
Ka2O	4.33	3.82	3.99	3.94	4.18	3.64	3.17	3.55	4.57	3.95	3.80	3.90	3.46	6.25	3.02	3.78	
P2O5	0.08	0.05	0.01	0.05	0.01	0.13	0.03	0.07	0.06	0.01	0.01	0.02	0.03	0.03	0.02	0.21	
L.O.I	1.09	0.46	0.28	0.82	0.29	0.91	0.40	0.73	0.22	0.33	1.00	0.67	0.69	0.46	0.41	0.72	
Total	100.46	100.24	100.79	98.79	101.30	100.23	100.95	100.22	100.74	101.06	101.59	101.18	100.50	100.63	101.41	100.10	
Q	32.75	28.06	34.17	28.80	35.30	29.90	35.57	29.75	22.90	36.37	38.02	29.06	37.19	40.54	44.34	19.78	
or	9.04	31.03	28.66	25.12	25.71	22.63	27.48	32.56	33.51	26.83	25.29	32.15	26.18	26.83	26.30	25.94	
ab	36.64	32.32	33.76	33.34	35.37	30.80	26.82	30.04	38.67	33.42	32.15	33.00	29.28	27.50	25.55	31.99	
an	13.32	2.95	0.98	6.52	2.12	8.13	6.06	1.18	2.19	1.77	2.12	2.95	1.74	2.09	1.41	11.28	
c	1.61	1.58	1.05	0.63	0.44	2.16	1.63	2.17	0.35	0.93	1.47	0.64	1.98	1.04	1.43	0.10	
by	4.12	1.93	1.29	2.31	1.44	3.18	2.38	1.87	0.70	1.31	0.99	1.00	1.96	0.83	0.65	5.52	
nt	1.19	1.35	0.46	0.81	0.52	1.32	0.30	1.26	1.57	0.43	0.45	1.35	1.19	1.01	1.01	3.02	
il	0.51	0.44	0.11	0.32	0.09	0.51	0.23	0.49	0.49	0.06	0.08	0.32	0.23	0.27	0.25	1.27	
ap	0.19	0.12	0.02	0.12	0.02	0.30	0.07	0.16	0.14	0.02	0.02	0.05	0.07	0.07	0.05	0.49	
Total	99.37	99.78	100.50	97.97	101.01	98.93	100.54	99.48	100.52	101.14	100.59	100.52	99.82	100.18	101.00	99.39	
D.I	78.43	91.41	96.59	87.26	96.38	83.33	89.87	92.35	95.08	96.62	95.46	94.21	92.65	94.87	96.19	77.71	
O.R	31.43	38.45	26.23	32.02	25.63	37.93	15.01	39.29	54.55	25.23	34.07	47.10	47.67	48.46	53.85	43.72	
L.I	20.15	27.23	29.44	25.43	28.89	23.59	27.22	28.00	28.31	29.20	29.15	28.56	28.09	29.31	30.07	20.08	

Hb\=Gr : Hornblende Granite(●)

C-Bi-Gr : Coarse-grained Biotite Granite(◎)

Bi-Gr : Biotite Granite.(○)

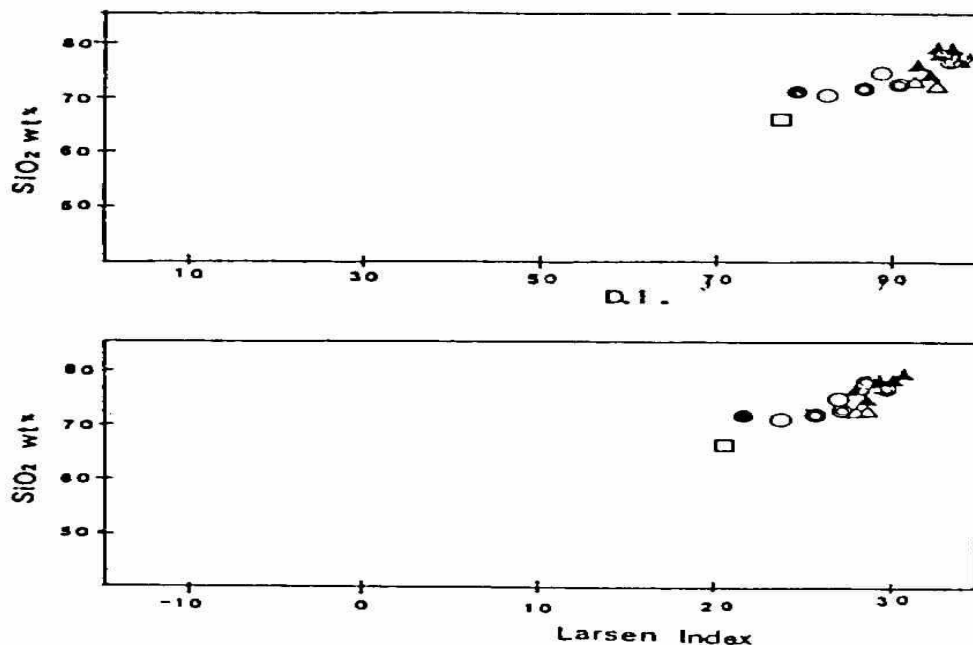
PP-Gr : Pink Feldspar Porphyritic Granite(△)

SV : Subvolcanic rock(▲)

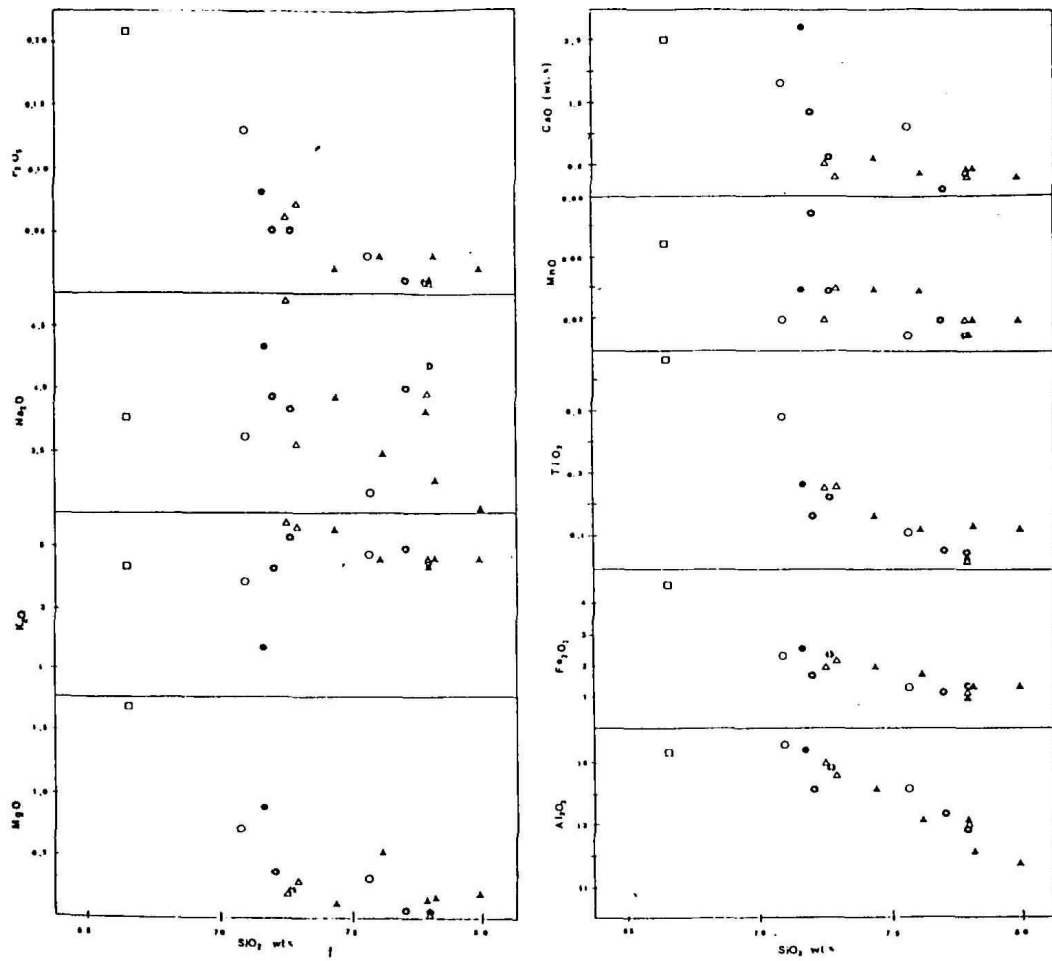
Por-Gr : Porphyritic Granite(□)

분화지수(D.I)와 라센지수(L.I)를 횡축으로 하는 SiO_2 함량변화는 <그림4>와 같다. 분화지수는 77.71-96.19 범위이고, 라센지수는 20.08-30.07 범위로 SiO_2 함량과 정비례관계이다. 소규모 맥상으로 산출되는 반상화강암(No.10)을 제외하면 SiO_2 함량은 70.96-79.91%로 높다. 인접한 타지역의 SiO_2 함량(평균값)은 주라기의 대보 화강암인 원주 화강암이 66.69 wt.%, 제천 화강암이 67.80 wt.%, 충주 화강암이 66.69wt.%, 무암사 화강암은 75.39 wt.%, 속리산 화강암은 71.88wt.%이다. (김규한 외,1990) SiO_2 함량은 대보화강암류보다 불국사 화강암류가 5%-8%정도 높은데 이는 백악기 화강암류가 분별결정작용의 비교적 후기 산물이기 때문으로 해석되며, 이 지역화강암류는 백악기 화강암에 속함을 알 수 있다.

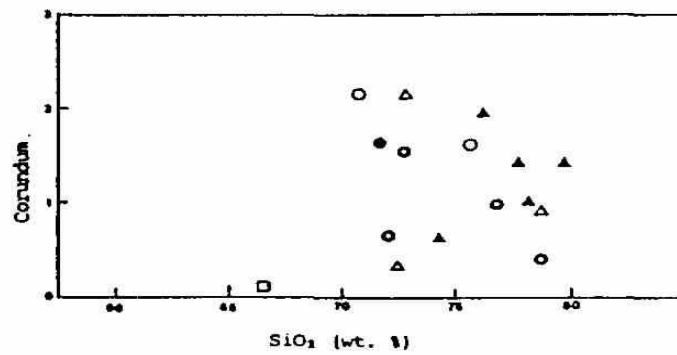
SiO_2 성분의 변화에 따른 각 산화물의 성분변화도<그림7>에서 관입시기가 다른 몇 개의 암류가 분화작용의 진행에 따라 각 산화물이 일련의 연속적인 변화를 보이고 있다. SiO_2 증가에 따라 Al_2O_3 , O_3 , Total FeO, TiO, MnO, CaO, MgO 및 P_2O_5 는 감소하고 Na_2O 는 거의 변화가 없고 K_2O 는 불규칙한 변화경향을 보여준다. 또 SiO_2 증가에 따라 corundum이 증가하는 경향(그림8)을 보이는데 이는 마그마의 혼합에 기인한다.



<그림6> SiO_2 대 분화지수(D.I.) 및 라센지수(L.I)

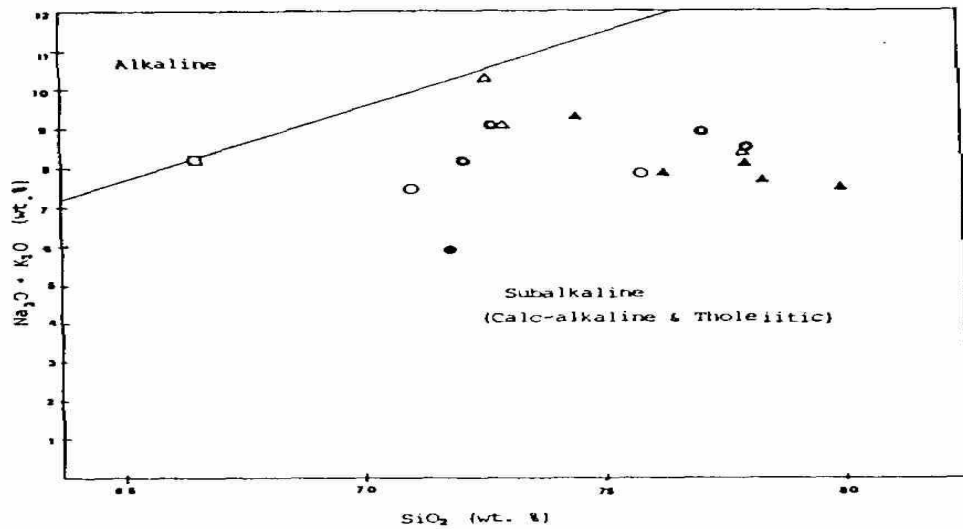


<그림7> 주성분 산화물 대 SiO₂ 함량 변화도

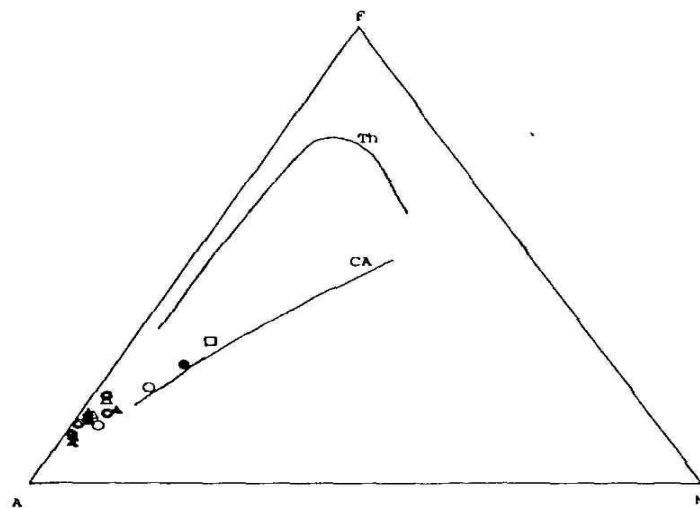


<그림8> 코란덤 대 SiO₂ 함량 변화

<그림9>은 실리카 함량에 대한 알칼리 성분 함량관계에서 모두 비(非)알칼리암 계열임을 보여준다. 비알칼리 계열의 암석을 calc-alkaline 암계열과 Tholeiitic 암계열로 구분한 AFM도 (그림10)에서 이 지역 암류는 A정점 쪽으로 향하는 경향으로 보아 칼크-알칼리 암계열에 속한다.



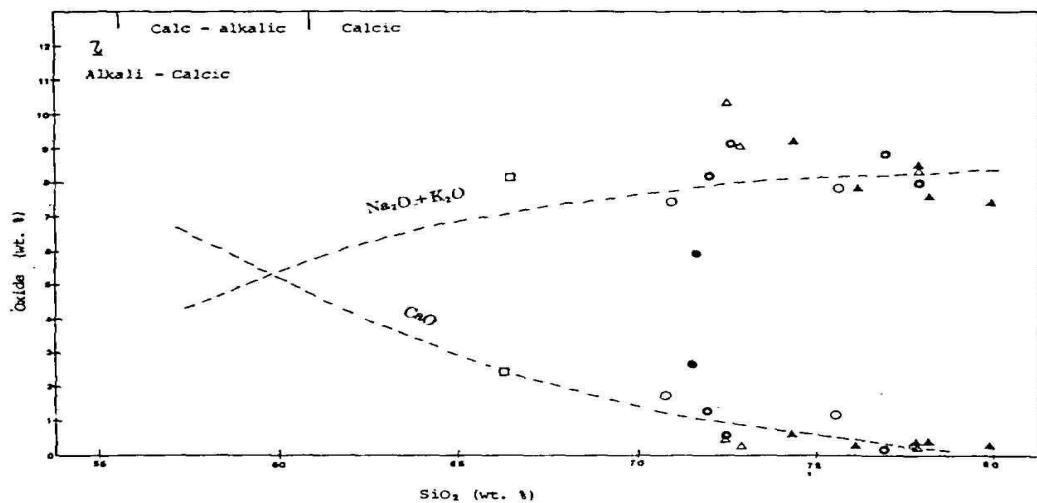
<그림9> 알칼리 대 실리카 함량관계도



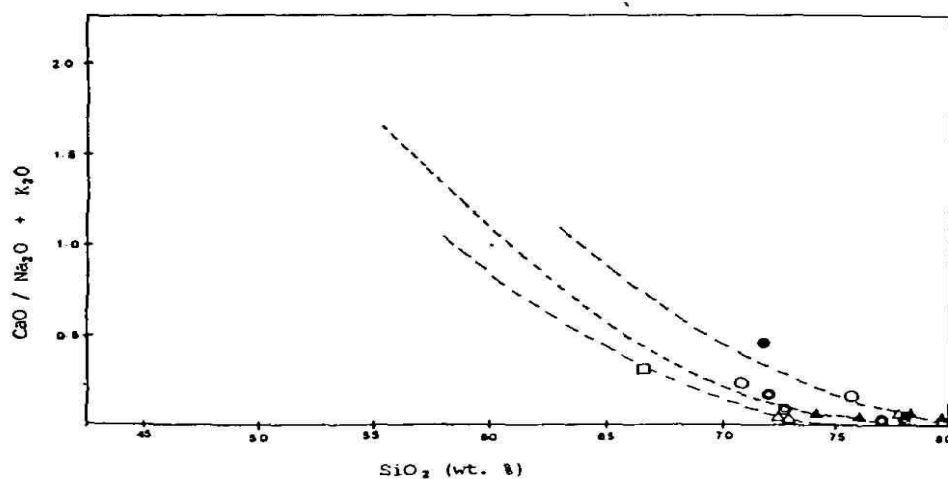
<그림10> AFM 도

CaO 및 $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ 와 SiO_2 함량관계를 복합한 <그림 11>에서 이 지역암류의 lime/alkali index는 약 60이다. 한편 화학성분을 근거로 지구조적환경을 구별하는 지화학적인 기준에 대한 연구가 있다(Jonston et al., 1976. Petro et al., 1979). Lime/alkali index 에 따르면 확장(extentional)심성암계열은 $\text{CaO}/\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} = 1.00$ 비 값에 대한 SiO_2 범위가 50%-60%(wt)이고 압축(compressional) 심성암계열은 60%-64%(wt)에 해당된다.

lime/alkali index 대 SiO_2 관계를 나타낸 <그림12>에서 이 지역의 화강암류는 약 60%(wt)로 압축심성암으로 분류된다.

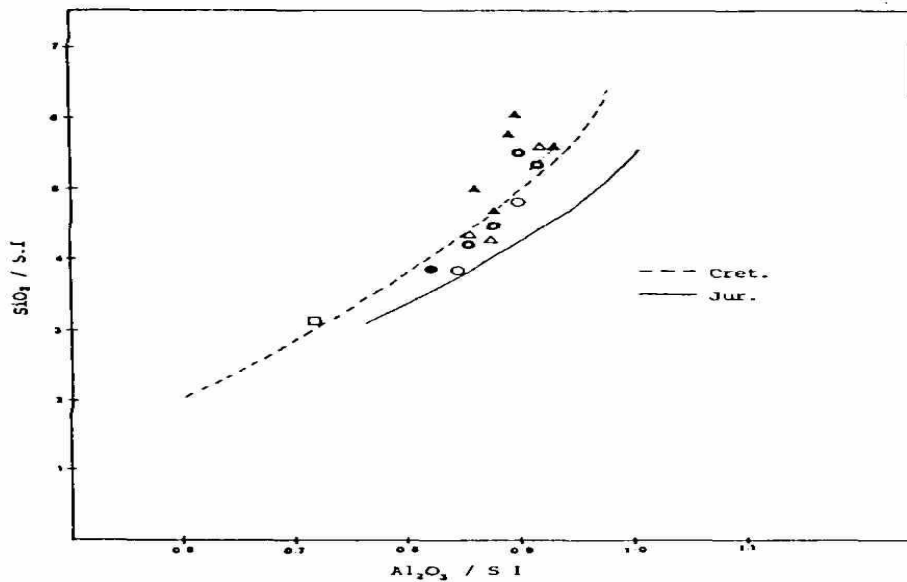


<그림11> CaO 및 $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ 대 SiO_2 함량관계도

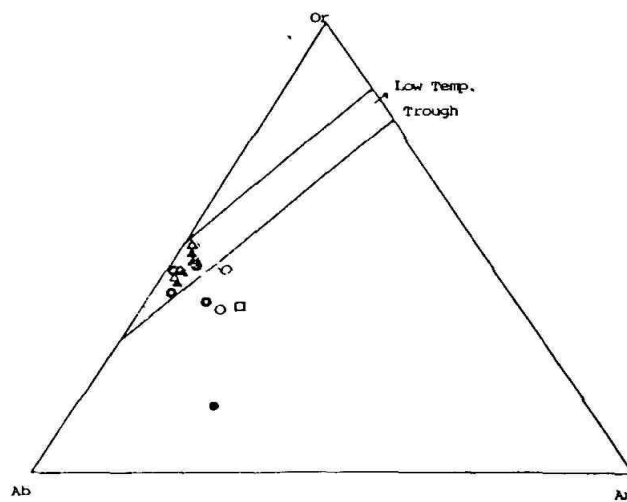


<그림 12> Lime/alkali index 대 SiO_2 함량관계도

<그림 13>은 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SI}$ ($\text{SI}=\text{Al}_2\text{O}_3+\text{Total FeO}+\text{NgO}$)에 대한 SiO_2/SI 의 상관도로 설악산 화강암류는 백악기 화강암의 변화경향과 일치한다. 여기서 점선은 백악기 화강암, 실선은 쥐라기 화강암의 변화경향을 나타낸다.

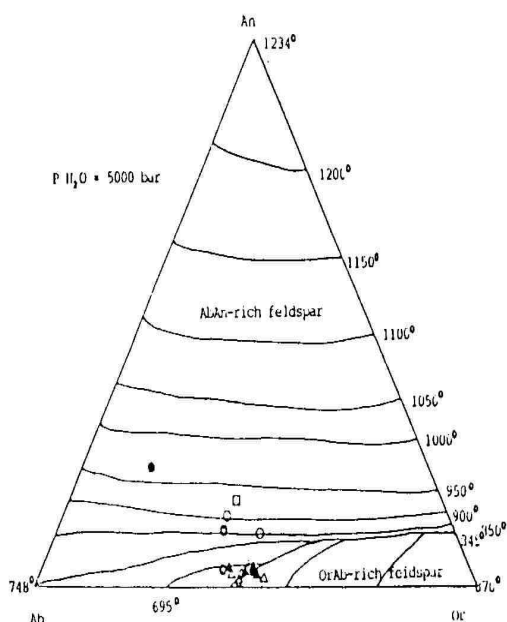


<그림13> SiO_2/SI 대 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SI}$ 변화도

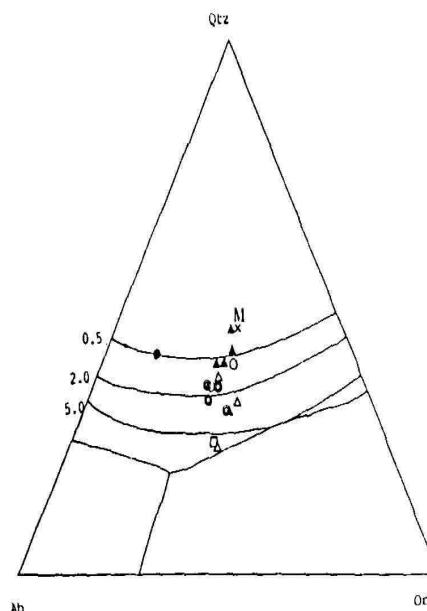


<그림14> Or-Ab-An 삼각도 (Kleemann, 1965)

노름 Or-Ab-An 도 (그림14)에서 층서상으로 초기의 생성물인 각섬석화강암, 흑운모화강암, 점봉산 화강암과 후기 생성물인 홍색장석반상화강암과 아화산암으로 분리된다. 즉 후자는 저온곡에 도시된다.



<그림16> An-Ab-Or 삼각도, 수증기압 5Kbar(Yoder et al.,1957)



<그림 15> Qtz-Ab-Or 삼각도(Tuttle and Bowen, 1958)

암석의 화학 분석치에 의한 노름석영, 정장석, 알바이트, 아노싸이트가 90%이상 조성비를 이루고 SiO₂ 함량이 70%이상인 경우, 실험에 의한 Qtz-Or-Ab-An-H₂O 계는 그 암석의 전체조성비를 대표한다. (Tuttle and Bowen, 1958. Presnall and Bateman, 1973) 이러한 실험자료와 이 지역 암류의 노름광물조성을 비교하기 위하여 Qtz-Ab-Or도(그림15)에 나타낸 결과, 정출시(晶出時) 수증기압(P H₂O)이 0.5kbar-5kbar이고 특히 아화산암은 0.5kbar이하의 낮은 값을 보이며 ternary minimumqnrmsdp 도시한다. 또 5kbar의 수증기압에서 실험한 Ab-An-Or도(그림 16)에서 각섬석화강암 설악산화강암 흑운모화강암은 An-Ab-rich feldspar영역의 고온(>900°C)에서 저온곡으로 하강하고 있으며, 홍색장석반상화강암과 아화산암은 모두 Or-Ab-rich feldspar영역의 저온곡에 도시된다. 따라서 홍색장석반상화강암과 아화산암은 정출작용의 후기에 수증기압의 격감으로 인하여, Subsolvus granite의 정출 환경으로부터 Hypersolvus granite의 정출 환경으로 이화(移化)된 환경 하에서

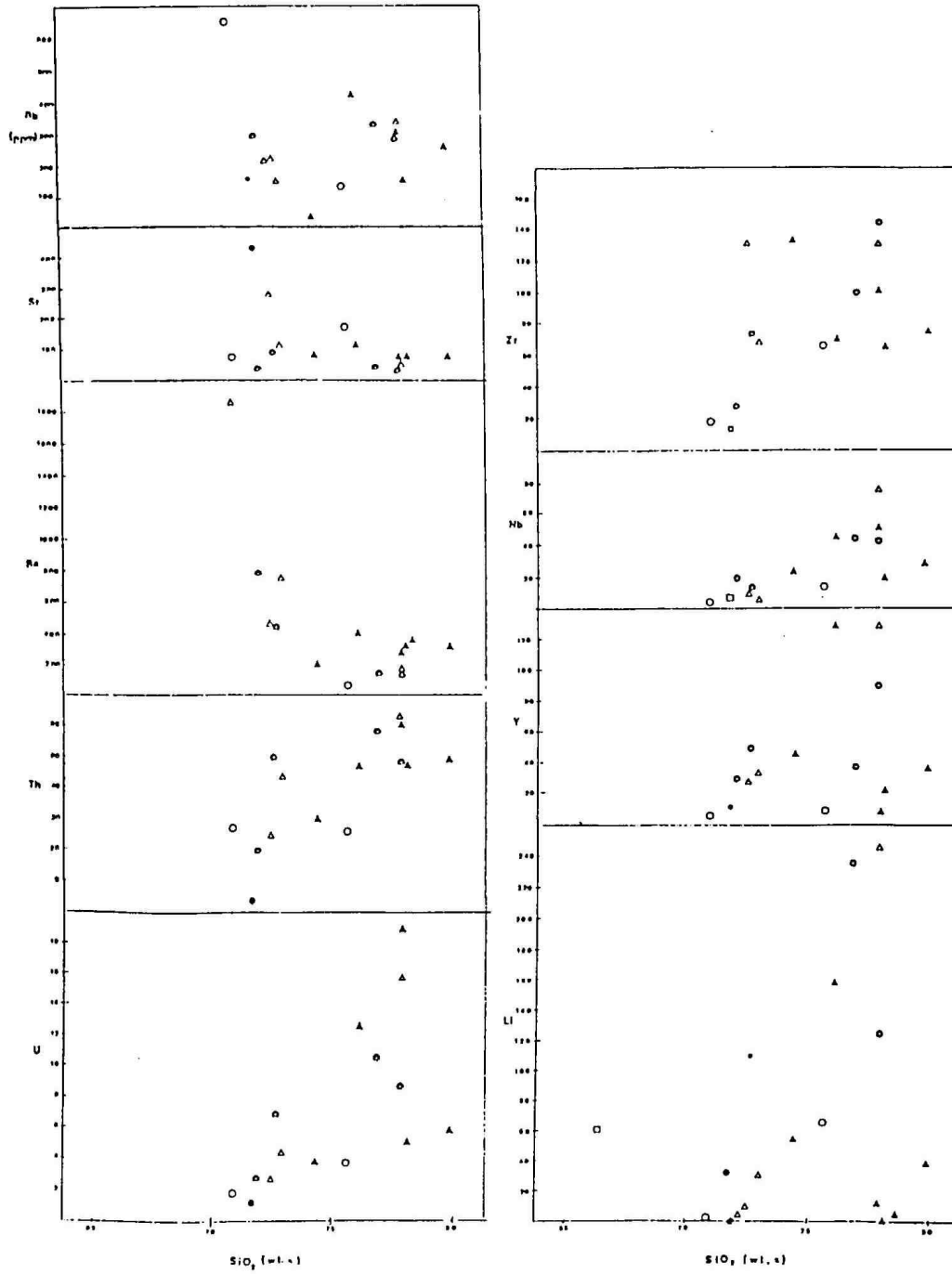
정출된 것으로 추측된다.

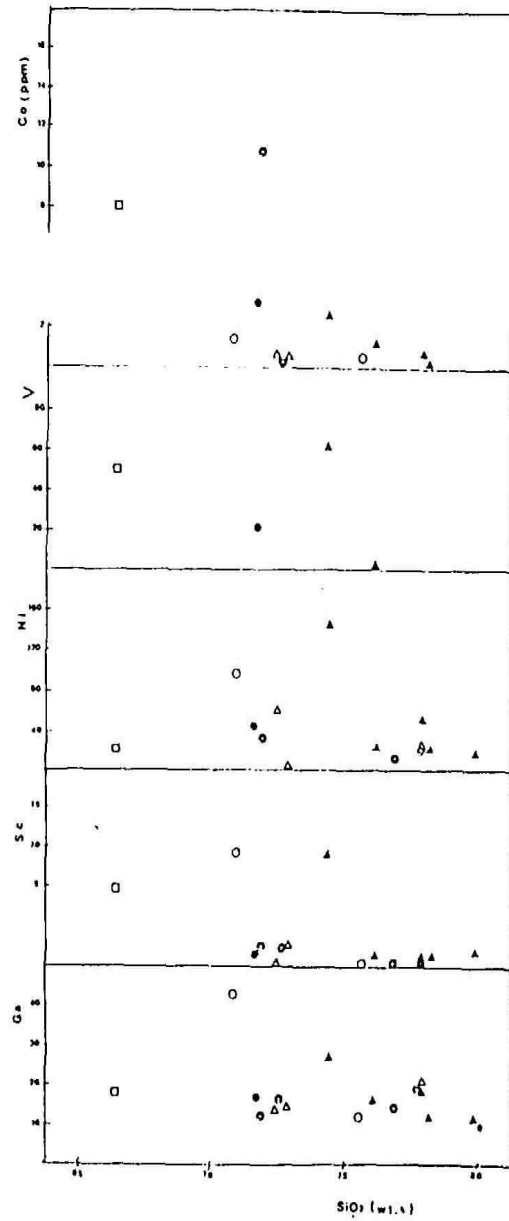
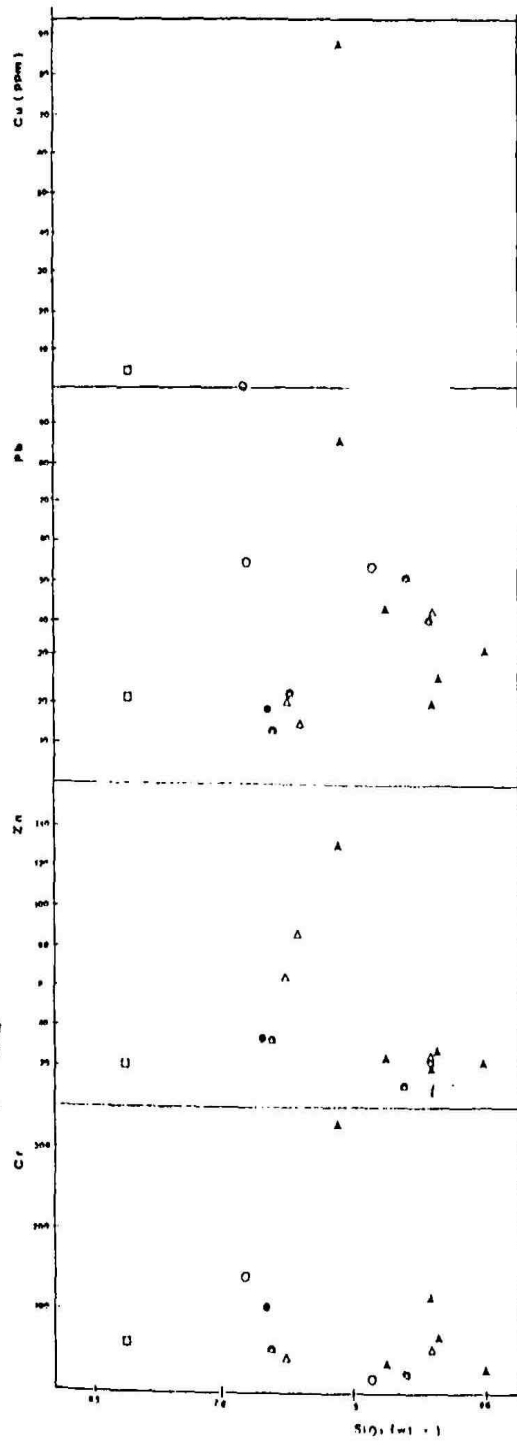
3-3-2. 미량원소 및 희토류 원소

<표5> 미량 원소의 함량(ppm)

	Kb-Gr		C-Bi-Gr			Bi-Gr		PP-Gr			SV			Por-Gr		
Chen. No	2	8	11	13	14	1	16	3	12	15	4	5	6	7	9	10
Li	32.85	117.60	234.20	-	123.80	2.50	64.00	29.30	10.45	247.35	11.75	55.10	159.30	-	39.35	59.25
Be	-	4.85	2.55	4.55	4.45	-	-	-	0.20	48.05	5.10	-	17.65	-	7.15	20.85
Sc	1.95	2.25	0.30	2.60	0.25	14.50	0.45	3.00	4.10	0.35	1.65	14.50	1.85	1.80	2.05	9.10
V	20.90	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	62.00	2.40	-	-	48.15
Cr	103.20	-	23.35	52.55	-	148.50	19.40	-	44.80	53.60	119.20	332.00	36.85	66.50	28.65	66.95
Co	3.45	0.35	-	11.25	-	1.50	0.50	0.50	0.85	-	0.60	2.50	1.25	0.30	-	8.15
Ni	47.05	-	10.90	32.30	22.95	103.50	-	2.05	65.05	24.15	54.05	154.50	23.75	28.75	22.90	21.90
Cu	-	-	-	-	-	0.50	-	-	-	-	1.20	87.50	-	-	-	4.35
Zn	34.40	33.90	17.85	-	55.70	103.50	22.15	86.00	69.90	16.25	19.00	131.50	36.20	25.10	18.00	53.60
Ga	17.25	16.60	15.25	11.90	19.95	43.00	12.65	15.15	45.05	21.70	19.05	27.50	16.65	12.05	11.30	18.25
Sr	422.95	87.15	38.05	33.65	33.65	77.50	170.30	116.60	276.25	38.50	69.70	78.50	102.10	77.35	65.05	262.00
Kb	157.15	206.35	322.05	288.45	288.45	646.50	137.35	141.15	206.00	337.20	291.45	29.50	421.95	145.55	245.55	154.25
V	10.55	45.85	29.15	26.95	90.30	6.50	9.40	34.15	28.35	128.50	81.85	43.00	128.65	20.85	38.50	40.20
Zr	15.25	76.90	99.75	28.80	147.00	19.50	67.25	64.50	132.05	132.30	118.75	135.50	69.45	65.85	75.00	46.05
Nb	5.95	14.65	43.25	19.90	41.00	4.00	12.85	5.50	8.85	75.40	51.80	23.50	44.10	19.10	28.30	16.45
Sn	7.00	471.50	6.00	116.50	57.00	5346.50	1.00	366.00	137.00	846.50	70.50	108.00	235.00	27.00	91.50	74.50
Ba	-	443.75	141.10	790.35	125.20	1867.50	57.10	732.40	447.00	129.40	47.85	195.50	380.65	317.65	285.65	843.00
Cs	2.03	5.81	12.09	1.56	11.04	1.80	1.29	4.38	1.37	11.63	8.20	3.04	25.89	2.01	5.96	3.41
Ta	0.64	4.71	4.41	1.29	7.03	1.18	2.40	3.25	3.72	5.33	6.79	3.86	4.42	2.56	4.11	1.65
	5.74	11.71	17.92	5.91	12.66	1.59	2.21	4.39	4.00	21.27	18.63	3.92	20.09	3.03	6.25	4.97
	19.25	23.05	51.95	13.85	41.30	55.50	54.55	15.35	20.85	43.00	20.05	86.50	43.90	26.45	32.75	22.25
Th	3.20	50.03	58.39	20.31	48.03	27.00	26.12	43.44	24.68	63.55	60.17	29.99	47.29	46.78	48.98	27.73
V	1.24	6.87	10.55	2.85	8.83	1.80	3.73	4.45	2.69	15.73	19.05	3.77	12.59	4.96	5.78	2.21
K/Rb	80.82	211.19	125.01	122.31	125.19	49.18	281.03	324.05	228.48	110.04	121.90	1530.75	87.15	258.93	150.43	2396.25
K/Ba	-	98.20	285.33	44.64	288.42	17.02	676.01	62.45	105.30	286.75	143.34	230.98	96.61	118.64	129.32	43.23
Ca/Sr	47.15	54.13	39.45	293.11	93.46	166.92	52.88	20.23	13.45	68.68	45.12	56.45	27.30	42.51	34.07	69.56
Rb/Sr	0.37	2.37	8.46	8.57	8.57	86.20	0.81	1.21	0.75	8.76	4.18	0.38	4.13	1.88	3.61	0.59
Ba/Sr	-	5.09	3.71	23.49	3.72	24.10	0.34	6.28	1.62	3.36	3.56	2.49	3.73	4.11	4.39	3.22
Th/U	2.58	7.28	5.53	7.13	5.44	150.00	7.00	9.76	9.17	4.04	3.16	7.95	3.76	9.43	8.47	12.55
Th/Rb	0.02	0.24	0.18	0.07	0.17	0.04	0.19	0.31	0.12	0.19	0.21	1.02	0.11	0.32	0.20	0.18
Th/Nb	0.53	3.42	1.35	1.02	1.17	6.75	2.03	7.90	2.79	0.84	1.16	1.28	1.07	2.45	1.73	1.69
Ba/Rb	-	2.15	0.44	2.74	0.43	2.89	0.42	5.19	2.17	0.38	0.85	6.963	0.90	2.18	1.16	5.47
Rb/Zr	10.30	0.37	0.31	0.10	0.51	33.15	0.49	2.19	0.64	0.39	2.45	4.86	0.16	0.45	0.31	0.30
Ba/Zr	-	5.77	1.41	27.44	0.85	95.77	0.85	11.36	3.39	0.98	2.09	1.44	5.48	4.82	3.81	18.31
Zr/V	1.45	1.68	3.42	1.07	1.63	3.00	7.15	1.89	4.66	1.03	1.45	3.15	0.54	3.16	1.94	1.15
Zr/Nb	2.56	5.25	2.31	1.45	3.59	4.88	5.23	11.3	14.92	1.75	2.29	5.77	1.57	3.45	2.65	2.80
N/Th	0.388	0.13	0.181	0.140	0.184	0.067	0.143	0.102	0.109	0.248	0.317	0.126	0.266	0.106	0.118	0.08

<그림17> 미량 원소 대 실리카 변화도





이 지역 암류의 미량원소와 희토류 원소를 분석하고 (표5, 6), SiO₂ D.I. 및 주성분 원소 값을 인용하여 분화정도에 따른 원소의 함량을 비교하였다. (그림17) 또 남한에 분포하는 백악기-제3기에 생성된 백악기 화강암류의 값(진 명식,1988)과 세계의 지각, 화강암류, 섬록암류 및 현무암류의 미량 원소 평균값(Taylor,1964)을 함께 비교하였다.(표7)

<표 6> 희토류 원소의 함량(ppm)

	Hb-Gr		C-Bi-Gr		Bi-Gr		PP-Gr			SV			Por-Gr				
Chen. No1	2	8	11	13	14	1	16	3	12	15	4	5	6	7	9	10	*
Pr	2.54	21.12	8.01	11.26	10.04	19.90	9.92	20.25	23.07	9.14	7.61	25.56	29.87	14.91	13.15	23.74	0.112
Sn	1.75	11.67	6.03	6.97	12.71	9.35	6.40	10.61	10.72	10.45	8.58	12.68	23.95	8.11	7.83	12.31	0.181
Eu	0.65	0.59	-	0.93	-	1.96	0.71	0.99	0.65	-	-	0.37	1.36	0.38	0.24	1.69	0.069
Gd	2.01	11.09	6.06	7.11	15.64	6.63	5.64	9.88	9.32	13.83	10.10	10.95	25.78	7.55	8.29	11.94	0.249
Tb	0.18	1.36	0.81	0.88	2.59	0.45	0.49	1.23	0.97	2.57	2.04	1.31	4.26	0.88	1.21	1.47	0.049
Dy	1.86	8.88	5.91	5.46	17.68	2.51	2.91	7.79	6.21	18.31	15.38	7.79	26.40	6.15	8.07	8.64	0.310
Ho	0.25	1.68	1.12	0.87	3.45	0.19	0.25	1.32	0.97	3.93	3.24	1.39	4.97	1.07	1.50	1.40	0.070
Er	1.10	5.24	3.63	2.78	9.96	0.67	0.81	4.28	3.20	12.93	10.85	4.15	14.54	3.20	4.96	4.15	0.200
Tm	-	0.73	0.49	0.29	1.43	-	-	0.48	0.34	2.02	1.76	0.43	2.07	0.36	0.64	0.50	0.030
Yb	1.20	5.57	4.36	2.92	9.73	0.34	0.63	3.91	3.30	14.58	13.62	3.76	14.83	3.14	5.12	3.84	0.200
Lu	0.03	0.72	0.47	0.30	1.19	-	-	0.43	0.33	1.97	1.63	0.40	1.82	0.29	0.60	0.41	0.030
ΣCe	4.94	32.38	14.04	19.16	22.75	31.21	17.03	31.85	34.44	19.59	16.19	38.61	55.18	23.40	21.22	37.74	
ΣY	6.63	35.27	22.85	20.61	61.67	10.79	10.73	29.32	34.64	70.14	58.62	30.18	94.67	22.64	30.39	32.35	
ΣREE	11.57	67.65	36.89	39.77	84.42	42.00	27.76	61.17	59.08	89.73	74.81	68.79	149.85	46.04	51.61	70.09	
Eu/Sn	0.371	0.050	-	0.133	-	0.210	0.111	0.093	0.061	-	-	0.029	0.057	0.047	0.031	0.137	

* : Haskin's chondritic abundance date(1968).

Eu* : Eu value derived by interpolation between sm and Gd.

ΣCe : sum of light REE(Pr to Eu).

ΣY : Sum of heavy REE(Gd to Lu).

ΣREE : Total concentration of REE.

가. 친석원소(Rb, SP, Ba, Th, U, Zr, Nb, Y, Li)

SiO₂ 함량 증가에 따라 Rb, Th, U, Zr, Nb, 및 Li는 증가하는 경향을 보이고 Sr과 Ba는 감소되며 Y는 약간 증가하는 경향이다. K/Rb값(그림18)은 현무암에서 화강암으로 결정분화작용이 진행됨을 반영한다. Ca/Sr비는 분별 결정작용 중 감소되며 이런 경향은 후기 생성물인 홍색장석반상화강암과 아화산암에서 뚜렷하다.(그림 19) Th/U비는 지르콘 스펀 인회석 및 알라나이트와 같은 우라늄 함유광물의 분별 정출작용을 반영한다.

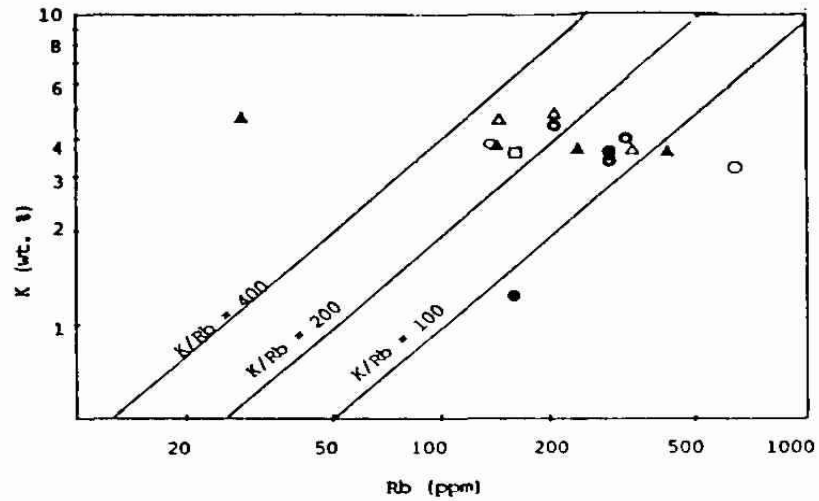
나. 친동원소 및 친철원소(Cu, Pb, Zn, Cr, Co, Ni, V, Sc, Ga)

Co와 Sc는 SiO₂함량 증가에 따라 감소하나 그 외의 원소는 변화가 불규칙하다.

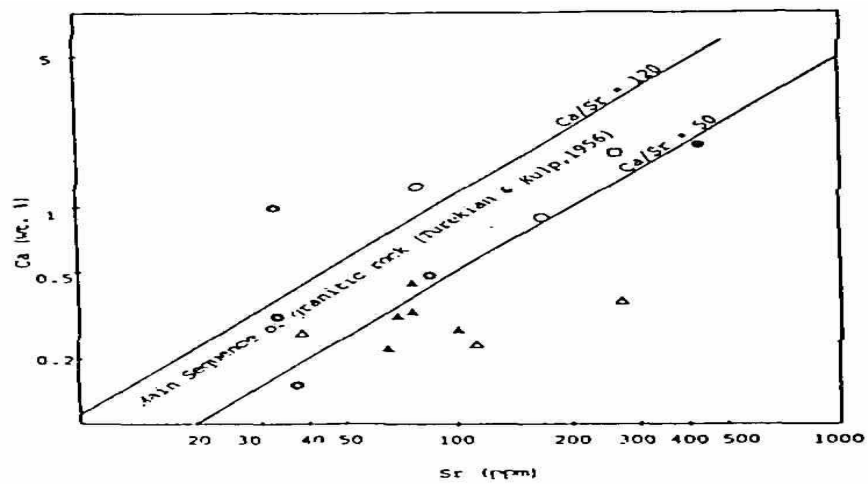
<표7> 설악산 지역의 화강암류, 남한의 백악기 화강암류 및 전세계의 지각내 화성암류의 미량원소량 비교(ppm)(진명식, 1988.테일러,1964)

elements	range	average	sd	Ko-range	Ko-average	Ko-sd	crust	granites	diorites	basalts
Rb	29.50 - 646.50	251.18	139.18	41 - 237	124.12	37.70	90	110-210	70-100	30-50
Sr	33.65 - 422.95	121.83	105.89	8 - 488	217.04	139.41	375	440-100	450	470
Ba	XD -1867.50	434.46	445.29	10 - 1509	587.56	248.56	425	420-840	650	250
Th	3.20 - 63.55	39.11	16.26	4 - 36	14.08	5.54	9.6	17	10	2.2
U	1.24 - 19.05	6.69	5.12	XD - 6.83	2.52	1.16	2.7	3.5	3.0-1.8	1.0
Zr	15.25 - 147.00	80.87	41.28	57 - 281	160.23	45.07	165	180	140	150
Nb	4.00 - 75.40	25.91	19.44	5 - 51	11.93	5.86	20	20	20	20
Ce	- -	-	-	XD - 170	53.92	24.14	67	46	-	-
Nd	- -	-	-	7 - 49	26.93	10.23	28	18	18	17.8
Y	6.50 - 128.65	47.67	37.77	3 - 102	30.19	13.28	33	40	30	25
Cu	XD - 87.50	5.85	21.11	XD - 198	15.41	24.73	55	10	40	100
Pb	13.85 - 86.50	35.66	19.05	XD - 163	25.78	22.94	12.5	20	12	5
Zn	XD - 131.50	45.19	35.02	2 - 1211	63.29	108.87	70	40	75	100
Mo	- -	-	-	XD - 17	1.49	2.15	1.5	2.0-1.3	1.1	1.5-1.0
X	- -	-	-	XD - 24	0.88	2.56	1.5	2.2	1.2	1.0-0.7
Cr	XD - 32.00	68.47	79.75	XD - 170	17.52	16.72	100	4	20	200
Co	XD - 11.25	1.95	3.12	XD - 25	6.39	6.52	25	1	9	48
Xi	XD - 154.50	38.36	39.59	XD - 79	8.55	9.98	75	0.5	20	150
V	XD - 62.00	8.34	18.53	XD - 1357	54.15	127.90	135	20	100	250
Sc	0.25 - 14.50	3.79	4.53	1 - 22	8.29	4.85	22	5	10	38
Ga	11.30 - 43.00	18.27	7.56	10 - 30	18.52	3.31	15	18	18	12
Li	XD - 247.35	74.18	77.83	XD - 115	20.91	14.17	20	38	25	15
F	- -	-	-	42 - 3920	351.57	365.97	625	350-830	630-500	400
Cl	- -	-	-	116 - 340	229.26	55.68	130	200	130-100	60
D.I.	77.71 - 96.62	91.15	6.09	43.66 - 97.90	81.62	13.75				
K/Rb	49.18 -1530.75	252.67	338.91	95.00 - 502.00	249.65	50.64	250.00	230.00	230.00	60.00
D/Ba	17.02 - 676.01	164.14	161.16	17.60 -4083.60	131.32	455.78	49.40	55.00	35.40	33.00
Ca/Sr	13.45 - 293.11	70.28	67.11	14.81 - 150.00	72.89	29.34	149.00	56.00	58.10	144.00
Rb/Sr	0.37 - 86.20	8.80	20.23	0.12 - 20.20	1.64	3.16	0.24	0.53	0.22	0.07
Ba/Sr	0.34 - 24.10	5.84	6.96	0.77 - 26.44	4.78	4.74	1.13	2.11	0.81	0.53
Th/U	2.58 - 150.00	15.83	34.74	1.43 - 19.70	6.10	2.85	3.56	3.54	5.00	3.67
Th/Rb	0.02 - 1.02	0.22	0.22	0.22 - 0.05	0.11	0.03	0.11	0.13	0.13	0.55
Th/Xb	0.53 - 7.90	2.32	2.04	0.35 - 2.80	1.25	0.45	0.50	0.85	0.50	0.11
Ba/Rb	0.38 - 6.63	2.13	1.97	0.04 - 19.12	5.31	2.52	4.72	4.00	6.50	8.33
Rb/Zr	0.10 - 33.15	3.56	8.06	0.27 - 3.45	0.82	0.41	0.55	0.83	0.71	0.20
Ba/Zr	0.85 - 95.77	11.49	21.92	0.04 - 16.26	3.93	2.07	2.58	3.50	4.64	1.67
Zr/Y	0.54 - 7.15	2.40	1.63	1.71 - 35.00	5.99	3.23	5.00	4.50	4.67	6.00
Zr/Xb	1.45 - 14.92	4.51	3.63	4.29 - 32.50	14.74	5.03	8.25	9.00	7.00	7.50

Sd : standard deviation. Ko : Southern Korea



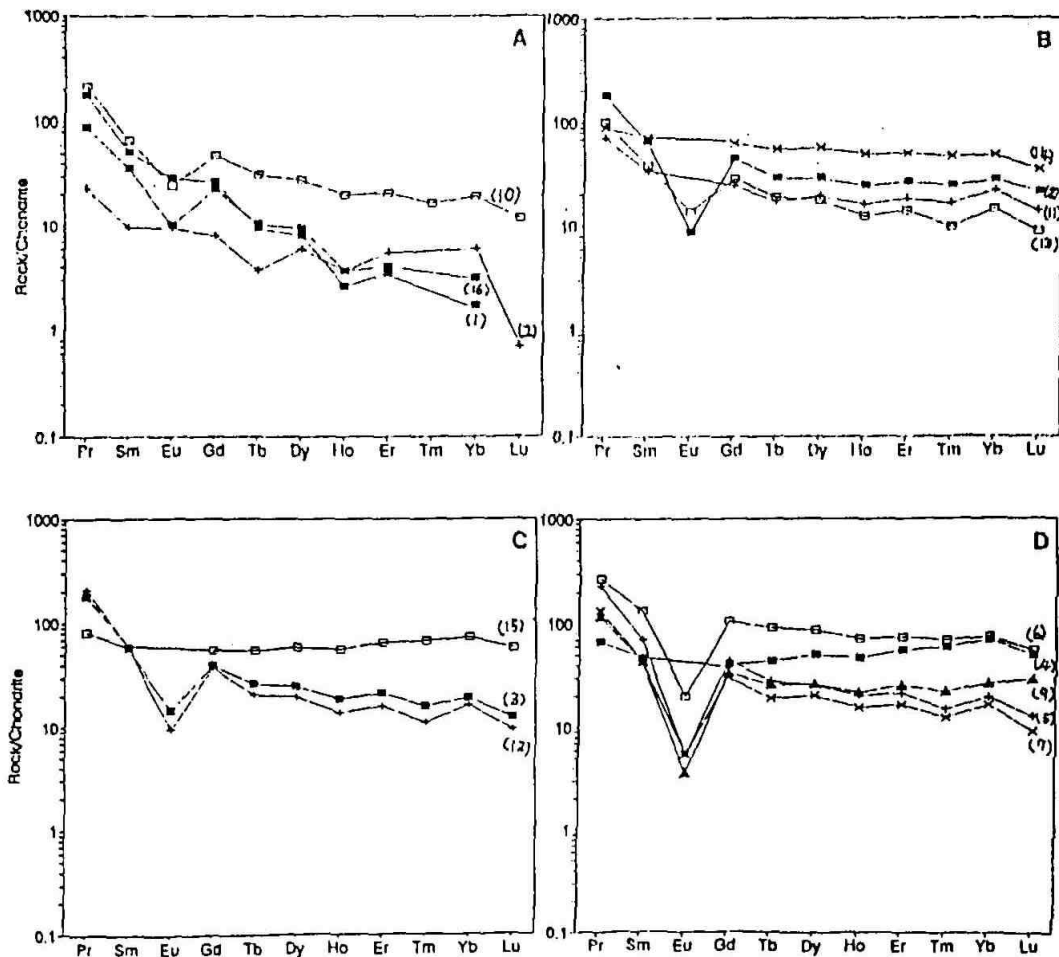
<그림 18> K/Rb 값



<그림19> 칼슘과 스트론튬의 관계도

다. 희토류원소

이 지역의 희토류원소 분석결과는 <표6>과 같고, 콘드라이트로 표준화한 희토류 원소들의 분포패턴은<그림20>에 도시하였다.



<그림20>희토류원소들의 분포패턴

희토류원소 총합량(ΣREE)은 11.57-149.85ppm(평균 61.33ppm)이며 light REE가 4.94-55.18ppm(평균 26.23ppm)으로 결핍되어 있고 heavy REE가 6.63-94.67ppm(평균 35.09ppm)으로 부하되어 있다. 각 암석별 값을 비교하면 각섬석화강암 11.57ppm, 흑운모화강암 34.88ppm, 조립흑운모화강암 51.18ppm, 홍색장석반상화강암류 69.99ppm, 아화산암류 78.22ppm으로 조립 흑운모화강암에서 홍색장석반상화강암, 아화산암으로 분화가 진행됨에 따라 강한 희토류 원소의 분별작용을 보이고 있다. 이는 Henderson(1984)에 의한 화강암류와 대비시키면 화강섬록암계열 범위(100-270ppm)보다 낮은 monzogranite와 syeno-granite 범위(40-107.4ppm)에 속한다. 또 $\text{Eu}(-)$ 이상인 Eu/Sm 은 각섬석화강암이 0.37, 흑운모화강암이 0.16, 조립흑운모화강암이 0.05, 홍색장석반상화강암이 0.05, 아화산암류가 0.03으로 다른 지역보다

낮은 값이다(김용준 외 1993, Henderson, 1984). 이런 현상은 대륙이나 대륙연변부에서 구조운동으로 생성된 화성암류가 흔히 보이는 특성이다.(Culler and Graf, 1984) 또 높은 Eu(-) 이상(0.37)을 보이는 각섬석화강암은 분화정도가 낮고 혼화작용이 있었던 것으로 생각되며, 아화산암류의 Eu(-) 이상이 가장 낮는데 이는 분화정도가 높았고, 또 wallrock 인 편마암의 암편에 의한 효과로 생각된다.

3-3-3. 마그마의 특성

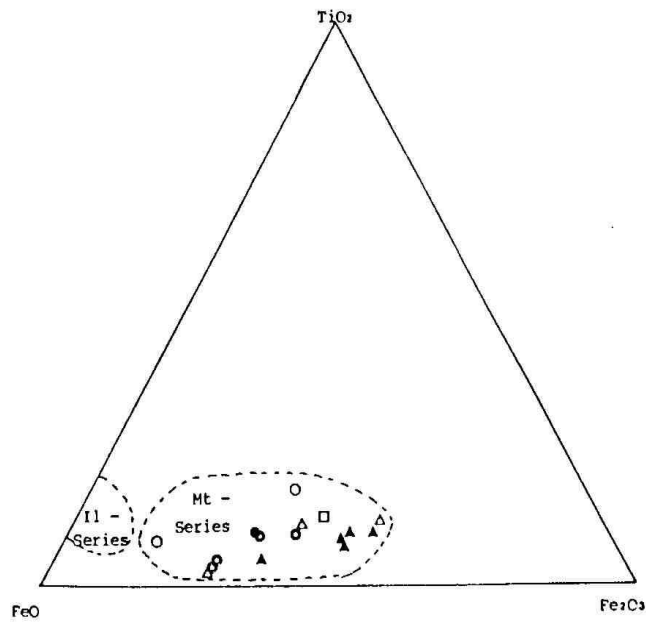
가. 마그마의 유형

카펠과 화이트(1974)는 칼크-알칼리 화강암류를 I-type(화성기원)과 S-type(퇴적기원)으로 분류하고, 조산대의 화강암질 마그마 작용과 암석의 성인에 관한 해석을 하였다. 한편 화이트(1979)는 I-type보다 낮은 K_2O/Na_2O 비, K_2O/SiO_2 비, 높은 $CaO/(Na_2O+K_2O)$ 비를 갖는다. 또 루이젤과 온스(1979)는 비조산대에 특징적으로 산출된다는 의미로 A-type 화강암계열을 제창했는데, 이는 I-type보다 알칼리 함량이 풍부하고(alkalic) H_2O 가 결여된(anhydrous)성질을 나타낸다.

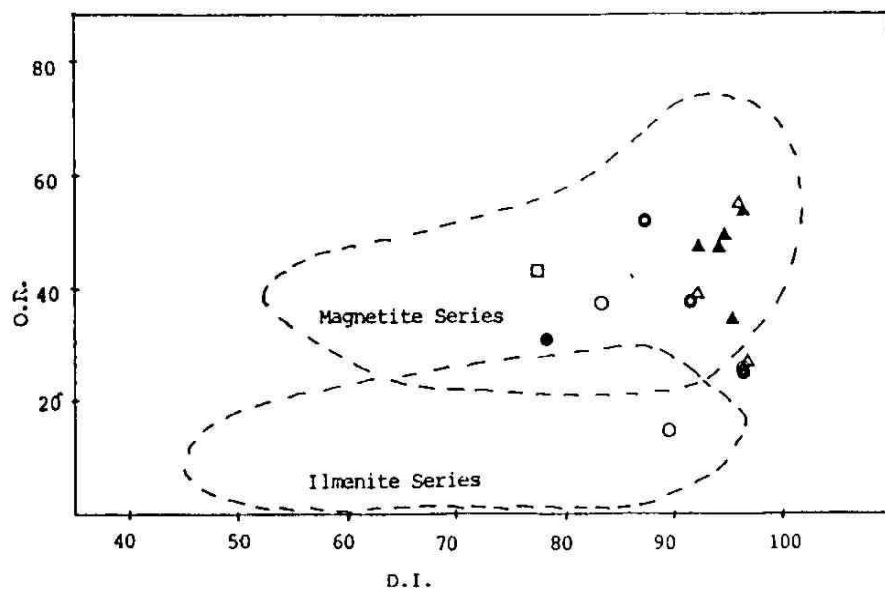
화강암류의 전암대자율 측정으로 이시하라(1977)는 자철석 계열은 FeO-TiO 산환 광물로서 자철석과 티탄철석을 포함하고 불투명광물 함유량이 높으나(0.1 Vol%이상) 티탄철석 계열은 티탄철석만 포함하고 0.1 Vol.%이하의 낮은 불투명광물 함유량을 가진다. $TiO_2-FeO-Fe_2O_3$ 삼각도(그림21)에서 이 지역 암류는 자철석 계열에 속한다. 분화지수(D.I)에 대한 산화비(O.R.)의 관계도(그림 22)에서도 모두 자철석 계열에 속한다. 이는 경상분지내의 백악기-고 제 3기초의 화강암류가 평균 40정도의 산화비를 가지는 자철석 계열에 속한다는 (진명식,1981) 사실과 일치한다.

나. 마그마의 특성

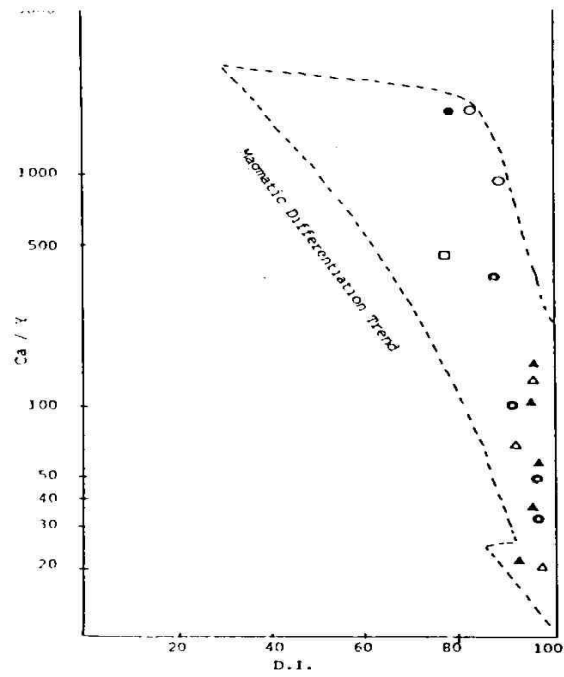
Ca/Y와 D.I. 관계도(그림23)에서 화강암질 마그마의 분별결정작용을 알 수 있는데, 후기 생성물인 홍색장석반상화강암과 아화산암의 분포에서 확인된다. Rb와 Ba는 분화말기에 K 이온과 쉽게 치환되므로 흑운모와 K-장석에 농집된다. Sr은 k 이온 Ca 이온과 복합치환으로 사장석에 나타나며 분화초기에 각섬석에도 좁은 범위나마 나타난다. 따라서 Rb/Sr 비와 분화지수관계도(그림24)에서 마그마분화를 보여주는 증가경향이 뚜렷이 나타난다. 또 Rb/Sr 관계도(그림25)에서 이 지역의 마그마는 맨틀기원물질과 지각물질이 혼화된 것을 알 수 있다.



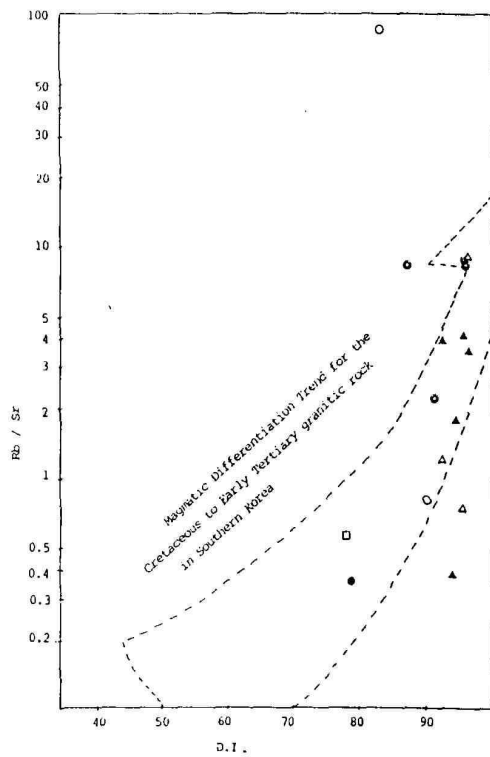
<그림21> $\text{TiO}_2\text{-FeO-Fe}_2\text{O}_3$ 삼각도



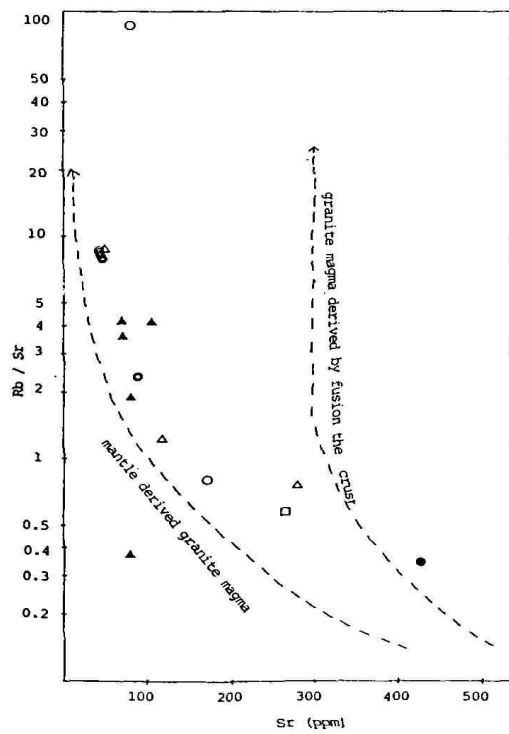
<그림22> 분화지수(D.I.)에 대한 산화비 (O.R)의 관계도



<그림 23> Ca/Y 와 D.I. 관계도



<그림24> Rb/Sr비와 분화지수관계도



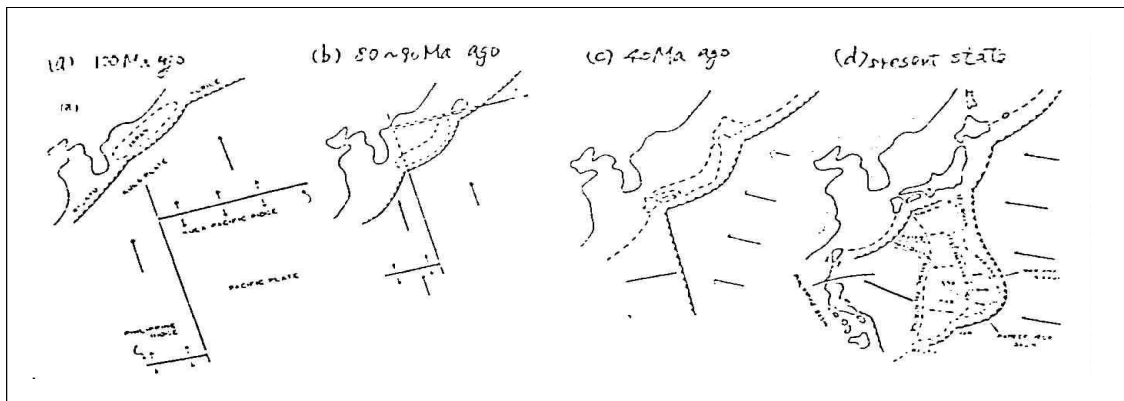
<그림25> Rb/Sr 대 Sr 관계도

3-4 설악산 화강암체 생성과 지구조 환경

3-4-1. 한반도의 판구조 운동

한반도는 비교적 지각운동이 활발하지 않은 아시아대륙 북동부와 지각운동이 활발한 일본열도 사이에 위치하고 있다. 과거 수 차례의 지각운동에 의해 한반도 곳곳에 생성된 화강암은 한반도의 중남부로부터 시베리아 지역까지 연속적으로 분포한 중생대 저반의 일부이다.

좌용주는 ‘환태평양 조산대의 서브덕션대와 관련 화성활동에 관한 연구(1991)’에서 한반도 및 일본열도 부근에 있어서의 판구조론의 적용으로 지체구조적 환경을 설명하였다. <그림26>에서처럼, 백악기에 아시아 대륙 쪽으로 쿨라판이 삽입하면서 도호가 형성되고 동해가 열리게 된다. 동해의 열림에 대해 시마자끼 등(1981)은 서남일본이 단순히 southward drift 운동만 한 것이 아니라 후쿠사쓰 굴곡 주위를 중심으로 30-40°정도 시계방향으로 회전운동을 했다는 가설을 세웠고, 이는 고지자기의 연구로 지지되었다. 여기서 한반도에서의 극의 위치 이동과 일본열도에서의 이동이 서로 상이한 경로를 나타내었고 이로부터 한반도와 일본열도 사이의 상대적 이동에 대한 해석이 가능해졌다.

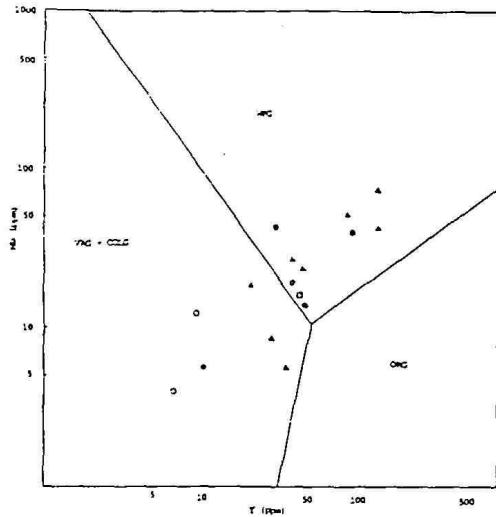


<그림 26> 쿨라판의 이동과 한반도 주변의 판구조 운동(Uyeda and Ben-'Avraham', 1972)

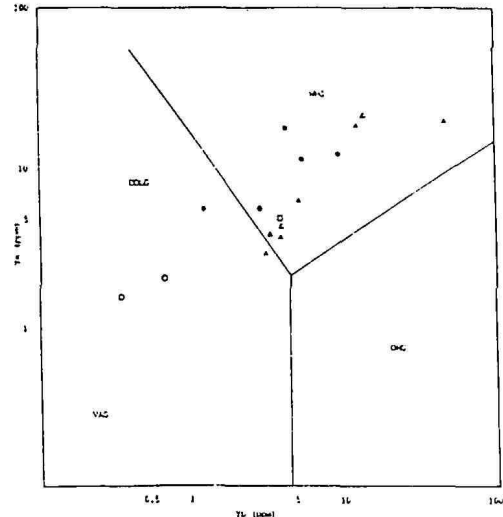
3-4-2. 미량원소와 지구조 환경

카펠 등(1974)은 화강암류를 암석화학적 특성에 따라 I-type 과 S-type으로 구분하였다. 피쳐(1984)등이 이를 지구조적 지시자로 발전시켜 S-type 의 화강암류는

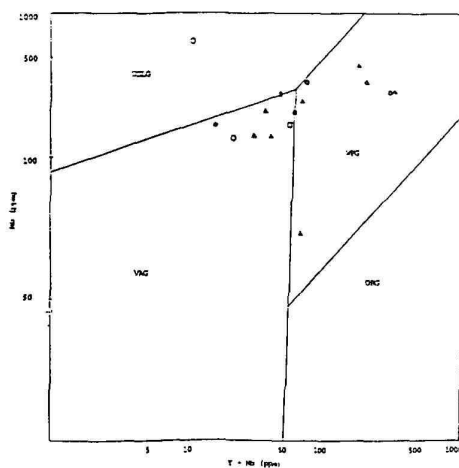
대륙판의 충돌에 의해서 형성되고, I-type 의 화강암류는 Post-orogenic up lift regime으로 해석하였다. 그리고 지구조적 환경을 밝히는데는 광물과 주성분원소에 의한 구분보다도 미량원소의 거동과 분포가 중요하게 이용될 수 있음을 알아냈다.



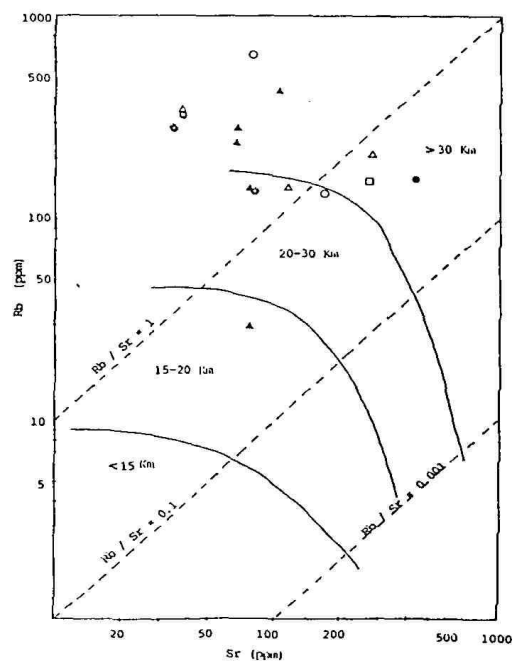
<그림27> Ta와 Yb의 상관도



<그림28> Nb와 Y의 상관도



<그림29> Rb와 (Y+Nb)상관도



<그림30> Rb/Sr 과 지각의 두께 관계

Ta와 Yb(그림27)와 Nb와 Y의 상관도(그림28)에서는 대부분 WPG 와 VAG+COLG 영역에, Rb와 (Y+Nb)상관도(그림 29)에서는 대부분 WPG와 VAG 영역에 도시된다. 따라서 이 지역 화강암을 형성한 마그마관입의 지구조적 환경은 대륙 연변부의 compressional volcanic arc 라고 해석된다.

Rb와 Sr의 함량을 콘디(1973)의 지각두께에 관한 Rb-Sr 상관도(그림30)에 도시한 결과 화강암질 마그마가 생성되어 지각으로 상승하여 정치(定置)될 때의 이 지역의 지각두께는 30km이상이었다고 생각된다. (Shaw, 1968,1972. Taylor,1979)

최근에 미소(微小)지진을 이용하여 측정한 한국남부지역 지각의 두께인 약 29km (김성균과 정부홍, 1985)와 큰 차이가 없음을 알 수 있다.

4. 결론 및 제언

1. 설악산 화강암류는 조직과 구성광물에 따라 각섬석화강암, 조립흑운모화강암, 흑운모화강암, 홍색 장석반상화강암, 섬록암, 아화산암 및 화강반암으로 분류된다.
2. 설악산 화강암류는 화학조성상 비알칼리계열이며 칼크 알칼리 계열로 분류되고, TiO_2 -FeO- Fe_2O_3 삼각도와 D.I. 대 O.R 도에서 자철석계열로 분류된다. 그리고 마그마 정치당시의 압력은 0.5kbar-5.0kbar 범위이며, 온도는 950°C-700°C 범위로 천분관입체이다.
3. 설악산 화강암류의 화학분석결과 미량원소와 희토류 원소의 변화경향은 전형적인 화강암질 마그마의 분화경로를 보이며, 화강암류, 반상화강암류와 아화산암류가 도원마그마의 분화물임을 알 수 있다.
4. Rb/Sr 관계도에서 설악산 화강암류는 약 30km정도 깊이에서 맨틀기원물질과 지각기원물질이 혼화작용으로 만들어진 마그마의 특성을 보인다.
5. 설악산 화강암류는 미량원소함량과 마그마 분화경향이 옥천 습곡대와 경상분지의 백악기 화강암류와 유사한 특징을 보인다.
6. 설악산 퇴적층은 분급도와 원마도가 낮은 미성숙단계의 퇴적성숙도를 보인다. 암편으로 응회암 조각이 나타나므로 퇴적당시 화성활동이 있었음은 알 수 있다.

7. 설악산 퇴적층은 백악기 육성층으로, 하부로부터 세일, 석회암과 세일의 호층, 세일, 사암, 각력암, 사암 순으로 되어 있다.
8. 설악산의 변성암류는 선캠브리아기의 경기기저변성암 복합체로 우백질 편마암, 화강암질 편마암, 반상변정 편마암으로 구성되어 있다.
9. 중청봉 일대의 화강암질 편마암은 육안으로 호상편마암처럼 보이나 현미경하 안구상 조직이 발달된 화강편마암이며, 대청봉 일대의 반상변정 편마암은 반정의 크기가 매우 크고 양이 많아 변성도가 높았음을 알 수 있다.
10. 야외산상으로 선후관계를 구한 각 화강암체의 절대연령을 구하여 정확한 관입 시기를 밝히는 연구가 뒤따라야겠다. 또 환산암편이 다량 들어 있는 설악산층의 퇴적 당시 화성활동에 관한 연구도 계속되어야 한다.
11. 설악산 국립공원지역의 관광안내자료를 학습자료로 활용할 수 있도록 자료개발과 보완작업이 필요하다.

*참고문헌

1. 정창희, 김정율, 이영엽, 1985, 설악산의 지질과 지형, 설악산 학술조사보고서, 429-457.
2. 이대성, 설악산 부근의 지질, 한국지구과학교육학회지, 3.1.1982.41-47
3. 민경원, 설악산 북부지역에 분포하는 중생대 화강암류에 대한 암석지구화학적 연구, 1993, KOSEF 0911-0503-004-2
4. 김규한, 신윤수, 충주-월악산-제천 화강암류의 암석화학적 연구, 광산지질, 23.2.1990.245-259
5. 민경덕, 김옥준, 윤석규, 이대성, 김규한, 한국 남부의 백악기말 이후의 화성활동과 광화작용에 대한 판구조론의 적용성 연구(11), 지질학회지, 24, 특별호, 1988.11-40
6. 박병권, 도일규, 한반도에 분포된 중생대 화강암질 저반의 신 지구구조론적 고찰, 지질학회지, 9.3.1973.149-160

7. 좌용주, 환태평양 조산대의 서브덕션대와 관련 화성활동에 관한 연구, 한국해양연구소, 1991.pp.165.
8. 조등룡, 남한에 분포하는 현생 화강암류의 기원에 대하여 광물 및 암석화학적 연구, 연세대학교 대학원, 박사학위논문, 1992.pp.189.
9. 원종관 외, 가원의 자연, 가원도 교육청 과학기술과, 1993.
10. MacKenzie, W. S. and Guilford, C., Atlas of rock-forming minerals in thin section, Longman Group Limited, 1980.
11. M. S. Jin, Geochemistry of the Cretaceous to Early Tertiary Granitic Rocks in southern Korea, Pt.2. Trace element geochemistry : J. Geol. Soc.Korea, Vol. 24, special issue, 1988,pp. 168-188.
12. MacKenzie, W. S., Donaldson, C. H., and Guilford, C., Atlas of igneous rocks and their textures, Longman Group Limited, 1982.
13. Yardley, B. W. D., MacKenzie, W. S. and Guilford, C., Atlas of metamorphic rocks and their textures, Longman Scientific & Technical, 1990.

* 사진 설명

단, 현미경 사진은 40배율

사진 No.	내 용	비 고
1	주사위 모양으로 떨어져 나가는 화강암 덩어리(미시령 부근 국도변)	야외 사진
2	계조암의 흔들바위	
3	오랜 시간의 풍화작용으로 모서리가 둥글게 깎인 전석	
4	화강암이 수직절리를 이룬 울산바위	
5	석회암의 습곡구조(내설악 축성사지 옆 계곡)	화 성 암
6	각섬석화강암, 직교니콜 석영이 파동소광을 보이고 불합상 조직을 이룸	
7	조립흑운모화강암(울산화강암), 직교니콜 광물 입자가 매우 큼직한 조립등립질이며, 흑운모 결정내 녹염석과 방사능 훈이 다수 보임	
8	조립흑운모화강암(울산화강암), 직교니콜 미사장석 결정내 알바이트 쌍정이 발달된 사장석 있음 사장석은 건운모화가 상당히 진행되었음	
9	조립흑운모화강암(설악산화강암), 직교니콜 장석은 대부분 퍼사이트를 이룸	
10	흑운모화강암, 직교니콜 희미하게 알바이트 쌍정이 나타난 사장석과 poikilitic texture가 보임	
11	홍색장석반상화강암, 직교니콜 carlsbad twin이 발달된 정장석이 반정으로 나타나고, 일부 용식된 흔적이 보임	
12	아화산암, 직교니콜 장석 결정이 대부분 · 용식되어 구멍이 파인 만입구조를 이룸	
13	아화산암, 직교니콜 · 용식되고 깨어진 장석류가 암편을 이룸	
14	화강반암, 직교니콜 · 누대구조가 발달된 장석 결정이 반정으로 나타남	
15	석회암, 직교니콜. 세립의 방해석 바탕에 그물모양의 맥(calcite vein)이 많이 뻗어 있음	퇴 적 암
16	적색 사암, 개방니콜 기질은 적색이고 15%이상 차지하므로 와케(wacke)임. 암편은 대부분 응회암으로 만입구조도 보임	
17	적색 각력암의 암편과 기질의 경계부분, 직교니콜 기질부분의 염기성 화성암이 Ca성분을 공급하여 방해석이 생성되었음	
18	적색 각력암의 지질 부분, 직교니콜 암편의 원마도 분급도가 모두 불량하고 크기도 다양함	
19	반상변정편마암, 직교니콜, 큼직한 장석 결정(변정)내 발달된	변 성 암
20	포유물은 황갈색 흑운모와 석영으로 미문상조직을 이룸	
21	화강암질 편마암, 개방니콜, 무색광물과 유색광물이 엮리를 이룸	
22	화강암질 편마암, 직교니콜 무색광물인 석영과 장석이 압력을 받아 방향성을 보임	
23	안구상편마암, 개방니콜 · 유색광물이 안구모양을 이룸	
24	안구상편마암, 직교니콜 · 무색 광물중 장석결정은 큼직한데, 석영은 잘게 부서져서 불합상 조직을 이룸	



사진 1 : 주사위 모양으로 떨어져 나가는 화강암 덩어리
(미시령 부근 국도변)



사진 2 : 계조암의 흔들바위 오랜 시간의 풍화작용으로
모서리가 둥글게 깎인 전석이다.

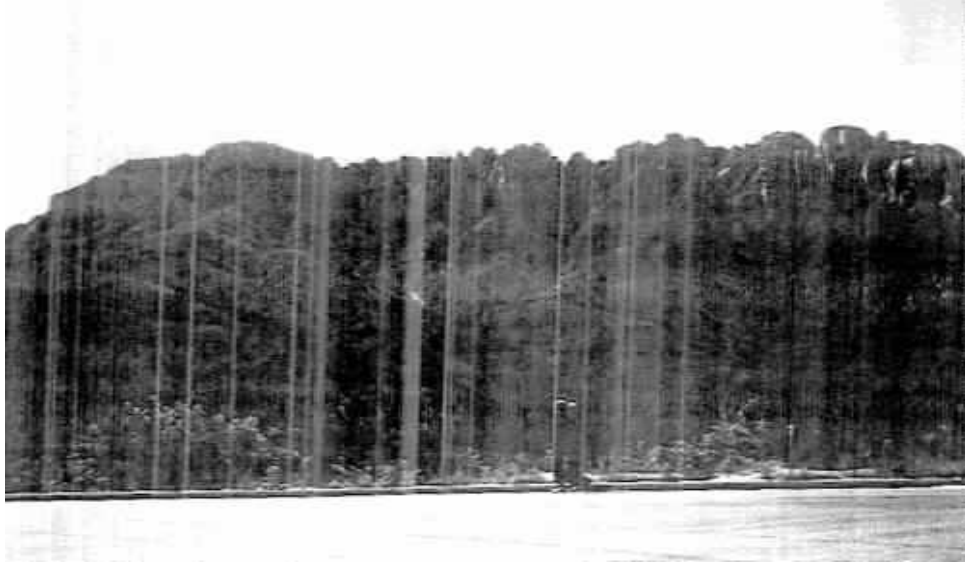


사진 3 : 화강암이 수직절리를 이룬 울산바위

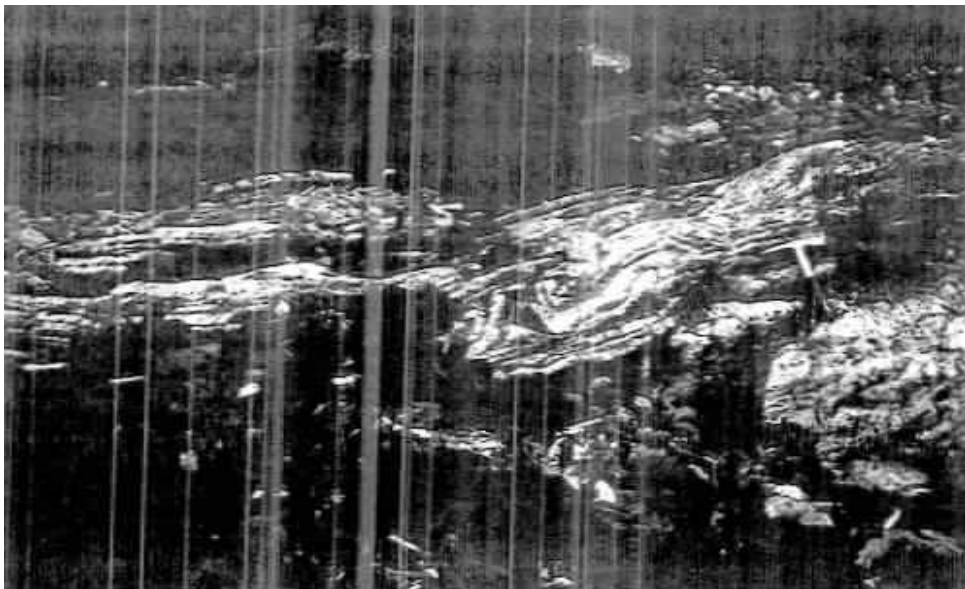


사진 4 : 석회암의 습곡구조 (내설악 축성사지 옆 계곡)



사진 5 : 각섬석화강암 직교니콜 40배
석영이 파동소광을 보이고 봉합상조직을 이루고 있다.



사진 6 : 조립흑운모화강암(울산화강암) 직교니콜 40배
광물입자가 매우 큼직한 조립등립질이며, 흑운모결정내
녹염석과 방사능 혼이 다수 보인다.



사진 7 : 조립흑운모화강암(울산화강암) 직교니콜 40배
미사장석결정내 알바이트 쌍정이 발달된 사장석이 보인다.
사장석은 견운모화가 상당히 진행되었다.



사진 8 : 조립흑운모화강암(설악산화강암) 직교니콜 40배
장석은 대부분 퍼싸이트를 이루고 있다.



사진 9 : 흑운모화강암 직교니콜 40배
희미하게 알바이트 쌍정이 나타난 사장석과 포이킬리틱 구조가 보인다.



사진 10 : 홍색장석반상화강암 직교니콜 40배
칼스바드 쌍정이 발달된 정장석이 반정으로 나타나고 일부 용식된 흔적이 보인다.



사진 11 : 아화산암 직교니콜 40배

장석 결정이 대부분 용식되어 구멍이 파인 만입구조를 이루고 있다.



사진 12 : 아화산암 직교니콜 40배

용식되고 깨어진 장석류가 암편을 이루고 있다.

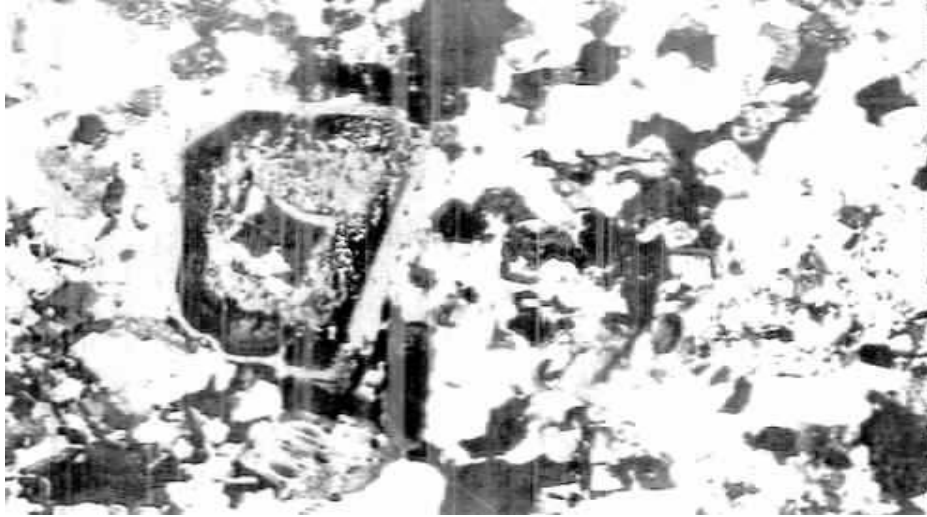


사진 13 : 화강반암 직교니콜 40배
누대구조가 발달된 장석결정이 반정으로 나타난다.

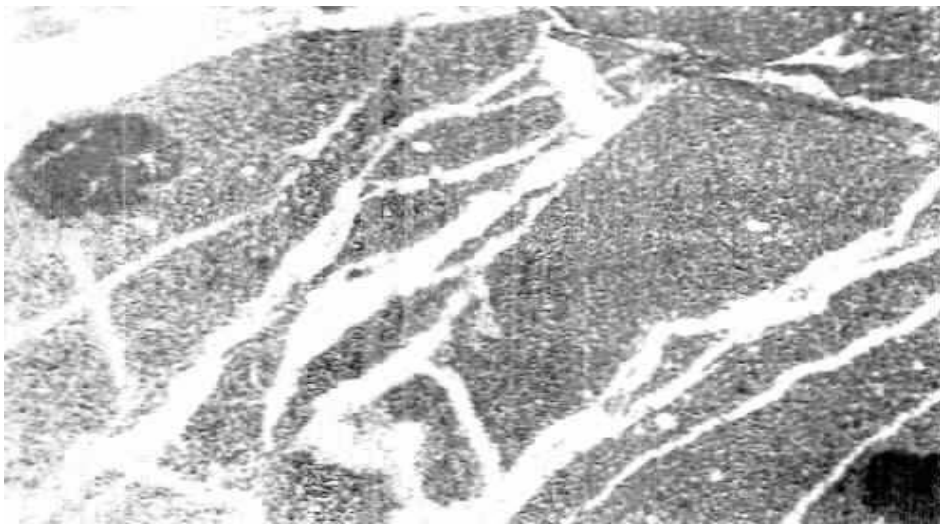


사진 14 : 석회암 직교니콜 40배
세립의 방해석 바탕에 그물모양이 맥(방해석 맥)이
많이 뻗어 있다.

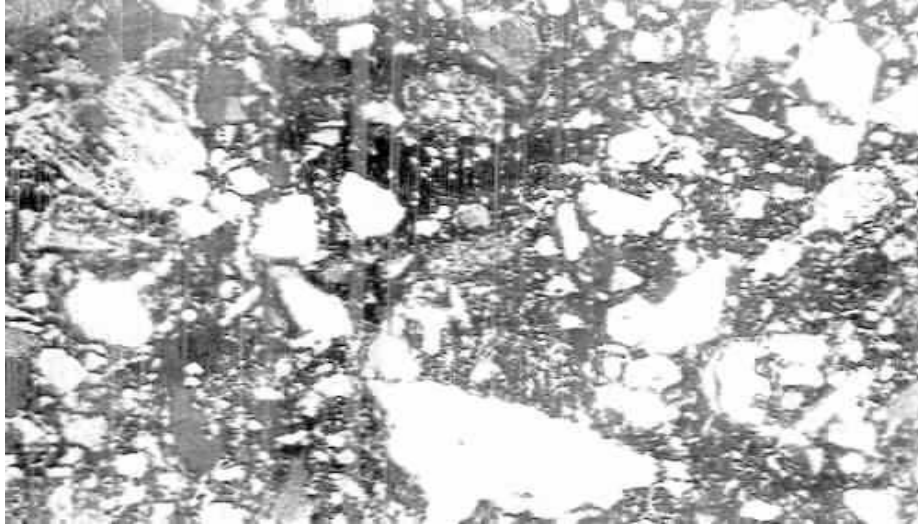


사진 15 : 적색 각력암의 기질부분 직교니콜 40배
암편의 원마도 분급도가 불량하고 크기도 다양하다.



사진 16 : 적색 각력암의 암편과 기질의 경계부분 직교니콜 40배
기질부분의 염기성화성암이 칼슘성분을 공급하여 방해
석이 생성된 것으로 보인다.

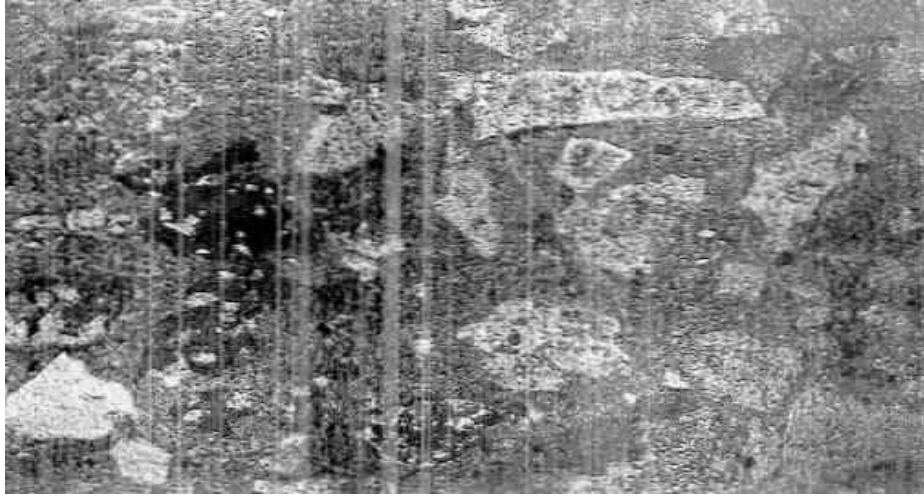


사진 17 : 적색 사암 개방니콜 40배

기질은 적색이고 15%이상 퇴사로 와케이다. 암편은 대부분 응회암으로 만입구조가 보인다.

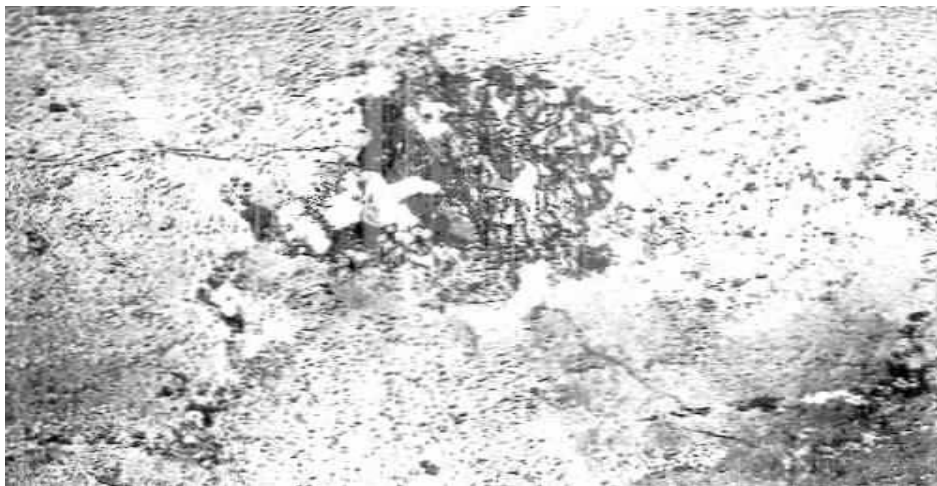


사진 18 : 반상변정 편마암 직교니콜 40배

굵직한 장식 결정(변정)내 발달된 포유물, 황갈색 흑운모와 석영이 미문상 조직을 이루고 있다.

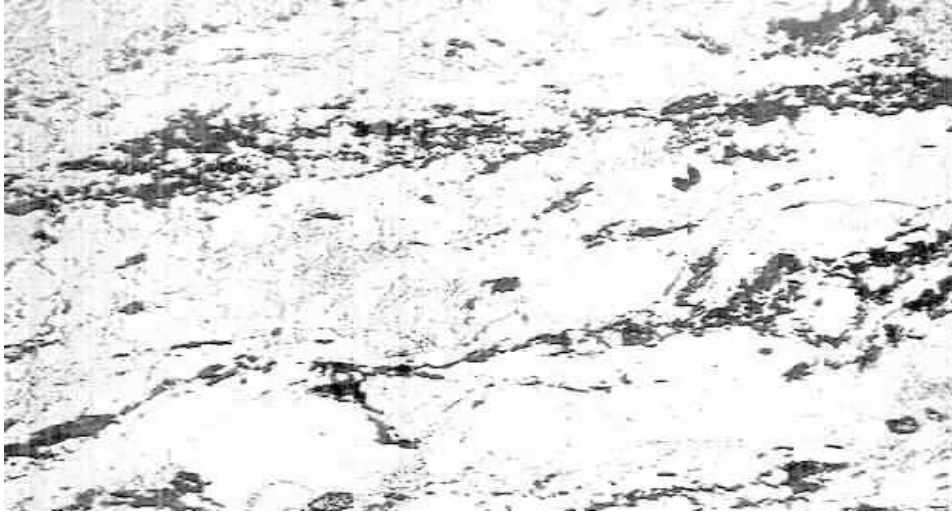


사진 19 : 화강암질 편마암 개방니콜 40배
무색광물과 유색광물이 엇리르고 있다.

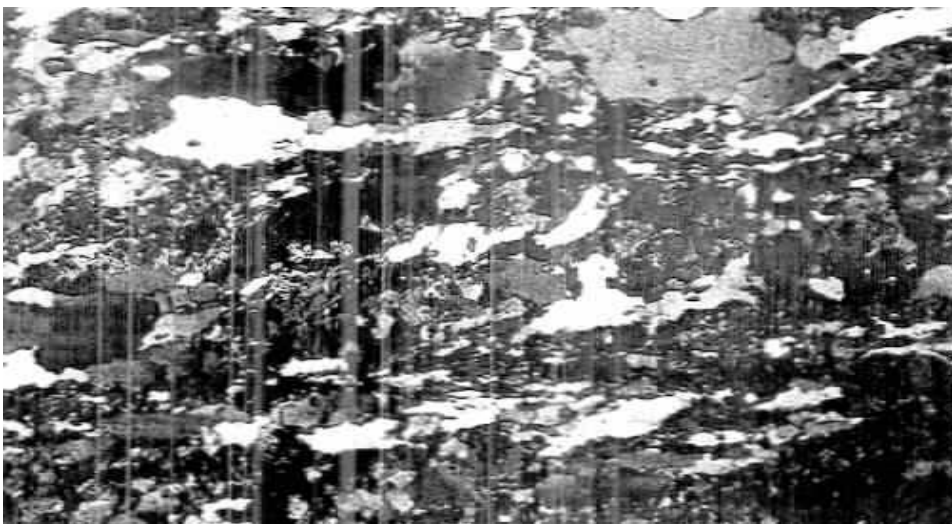


사진 20 : 화강암질 편마암 직교니콜 40배
무색광물인 석영과 장석이 압력을 받아 방향을 이루고 있다.



사진 21 : 안구상 편마암 개방니콜 40배

황갈색 흑운무가 뚜렷한 안구상 조직을 이루고 있다.

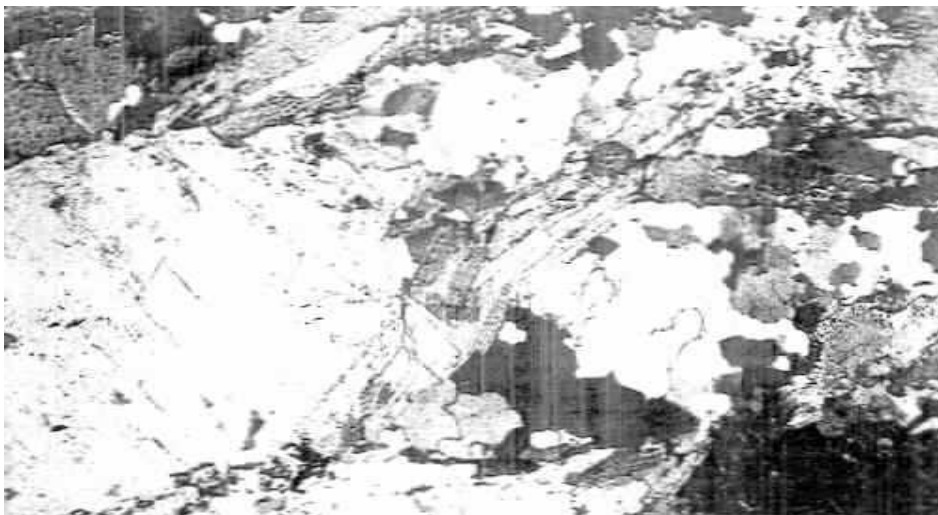


사진 22 : 안구상 편마암 직교니콜 40배

안구부분의 장식결정은 큼직한데, 석영은 잘게 부서져서
봉합상 조직을 이루고 있다.