

경상분지북부 의성서부지역 백악기 진주층·일직층의 사암성분 및 고기후

박진아·이용태·김상욱·고인석

경북대학교 자연과학대학 지질학과

요 약 : 이 연구는 경상분지북부 의성서부지역에 분포하는 백악기 진주층과 일직층의 사암을 대상으로 그 광물조성과 주원소 성분의 특징을 알아보고, 기원지의 조구조적 위치와 고기후를 추론하였다. 하호(河湖)환경에서 퇴적된 진주층과 일직층 사암의 석영, 장석, 암편의 평균 조성비(Q:F:L)는 각각 53:40:7 및 50:46:4이며 모두 알코식 아레나이트에 속한다. 사암의 광물조성에 근거한 기원지의 주된 조구조위치는 전이대륙지괴(transitional continental block)로 해석된다. 전암분석결과, 모든사암의 주원소성분은 Pettijohn (1975)의 알코츠와 그레이와케의 중간값을 보여준다. Na₂O 함량은 비교적 높은 반면, Fe₂O₃(total iron) 및 MgO 함량은 비교적 낮다. SiO₂ 함량이 증가하면 Fe₂O₃, MgO 함량이 감소하는 경향인데, 이는 알코츠사암의 골격입자들의 주공급원으로 생각되는 화강암질암의 비교적 낮은 Fe-Mg 함량 때문인 것으로 해석된다. 일부 Na₂O 함량이 다소 높게 나타나는 것은 사장석의 알바이트화에 의한 영향도 있었을 것으로 사료된다. 세설성 골격입자들은 속성작용에 의하여 다소 변질되기는 하였지만, 고기후의 특징들이 아직도 남아있다. 연구지역의 진주층 및 일직층 사암의 퇴적기 고기후는 사암성분에 근거한 Suttner와 Dutta (1986)의 해석기준에 의하면 아건조 내지 아습윤 기후로 해석된다.

핵심어 : 경상분지북부, 진주층, 일직층, 사암성분, 고기후

서 언

경상분지북부에 광범하게 분포하는 백악기 경상누층군은 많은 연구자들에 의하여 일반적인 층서가 확립되었으며 (Chang, 1988), 그 퇴적환경은 충적선상지, 범람원, 호수등으로 알려져 왔다(손진담, 1989; Lee, 1995). 최근에는 고수류분석(Chang *et al.* 1990; 고인석 외, 1996), 탄산염 퇴적물을 대상으로 한 퇴적환경 및 속성작용 연구(Lee *et al.* 1991; Woo *et al.* 1991), 석회질 고토양을 대상으로 한 고기후 연구(백인성과 천종화, 1993; 백인성과 이용일, 1994) 등으로 경상누층군에 대한 연구는 점차 다양해지고 있다. 이는 고기후를 비롯한 고환경 복원에 육성퇴적층이 차지하는 비중이 날로 증대되고 있는 국제적 연구추세에 비춰볼 때, 더 구체적인 경상분지의 발달사를 이해하는데 있어서 매우 발전적인 흐름으로 간주된다. 특히 고토양 연구는 고기후와 고환경 해석에 매우 유용하게 사용되어 질수있으며(Retallack, 1988; Mack, 1992), 일부이긴 하나, 경상누층군의 적색층에서도 고토양을 통한 고기후가 연구된바 있다(백인성과 이용일, 1994).

최근 20년간 현생의 모래성분과 기후와의 관계를

연구한 결과, 모래의 성분성숙(compositional maturity)에 기후가 상당히 영향을 미친다는 사실이 밝혀졌고(Basu, 1976; Suttner *et al.*, 1981; Franzinelli and Potter, 1983; Suttner and Dutta, 1986), 그러한 성분성숙 연구는 고기(古期) 사암의 고기후를 해석하는데 이용되고 있다(Suttner and Dutta, 1986). 현재까지 경상누층군 사암의 성분성숙을 통한 고기후연구는 수행된바 없으며, 경상분지의 입체적인 분지해석을 위하여 고기후연구는 절실히 요구된다.

이 연구의 목적은 사암의 광물 및 주원소성분을 근거로 고기후를 유추하는데 초점을 두고 있다. 연구지역은 경상분지북부 의성서부지역을 통과하는 중앙고속도로 구간 중 도리원-일직간 지역이며, 연구대상은 백악기 진주층과 일직층이다(Fig. 1). 연구대상을 두 층으로 제한한 것은 두층에서만 야외에서 다수의 신선한 시료채취가 가능하였기 때문이다.

야외조사 및 실험

야외조사는 1996년도 여름 대구-안동간 중앙고

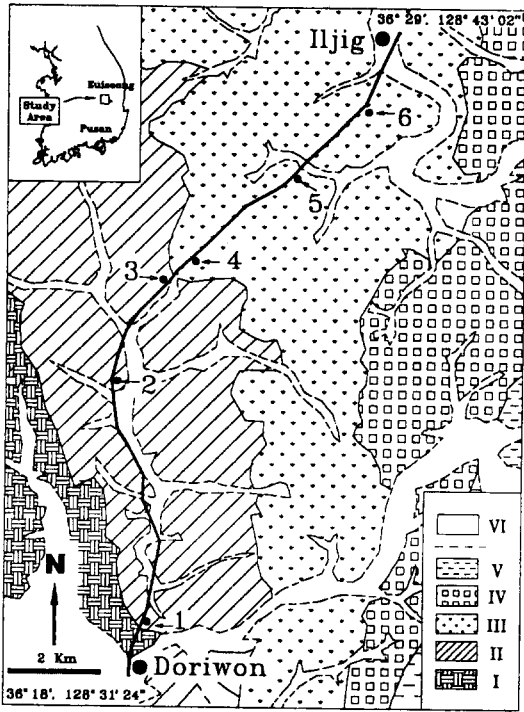


Fig. 1. Geologic map of western Euseong area in the northern part of Kyongsang basin (modified after Bong-Kyun Kim *et al.* 1977). I: Hasandong Fm., II: Jinju Fm., III: Iljig Fm., IV: Hupyeongdong Fm., V: Jeomgog Fm., VI: Quaternary Alluvium, 1: Gumi Section II, 2: Doog Section, 3: Majeon Section, 4: Changgil Section, 5: Pyeongpal Section, 6: Guggok Section, —: Jungang highway, ●: observation site.

속도로 일부구간이 개통되기 직전에 이루어 졌다. 야외조사시 지층의 전반적인 특징은 이미 조사된 의성도폭 설명서(1:50,000; 김봉균 외, 1977)를 참조하였으며, 고속도로변에서 노두발달이 양호한 곳에서 진주층과 일직층의 주상도를 작성하고, 실내 연구에 필요한 사암 및 이암시료 64개를 채취하였다(Figs. 2, 3).

K-장석의 식별을 쉽게 하기 위하여 박편을 염색하였다. 광물조성을 파악하기 위하여 입도가 비슷한 시료들을 선택하여 박편당 500점의 점셈(point counting)을 실시하였다(Decker and Hel-mold, 1985). 사암의 주원소 조성을 파악하기 위하여 24개 시료의 주원소와 휘발성분을 정량하였다. 주원소 분석은 경북대학교 지질학과 소장 XRF(Phillips PW 1480)을 이용하였고, 휘발성분 측정은 H₂O-CO₂분석기(CWA 5005)를 이용하였다.

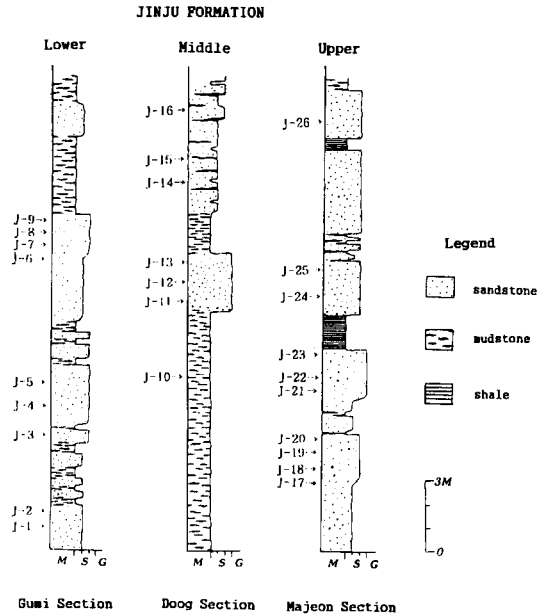


Fig. 2. Columnar section and sample site of the Jinju Formation, western Euseong area.

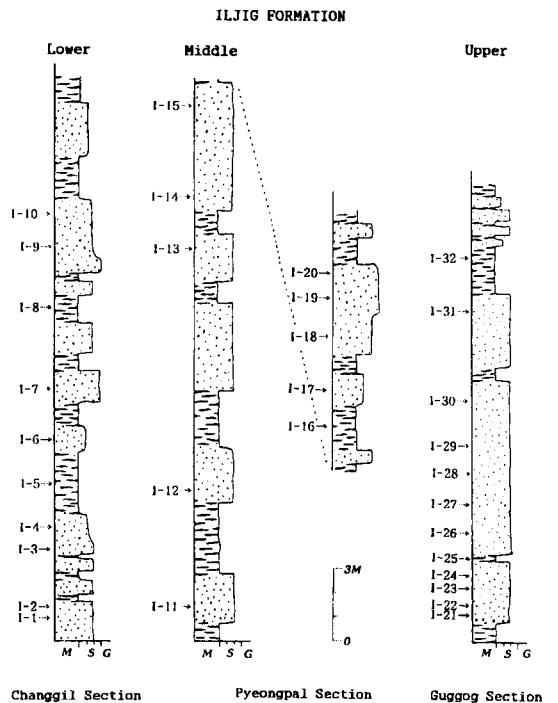


Fig. 3. Columnar section and sample site of the Iljig Formation, western Euseong area. Lithologic symbols are the same as those of Fig. 2.

일반지질

연구지역의 지질은 백악기 신동층군에 속하는 하산동층과 진주층, 하양층군에 속하는 일직층, 후평동층과 점곡층, 그리고 제 4기 충적층으로 구성된다(Fig. 1).

하산동층은 적색층으로서 연구지역의 서남부에 소규모로 분포하며, 이층 전체가 나타나지는 않는다. 구성암석은 주로 사암과 적색 실트스톤 혹은 이암이고, 드물게 역암이 협재된다.

진주층은 지역의 중앙부에 넓게 분포하며, 박층의 암회색 내지 흑색층의 협재가 특징이다. 전체층후는 1200 m 내외이다. 층의 하부는 암회색 내지 회색의 실트스톤 또는 세일이 우세하며 역질사암이 협재된다. 층의 중부는 암회색 또는 녹색색의 사암과 세일의 호층인데 흑색 세일이 가장 우세하게 협재된다. 층의 상부는 회색 사암이 우세하며 흑색 실트스톤 또는 세일의 협재가 빈약한 반면에 담록색 사암이나 실트스톤이 교호하고 있다. 진주층은 대체로 호성상이 우세하며, 상위의 일직층과는 정합관계이다.

일직층은 하양층군의 최하부 지층으로서, 지역의 중앙부에 넓게 분포하며, 암상에 근거하여 하부, 중부, 상부로 나누어진다. 하부와 상부에는 적색 실트질 세일층이 협재됨이 특징이다. 하부층의 층후는 약 130 m로써 주로 사암, 세일, 역암으로 구성되며, 중부층의 층후는 약 70 m이고 암회색 세일, 세립질 사암, 석회암으로 이루어져 있다. 상부층의 층후는 약 200 m 이며 사암과 세일의 호층이다. 일직층은 대체로 범란원상이 우세하다.

후평동층은 지역의 동부에 분포하며, 하위의 일직층과는 하부에 처트의 각력을 포함하며 기질이 대체로 적색 실트스톤인 잡색 각력암(구미동층원)을 경계로 정합관계이다. 이층은 하부의 잡색 각력암과 상부의 실트스톤과 알코스질 사암의 호층으로 구분되는데, 각 암층은 일반적으로 층후가 수 m 내외로 연속성이 불량하고 전체층후는 400 m 정도이다.

점곡층은 하위의 후평동층과 정합관계로, 구성암석은 암회색 내지 흑색 실트스톤과 세일이다.

사암의 광물조성

진주층

진주층 사암에 대한 광물조성은 Table 1과 같다. 석영의 광물조성비는 32.5~46.3%를 차지하며 평균

42.2%이다. 그 중 단결정질 석영(monocrystalline quartz)은 평균 40.3%, 복결정질 석영(polycrystalline quartz)은 평균 1.9%로 단결정질 석영이 압도적으로 우세하다(Fig. 4A).

장석은 전체의 24.1~40.8%를 차지하며 평균 31.7% 함유되어 있다. 장석은 정장석과 사장석이 대부분이고 미사장석이 소량 포함된다. 사장석 입자 중에는 퇴적 후에 알바이트화 작용에 의하여 방해석으로 교대된 것도 있어서(Fig. 4B), 그런 경우 방해석은 사장석으로 보정하였다(Table 1). 사장석의 성분은 알바이트-안데신에 해당하는 것들이 많고 알바이트-칼스바드쌍정을 보여주기도 한다. 정장석은 대부분 쇄설성인 것으로 입자들은 신선한 것이 드물며, 변질되어 미세한 견운모 결정들이 흩어져 있다.

암편은 1.6~12.4%로, 평균 5.0% 함유되어 있다. 암편의 종류는 다양하다. 석영-녹니석 편암, 석영-흑운모 편암, 천매암, 슬레이트, 녹니석 편암 등의 변성암편, 화강암과 섬록암 등의 화성암편, 그리고 처트, 실트스톤, 세일 등 퇴적암편이 골고루 함유된다. 이들 중 화강암질 암편과 변성석리를 보이는 변성암편이 우세한 편이다.

운모류는 평균 3.9%로 대부분 백운모로서 층리면에 평행하게 놓이는데, 특히 세립질암에서 현저하다. 또한 골격입자들 사이에 왜곡되어 나타나는 경우도 흔하다(Fig. 4C). 부수광물(other framework grains)은 각섬석, 녹염석, 적철석, 전기석, 녹니석 등의 중광물로서 그 양은 매우 적다.

기질(matrix)은 1.5~12.0%의 산출범위를 보여 아레나이트(arenite)에 해당된다. 석영입자의 대부분은 아원형(subrounded) 내지 아각형(subangular)이며, 입자들의 접촉은 주로 장점촉(long contact)이고 드물게 봉합상 접촉(sutured contact)을 보이기도 한다(Fig. 4D). 전체적으로 볼 때, 사암의 조직성숙도는 아성숙(亞成熟)에 해당된다.

일직층

일직층은 사암의 광물조성상 석영과 장석량에서 진주층과 다소 차이가 난다(Table 2). 석영은 34.3~52.9%의 산출범위를 보여 평균 40.2%를 차지한다. 대부분 단결정질이며, 복결정질 석영은 평균 2.1%에 지나지 않는다. 장석은 22.2~53.8%의 산출범위로 나타나며 평균 37.3%로써 진주층(평균 31.7%)보다 약간 높다. 장석은 진주층에서 처럼 방해석에 의하여 교대된 입자들이 흔하며 신선한 입

Table 1. Petrographic detrital mode of sandstones from the Jinju Formation, western Euisenon area. (unit:in %)

Jinju Fm. Sample No.	Lower					Middle				Upper						
	J-1	J-4	J-7	J-8	J-9	J-11	J-12	J-14	J-15	J-17	J-18	J-19	J-20	J-21	J-24	J-26
Siliceous resitates																
Non-Und. Qtz.	15.6	23.8	14.2	20.7	17.1	27.1	21.0	19.0	28.5	21.8	30.8	30.8	29.7	30.2	23.6	19.8
Undulatory Qtz.	23.9	20.7	22.9	13.9	25.9	17.4	23.4	19.7	9.3	9.2	12.0	11.3	8.2	13.8	14.4	21.7
Polycrystalline Qtz.	0.3	0	2.6	5.2	0.5	1.8	1.6	2.3	2.0	1.5	2.5	2.4	1.9	2.0	1.8	2.2
subtotal	39.8	44.5	39.7	39.8	43.5	46.3	46.0	41.0	39.8	32.5	45.3	44.5	39.8	46.0	39.8	43.7
Chert	0.8	1.2	0.4	0	0.8	0.8	0.4	0.8	0	1.6	2.0	4.0	4.0	2.0	3.2	0.8
Feldspars																
Orthoclase	11.8	15.8	7.4	10.3	1.1	7.8	7.9	13.7	13.2	5.0	10.8	18.9	9.9	14.1	12.5	24.6
Microcline	0	0	0	0	0	0	0	0.4	0.8	0	0	0.4	0	0.4	0.4	0.4
Plagioclase	22.9	25.0	26.8	13.0	33.7	18.6	25.3	12.9	14.7	21.0	21.5	17.9	17.6	19.5	0	10.3
Cal.rep. of plag.	0.4	tr.	tr.	0.8	tr.	tr.	tr.	tr.	0.4	0.4	tr.	0.4	tr.	tr.	0	0.4
subtotal	35.1	40.8	34.2	24.1	34.8	26.4	33.2	27.0	29.1	26.4	32.3	37.6	27.5	34.0	12.9	35.7
Labile Fragments																
Igneous R.F.	0	1.2	0	0.8	0	0	0	0	0	0.8	0	0	0	0	0.4	0
Sedimentary R.F.	0	0	0	0	0.8	0.4	0.4	1.2	0	0	0	0	0	0	0	0
Metamorphic R.F.	1.6	2.8	4.8	11.6	2.0	3.2	10.0	5.2	5.2	3.2	3.2	3.6	4.0	5.6	5.2	2.8
subtotal	1.6	4.0	4.8	12.4	2.8	3.6	10.4	6.4	5.2	4.0	3.2	3.6	4.0	5.6	5.6	2.8
Cement and Matrix																
Pore fill Chlorite	0	tr.	tr.	tr.	0	0	tr.	tr.	tr.	tr.	0	tr.	tr.	tr.	tr.	0
Pore fill Calcite	13.2	4.0	8.0	8.8	5.2	7.2	5.6	6.8	9.2	22.4	6.4	4.0	14.4	6.0	8.4	5.2
Clay and F.G.C.	4.3	1.5	11.7	11.3	7.3	9.3	2.0	12.0	11.1	7.3	2.0	1.5	4.3	2.0	11.3	7.1
subtotal	17.5	5.5	19.7	20.1	12.5	16.5	7.6	18.8	20.3	29.7	8.4	5.5	18.7	8.0	19.7	12.3
Micas	5.2	2.8	0.4	2.4	4.0	6.0	2.4	4.0	4.6	4.8	7.2	2.4	6.0	4.4	2.0	3.9
Other Framework Grains	0	1.2	0.8	1.2	1.6	0.4	0	2.0	1.0	1.0	1.6	2.4	0	0	2.4	0.8
QP/(F+R)	0.01	0	0.07	0.14	0.01	0.06	0.04	0.07	0.06	0.05	0.07	0.06	0.06	0.05	0.10	0.06
(Qp+Qm)/(F+R)	1.08	0.99	1.02	1.09	1.16	1.54	1.06	1.23	1.16	1.07	1.28	1.08	1.26	1.16	2.15	1.14

F.G.C.=Fine Grained Calcite, Qp/(F+R)=Polycrystalline Qtz./(Feldspars+Labile Fragments), (Qp+Qm)/(F+R)=(Polycrystalline Qtz.+Monocrystalline Qtz.)/(Feldspars+Labile Fragments),tr.=trace.

자들이 드물다. K장석의 함량은 진주층에 비해 훨씬 높다.

암편은 0.8~7.2%로 평균 3.3% 함유되어 있다. 암편은 대부분 편암(Fig, 4E), 편마암 및 화강암질 암편이며 소량의 퇴적암편도 관찰된다. 운모류는 평균 3.4%로써 백운모가 흔하며 골격입자들 사이에 왜곡되어 나타난다.

부수광물은 적철석, 저어콘, 인회석, 녹염석 및 그 밖에 식별이 곤란한 불투명 광물들로서 그 양은 적으나 진주층보다는 많이 나타난다. 입간물질은 극세립의 석영, 장석과 쇠질성 점토로 이뤄진 기질과 공극을 충전한 방해석 및 녹니석의 교질물이 대부분이다. 기질의 양은 평균 5.6%로 아레나이트에 속한다.

사암의 광물조성 분석 결과는 다만 진주층의 석영량이 약간 높고, 일직층의 장석량이 약간 높은 점

을 제외하고는, 두 층의 광물조성은 매우 비슷하다. 두 층이 공통으로 단결정질 석영에 비하여 복결정질 석영이 훨씬 적으며, 변성암편이 타암편에 비하여 월등이 많다.

진주층과 일직층의 사암의 광물조성 분석결과를 석영-장석-암편(Q-F-L) 삼각도(Pettijohn *et al.* 1972)에 도시하면, 두 층의 사암은 모두 알코식 아레나이트(arkosic arenite)해당된다(Figs. 4F, 5).

사암의 광물조성은 퇴적물을 공급한 기원지의 구조 위치에 따라 주로 영향을 받게 되는데 (Pettijohn *et al.*, 1972), 연구지역 사암의 공급 기원지의 구조 위치는 Dickinson *et al.* (1983)의 Q-F-L 삼각도에서 대부분 전이대륙지괴영역(transitional continental block)에 점시됨으로써(Fig. 6), 대륙지각으로부터 유래되었음을 시사한다. 일직층의 일부 시

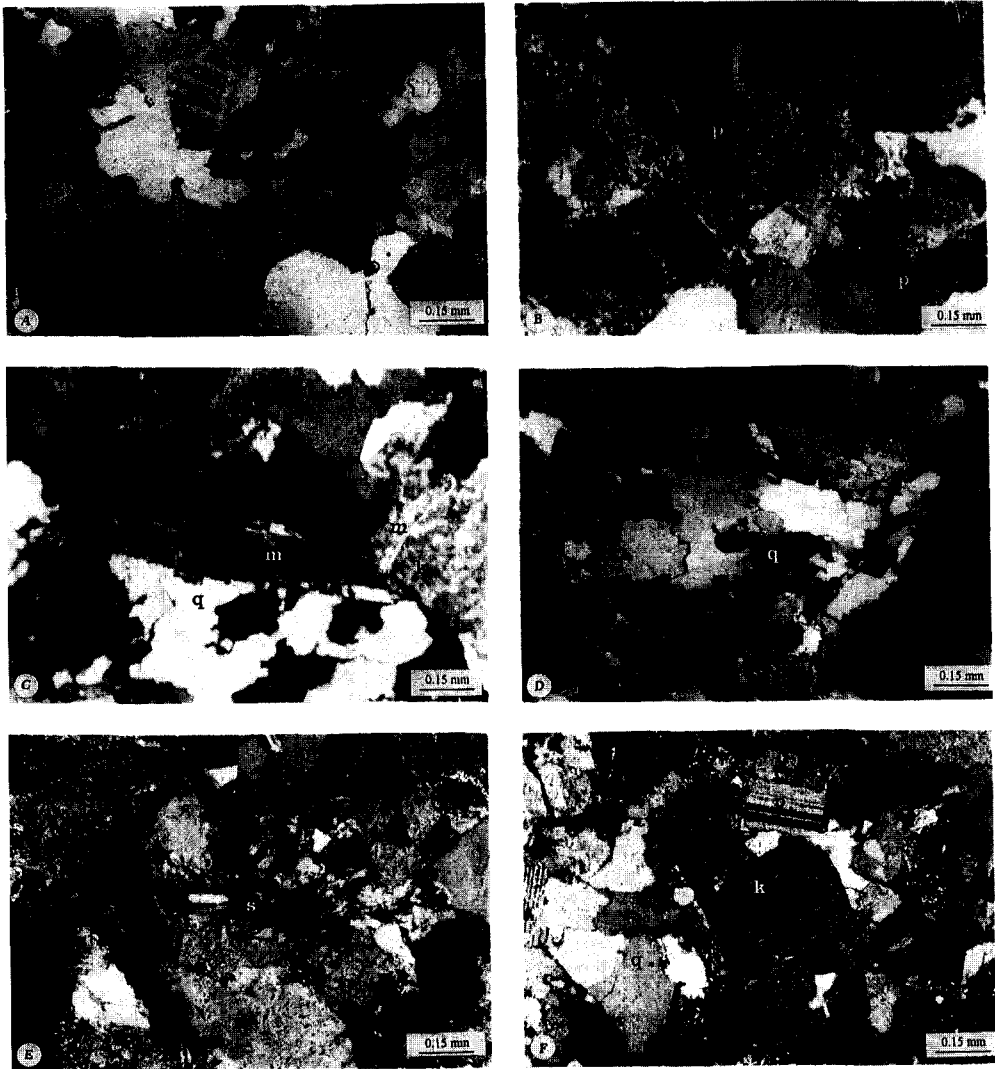


Fig. 4. Photomicrographs showing the lithologic characters of some sandstones from the Jinju and Iljig formations, western Euseong area. A) A polycrystalline quartz grain (q,p) in arkosic arenite, Jinju Fm.; B) Albitized plagioclase, plagioclase (p) replaced by calcite (c) in arkosic arenite, Jinju Fm.; C) Physical deformation of a muscovite flake (m) between quartz (q) and K-feldspar (k) grains in arkosic arenite, Jinju Fm.; D) Pressure solution and subsequent suturing (arrow) of quartz grains (q) resulting from compaction in arkosic arenite, Jinju Fm.; E) A schist-like rock fragment (s) in arkosic arenite, Iljig Fm.; F) Typical arkosic lithology in arkosic arenite, Iljig Fm. Note numerous grains of plagioclase (p), K-feldspar (k), and quartz (q). All are under crossed nicols.

료가 기반암 용기부에 점시되는데 이는 손진담 (1989)이 지적한 바와 같이, 청송 용기부로부터 유래된 것으로 봄이 타당하다.

사암의 주원소 성분

진주층, 일직층 사암의 화학성속도 및 성분 상호

간의 관계를 이해하기 위하여, XRF에 의한 전암(全岩)분석을 통하여, 24개 사암에 대하여 주원소 성분 분석을 실시하였다(Tables 3, 4). 화학 성속도는 SiO_2 함량으로 나타낼수도 있고, 화학 성속도 지수(CMI)인 SiO_2/Al_2O_3 비율로 나타낼수도 있는데, 성속도가 높을수록 SiO_2/Al_2O_3 비율은 높아지게 된다. 모든 시료는 Pettijohn(1975)의 알코즈 CMI 값

Table 2. Petrographic detrital mode of sandstones from the Iljig Formation, western Euseong area. (unit:in %)

Iljig Fm. Sample No.	Lower								Middle					Upper							
	I-1	I-2	I-4	I-6	I-7	I-9	I-10	I-11	I-15	I-17	I-18	I-19	I-22	I-23	I-26	I-27	I-28	I-29	I-30	I-31	
Siliceous resistates																					
Non-Und. Qtz.	20.2	15.7	9.0	14.8	14.2	14.7	18.7	25.8	20.0	12.0	10.0	20.1	17.7	22.3	25.1	17.5	30.9	20.0	12.6	23.2	
Undulatory Qtz.	15.7	18.6	22.6	21.7	18.7	18.8	17.7	7.8	11.3	34.3	23.7	26.0	14.5	27.2	25.8	18.0	14.6	13.5	24.3	22.6	
Polycrystalline Qtz.	3.1	3.3	2.7	2.5	1.4	2.3	2.6	0.7	2.8	1.0	0.6	1.2	2.1	3.4	2.0	3.5	1.8	4.1	0.2	1.2	
subtotal	39.0	37.6	34.3	39.0	34.3	35.8	39.0	34.3	34.3	47.3	34.3	47.3	34.3	52.9	52.9	39.0	47.3	37.6	37.1	47.0	
Chert	0.4	1.2	1.2	0	0	1.9	1.2	0	0.8	0	0	2.0	1.6	0	0	0	0	1.2	0	0	
Feldspars																					
Orthoclase	16.3	26.2	15.8	17.0	20.6	28.2	17.4	21.0	10.5	5.5	29.9	9.2	24.6	6.8	7.5	13.2	17.5	25.3	29.3	7.0	
Microcline	1.6	2.0	0.4	0.4	1.6	0	0.8	0	0.4	0	0	0	0	0.4	1.2	0.4	0	0.8	0.4	0.4	
Plagioclase	16.9	16.8	24.4	19.9	25.1	21.6	21.4	15.1	35.8	25.4	9.4	11.1	15.1	17.2	15.7	22.0	11.8	20.3	23.3	14.8	
Cal.rep. of plag.	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	0.4	tr.	0.8	tr.	tr.	tr.	tr.	tr.	0.4	tr.	tr.	tr.	tr.	0.8	tr.	
subtotal	34.8	45.0	40.6	37.3	47.3	50.2	39.6	36.9	46.7	30.9	39.3	20.3	39.7	24.8	24.4	35.6	29.3	46.4	53.8	22.2	
Labile Fragments																					
Igneous R.F.	0.8	0.4	0	0.8	0	0.4	0	0.8	0	0	0	0	0	0.8	1.6	0.8	0.4	0	0	0	
Sedimentary R.F.	0	0	0	0	0	0.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Metamorphic R.F.	5.2	5.2	3.6	0.4	0.8	3.1	6.4	3.2	3.2	0	0	7.5	7.2	0.4	2.0	1.6	1.2	2.8	1.6	2.4	
subtotal	6.0	5.6	3.6	1.2	0.8	3.9	6.4	4.0	3.2	0	0	7.5	7.2	1.2	3.6	2.4	1.6	2.8	1.6	2.4	
Cement and Matrix																					
Pore fill Chlorite	tr.	tr.	0	0	0	tr.	tr.	tr.	tr.	0	0	tr.	tr.	0	tr.	0	0	tr.	0	0	
Pore fill Calcite	6.8	1.2	12.4	4.0	9.2	tr.	3.6	10.8	7.2	12.8	8.7	16.2	12.4	2.8	2.8	6.8	12.8	0.8	1.2	11.8	
Clay and F.G.C.	7.0	7.0	2.3	6.9	2.0	6.3	7.0	2.0	1.8	3.0	2.3	3.1	2.0	12.3	12.3	7.0	3.0	7.2	4.3	12.3	
subtotal	13.8	8.2	14.7	10.9	11.2	6.3	10.6	12.8	9.0	15.8	11.0	19.3	14.4	15.1	15.1	13.8	15.8	8.0	5.5	24.1	
Micas	3.2	2.0	5.2	4.0	3.2	1.5	1.2	4.4	5.2	4.8	11.1	3.6	1.6	2.4	1.2	4.0	2.8	2.4	2.0	2.7	
Other Framework Grains	2.8	0.4	0.4	7.6	3.2	0.4	2.0	7.6	0.8	1.2	4.3	0	1.2	3.6	2.8	5.2	3.2	1.6	0	1.6	
Qp/(F+R)	0.08	0.07	0.06	0.06	0.03	0.04	0.06	0.02	0.06	0.03	0.02	0.04	0.04	0.13	0.07	0.09	0.06	0.08	0.00	0.05	
(Qp+Qm)/(F+R)	0.96	0.74	0.78	1.01	0.71	0.66	0.85	0.84	0.69	1.53	0.87	1.70	0.73	2.03	1.89	1.03	1.53	0.76	0.67	1.91	

F.G.C.=Fine Grained Calcite, Qp/(F+R)=Polycrystalline Qtz./(Feldspars+Labile Fragments), (Qp+Qm)/(F+R)=(Polycrystalline Qtz.+Monocrystalline Qtz.)/(Feldspars+Labile Fragments), tr.=trace.

보다는 낮은 값을 보이거나, 각 성분간의 비율은 알코즈에 더 가깝다.

주원소 성분을 현미경하에서 박편내 쇠질성 입자들의 조성(Tables 1, 2)과 연결시켜 생각해보면, SiO₂는 주로 석영과 규산염 광물로부터 유도된 것으로 추정되며 Pettijohn(1975)의 알코즈의 평균함량에 가깝다. 그리고 Al₂O₃는 주로 기질로 존재하는 점토광물의 양에 좌우되는 것으로 판단되는데, Pettijohn(1975)의 알코즈의 평균함량보다 높은 점으로 보아 연구지역의 장석들이 상당히 변질된 것과 연관이 있는 것으로 해석된다. 비교적 높은 Na₂O 함량은 사장석이나 백운모 등에서 유래된 것으로 판단되며, 특히 Na₂O 함량은 Pettijohn(1975)의 평균값보다 훨씬 높는데, 이는 일부 사장석 입자들의 알바이트화

작용을 받은 것과 연관이 있는 것으로 해석된다.

CaO는 쇠질성 탄산염 광물입자가 경하에서 관찰되지 않는 점으로 보아 주로 교질물(cement)에서 유래된 것으로 추정된다. Fe₂O₃로 표현된 전철량(total iron)과 MgO는 주로 적철석, 휘석, 각섬석, 흑운모 등으로부터 주로 공급되었고, 스�멕타이트, 일라이트, 녹니석 등의 점토광물도 기질 혹은 교질물로 존재하고 있다. 일부 시료에서 MgO 함량이 비교적 낮은 이유는 용액에 의한 일부 유실때문인 것 같다(Blatt *et al.*, 1972).

Fig. 7은 SiO₂를 횡축으로 하고, Al₂O₃, Fe₂O₃, MgO의 변화를 보여주고 있다. SiO₂ 함량이 증가함에 따라 Al₂O₃ 함량은 감소하는 경향이다. 세립질 사암일수록 Al₂O₃ 함량이 높은점을 고려하면,

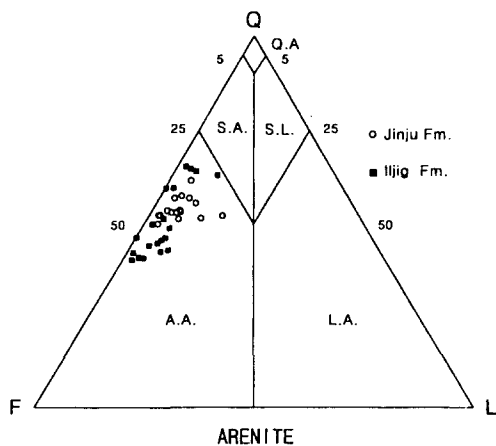


Fig. 5. Ternary diagram showing classification of sandstones from western Euseong area (according to classification scheme of Pettijohn *et al.*, 1972). Q : quartz, F : feldspar, L : lithic fragments, Q.A. : quartz arenite, S.A. : subarkose, S.L. : sublitharenite, A.A. : arkosic arenite, L.A. : lithic arenite.

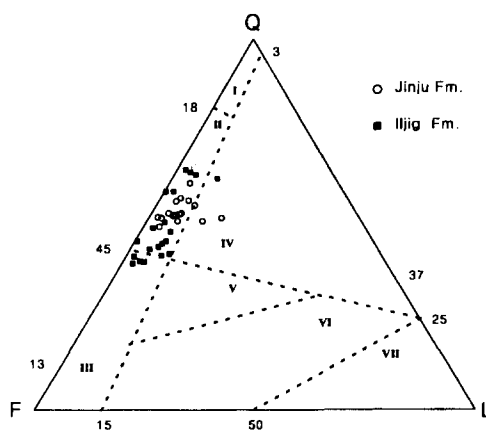


Fig. 6. QFL diagram for sandstone from western Euseong area in relation to provenance type (after Dickson *et al.*, 1983). Q : total quartzose grains including polycrystalline lithic grains of chert and quartzite, F : monocrystalline feldspar grains (plagioclase and K-feldspar), L : igneous, metamorphic and sedimentary unstable polycrystalline lithic grains; I : craton interior, II : transitional continental, III : basement uplift, IV : recycled orogen, V : dissected arc, VI : transitional arc, VII : undissected arc.

Fig. 7A는 기본적으로 시료의 입도조성을 잘 반영한다(Miki and Matsueda, 1992; 고인석과 신영식, 1995). 진주층 사암은 한 곳에 집중되어 비슷한 입도분포를 보이는 반면에, 일직층 사암에서는 넓게 퍼져 입도변화의 폭이 넓은 것으로 해석된다 (Fig. 7A).

Fe₂O₃ (Fig. 7B) 및 MgO (Fig. 7C) 함량은 모두 대체로 낮은 편이며, SiO₂ 함량의 증가에 따라 두 성분 모두 감소하는 경향이다. 이와같은 이유는 알코즈 사암의 골격입자들은 대체로 화강암질 심성암

으로부터 유도되므로, Fe와 Mg성분이 낮기 때문인 것으로 해석된다.

고기후

사암의 성분은 주로 기원지의 구조조 위치에 따라서 크게 영향을 받으나, 아울러 기후, 퇴적환경

Table 3. Major element composition of sandstones from the Jinju Formation, western Euseong area. (unit:in %)

Jinju Fm.	Lower					Middle			Upper				Pettijohn (1975)			
	Sample No.	J-2	J-6	J-7	J-8	J-9	J-11	J-12	J-14	J-18	J-19	J-22	J-26	LA	GW	AR
SiO ₂		74.8	74.3	75.8	75.7	75.8	75.1	78.2	74.4	70.8	72.1	70.0	74.5	66.1	66.7	77.1
TiO ₂		0.2	0.2	0.1	0.2	0.3	0.3	0.2	0.2	0.5	0.2	0.4	0.2	0.3	0.6	0.3
Al ₂ O ₃		12.0	12.5	12.2	9.9	11.7	12.1	10.0	11.4	11.7	11.5	10.6	13.4	8.1	13.5	8.7
Fe ₂ O ₃ *		0.8	1.4	1.0	1.9	2.0	1.7	1.6	1.4	3.5	1.5	2.5	1.4	5.2	5.1	2.2
MnO		n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.1	0.1	0.1	n.d.	1.4	3.5	0.7	
MgO		0.6	0.8	0.5	0.9	0.8	1.0	0.9	0.7	2.1	0.6	1.4	0.7	2.4	2.1	0.5
CaO		2.8	2.4	2.1	3.5	1.7	1.5	1.7	2.9	2.9	4.1	5.4	1.2	6.2	2.5	2.7
Na ₂ O		3.8	3.4	4.3	2.9	3.0	2.6	2.7	3.5	2.7	3.9	2.7	3.6	0.9	2.9	1.5
K ₂ O		1.6	2.2	1.4	1.2	1.7	2.1	1.5	2.0	1.5	1.4	1.5	3.2	1.3	2.0	2.8
P ₂ O ₅		n.d.	n.d.	n.d.	0.1	n.d.	0.1	n.d.	0.1	0.1	0.1	n.d.	0.1	0.1	0.2	0.1
Ign.loss		3.0	2.6	2.0	3.7	2.5	3.1	2.9	3.0	4.0	4.1	5.1	1.4			
SiO ₂ /Al ₂ O ₃		6.2	5.9	6.2	7.7	6.5	6.2	7.8	6.5	6.1	6.3	6.6	5.6	8.2	4.9	8.9

*total iron as Fe₂O₃, LA=lithic arenite, GW=graywacke, AR=arkose., n.d.=not determined.

Table 4. Major element composition of sandstones from the Iljig Formation, western Euseong area. (unit:in %)

Iljig Fm.	Lower				Middle				Upper				Pettijohn (1975)		
	I-3	I-4	I-6	I-9	I-11	I-18	I-19	I-20	I-23	I-28	I-30	I-31	LA	GW	AR
SiO ₂	78.2	75.7	73.5	79.0	70.1	74.2	81.9	80.4	75.6	75.9	77.8	74.8	66.1	66.7	77.1
TiO ₂	0.1	0.2	0.2	0.1	0.4	0.4	0.2	0.1	0.2	0.1	0.1	0.2	0.3	0.6	0.3
Al ₂ O ₃	11.4	12.5	13.8	12.0	13.5	11.8	9.3	9.2	13.0	13.1	12.7	11.8	8.1	13.5	8.7
Fe ₂ O ₃ *	1.0	1.5	1.6	0.6	2.8	2.7	1.3	0.9	1.4	1.0	0.8	1.1	5.2	5.1	2.2
MnO	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.1	n.d.	n.d.	n.d.	0.1	1.4	3.5	0.7
MgO	0.2	0.5	0.5	0.2	1.1	1.2	0.5	0.1	0.3	0.2	0.2	0.3	2.4	2.1	0.5
CaO	1.0	1.0	0.8	0.1	2.3	1.5	0.8	2.1	0.9	1.0	0.2	2.9	6.2	2.5	2.7
Na ₂ O	5.0	4.4	5.2	5.2	3.0	3.4	3.4	3.3	5.0	4.9	4.8	5.0	0.9	2.9	1.5
K ₂ O	1.5	2.2	2.3	1.7	2.4	1.7	1.2	1.0	2.3	2.4	2.5	1.2	1.3	2.0	2.8
P ₂ O ₅	n.d.	n.d.	0.1	n.d.	0.1	0.1	0.1	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	0.1	0.1	0.2	0.1
Ign.loss	1.4	1.5	1.5	0.5	4.2	2.6	1.1	2.2	1.2	1.2	0.4	2.3			
SiO ₂ /Al ₂ O ₃	6.9	6.1	5.3	6.6	5.2	6.3	8.8	8.7	5.8	5.8	6.1	6.4	8.2	4.9	8.9

*total iron as Fe₂O₃, LA=lithic arenite, GW=graywacke, AR=arkose., n.d.=not determined.

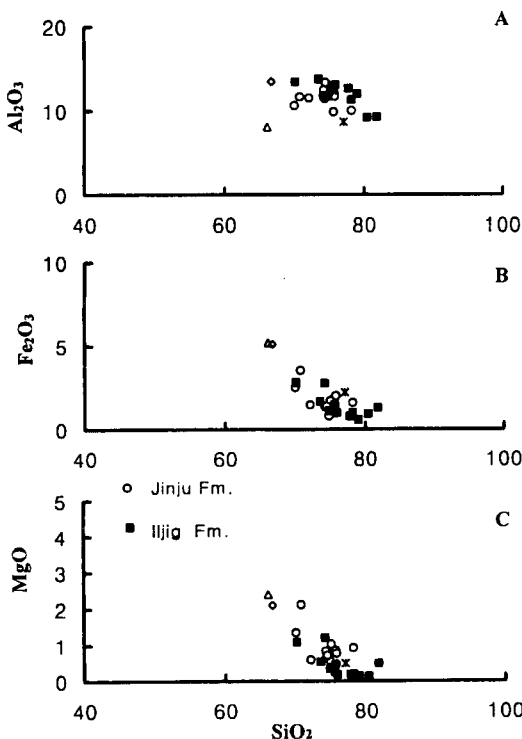


Fig. 7. SiO₂-Oxides diagrams for sandstones from western Euseong area. For reference, average values for arkose (*:AR), graywacke(◇:GW)and lithic arenite(△:LA) from Pettijohn (1975) are plotted (See tables 3 and 4 for analytical results).

및 속성작용 등에 의하여도 영향을 받게 된다 (Pettijohn *et al.*, 1972). 기후는 사암의 골격입자

성분(framework grain composition)을 규제하는데 중요한 요인이 되지만 (Krynine, 1950), 조구조적 요인 보다는 상대적으로 덜 중요한 것으로 알려졌다(Crook, 1968). 그 후 사암의 성분은 기원지의 조구조적 위치에 따라 크게 윤곽이 결정되는 것으로 밝혀졌다(Dickinson and Suczek, 1979; Ingersoll and Suczek, 1979). 그러나 기후는 사암의 성분을 크게 변화 시키지는 못한다 하더라도 사암의 조직을 규제하는 가장 중요한 요인 중의 하나로 작용하여, 건조기후에서의 풍화산물은 습윤 지역에 비해 조립질로 구성된다(Garner, 1959). 즉 사암은 지표에서 토양 형성과정을 통하여 기후의 영향을 반영하는데(Grantham and Velbel, 1988; Suttner and Dutta, 1986; Velbel and Saad, 1991), 예를 들면, 여러 광물로 구성된 복광물(polymineralic) 암편이 다른 기후조건 즉 건조한 기후와 습윤한 기후에서 오랜기간 물리적·화학적 풍화를 받으면, 그 풍화산물은 각각 다를 것이다. Fig. 8에서와 같이 건조한 기후에서는 작은 복광물암편과 단광물(monomineralic)암편들의 풍화산물이 우세하게 나타나는 반면에, 습윤한 기후의 풍화산물은 처음엔 건조기후에서의 비슷하지만 용해작용과 같은 화학적 풍화작용을 받으면, 풍화에 강한 단결정 광물(monocrystalline resistate)이나 풍화에 약한 단결정(monocrystalline labile)광물이 우세하다. 따라서 장석과 암편의 합에 대한 복결정질 석영의 비율 혹은 전체석영의 비율을 모래가 생성된 환경의 기후 지시자로서 활용하게 되었다(Suttner *et al.*, 1981).

퇴적물의 화학적 성숙도(chemical maturity)는

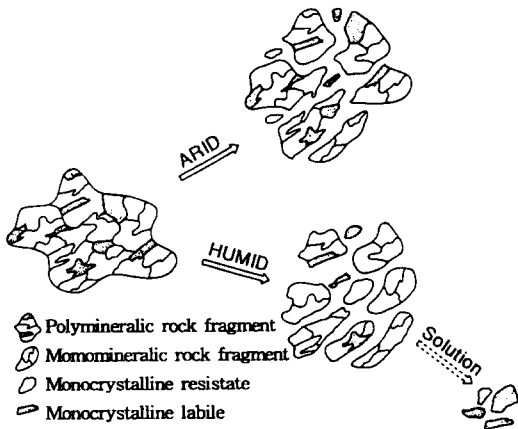


Fig. 8. Origin of enrichment of polycrystalline quartz through weathering in a humid climate. Large polymineralic rock fragments break down chemically and physically. In humid climate, labile mineral grains are preferentially lost to solution during the weathering process. This results in more polycrystalline quartz grains in the residue produced by the parent rock fragment (after Suttner and Dutta, 1986).

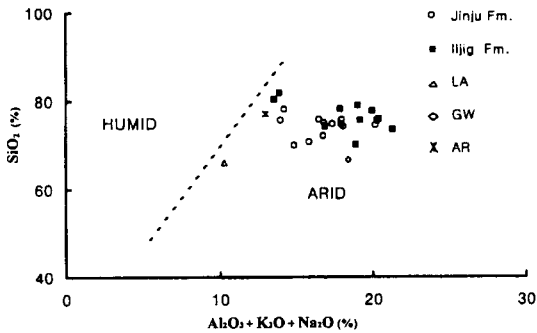


Fig. 9. Chemical maturity of sandstones from western Euseong area expressed as a function of percent SiO_2 and total percent Al_2O_3 , K_2O and Na_2O . Climate boundary from Suttner and Dutta(1986).

SiO_2 함량이나 SiO_2/Al_2O_3 로서 나타낸다(Potter, 1978). SiO_2 함량 백분율을 Al_2O_3 , K_2O , 와 Na_2O 합 함량백분율에 대한 함수로 표시하면 기후와 관련하여 화학성속도의 경향을 더욱 잘 나타내준다(Suttner and Dutta, 1986). 연구지역 사암의 주원소 성분을 점시하면 진주층과 일직층의 사암은 모두 건조기후(arid) 영역에 점시된다(Fig. 9). 광물 조성에 의한 건조기후와 습윤기후의 구분을 더 세분하기 위하여, 사암의 골격입자 성분을 이용하여 모래생성 당시의 기후를 세분 하였다(Suttner and Dutta, 1986). 복결정질 석영/장석+암편의 비

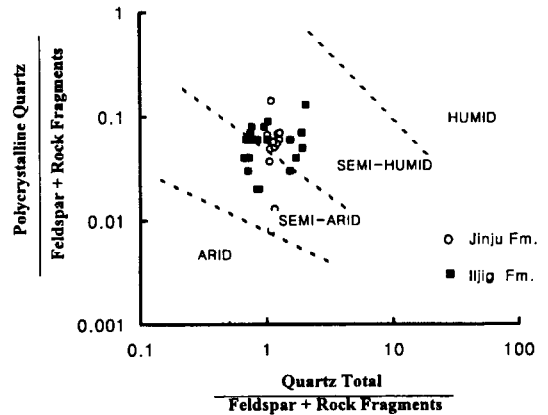


Fig. 10. Bivariate log/log plot of the ratio of polycrystalline quartz to feldspar plus rock fragments against the ratio of total quartz to feldspar plus rock fragments in sandstones from western Euseong area. Climate boundaries from Suttner and Dutta(1986).

율에 대하여 석영총량/장석+암편의 비율을 나타낸 Fig. 10에서, 연구지역에 분포하는 사암의 광물 성분은 아건조(semi-arid)와 아습윤(semi-humid)의 기후를 지시한다.

토의 및 결론

경상분지북부 의성서부지역에 분포하는 백악기 진주층과 일직층의 퇴적체는 하호환경에서 형성된 것으로 알려져 있다(손진담, 1989; 박진아, 1997). 쇄설성 퇴적물의 기원지 위치는 진주층 중부를 중심으로 하위층의 퇴적기에는 분지의 서북쪽, 상위층의 퇴적기에는 동북쪽에 각각 위치하였을 가능성이 높으며, 소백산 편마암 복합체가 주된 퇴적물 공급지였던 것으로 해석되었다(손진담, 1989). 공급지의 구조적 위치는 대부분 시료가 전이대륙지괴를 시사하나, 일부 일직층 시료는 기반암 융기부를 지시한다. 진주층과 일직층 사암의 석영:장석:암편의 평균비는 각각 53:40:7와 50:46:4로써 모든 시료가 알코식 아레나이트에 속한다. 연구지역의 퇴적암류는 분급이 매우 불량하여 빠른 속도로 퇴적 되었음이 시사되며, 하층에 의하여 쇄설성 운모편들이 다른 광물입자들 사이에서 휘어져 있고, 공급은 거의 소멸되었다. 사장석편들은 대부분 알바이트화 되었다(고인석과 이용태, 1989, 1993; 노진환과 박현수, 1990). 이 지역의 진주층과 일직층의 사암이 매몰 속성작용을 받은 변질정도는 로코모픽상(locomorphic phase)을 보여준다(Dapple, 1967;

손진담, 1989).

진주층과 일직층의 매몰 심도를 추정하기는 매우 어려우나 사장석이 알바이트화된 점을 고려하면, 대략 3,000 m 정도로 추정할 수 있다(Boles, 1982). 이 심도에서는 미성숙한 화산암질 사암(immature volcanic litharenite)일지라도 의미있는 용해는 일어나지 않았을 것으로 판단된다(Schmidt and McDonald, 1979). 따라서 의성서부지역의 사암에 기록되어 있던 고기후의 흔적은 속성작용으로 인하여 모두 지워져 버렸다고는 볼 수 없다. 그 증거로서 많은 장석이나 암편 입자들이 희미하기는 하나 아직도 그 윤곽을 보여 주고 있다.

주원소성분에 근거하면 모든시료가 건조기후 영역을 지시하지만(Fig. 9), 광물조성에 근거하여 고기후를 더 세분하여 유추하면 대부분의 시료가 아 건조 및 아습윤 기후를 지시한다(Fig. 10).

결론적으로, 경상분지북부 의성서부지역에 분포하는 진주층과 일직층 퇴적기의 고기후는 사암성분에 근거한 Suttner와 Dutta(1986)의 해석기준에 의하면 아건조 내지 아습윤 기후였다.

감사의 글

이 논문초고에 대하여 건설적인 비평과 조언을 해주신 한국자원연구소의 신성천 박사님과 고려대학교의 유인창 박사님께 깊은 감사를 드리며, 야외 조사 및 실내작업에서 많은 도움을 준 신영식 석사와 김준열 학사에게 감사드린다. 이 연구는 부분적으로 1997년도 교육부 학술 연구조성비(기초과학 BSRI-97-5421)에 의하여 뒷받침 되었다.

참고문헌

고인석, 이용태, 1993, 의성소분지 남단부 백악기 사암의 퇴적암석학적 연구. 지질학회지, 29(3), 225-245.

고인석, 신영식, 1995, 한국 동남부 고려지역 백악기 사암의 화학조성. 한국지구과학회지, 16, 408-419.

고인석, 이용태, 신영식, 1996, 한국의성소분지 북동부 백악기 하양층군의 고수류. 한국 석유지질학회지, 4, 12-19.

김봉균, 이유대, 양승영, 1977, 한국지질도(1:50000)의 성도폭 및 설명서. 자원개발연구소.

박진아, 1997, 경상북도북부 도리원-일직간 백악기 진주층과 일직층의 사암에 대한 퇴적암석학적 연구. 경북대학교 석사학위논문, 1-68.

백인성, 천종화, 1993, 경상누층군에서 확인된 염리상 캘크리트 피조이드와 우이드 및 리졸리스. 지질학회지, 29, 108-117.

백인성, 이용일, 1994, 진주부근 백악기 하산동층의 범람원 호수퇴적층내 고기후기록. 지질학회지, 30, 410-424.

손진담, 1989, 경상북도 군위지역 백악기 경상누층군 진주층과 일직층의 퇴적학적 연구. 서울대학교 박사학위논문, 1-110.

Basu, A., 1976, Petrology of Holocene fluvial sand derived from plutonic source rocks: Implication to paleoclimatic interpretation. Jour. Sed. Petrology, 46, 694-709.

Blatt, H., Middleton, G. and Murray. R., 1972, Origin of sedimentary rocks: Englewood Cliffs, N.J., Prentice Hall, 634p.

Boles, J.R., 1982, Active albitization of plagioclase, Gulf coast Tertiary. Am. Jour. Sci., 282, 165-180.

Chang, K.H., 1988, Cretaceous stratigraphy and paleocurrent analysis of Kyongsang basin, Korea. Jour. Geol. Soc. Korea, 24, 194-205.

Chang, K.H., Woo, B.G. Lee, J.H., Park, S.O. and Yao, A., 1990, Cretaceous and Early Cenozoic stratigraphy and history of eastern Kyongsang basin, Korea. Jour. Geol. Soc. Korea, 26, 471-487.

Crook, K.A.W., 1968, Weathering and roundness of quartz sand grains. Sedimentology, 11, 171-182.

Dapples, E.C., 1967, Diagenesis of sandstone: diagenesis in sediments (ed. G. Larsen and C.V. Chillingar). Elsevier, Amsterdam, 91-125.

Decker, J. and Helmold, K.P., 1985, The effect of grain sizes on detrital modes: a test of the Gazzi-Dickinson point-counting method-discussion: Jour. Sed. Petrology, 55, 618-619.

Dickinson, W.R. and Suczek, C.W., 1979, Plate tectonics and sandstones composition. Am. Assoc. Petroleum Geologist Bull, 63, 2164-2182.

Dickinson, W.R. Beard, L.S, Brakerridge, G.R, Erjavec, J.L, Ferguson, R.C., Liman, K.F, Knepp, R.A., Lindberg, F.A. and Ryberg, P.T., 1983, Provenance of North American Phanerozoic sandstones in relation to tectonic setting. Geol. Soc. Am. Bull., 94, 222-235.

Franzinielli, E. and Potter, P.E., 1983, Petrology, chemistry, and texture of modern river sands, Amazon River System. Jour. Geology, 91, 23-39.

Garner, H.F, 1959, Stratigraphic-sedimentary significance of contemporary climate and relief in four regions of the Andes Mountains. Geol. Soc. Am. Bull., 70, 1327-1368.

Grantham, J.H., and Velbel, M.A., 1988, The influence of climate and topography on rock fragment abundance in modern fluvial sands of the southern Blue Ridge Mountains, North Carolina. Jour. Sed. Petrol., 58, 219-227.

Ingersoll, R.V. and Suczek, C.A., 1979, Petrology and provenance of Neogene sand from Nicobar

- and Bengal fans, DSDP Sites 211 and 218: *Jour. Sed. Petrology*, 49, 1217-1228.
- Krynine, P.D. 1950, Petrology, stratigraphy and origin of the Triassic sedimentary rocks of Connecticut. *Connect. Geol. Survey Bull.*, 73, 239.
- Lee, K.C., Woo, K.S., Paik, K.H., and Choi, S.J., 1991, Depositional environment and diagenetic history of the Panyawol, Hwasan and Shinyangdong formations, Kyongsang Supergroup, Korea with emphasis on carbonate rocks. *Jour. Geol. Soc. Korea*, 27, 471-492.
- Lee, Y.T., 1995, Sedimentology and petrology of Cretaceous sandstones in the northeastern part of Kyongsang Basin, Southeast Korea. Kyungpook National University, Ph.D. thesis, 1-168.
- Mack, G.H., 1992, Paleosols as an indicator of climatic change at the Early-Late Cretaceous boundary, Southwestern New Mexico. *Jour. Sed. Petrology*, 62, 483-494.
- Miki, T. and Matsueda, H., 1992, Chemical composition of Paleogene sedimentary rocks Northern Kyushu, Japan. *Jour. Japan. Assoc. Min. Econ. Geol.*, 87, 12-19.
- Pettijohn, F.J., Potter, P.E., and Siever, R., 1972, Sand and sandstone. Springer-Verlag, New York, Heidelberg, Berlin, 237-238.
- Pettijohn, F.J., 1975, *Sedimentary Rocks*. 3rd ed., Harper & Row, Publishers, 210.
- Potter, P.E., 1978, Petrology and chemistry of modern big river sands: *Jour. Geology*, 86, 423-449.
- Retallack, G.J., 1988, Field recognition of paleosols. In: Reinhardt, J. and Sieglo, W.R. (eds) *Paleosols and weathering through geologic time*. *Geol. Soc. Amer. Spec.*, 216, 1-20.
- Schmidt, V. and McDonald, D.A., 1979, Texture and recognition of secondary porosity in sandstone, In: Scholle, P.A. and Schluzer, P.R., (eds) *Aspects of diagenesis*. *Soc. Econ. Paleontologists Mineralogists, Spec. Publ. No 26*, 175-208.
- Suttner, L.J., Basu, A. and Mack, G.H. 1981, Climate and the origin of quartzarenite: *Jour. Sed. Petrology*, 51, 1235-1246.
- Suttner, L.J. and Dutta, P.K. 1986, Alluvial sandstone composition and Paleoclimate, 1. framework mineralogy. *Jour. Sed. Petrology*, 56, 329-345.
- Velbel, M.A. and Saad, M.K., 1991, Paleoweathering or diagenesis as the principal modifier of sandstone framework composition? A case study from some Triassic rift-valley redbeds of eastern North America. In: A.C. Morton, S.P. Todd, and P.D.W. Haughton (eds) *Developments in Sedimentary Provenance Studies*. Geological Society of London Special Publication 57, 91-99.
- Woo, K.S., Lee, K.C., and Paik, K.H., 1991, Cretaceous lacustrine radial ooids in the Kyongsang Basin, Korea: paleoclimatic implications. *Jour. Geol., Soc. Korea*, 27, 171-176.

(책임편집 : 김형식)

Sandstone composition and Paleoclimate of cretaceous Jinju and Iljig Formations of the Western Euseong Area in the northern Part of Kyongsang Basin

Jin A Park, Yong Tae Lee, Sang Wook Kim and In Seok Koh

Department of Geology, Kyungpook National University, Taegu, 702-701 Korea

ABSTRACT : Provenance type and paleoclimate of the Jinju and Iljig formations were studied on the basis of compositions of sandstones from the western Euseong area in the northern part of Kyongsang basin. The average compositions of quartz, feldspar and lithic grain(Q:F:L) from the sandstones are 53:40:7 and 50:46:4 for Jinju and Iljig formations, respectively. The values fall into the arkosic arenite field. Petrographic detrital modes of the sandstones mainly suggest transitional continental block for the tectonic setting of the provenance. All sandstones from the Jinju and Iljig formations show chemical compositions close to average values of arkose(Pettijohn, 1975). Na₂O contents is relatively high. Fe₂O₃(total iron) and MgO contents decrease with increasing SiO₂ contents since the framework grains of arkoses supposed to be derived from granitic rocks are poor in ferromagnesian minerals. The detrital framework grains still possess climatic signs even though the grains were more or less altered during deep burial. Bivariant plot of Suttner and Dutta(1986) suggests semi-arid to semi-humid paleoclimate during the deposition of the Jinju and Iljig sandstones.

Key words : northern part of Kyongsang basin, Jinju formation, Iljig formation, sandstone composition, paleoclimate