

한국 의성소분지 북동부 백악기 하양층군의 고수류

Paleocurrent Analysis of the Cretaceous Hayang Group in the Northeastern Part of Euseong Subbasin, Southeast Korea

고인석 (In Seok Koh), 이용태 (Yong Tae Lee), 신영식 (Young Sik Shin)

요 약

백악기 의성소분지 북동부 하양층군(일직층, 후평동층, 점곡층)에서 관찰된 방향성 퇴적구조는 하도구조, 곡상사층리, 판상사층리, 사엽층리 및 유수연흔 등이다. 이들 퇴적구조들은 주로 세립사암으로부터 역질의 극조립사암에 발달한다. 대소규모의 하도구조는 모든 층에서, 하도구조와 곡상사층리는 일직층(충적선상지 환경)에서, 판상사층리, 판상사엽층리, 유수연흔은 후평동층(범람원 환경)과 점곡층(호수변 환경) 하부에서 자주 관찰된다. 연구지역에서 측정된 43개의 방향성 퇴적구조들의 백타평균 방향은 290°이며 표준편차는 ±68이다. 주된 고수류의 흐름은 서북서 방향을 지시하며, 퇴적물의 기원지는 연구지역으로부터 동남동 방향의 어느 곳에 있었음을 시사한다.

주요어: 의성소분지 북동부, 고수류, 기원지

Abstract: Directional sedimentary structures (channel structure, cross stratification, and current ripple) were observed in fine to gravelly very coarse sandstones of the Cretaceous Hayang Group (Iljig, Hupyeongdong, and Jeomgok formations) in the northeastern part of Euseong subbasin of Kyongsang basin, Southeast Korea. Large and small scale channel structures are common in all formations. Trough cross-stratification and channel structure frequently occur in the Iljig formation (proximal fluvial deposit), whereas planar cross-stratification, cross lamination, and current ripple occur abundantly in the Hupyeongdong and Jeomgok formations (distal braided fluvial to marginal lacustrine deposits). The paleocurrent directions inferred from a statistical analysis of total 43 directional sedimentary structures show a mean azimuth of 290° with a standard deviation of ±68. It suggests that the main flow of the paleocurrents moved toward the WNW direction and the source area of the sediments would be located somewhere in the ESE direction beyond the study area.

Key Words: northeastern part of Euseong subbasin, paleocurrent, source area

서 언

경상남북도 일원에 두껍게 분포하는 백악기 경상누층군 퇴적암류는 Tateiwa (1929)에 의해 왜관-경주간의 지질도가 완성된 이래, 층서 및 퇴적학적으로 많은 연구가 수행되어 왔으나, 퇴적물의 기원지 및 기원암과 같은 근본적인 문제들이 아직도 해결되지 않고 남아 있다. 최근 경상분지 동부 및 북동부 백악기 퇴적암에 대한 퇴적학적 연구결과에 의하면, 퇴적물의 고수류 방향이 서남향(西南向) 및 서북향(西北向)을 지시하고 있어(우병걸, 1989; 이진형, 1989; Chang *et al.*, 1990), 이미 조사된 경상분지 서부 및 서북부의 고수류 방향과 매우 대조를 이루므로(Chang and Kim, 1968), 경상분지로 유입된 퇴적물의 기원지는 분지발달의 초기와 후기에 같지 않았음을 시사하고 있다. 본 연

구는 의성소분지 북동부(이하 본역)에 분포하는 하양층군 퇴적층의 고수류를 측정 및 분석하여 퇴적물의 이동방향과 가능한 기원지의 위치를 밝히는데 목적을 두고 있다.

연구방법

고수류 측정은 본역내에서 퇴적상 분석(sedimentary facies analysis)을 위한 주상단면도의 작성과 병행하여 실시되었다. 측정대상이 된 지층은 일직층, 후평동층, 점곡층으로 비교적 노두가 양호하고 고수류 구조가 뚜렷한 하천주변부, 도로변, 야산계곡, 채석장에서 자료를 수집하였다(그림 2, 표 1). 3개의 지층에서 측정된 자료들은 각각 8개의 지역단위로 구분되어, 본역 퇴적물의 기원지와 고수류 방향을 알기위한 통계분석치로써 사용되었다. 고수류 구조로는 하도층과 사층리가 40개였으며, 사엽층리와 유수연흔 3개가 부차적으로 측정되었다. 통계치의 오차를 줄이기 위해 하도구조의 측방향과 곡상사층리의 측방향을 가급

* Department of Geology, College of Natural Sciences, Kyungpook National University, Taegu, 702-701, Korea (경북대학교 자연과학대학 지질학과)

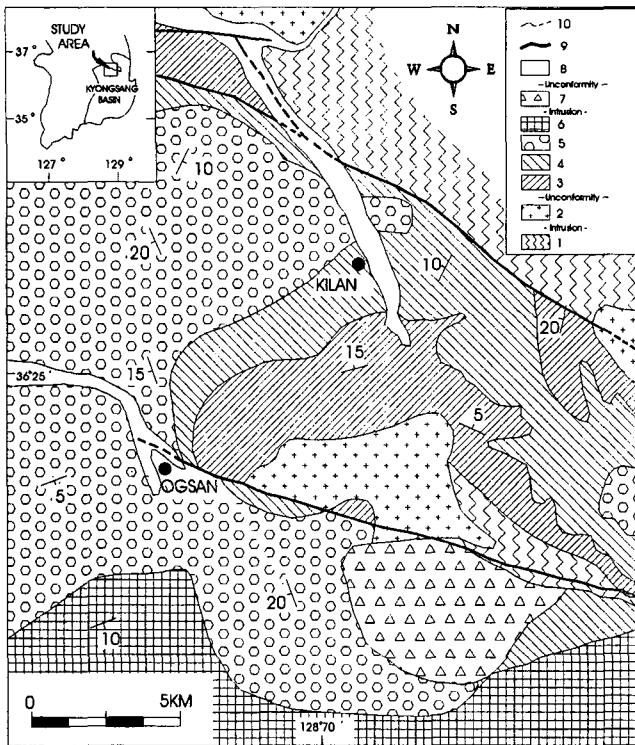


Fig. 1. Geologic map of the study area in the northeastern part of the Euseong Subbasin. 1: Precambrian basement rocks, 2: Jurassic basement rocks, 3~6: Cretaceous strata (3: Iljig Fm., 4: Hupyeongdong Fm., 5: Jeomgok Fm., 6: Sagok Fm.), 7: Cretaceous quartz porphyry (Bulguksa intrusive rocks), 8: Quaternary alluvium, 9: Fault boundary, 10: Geologic boundary (after Kim *et al.*, 1970; Chang *et al.*, 1977; Chang *et al.*, 1978).

적 많이 찾기 위해 노력했다.

고류향 측정에 있어서 하도구조와 곡상사층리의 경우는 축방향 자체를, 판상사층리와 사엽층리의 경우는 전면부 (foreset bed)의 경사방향 (dip direction)과 경사각 (inclination)을 측정하였다. 수직노두상의 판상사층리는 직접 전면부 경사방향을 측정하기 곤란하므로 위경사 (apparent dip)를 측정하였다. 이와함께 본역 퇴적암의 지구조 경사는 각 층마다 80여 곳의 주향과 경사를 측정한 자료를 근거로 계산한 바에 의하면 경사가 평균 13.7°로써 판상구조 (planar structure)의 경사보정을 필요로 하는 값인 10° (Potter and Pettijohn, 1977; Lindholm, 1987; Selley, 1988)보다 크기때문에 Potter and Pettijohn (1977)의 스테레오그래픽 네트를 이용한 방법으로 지구조 경사를 제거하였다. 경사보정은 판상사층리일 경우에만 하였으며, 그 외의 자료는 측정치의 방향자체를 통계처리에 이용하였다. 측정치들의 방위각 (azimuth)은 0°~360°의 방향에서 30°간격으로 구분하여 각 간격내의 측정수를 백분율로 환산하여 반경의 길이에 비례하게 장미도표 (rose diagram)로 나타냈다.

벡터평균 (vector mean) 방향계산에는 Harbaugh and Merriam (1968)의 방법을 사용하였으며, 각 층의 단위지역 및 전지역의

벡터평균 방향도 계산하였다. 이와함께 고수류 자료에 의한 퇴적환경의 분석을 위하여 사층리의 암질, 공동짜 두께, 전면층의 최대경사각도 측정하였다. 장미도표는 전지역과 층별로 구분하여 작성했으며, 측정치 각각의 고류향 방위각은 제위치에 맞추어 하도구조와 곡상사층리의 경우에는 큰 화살표로, 판상사층리, 사엽층리, 유수연흔의 경우에는 작은 화살표로 나타냈다. 전지역 및 층별 장미도표에는 평균벡터 방향을 표시함으로써 이로부터 고수류도 (paleoflow map)가 작성되었다.

지질개요

본역은 백악기 하양층군에 속하며 선캠브리아기 편마암류와 류라기 화강암류를 기반암으로 하고, 하부로부터 일직층, 후평동층, 점곡층으로 구성되어 있다 (그림 1). 상분석 결과에 의하면 본역은 육성 퇴적환경으로써 크게 3가지로 세분되는데 (Lee, 1995), 첫째 역암과 역질사암이 기반암위에 우세하게 분포하고 사암과 저색이암이 협재하는 충적선상지 (alluvial fan) 환경으로 일직층 하부와 중부가 해당되며, 둘째 충적평원상에 망상하천이 발달되었고 이들의 간헐적인 틈상퇴적물과 홍수퇴적물인 중립 및 세립질 사암과 저색이암으로 구성되어 있으며, 전반적으로 산화환경이 지배하였던 범람원 (floodplain) 환경으로 일직층 상부와 후평동층이 해당되며, 셋째 주로 녹색 및 회색의 이암으로 퇴적되어 있으며, 여기에 렌즈상 또는 썰기형태의 세립사암체가 협재하고 전반적인 층후는 박층이며 환원환경이 우세하였던 호수변 (marginal lacustrine) 환경으로 점곡층이 해당된다.

식물줄기화석과 소혈 (dwelling burrow)의 흔적화석 및 벌레자국 등의 생흔구조가 주로 암회색 내지 녹색회색 이암 및 세립질 사암에서 발견된다. 화학적 퇴적구조로써 점곡층 사암 및 이암에는 자형 (自形)의 황철석 결정이 흔히 함유되어 있다. 또한 본역의 후평동층 상부에는 10~20 cm 두께의 처트질 암석과 2~3 cm 두께의 처트질 이암의 교호층이 6~8 m 두께로 전지역에 걸쳐 회녹색 이암층 위에 분포되어 있다 (그림 2B). 이러한 처트질 암석이 화산회 (volcanic ash)의 속성변질과정에서 생성되었는지, 아니면 순수한 화학적 침전에 의해 생성되었는지를 밝히기 위한 연구가 더 필요하다.

일직층 상부에 해당하는 길안면 배방리 하상의 이암 (greyish red, SR 4/2)층의 수평면에는 둥글거나 불규칙한 형태를 보여주는 켈크리트 노물들이 흔하게 노출되어 분포한다. 이들의 최대크기는 직경 20 cm 정도로써 이런 것들 중에는 스페라이트 (sparite)로 충전된 쉘타리아 (septaria) 균열이 흔히 발달되어 있으며, 방사상 또는 동심원상의 전형적인 쉘타리아 균열구조도 종종 관찰된다. 이러한 켈크리트 노물구조들은 범람원 퇴적층위에서 형성되고 토양기원 켈크리트로 해석될 수 있으며, 더 나아가 이러한 증거를 토대로 고기후와 고환경의 해석이 가능하다 (백인성, 김정률, 1995).

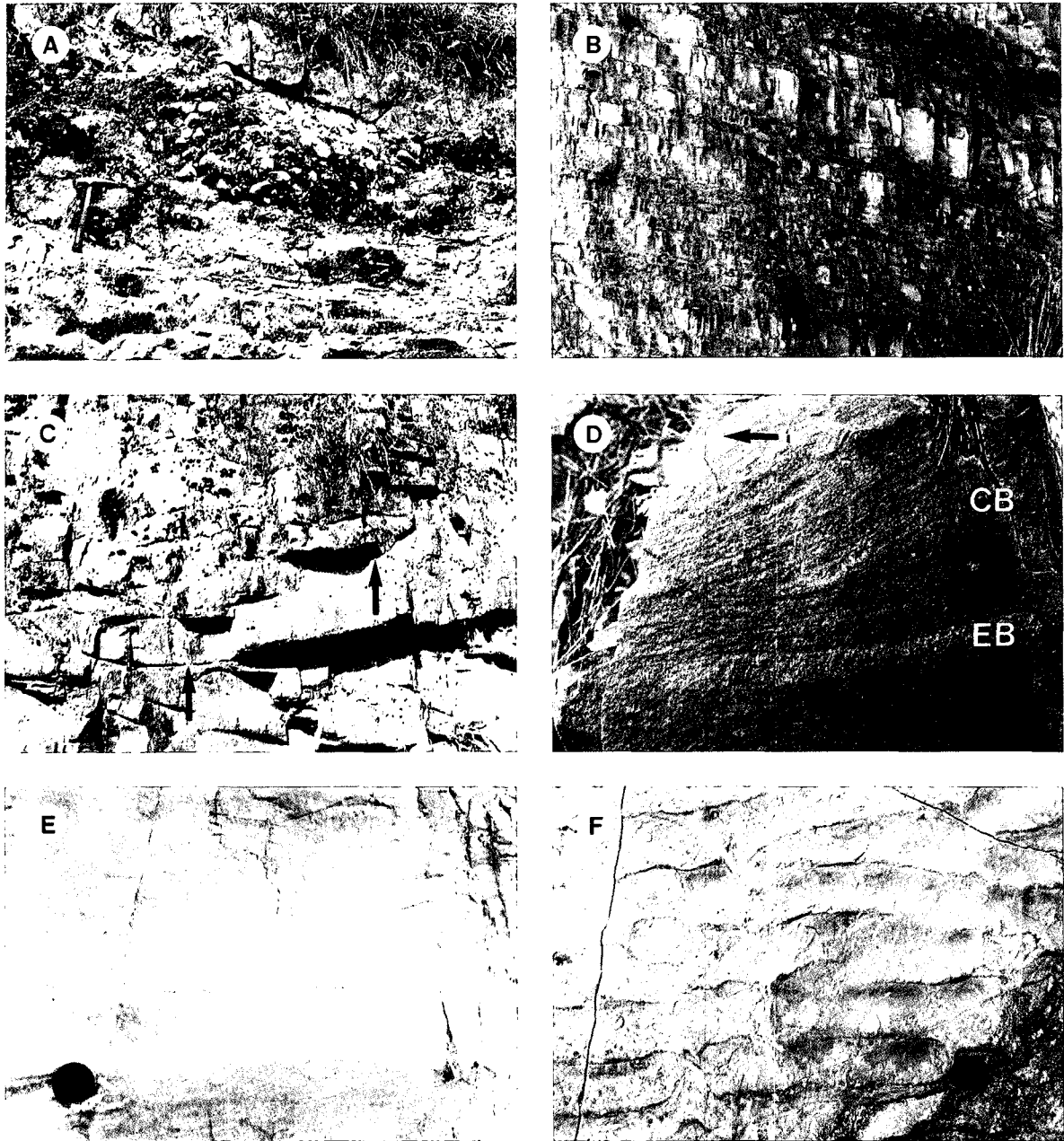


Fig. 2. Sedimentary structures indicative of paleoflow direction and characteristic lithology of the study area. A) Cross section of longitudinal gravelstone bar (upper center) in the channel geometry. The downcurrent direction of channel axis is approximately 285° (I-10). Hammer for scale is 32 cm long, Iljig Formation. B) Rhythmic beds of cherty rocks. The cherty rocks (about 6m thick) are separated by siliceous greenish mudstones of medium to thick lamina. Hammer (lower center) is 32 cm long. Upper part of the Hupyeongdong Formation. C) Coset (about 1.2m thick) of trough cross-stratified gravelly very coarse sandstone to coarse sandstone. Arrows indicate base of a trough set. The downcurrent direction of trough axis is 330° (I-13). Iljig Formation. D) Close-up view of small scale planar cross bedding (CB, upper half) with underlying even bedding (EB, lower half) in vertical section. The foreset beds show tangential to concave-up contact. The azimuth of the cross bedding indicates 282° (arrow direction, H-28). Lens cap is 30 mm in diameter. Hupyeongdong Formation. E) Isolated cross-laminations (middle part of the photo) formed by current ripple. The cross lamination dips to the right, reflecting successive position of lee faces. The dip direction of the cross laminations is 208° (H-26). Lens cap is 30 mm in diameter. Hupyeongdong Formation. F) Bedding plane exposure showing asymmetric current ripple marks with sinuous crests. Flow direction (azimuth, 135°) indicates from top to bottom of the photo. Jeomgok Formation.

고수류

본역에서 관찰되는 퇴적구조는 퇴적환경에 따라 그 종류가 편

재되는 경향을 보여준다. 일차퇴적구조는 하도구조, 곡상사층리, 판상사층리, 판상사엽층리, 유수연흔 등이다. 다섯 종류의 고수류 측정자료들을 층 및 지역별로 구분하여 나타냈다 (표 1). 하도

Table 1. Paleoflow data of each formation in the study area.

Formation	Serial number	Lithology	Thickness, coset (cm)	Basic type	Tilting correction, dip direction/inclination	Measured area		
Iljig	I-01	GVCS	50	P	320/12	Baebang		
	I-02	GVCS	100	P	241/30			
	I-03	GVCS	110	C	280			
	I-04	GVCS	450	C	310			
	I-05	GS	90	T	300			
	I-06	GVCS	60	P	247/06			
	I-07	GVCS	110	P	333/07			
	Iljig	I-08	GVCS	150	C	335	Packja	
		I-09	GVCS	90	P	037/18		
		I-10	G	95	C	285		
		I-11	GVCS	35	T	345		
		I-12	GVCS	90	T	310		
		I-13	GVCS	120	T	330		
		Iljig	I-14	CS	75	T	325	Mukgye
			I-15	MS	120	T	355	
			I-16	CS	130	C	340	
			I-17	MS	35	P	178/20	
			I-18	MS	150	C	320	
			I-19	MS	350	P	278/23	
			I-20	GVCS	150	P	048/16	
Hupyongdong	H-21	MS	80	T	240	Yangkog		
	H-22	CS	90	T	330			
	H-23	FS	50	T	190			
	H-24	MS	140	C	340			
	H-25	VFS	4	CL	138/13			
	H-26	VFS	5	CL	208/20			
	Hupyongdong	H-27	MS	60	T	260	Hyunha	
		H-28	MS	18	P	282/12		
		H-29	VFS	90	P	025/23		
		H-30	MS	60	T	250		
		H-31	CS	100	T	335		
	Jeomgok	J-32	CS	50	P	280/13	Gogok	
		J-33	MS	20	C	290		
J-34		CS	80	T	275			
J-35		GVCS	150	P	134/19			
Jeomgok		J-36	FS	90	P	132/12	Chumok	
		J-37	MS	20	P	249/08		
		J-38	MS	110	T	250		
		J-39	MS	120	P	231/06		
		Jeomgok	J-40	MS	35	P	005/22	Kumhak
			J-41	GVCS	60	C	335	
			J-42	CS	80	T	305	
			J-43	VFS	0.5	CR	135	

* Lithology (G: gravelstone, GVCS: gravelly very coarse sandstone, CS: coarse sandstone, MS: medium sandstone, FS: fine sandstone, VFS: very fine sandstone)* Basic type (P: planar, T: trough, C: channel, CR: current ripple, CL: cross-lamination)

구조는 일직층에서 쉽게 관찰되며, 하도를 채운 역암 내지 역질 사암은 많은 양의 이암편을 포함한다 (그림 2A). 또한 본층의 하도는 폭이 10~12 m, 깊이 2.5~4.5 m 로써 대체로 규모가 크며 조립질 퇴적물로 구성된 경우가 흔하다. 층상부로 갈수록 하도폭은

넓어지는 경향을 보이고, 하도내 퇴적물의 층리도 이암편 (mud drape)에 의해 구분되며 층리에서는 목상사층리가 뚜렷이 나타난다. 관상사층리 전면층의 대부분은 접선접촉 (tangential contact)의 형태를 보여주는데 이는 각상접촉 (angular contact)의 형태보

다는 유속이 크고 낙하하는 퇴적물이 많은 곳에서 형성된 것임을 지시한다 (High and Picard, 1974). 이것은 일직층의 퇴적환경이 다소의 지형구배를 갖는 충적선상지 환경이었음을 고려하면 어느정도 가능하였던 것으로 판단된다.

일직층의 상부와 후평동층으로 갈수록 하도의 폭은 큰 변화없이 하도충진 (channel-fill) 사암입자는 세립화 경향을 보여주며, 하도구조내의 단위 층들의 평균두께는 일직층 128 cm, 후평동층 63 cm, 점곡층 67 cm로 일직층에서 최대가 된다 (표 1). 전체적으로 보면, 본역 사층리는 공동짜 (coset)의 두께가 86 cm로 Conybeare 와 Crook (1968)의 기준에 의하면 중규모 (5~200 cm)의 범주에 해당된다. 후평동층 상부에는 세립질 사암과 실트질이 교호하는 층내에는 횡적으로 단속적이고, 위로 옅어지는 층으로 이루어진 소규모의 점시구조가 많이 발달되는데, 이것의 형성은 퇴적물들이 고결되는 동안 미고결된 퇴적층을 통해서 상부로의 탈수현상때문에 형성되는 것으로 알려져 있다 (Lowe and Lopiccolo, 1974). 각 퇴적구조들에 대하여 상론 (詳論)하면 다음과 같다.

하도구조 (channel structure)

본역의 기저역암인 일직층은 선백악기 (先白堊紀)의 기반암류 위에 퇴적되었으며 상분석 결과 충적선상지 환경임이 밝혀졌다. 일직층 하부에서 상부로 가면서 하도구조가 점차 발달되고 확대되는데, 일직층 중부인 길안면 내배방의 하도구조 (표 1의 I-04)는 폭 10m, 깊이 4.5m의 규모이고 하도축 하류방향은 310°이다. 이것은 침식면위에 형성되었으며 상향세립화 경향을 뚜렷이 보여준다. 일직층 상부의 하도구조는 폭이 더욱 확장되어 나타나며, 길안면 목계리의 하도구조는 (I-18) 뚜렷한 곡상사층리를 나타내지 않지만 폭 12m, 깊이 2.5m로 하도축 하류방향은 320°이고 역질 및 중립질 사암으로 채워져 있다.

Reineck 와 Singh (1986)에 의하면 곡상형태의 하상 (河床)에 채워진 하도퇴적물이라도 언제나 곡상사층리 형태가 나타나는 것은 아니며, 양쪽방향의 사층리짜이 생성된 하도구조가 형성된다. 일직층내에서 하도축방향의 방위각들은 큰 분산을 보이지 않으며, 이를 Selley (1968)가 설정한 고수류 모형과 비교하면 일직

층 측정치들의 방위각 형태를 보여주는 장미도표는 그림 3에서와 같이 한방향성 형태 (unimodal pattern)를 보여준다. 또한 하도축 방향이 큰 편차없이 일정한 것은 퇴적당시의 일직층의 하성계가 고경사 (paleoslope)를 어느정도 유지하면서 퇴적물이 퇴적된 것으로 해석된다 (Miall, 1977). 후평동층과 점곡층에서도 주로 역질사암이나 세립질사암으로 채워진 하도구조가 발달되는데 일직층 중부나 상부의 것보다는 작은 규모로 나타난다. 이는 범람원상에서 발달된 사행천이나 호수변에 형성된 분류하천에 의해 생성된 하도구조로 생각된다.

연구지역 하도구조만의 벡터평균 방향 계산에 의하면 일직층

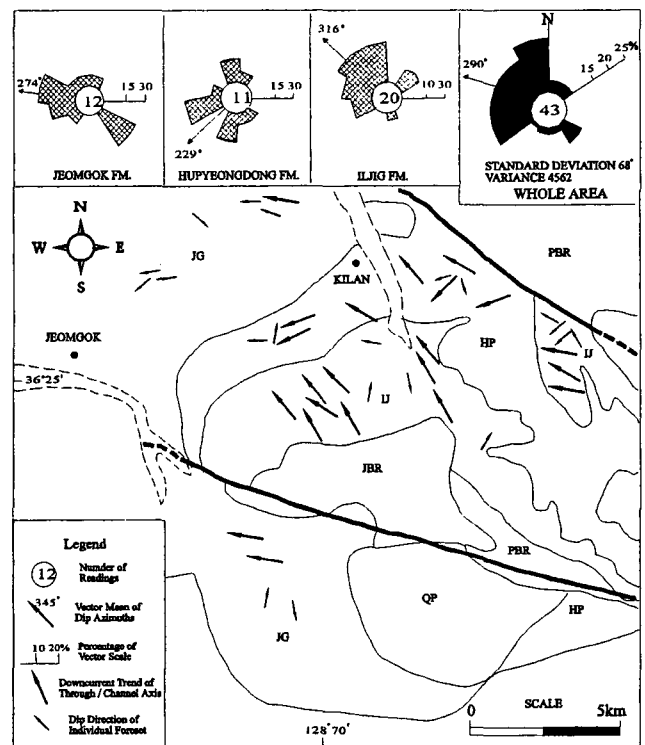


Fig. 3. Paleoflow map of the study area based on channel axis, cross stratification, and current ripple. Vectors represent percentage of readings that fall within 30° intervals. PBR: Precambrian basement rocks, JBR: Jurassic basement rocks, IJ: Iljig Fm., HP: Hupyeongdong Fm., JG: Jeomgok Fm., QP: Quartz porphyry.

Table 2. Statistical calculation of paleoflow data in the study area.

Formation	Measured area	Readings	Maximum inclination	Vector mean of dip azimuths	Statistical values		
					Variance	Standard deviation	Total
Iljig Fm.	Baebang	7		291°	2757	52	Vector mean 290° (n=43)
	Packja	7	16°	329°			
	Mukgye	6		33°			
Hupyeongdong Fm.	Yangkog	6		200°	6382	80	Variance 4562
	Hyunha	5	17°	264°			
Jeomgok Fm.	Gokog	4		268°	6853	83	Standard deviation 68°
	Chumok	4	14°	224°			
	Kumhak	4		335°			

310°, 후평동층 340°, 점곡층 312°로써 큰 분산없이 비교적 일정한 방향을 유지하고 있음을 알 수 있으며, 이는 층적선상지의 하천의 구배가 다소 크며 사행도가 작은 하천에서 퇴적된 것으로 해석된다 (Meckel, 1967; Miall, 1974). 이러한 사실은 표 2의 통계값에서도 나타나는데 전체분산값이 4562로 본역의 퇴적환경인 층적선상지 환경과 호수변 퇴적환경을 감안한다면 크게보아 한방향성 고수류양상을 보인다 (Potter and Pettijohn, 1977; Long and Young, 1978).

곡상사층리 (trough cross-stratification)

곡상사층리는 삼차원적 구조의 사구나 연흔의 이동에 의하여 형성되며, 하도내의 퇴적물에서 생성된다 (Harms and Fahnestock, 1965; Williams, 1971). 곡상사층리는 조승달 형태의 삼차원적 사구의 이동에 의해서 곡형의 짝이 형성되는 반면에, 판상사층리는 주로 직선형 형태의 정선 (crestline)을 가지는 이차원적 사구의 이동에 의해 생성된다 (Tucker, 1991).

사층리는 전면층의 형태에 따라 판상사층리와 곡상사층리로 구분되며, 이들의 형성은 사구의 이동에 의해 형성되는 것으로 알려져 있다 (Mckee and Weir, 1953). 본역에서 곡상사층리는 역질 사암과 조립질사암에서 주로 많이 관찰되며 (그림 2C), 이것은 판상사층리보다는 모든 크기의 곡상사층리는 하도방향을 정확하게 지시하는것으로 알려져 있다 (High and Picard, 1974). 곡상사층리는 주하도상에서 주로 형성되고 (Harms and Fahnestock, 1965), 반면에 판상사층리는 하도내의 우각사주에서 주로 형성되므로 고류향 해석에서는 주의가 요망된다 (Mc-Gowan and Garner, 1970). 본역에서 관찰된 곡상사층리 짝의 형태는 크게보아 렌즈상 형태이며 크기 범위는 깊이가 35~150 cm 폭은 최대 12 m까지로 중형 및 대형 곡상사층리에 속하는 것이 발견된다. 이들이 지시하는 방위각은 대개가 서북서 방향을 가리킨다.

판상사층리 (planar cross-stratification)

판상사층리는 대부분 저각을 보여주고 있으며 전면층은 위로 오목한 형태가 많이 관찰된다 (그림 2D). 판상사층리의 전면층의 형태는 유속이 증가함에 따라 각상 (angular), 접선 (tangential), 요상 (concave) 접촉형태를 보여주나 유속외에도 깊이나 입자형태 분급등 퇴적당시의 수동력적 요인에 영향을 받는 것으로 알려져 있다 (Jopling, 1965). 주로 역질사암부터 세립질 사암에서 발견되는데, 환경에 따라 다르지만 일직층에서는 조립질 사암에서 후평동층과 점곡층에서는 주로 세립질 사암에서 많이 관찰된다.

수심이 얇은 곳에서 전면층의 경사가 5~15°인 저각의 판상사층리는 하성환경에서 사구의 이동에 의하여 흔하게 생성되며, 또한 전면층의 경사가 5~10° 범위의 것은 간헐하천의 수심이 얇은 퇴적물에서 매우 흔하게 생성된다 (Reineck and Singh, 1986). 본역 판상사층리의 전면층 경사각은 대부분 20°이하의 저각이다. 현생의 풍성사구에 대한 연구로는 30~35°의 전면 경사각을 보여

주며 (McBride and Hayes, 1962), 현재의 하성환경에서의 사층리의 경사각은 30°를 넘지 않는다고 한다 (Harms and Fahnestock, 1965). 하성환경에서 생성되는 전면층 경사각이 30°를 넘지 않지만 이것을 고기 퇴적물 경사각에 적용시키면 다소 더 낮게 측정될 것이다. 그 이유는 첫째 현재 측정되는 전면층경사가 당시의 고수평선을 반영하지 못하여 다소 감소되어 측정될 것이고, 둘째 측정장소가 당시의 경사방향에 정확하게 직각으로 되어있지 않은 단면에서 측정된다면 진경사보다는 다소 적은값으로 측정될 것이며, 셋째 퇴적후 퇴적물 두께에 의한 압력때문에 다져짐의 영향으로 전면층 경사가 감소될 수 있다는 것이다 (Rittenhouse, 1972).

본역 판상사층리들이 지시하는 고수류 방위각은 005~333°에 까지 분포되며 하도구조나 곡상사층리보다는 상당히 분산됨을 알수있다. 이와같이 판상사층리는 규모나 생성환경에 따라서 유수방향과 같은 고류향을 지시하는것이 미약하기 때문에 고수류 분석시 세심한 주의가 필요한 것으로 알려져 있다 (Allen, 1967; High and Picard, 1974; Miall, 1974).

사엽층리 (cross-lamination)

사엽층리는 후평동층에서 주로 발견되며 세립질 및 실트질 사암과 이암이 교호하는 층에서 나타난다. 특징으로는 공동짜의 형태보다는 한짜의 형태가 많으며 전면층은 세립질사암으로 구성되어 있으나 1~2 mm 두께의 이암띠에 의하여 개개의 전면층들이 구분되며, 전면층의 경사는 완만하며 접선접촉의 형태를 보여준다 (그림 2E). 본역의 사엽층리 두께는 평균 4.5 cm인데 사층리와 사엽층리의 구분은 세트의 두께에 따라 구분되는데 한짜의 두께가 대개 6 cm 이하의 것을 사엽층리로 구분한다 (Reineck and Singh, 1986). 이러한 사엽층리는 연흔의 이동에 의해 모래 또는 사암내에 생성되며 주로 모래크기의 퇴적물에서 생성되지만 조립의 실트에서도 생성된다. 이들은 세립 및 중립사에서 가장 잘 발달하며, 조립사보다 굵은 퇴적물에서는 거의 생성되지 않는다 (조 외, 1995). 표 1에서 보면 사엽층리의 고수류 방위각은 138°와 208°로써 연구지역의 전체 고수류 벡터방향이 290°인 것을 비교하면 편차가 큰 것을 알 수 있다.

유수연흔 (current ripple)

점곡층 중부부터는 연흔이 흔히 관찰되며 대표적인 유수연흔은 표 1의 J-43으로서 고수류 방향은 135°를 지시하며 사엽층리와 함께 전체 고수류 벡터평균 방향과는 편차가 심하다. 유수연흔의 형태는 다행이 평면과 수직단면을 모두 측정할 수 있는데 실트질 이암층위에 세립질 사암으로 형성되어 있다 (그림 2F).

수직단면상에서는 상류사면 (stoss side)이 하류사면 (lee side)보다 큰 전형적인 비대칭 연흔으로 둥근 정선을 갖으며 평면형태는 정선모양이 엇갈려 굴곡진 모양을 보여준다. 비대칭형 유수연흔의 정선형태는 유속이 증가함에 따라 직선, 만곡, 설상형

Table 3. Statistical calculation of paleoflow data in the Pyonghae-Yongdok area (after Woo, 1989; Chang *et al.*, 1990).

Formation	Measured area	Readings	Vector mean	Statistical value
Donghwachi Fm.	G	15	230°	Vector mean
	F	12	227°	231° (n=42)
	E	9	240°	Variance
	D	6	240°	3564
Ullyonsan Fm.	C	6	243°	Vector mean
	B	22	234°	236° (n=28) Variance 1128

태를 형성한다 (Allen, 1968). 대칭연흔은 일반적으로 파도의 작용에 의해 생기지만, 실제로 둘사이의 관계는 매우 복잡하다. Tanner (1967)는 유수연흔과 파동연흔을 구분하는 여러가지 지수들을 구하였는데 RI (ripple index)의 값이 4 이하이면 파동연흔으로, 15 이상이면 유수연흔으로 규정하였다. 점곡층 중부에서 측정된 연흔의 RI는 16으로 유수연흔이며, 그외는 대부분 파동연흔의 범주에 속하며, 이는 호수의 가장자리 (shoreline)를 지시한다.

고찰

본역은 퇴적상 분석결과에 의하면 층적선상지, 범람원, 호수변 (湖水邊) 환경에서 퇴적된 것으로 해석되었다 (Lee, 1995). 측정된 방향성 퇴적구조들도 이들의 환경에 상응하여 산출되는데 비교적 고류향 지시에 신빙성이 있다고 판단되는 자료들을 지역별, 층별로 구분하여 고수류도를 작성하였다 (그림 3).

하도구조 (n=9), 곡상사층리 (n=15), 판상사층리 (n=16), 사업층리 (n=2) 및 유수연흔 (n=1)의 총 43개 고수류구조의 통계분석치는 표 2와 같다. 전지역에 대한 장미도표는 상분석 결과의 환경과 일치하는 하성환경을 지시하는 한방향성의 고수류 양상을 보여준다 (Selley, 1965, 1968). 후평동층과 점곡층만의 장미도표로는 두방향성 (bimodal) 또는 다방향성 (polymodal) 분포양상을 보여준다.

전지역의 고수류 벡터평균 방향은 290°이며 표준편차는 68이다. 이는 주된 고수류는 서북서 방향으로 흘렀으며, 주된 퇴적물의 공급지는 동남동 방향에 위치 하였음을 시사한다. 장미도표는 북북서나 남남서방향을 지시하고 있으므로 본역에 퇴적물을 공급하였던 기원지는 북북동에서부터 남남동 방향에 위치하고 있었음을 시사한다. 본역의 고수류 방향은 본역 중심부나 동부에 부분적으로 노출되었던 쥘라기 화강암이나 선캠브리아기 기반암류로 인해서 본지의 중심과 다소 차이가 나는 북서쪽으로 편향되는 결과를 초래했을 것이라고 추측된다. 실제로 이러한 기반암류 주위에서 일직층의 선상지 발달은 북서쪽으로 더욱 확장되어 발달되었음이 야외조사에서 확인되었다.

각층별 분산치는 일직층 2757, 후평동층 6382, 점곡층 6853 이

며 종합분산치는 4562이다. 상부로 가면서 분산값이 커지는 것은 퇴적환경의 영향으로 해석되며, 대개 하성-삼각주 (fluvial and deltaic) 환경의 분산치는 4,000~6,000 (최소 1148, 최대 8049)의 범위로 알려져 있으므로 (Potter and Pettijohn, 1977), 종합분산치 4562는 크게보면 하호환경을 지시한다. 그러나 일직층의 분산값은 하성환경의 최소치고, 후평동층과 점곡층의 분산값은 종합분산치를 상회하는 것으로 하호환경의 상한치로 보아야 할것이다.

위와 같은 고수류도와 통계적수치들은 의성소분지 북동부 지역의 하양층군 퇴적 당시의 고수류방향, 퇴적중심지, 퇴적물 공급지 및 퇴적환경의 해석을 어느정도 짐작케 해준다. 이는 표 3과 같이 연구지역과 인접해 있으면서 동일한 시기의 하양층군에 속하는 영양소분지 평해-영덕 지역의 고수류 연구결과와도 유사하며, 이지역의 벡터평균 방향은 본역의 일직층과 후평동층에 해당하는 울련산층과 동화치층의 경우에 표준편차가 $\pm 72^\circ$ 인 236° 와 231° 를 각각 보여주고 고류향은 남서방향임을 지시하고 있다 (우, 1989; Chang *et al.*, 1990). 본역의 고류향은 남서 및 북서방향이 지배적이므로 퇴적물의 공급지는 북동 및 남동방향에 위치하고 있었다. 이러한 두 지역의 결과는 벡터평균 방향의 표준편차를 고려하면 고류향과 공급지가 유사하였음을 알 수 있다. 그러나 현재 북동 및 남동방향에 나타나있는 공급지는 분지내에 소규모로 분포하였던 선경상계 기반암류와 영양소분지의 동편 쥘라기 영덕 화강암체 이외에는 대규모 기원암을 찾을 길이 없으며, 이러한 의문은 Chang (1988)이 설정한 동해고륙 (East-Sea Paleoland)의 존재를 가능케한다.

결론

의성소분지 북동부 백악기 하양층군 (일직층, 후평동층, 점곡층)으로부터 의미있는 고수류 퇴적구조로서 하도구조, 곡상사층리, 판상사층리, 판상사업층리, 유수연흔등이 관찰되었다. 이들 퇴적구조들은 퇴적환경에 상응하면서 산출하고 있다. 하도구조는 규모의 차이는 있지만 모든 층에서 산출한다. 하도구조와 곡상사층리는 층적선상지 환경인 일직층에서 자주 관찰되며, 판상사층리, 사업층리, 유수연흔등이 범람원 환경인 후평동층과 호수변 환경인 점곡층 하부에 흔하며, 점곡층 중부에는 연흔이 흔히 관찰된다.

이들 고수류 퇴적구조들의 분석결과, 본역 하양층군의 주된 고수류 방향은 벡터평균 방향이 290°로써 표준편차 $\pm 68^\circ$ 인 서북서 방향이고, 기원지는 연구지역으로부터 동남동 쪽에 위치하였을 것으로 시사된다.

사사

본 연구는 1995년도 경북대학교 공모연구과제 연구비와 1996년도 기초과학연구소 학술연구조성비에 의하여 뒷받침되었다. 특히 원고를 정독하고 많은 충고를 주신 박창업, 이용일 교

수와 익명의 사독자들에게 심심한 감사를 드린다.

참고문헌

- 백인성, 김정률, 1995, 경남 진주시 부근의 백악기 하산동층 상부에 발달된 석회질고토양: 범람원퇴적작용 및 고기후적 의미. *지질학회지*, 31, 482-498.
- 우병걸, 1989, 경상북도 평해-영덕 지역의 백악기 층서 및 퇴적. 경북대학교 석사 학위논문, 72p.
- 이진형, 1989, 경상북도 청하-안강지역의 백악기 층서 및 퇴적. 경북대학교 석사 학위논문, 64p.
- 조성권, 이철우, 손영관, 황인걸, 1995, 퇴적학. 우성출판사, 512p.
- Allen, J. R. L., 1967, Notes on some fundamentals of paleocurrent analysis, with reference to preservation potential and sources of variance. *Sedimentology*, 9, 75-88.
- Allen, J. R. L., 1968, *Current Ripples*, North-Holland, Amsterdam, 433p.
- Chang, K. H., 1988, Cretaceous stratigraphy and paleocurrent analysis of Kyongsang Basin, Korea. *Journal of Geological Society of Korea*, 24, 194-205.
- Chang, K. H. and Kim, H. M., 1968, Cretaceous paleocurrent and sedimentation in northwestern part of Gyeongsang Basin, southern Korea. *Journal of Geological Society of Korea*, 4, 77-97.
- 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, S. Korea. *Journal of Geological Society of Korea*, 26, 471-487.
- Conybeare, C. E. B. and Crook, K. A. W., 1968, *Manual of Sedimentary Structures*. *Geology and Geophysics Bulletin* 102, Canberra, 327p.
- Friend, P. F., 1965, Fluvial sedimentary structures in the Wood Bay series (Devonian). *Sedimentology*, 5, 39-68.
- Harbaugh, J. W. and Merriam, D. F., 1968, *Computer applications in stratigraphic analysis*. John Wiley, New York, 282p.
- Harms, J. C. and Fahnestock, R. K., 1965, Stratification, bed forms, and flow phenomena, with an example from the Rio Grande. *Society of Economic Paleontologists and Mineralogists Special Publication* 2, 81-102.
- High, L. R., JR. and Picard, M. D., 1974, Reliability of cross-stratification types as paleocurrent indicators in fluvial rocks. *Journal of Sedimentary Petrology*, 44, 158-168.
- Jopling, A. V., 1965, Hydraulic factors and the shape of laminae. *Journal of Sedimentary Petrology*, 35, 777-791.
- Lee, Y. T., 1995, Sedimentology and petrology of Cretaceous sandstones in the northeastern part of Kyongsang basin, southeast Korea. D.Sc. thesis, Kyungpook National University, 168p.
- Lindholm, R. C., 1987, *A practical approach to sedimentology*. Allen & Unwin, London, 276p.
- Long, D. G. F. and Young, G. M., 1978, Dispersion of cross-stratification as a potential tool in the interpretation of Proterozoic arenites. *Journal of Sedimentary Petrology*, 48, 857-862.
- Lowe, D. R. and Lopiccio, R. D., 1974, The characteristic and origins of dish and pillar structures. *Journal of Sedimentary Petrology*, 44, 484-501.
- McBride, E. F. and Hayes, M. O., 1962, Dune cross-bedding on Mustang Island, Texas. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 46, 546-551.
- McGowen, J. H. and Garner, L. H., 1970, Physiographic features and stratification types of coarse-grained point bars: Modern and ancient examples. *Sedimentology*, 14, 77-112.
- McKee, E. D., 1964, Inorganic sedimentary structures. In: J. Imbrie and N. Newell (Editors), *Approaches to paleoecology*. John Wiley, New York, 275-295.
- McKee, E. D. and Weir, G. W., 1953, Terminology for stratification and cross-stratification. *Geological Society of America Bulletin*, 64, 381-390.
- Meckel, L. D., 1967, Tabular and trough cross-bedding: Comparison of dip azimuth variability. *Journal of Sedimentary Petrology*, 37, 80-86.
- Miall, A. D., 1974, Paleocurrent analysis of alluvial sediments: A discussion of directional variance and vector magnitude. *Journal of Sedimentary Petrology*, 44, 1174-1185.
- Miall, A. D., 1977, A review of the braided river depositional environment. *Earth Science Review*, 13, 1-62.
- Potter, P. E. and Pettijohn, F. J., 1977, *Paleocurrents and Basin analysis*. Springer-Verlag, Berlin, 413p.
- Power, W. R., 1961, Back set beds in the Coco Formation, Inyo County, California. *Journal of Sedimentary Petrology*, 31, 603-607.
- Reineck, H. E. and Singh, I. B., 1986, *Depositional sedimentary environments*. Springer-Verlag, Berlin, 543p.
- Rittenhouse, G., 1972, Cross-bedding dip as a measure of sandstone compaction. *Journal of Sedimentary Petrology*, 42, 682-683.
- Selley, R. C., 1965, Diagnostic characters of fluvial sediments of Torridonian Formation (Precambrian) of northwest Scotland. *Journal of Sedimentary Petrology*, 35, 366-380.
- Selley, R. C., 1968, A classification of paleocurrent models. *Journal of Geology*, 76, 99-110.
- Selley, R. C., 1988, *Applied Sedimentology*. Academic Press, London, 446p.
- Tanner, W. F., 1967, Ripple mark indices and their uses. *Sedimentology*, 9, 89-104.
- Tateiwa, I., 1929, Geological atlas of Korea, Kyongju, Yongchon, Taegu, and Waegwan sheets. Geological Survey of Korea, Seoul.
- Tucker, M. E., 1991, *Sedimentary petrology*. 2nd ed. Oxford, Blackwell, 260p.
- Williams, G. E., 1971, Flood deposits of the sand bed ephemeral streams of central Australia. *Sedimentology*, 17, 1-40.