

진안분지 서변 중앙부 신리지역의 준퇴적동시성 변형구조

On the penecontemporaneous deformation structures of the Sinri area at the mid western boundary of the Jinan Basin

이 영 업 (Young-Up Lee)

요 약

진안분지 서변 중앙부에 위치한 신리 지역에서는 주로 셰일 협재 조립질 사암과 사암/셰일이 호층을 이루는 만덕산층과 셰일이 우세한 달길층이 분포한다. 이 층들에서는 조립질 사암상, 사암/셰일 호층상, 셰일상 및 화산암상 등의 네 가지 암상이 관찰된다. 조립질 사암과 사암은 저탁암의 특성을 보이며, 셰일은 호수 이암의 특성을 보인다. 따라서 이 퇴적암상은 호수 퇴적물 기원으로 해석된다. 이 퇴적암 내에는 비교적 큰 규모의 습곡 및 스러스트 단층 등이 변형되지 않은 상하부의 퇴적층군 내에 한정되어 발달한다. 습곡 및 스러스트 단층 내에는 팽창(swelling) 구조, 부우딘(boudin) 구조, 소습곡 및 소규모 역단층 등이 포함되어 있다. 이 곳에 발달하는 두 조의 습곡은 동형 습곡에 해당되며, 하부의 습곡은 습곡의 정도가 층의 상부를 따라 점점 감소하면서 동심(concentric) 습곡을 이룬다. 습곡 내 팽창 구조는 습곡의 측면에서, 부우딘 구조는 날개부에서 각각 관찰되며 연성 퇴적물이 이동하여 형성되었다. 스러스트 단층에서는 미끌린 면을 따른 연질 퇴적물의 변형과 소규모 습곡 및 이동 사암체 전면부의 로브형(lobe type) 변형이 관찰되며, 계속된 구조 운동으로 인한 듀플렉스(duplex) 구조로 발달하였다. 분리된 사암체 전면 상하부 셰일 내에는 비대칭성과 킹크(kink) 습곡이 각각 관찰된다. 스러스트 단층에서의 팽창 구조, 부우딘 구조, 로브형 변형 및 소습곡 구조들도 퇴적물의 미고화 상태에서의 유동성과 변형을 지시한다. 습곡과 스러스트 단층 모두는 또한 구조의 규모나 퇴적층의 특성에 비해 열곡의 발달이 적어, 변형 당시 퇴적물의 가소성을 보여준다. 스러스트 단층의 측면을 따라서는 동시 발달로 추정되는 정단층이 있다. 작은 규모의 변형구조로는 슬럼프, 말린층리, 횡외습곡과 디그마틱 습곡, 불꽃구조 및 짐구조등이 관찰된다. 이는 퇴적동시성에서 준퇴적동시성의 변형구조들로서 분지 퇴적물이 퇴적된 이른 시기부터 조구조 운동이 영향을 미쳤음을 지시한다. 이런 여러 가지 특징들은 퇴적물이 퇴적된 시기부터 고화되기까지 분지 지역에 조구조운동이 계속되었음을 지시한다.

주요어: 진안분지, 준퇴적동시성 변형구조, 유동성, 구조운동

Abstract : In the Sinri area located at the mid western boundary of the Jinan basin, the Manduksan Formation which mainly consists of coarse sandstone narrowly intercalated with shale and the alternation of sand and shale and the Dalgil Formation mainly of shale are distributed. It consists of four lithofacies, such as coarse sandstone, interbedded sandstone/shale, shale and volcanic rock lithofacies. All sediments are interpreted to be deposited by turbidity currents and free fallouts in a lacustrine basin. In these rocks many penecontemporaneous deformation structures are observed such as fold and thrust fault at large scale, and swelling, boudin structure, flame structure, load structure, ptigmatic fold and convolute bedding at small scale. All these structures are developed between upper and lower undisturbed sedimentary strata. Two large folds are similar folds, but lower one gradually developed into concentric shape. The swelling structures by convergence of the sediments are observed in the hinge area and the boudin structures are developed in the limb. The thrust faults including minor folds and sandstone lobes show duplex structure with asymmetric and kink fold on and below in front of the detached sandstone layer. Development of the swellings, boudins and lobes indicates the flexibility of the sediments during deformational episodes. The folds and thrust faults rarely contain fractures relative their scales and lithologies. This feature also indicates the retrievability of sediments during deformation. At the flanks of the thrust faults the normal faults are formed contemporaneously. The deformation structures at small scale such as flame structures, load structures, ptigmatic folds and convolute beddings are syndepositional and penecontemporaneous, which show the effects of tectonic movements. All these deformed sedimentary structures of the Sinri area suggest the continuing tectonic movements during and/or after deposition.

Key words: Jinan Basin, penecontemporaneous deformation structures, retrievability, tectonic movements

서 론

한반도 남부에는 NE-SW의 방향성을 보이는 옥천 조산대를 따

라서 여러 개의 비교적 소규모 백악기 퇴적분지가 같은 방향으로 분포하고 있으며, 그 중 진안분지는 남쪽 가장자리 부근에 발달되어 있다. 진안분지에 대한 연구는 Shimamura (1925), 손치무

전북대학교 자연대학 과학기술학부 지구환경과학과(Dept. of Earth & Environmental Sciences, Chonbuk National University, Chonju 561-756, Korea)

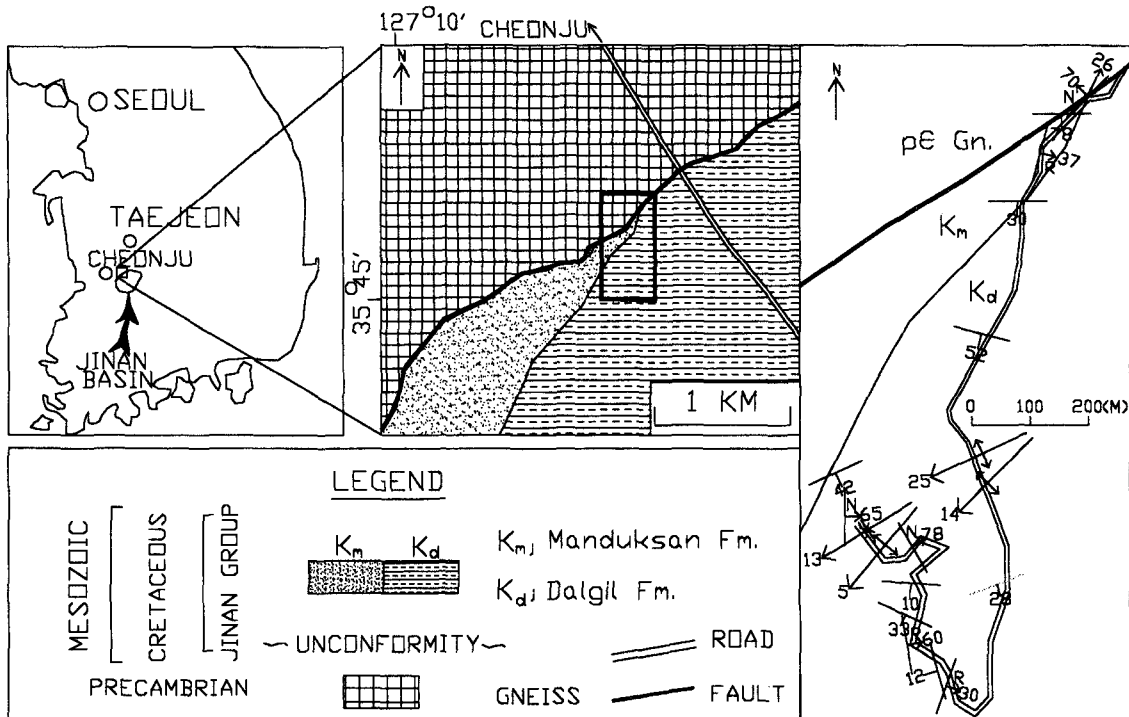


Fig. 1. Geologic, location and route map of Sinri area. Rectangular with heavy line in the geologic map is the route map area.

(1969), 장기홍 (1985), 홍재모 (1981), Gwag (1990)과 이영엽 (1992) 등이 있으나 아직 더 많은 연구가 필요하다. 이 진안분지의 서변 중앙부 신리 지역에는 퇴적암의 변형구조가 많이 관찰된다. 이 퇴적암의 퇴적상과 퇴적환경을 고찰하고 변형구조가 만들어진 시기와 분지내 조구조 운동 시기와의 관계에 대해 살펴보는 것이 이 연구의 목적이다.

일반지질

진안분지는 길이 약 32 km, 너비 약 18 km로서 면적이 약 580 km²인 반사다리꼴 형태의 분지로 육성 퇴적물로 구성된 진안층군으로 채워져 있다 (Shimamura, 1925; 손치무, 1969; 장기홍, 1985; 홍재모, 1981; Gwag, 1990; 이영엽, 1992). 진안층군은 마이산 역암층, 만덕산층, 달길층, 산수동층 및 중성/산성의 화산암으로 구성되며, 화강암을 부정합으로 덮으나 야외에서는 분지 소멸 이후의 구조운동에 의한 단층면만 관찰된다. 연구 지역은 진안분지 서변부의 중앙에 위치하며, 주로 세일 협재 조립질 사암과 사암/세일 호층으로 이루어진 만덕산층과 세일이 우세한 달길층이 분포한다 (그림 1). Shimamura (1925)는 진안분지에 퇴적된 분지 퇴적물을 진안통과 이를 덮는 마이산 반암 (巒岩, 역암에 해당됨)으로 구분하였다. 그는 진안통을 하부로부터 만덕산층, 달길층, 산수동층으로 구분하였으며, 마이산 역암층은 진안통을 부정합으로 덮는 역암으로 구성될 시대 미상 지층으로 해석하였다. 홍만섭 외 (1966)와 Reedman과 Um (1975)은 각각 1:50,000 갈담 지질도폭 설명서와 '한국의 지질 (The Geology of Korea)' 에서 진안통을 구성하는 퇴적물이 특정한 지질시대적 특성을 갖지 않는다고 보고 "진안층군 (Jinan Group)" 으로 개칭하였다. 이영엽 (1992)은 진안층군을 구성하는 각 층 즉, 만덕산

지질시대	Shimamura (1925)	손치무 (1969)	Reedman and Um (1975)	장기홍 (1981)	이영엽 (1992)
백악기 Barremian	마이산 역암층	산수동층	진안층군	산수동층	중성 화산암
	산수동층				마이산 역암층
	달길층	산성 화산암			
	만덕산층	만덕산층			
	진안통	웅치층군		달길층	만덕산층
		웅치층		산수동층	마이산 역암층

Fig. 2. Stratigraphy of the Jinan Basin.

층, 달길층, 산수동층, 마이산 역암층 등을 퇴적상 변화에 의해 설교관계를 이루는 인접층으로 해석하였다 (그림 2).

퇴적시기

Shimamura (1925)는 진안층군의 퇴적시기를 산출화석을 근거로 후기 백악기의 하부로 추정하였다. 손치무 (1969)는 마이산 역암층을 진안층군의 기저역암으로 재해석하고 이를 웅치역암으로 명명하였으며, 지질시대를 일본의 지사와 비교하여 튜로니안 (Turonian) 말 (약 8천 9백만년 전)에 형성된 것으로 보았다. Reedman과 Um (1975)과 장기홍 (1985)은 Shimamura (1925)가 구분한 산수동층에서 발견된 식물화석인 *Frenelopsis* sp.을 포함하는 식물화석들을 근거로 진안층군을 경상분지의 하양층군에 대

비시키고 그 시기를 바레미안 (Barremian; 약 1억 2천만년전)으로 보았으며, Yi *et al.* (1998)도 포자화석을 이용하여 같은 시기로 추정하였다. 그러나, 현재까지는 논의를 종식시킬 수 있을 정도의 명확한 시간층서적 증거가 제시되지 않고 있다.

암상 및 퇴적환경

루트맵(route map)과 검층

신리에서 관찰되는 퇴적암에는 기반암과 접하는 단층면이 잘 발달되어 있으며, 단층면을 따라서는 규장암질 맥암이 관입하였다. 이 단층면에서부터 분지 내부쪽으로 새 도로가 개설되어 도로 사면을 따른 노두가 잘 노출되어 있다. 먼저 이 노두가 노출된 도로의 정확한 방향성과 수직연층상에서 지질구조의 위치를 파악하기 위하여 루트맵을 작성하였다 (그림 1). 루트맵은 층의 경사방향과 비슷하게 지나가며, 따라서 층은 도로를 따라 계속 상부층으로 이어진다. 퇴적층 내에서는 여러 매의 스러스트 단층이 발견되나, 큰 규모는 아니며, 퇴적층 내에 한정되어 층후나 층서 구분에 큰 영향을 미치지 않는다. 이 루트를 따라 자세한 검층을 하였다 (그림 3). 신리지역에서 발견되는 노두는 크게 그레늘 혹은 조립질의 괴상사암과 중립질 혹은 세립질 사암으로 접이하는 상향 세립의 조립질 사암상, 괴상의 중립질 사암과 중립질 사암에서 세일로 접이하며, 세일과 사암이 호층상을 이루는 사암/세일

호층상, 세일로 구성된 세일상 및 화산암상의 네 가지 암상으로 구분할 수 있다.

조립질 사암상 : 조립질 사암상은 담회색 그레늘 혹은 극조립질의 사암에서 중립질 혹은 세립질 사암으로 상향 세립으로 접이하며, 사암에서 세일로 급격히 변한다. 세일은 드물게 협재하며 립앞 클라스트(rip-up clast)와 연결되기도 한다. 두꺼운 조립질 사암층은 대개 층의 두께가 0.5-1 m 정도이며, 합체되어 10 m에 가까운 두꺼운 단일층을 이루기도 한다. 단위층의 하부에서는 일부 깎고 매운 구조가 발견되나, 대개는 예리한 접촉을 보인다. 사암층은 대개 층리를 보이지 않는 괴상이거나 층리의 발달이 미약하며, 상향 세립의 접이층의 발달이 양호하다. 층의 합체부에서 발견되는 잔자갈질 역은 약간의 층리를 보이거나 깎고 매운 구조가 발견되기도 한다. 이 상의 최하부 층중에서는 슬럼핑과 슬라이딩에 의한 큰 규모의 세일 거력편들이 발견된다. 거력편 내에는 변형되지 않은 박층리가 발달한다. 세일 거력편은 층리를 따라 배열되어 미약한 층리를 보여 준다. 사암층에는 세일의 립앞 구조가 잘 관찰된다 (그림 4). 일부 조립질 사암층에서는 역접이 층리와 접이층리가 동시에 관찰되는 플러그 (plug) 구조를 보이는 경우도 있다.

사암/세일 호층상 : 이 암상은 중립질의 괴상 사암과 중립질의

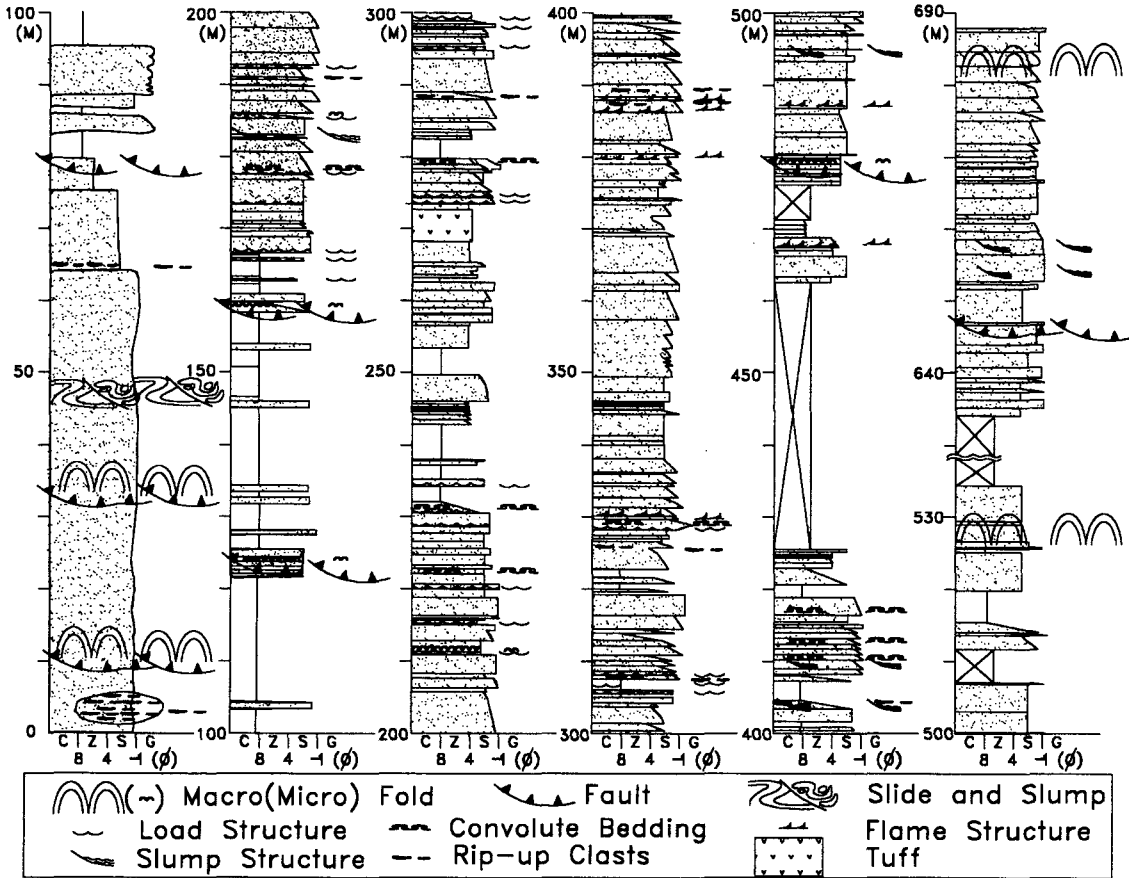


Fig. 3. The log of sedimentary sequences of the Sinri area.



Fig. 4. Sandstone showing rip-up structures.

사암에서 세립질 및 세일로 상향 세립하면서 점이하는 사암층과 엽층리가 발달한 세일층이 비슷한 층후로 반복되며, 각 단위 층의 층후는 대개 10-30 cm 정도이다. 사암은 층리의 발달이 미약하며, 립앞 구조, 말린 구조, 슬럼프 구조, 작은 습곡 구조, 짐구조 등이 관찰된다.

세일상 : 이 암상은 주로 쪼개짐이 잘 발달된 세일로 구성되며, 10 cm 이하의 세립 사암 혹은 세립질 사암에서 세일로 점이하는 암상이 협재한다. 작은 식물 화석편이나, 동정이 안되는 개형류 화석이 드물게 관찰된다.

화산암상 : 이 암상은 하부 층준에서 발견되는 피아메를 포함하는 약 50 m 정도 두께의 라필리질 응회암과 중부 층준에서 발견되는 층후 약 2 m 정도의 세립질 화산회로 구성된다. 라필리 응회암은 심한 변형을 받았으며, 상하부 세일과 혼합되어 있다. 세립질 화산회에서는 하부에 세립질의 실트와 미세하게 교호하면서 말린 구조를 보이는 구간이 10-20 cm 포함되다가 상부로 가면서 괴상으로 바뀐다. 분포는 적으며 연구 지역에서는 2 곳에서 관찰된다.

퇴적환경

신리 지역의 하부에서 관찰되는 조립질 사암상과 라필리 응회암 등의 특징들은 분지내부 기원의 쇄설편들이 슬럼프에 의해 직접 도달될 수 있고 화산쇄설성 퇴적물이 쌓일 수 있는 않거나 노출된 하천 혹은 호수 주변부 환경에서 퇴적되었음을 지시한다.

조립질 사암의 괴상이나 층리의 미약한 발달, 상향세립의 특징들이 이 퇴적물이 저탁류에 의해 퇴적되었음을 나타낸다. 퇴적 상부와 분지 내부로 가면서 조립질 사암에서 사암/세일 호층과 세일이 점점 우세해 지고, 상향 세립의 경향을 보이는 중립질과 세립질 사암이 관찰되는 특징들은 이러한 퇴적물이 부유 침전과 저탁류에 의한 것임을 보여 준다. 때로 쇄설류 (debris flow)의 특징인 역점-점이층리의 플러그 구조를 보이는 것은 저탁류가 쇄설류로부터 발달하였음을 시사한다. 상향세립하며 세일이 협재하는 조립질 사암상은 저탁암에서 잘 발달하는 부우마 연층 (Bouma sequence)의 A, B, E 층, 사암/세일 호층상은 C, D, E 층에 해당되고 세일상은 부유 상태에서 직접 침전된 것이다. 따라서 신리 퇴적암상의 퇴적은 호수의 하천 진입부나 주변부에서 퇴적되기 시작하여 저탁류의 발달이 활발한 호수 내부 퇴적물로 발달되었다. 저탁류의 발달과 최하부 퇴적물에서의 분지 내 기원의 세일 슬럼프 거력편들은 이 지역이 조구조적으로 불안정한 사면 가까이에 위치한 호수였으며, 상향 세립화는 기원지가 점차 멀어졌거나 호수가 점점 넓어졌음을 지시한다.

진안층군 신리 주변의 변형구조

연구 지역에서는 많은 준퇴적동시성의 변형 구조가 관찰된다. 여기에서 준퇴적동시성이란 퇴적암이 퇴적된 직후부터 고화되기 전까지의 변형구조를 의미하며, 층이 전혀 깨어지지 않았거나, 층구분이 가능할 정도의 약간 깨어진 상태에서 복잡하게 휘거나, 재형되어 있다 (Conybeare and Crook, 1968). 또 이런 변형구조들의 상하는 변형되지 않은 퇴적층들로 구성되기 때문에 이런 구조가 퇴적후 고화전의 변형구조임을 추정케 한다. 이에 비견적 큰 규모의 습곡 및 스러스트 단층과 소규모의 슬럼프 (slump) 구조, 말린 층리 (convolute bedding), 티그마틱습곡 (ptygmatic fold)과 횡외습곡 (recumbent fold), 사암의 팽창, 신장 및 회전구조, 불꽃 구조 (flame structure), 짐구조 (load structure) 등이 관찰된다. 고화된 후에는 정단층의 형성이 있었다. 이러한 각각의 준퇴적동시성 변형구조와 정단층의 특성은 다음과 같다.

습곡

습곡은 검층 기록의 상부 530 m, 680 m 구간에 걸쳐 관찰된

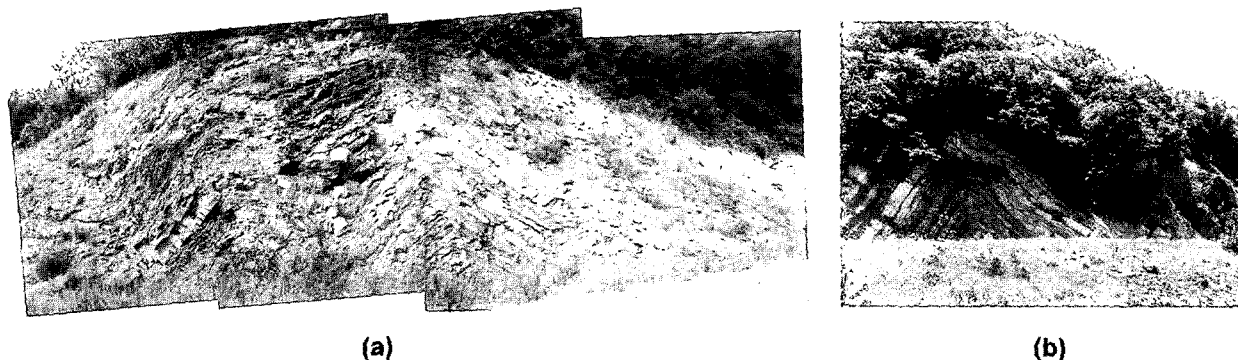


Fig. 5. a. Similar folds developing concentric fold upwards. b. A penecontemporaneous similar fold with postdepositional normal fault.

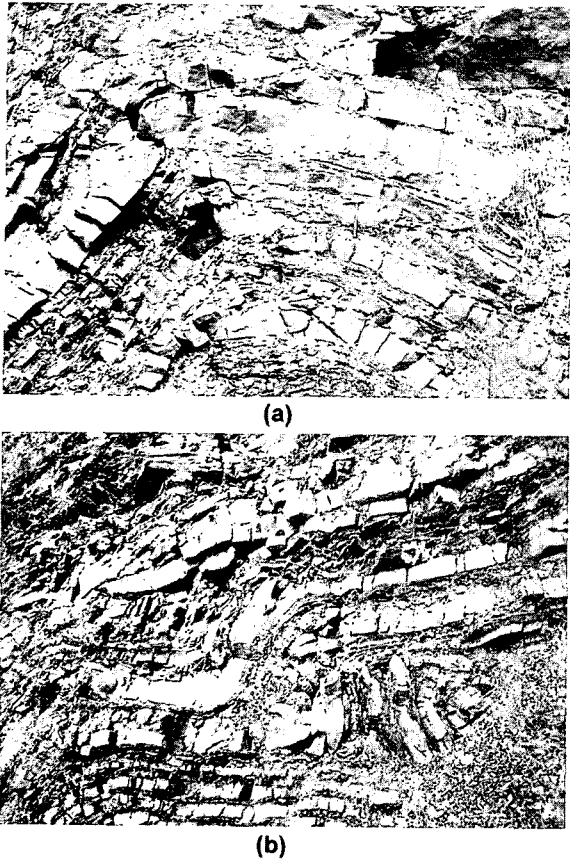


Fig. 6. a. Swelling along the fold axis and thrust fault along the limb of the fold. b. Kink fold developed in shale and thinning of sandstone beds.

다 (그림 3, 5a, 5b). 각 습곡의 상하는 변형되지 않은 퇴적암으로 한정되어 있다. ① 두 상하부 습곡의 축은 $210^{\circ}/5^{\circ}$, $240^{\circ}/25^{\circ}$ 의 방향으로 서로 유사하며 루트맵으로 측정할 때 동일선상에 위치하여 (그림 1), 동일 습곡 과정에 의해 형성되었음을 시사한다. ② 두 습곡은 동형습곡 (similar fold)에 속하며, 하부 습곡은 습곡축이 2 개이다가 상부로 가면서 점차 습곡축이 합체되어 결국 하나의 축이 되면서 동심습곡의 형태를 보인다 (그림 5a). 하부 구간의 습곡에서는 습곡의 모든 축을 따라서 사암 층의 팽창이 일어나 사암 두께가 두꺼워지는 한편, 날개 부분에서는 부분적으로 사암 층의 박층화가 이루어져 있으며, 차별적인 층 두께의 변화를 보이는 지역에서는 소규모의 역단층도 관찰된다 (그림 6a). 습곡이 좁은 지역에 한정되어 일어나면 작은 습곡의 두꺼워진 사암 상하의 세일에서는 킥습곡, 사암에서는 역단층이 형성되기도 한다 (그림 6b). 상부 층준의 습곡은 비교적 두꺼운 사암과 세일 호층에 형성된 습곡이다 (그림 5b). 이 습곡은 상당한 경사를 갖는 급사습곡에 해당되며, 습곡의 축을 따라서는 층이 심하게 휘어져 있다 (그림 7a). 그러나, 습곡 내에는 습곡의 형성과 연관된 열극의 발달과 열극을 따른 광물 충전물 거의 관찰할 수 없다. 축의 날개 (limb) 부분에는 팽창 구조와 부우딘 구조를 동시에 볼 수 있으며 (그림 7b), 소규모 역단층의 발달도 볼 수 있다 (그림 7c).

이 지역 습곡구조의 특징은 상하의 변형되지 않은 퇴적암 내에

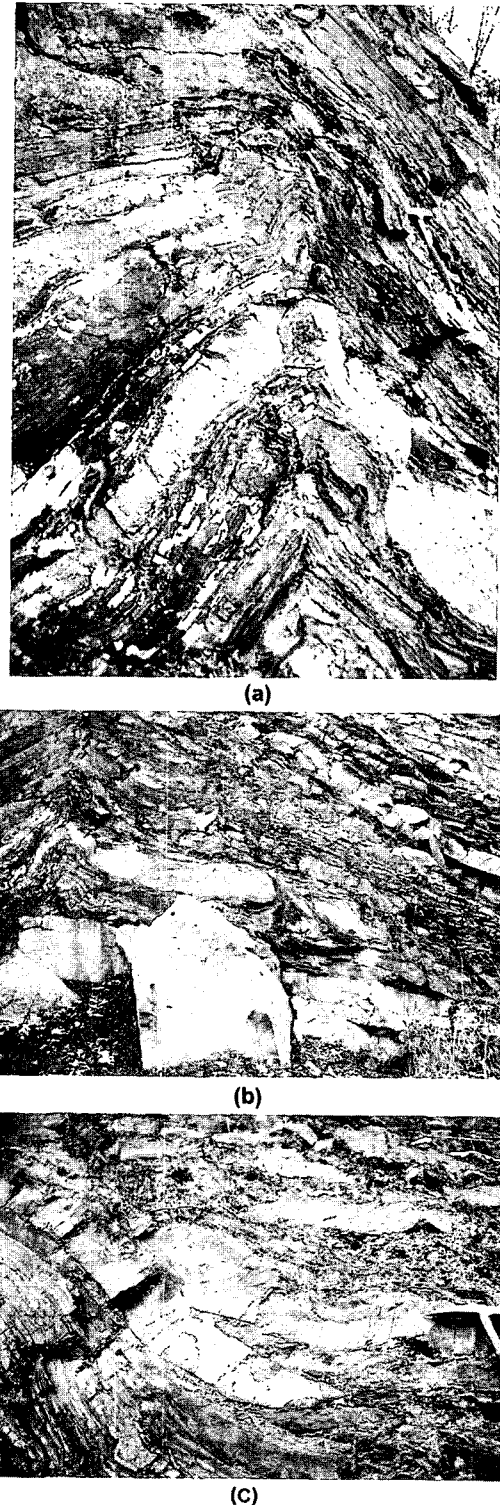


Fig. 7. a. Deformation of sandstone and shale along the fold axis. b. Differential swelling, thinning and boudin of sandstones. c. Swelling structure and thrust fault of the sandstone at the limb of the fold.

습곡이 발달되어 있다는 점과 퇴적습곡을 받은 사암체의 유동성이다. 어떤 변형구조의 형성시기를 퇴적물의 퇴적과 동시적인가 아



Fig. 8. Detached structures formed by the thrust fault in the coarse ash tuff and shale.

니면 나중에 조구조적인 변형에 의해 형성된 것인지를 논할 때, 상하에 있는 퇴적물이 동시에 변형을 받고 있는가와 그렇지 않은가로 구분을 한다. 이는 퇴적물이 고화를 받고 난 이후에는 층의 어떤 특정 부분만 변형될 수 없기 때문이다. 여기에 기재된 습곡은 규모가 비교적 큰 편이나 상하의 퇴적암은 같은 주향과 경사를 가지면서 변형되지 않았다. 또한 연구지역에서 관찰되는 습곡에는 습곡의 발달규모에 비해 열곡이 거의 발달하지 않았음은 이 습곡작용이 열곡을 발달시키지 않는 방법으로 진행되었거나, 퇴적암체 내의 열곡 발달 후의 아몰음 (retrievability)이 진행되었음을 지시한다. 두 경우 모두 퇴적암체는 완전한 고화 상태가 아니었음을 보여 준다. 또 습곡 내의 사암체에 발달된 축을 따른 팽창과 부우딘 구조 및 세일에 발달된 키크습곡 등도 습곡의 형성이 사암이나 세일이 완전히 고화되지 않은 유동성을 보유한 상태에서 이루어졌음을 보여 준다. 즉, 습곡작용을 받은 퇴적암이 변성작용과 같은 높은 열과 압력을 받지 않으면서도 절리의 발달보다 팽창구조와 부우딘 구조를 갖는다는 점은 이러한 습곡의 형성이 퇴적물의 유동이 가능한 퇴적물의 상태 혹은 암석화의 이른 시기에 일어났음을 지시한다고 할 수 있다. 부우딘 구조와 스러스트 단층이 같은 축의 날개상에 동시에 형성되었음은 힘의 전달이 국부적으로 차이가 있었음을 의미한다. 힘의 전달에서의 차이는 고화가 이미 시작되었을 것임을 시사해 주는 사실이기도 하다. 이는 결국 습곡의 발달이 어느 정도의 고화는 이루어졌으나, 깨어짐이 발달하는 완전한 고화 이전에 일어났음을 의미한다. 즉, 완전히 고화되지 않아 유동성에 의한 열곡의 아몰음이 가능한 퇴적암이 낮은 온도, 압력 조건에서 긴 시간에 걸친 느린 속도의 압축작용에 의해 습곡작용을 받았을 것으로 추정할 수 있다.

스러스트 단층

스러스트 단층은 퇴적암과 기반암이 접하는 단층면에 위치한 최하부 10 m와 35 m (그림 8), 층의 하부 160 m (그림 9), 상



Fig. 9. A thrust fault showing disturbed beds of the upper parts.

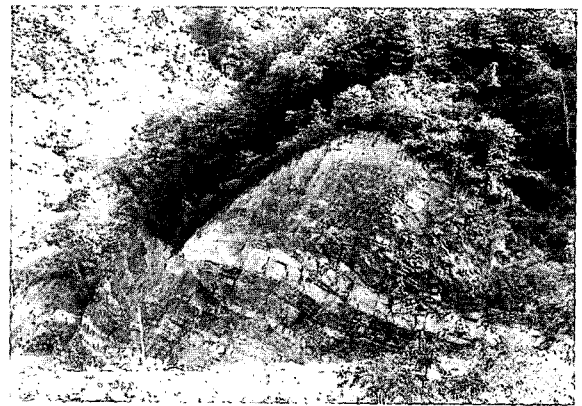


Fig. 10. A thrust fault showing duplex structures.

부 470 m (그림 10)와 640 m (그림 11) 지점에서 발견된다. 신리에서 발견되는 스러스트 단층은 모두 인접한 층을 제외한 상하의 층은 변형을 받지 않았다. 최하부 스러스트 단층은 도로 절



Fig. 11. A deformed drag fold on the thrust fault.



Fig. 12. Small folds developed in upper shale beds of the roof thrust horizon.

개면을 따라 노출되어 있는 라필리 응회암과 셰일 층내에서 발달되며, 층의 교란이 심해 습곡과의 구분이 어렵다 (그림 8). 이 구간에서는 동일 층이 분리된 상태로 관찰되며, 뚜렷한 스러스트 단층면은 식별되지 않는다. 상하 관계에 있는 라필리암의 입자 성분이 셰일 구간에 많이 포함되어 있음도 특징이다. 이 구간의 층의 분리 현상은 지속된 압력에 의해 듀플렉스 (duplex) 형태의 스러스트 단층 발달에 기인한 것으로 보이나, 습곡에 의해서 형성되었을 가능성도 전혀 배제할 수는 없다. 습곡 작용을 받은 층이 잘린 면을 따라 분리된 형태로 노출되기 위해서는 두 번 이상의 서로 다른 방향의 습곡작용을 받아야 한다. 스러스트 단층면의 미발달과 셰일층에 라필리 입자 성분이 포함됨은 이러한 스러스트 단층의 발달 시에 퇴적물의 이물음이나 입자의 이동이 가능할 정도의 유동성이 있었음을 시사한다. 그러나, 이 스러스트 단층의 발달에 대해서는 더 자세한 조사가 있어야 할 것으로 보인다.

검층 층준의 하부 160 m 구간에서 발견된 스러스트 단층은 주로 셰일이 우세한 층준에서 형성되어 있다 (그림 9). 스러스트 단층의 주향/경사는 N15°E/37°S이다. 스러스트 단층에 의해 변형된 층준은 상하부의 변형받지 않은 퇴적층내에 발달되어 있다. 스러스트 단층면을 따라서는 하부를 구성하는 압층은 비교적 변형을 받지 않았으나, 상부 층준은 변형을 받아 말린 소습곡으로 형성되어 있다. 검층 층준의 상부 470 m와 640 m에서 발견되는 스러스트 단층은 사암과 셰일 호층 혹은 사암이 우세한 층에서 발견되며, 동일 층준에서 측면을 따라 스러스트의 발달 단계에 따른 구조를 보여주는 배아 구조에서부터 스러스트 단층에 이르는 일련의 구조가 잘 관찰된다. 두 스러스트 단층의 주향과 경사는 각각 N10°E/30°N과 N10°E/60°N이다. 두 단층 중 하부층준의 단층에서는 듀플렉스 구조의 발달을 볼 수 있다 (그림 10). 스러스트 단층면의 하부 사암 층준에서는 스러스트 단층 발생 초기에 방기된 배아 스러스트 단층이 관찰된다. 층후가 얇은 사암과 셰일은 이동 방향을 따라 심하게 휘어진 소규모 급사 습곡을 보이며, 사암은 스러스트 단층이 일어나 분리된 형태로 형성되어 있다 (그림 12). 스러스트 단층과 접하는 비교적 두꺼운 (약 1 m) 사암체의 접촉면은 휘어짐이 없이 잘라져 전면이 마모된 로브 (lobe)형으로 변형되며, 얇은 사암체에 합체와 분리에 따른 팽창 구조와 부우둔 구조가 형성되기도 하고, 스러스트 단층면 상부의

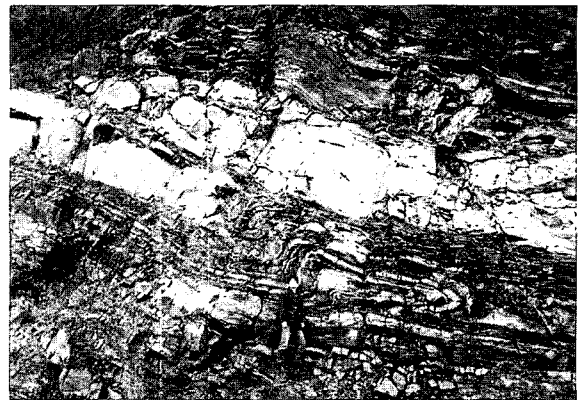


Fig. 13. Lobe type deformation along the thrust fault and the kink fold developed below.

비교적 두꺼운 사암체의 하부에는 얇은 층후의 사암과 셰일 호층이 킥크 습곡을 발달시킨다 (그림 13). 스러스트 단층 발달에서 듀플렉스 현상은 잘 알려져 있다 (Twiss and Moores, 1992). 이 지역의 스러스트 단층에서 듀플렉스 형태의 발달은 사암과 셰일 호층 내에서 이루어지고 있으며, 사암의 유동성이 특징이다. 사암은 곳에 따라서는 신장되면서 분리되거나 잘린 형태로 원마되기도 하며, 단층면을 따라 휘어져 있거나 팽창이 이루어져 있기도 하다. 이는 스러스트 단층의 발달이 사암의 유동성이 남아 있는 퇴적후 고화전 기간동안 일어났음을 보여주는 증거가 된다.

검층층준의 상부에 해당하며 하부 스러스트 단층의 연장선상에 있는 것으로 추정되는 또 하나의 스러스트 단층 (그림 11)은 보다 규모가 크며, 관찰지에서는 60°의 고각도를 이룬다. 두꺼운 사암 층준 (2 m)은 단층 드렉 (drag)에 기인한 횡외습곡 형태로 발달되어 층의 역전이 이루어져 있다. 두꺼운 사암층은 두께 변화가 거의 없으나, 사암체에 둘러싸인 내부의 사암과 셰일에서 드렉습곡의 축을 따라서 형성된 공간에서 사암층이 재습곡 받은 형태로 팽창되어 두꺼운 사암체를 이룬다. 축의 날개를 따라서는 역 단층의 발달에 의해 층이 분리되기도 한다. 습곡 내부 박층의 사암체에는 부맹구조가 발달되어 있다. 그러나, 이 스러스트 단층에서도 습곡에서와 마찬가지로 스러스트 단층의 형성과 연관된 열극의 발달과 열극을 따른 광물 층전을 거의 관찰할 수 없다. 이



Fig. 14. A sandstone mass showing swelling and rotational structure.



Fig. 16. a. Slump structures developed in intercalated sandstone and shale. b. Convoluting structures developed in intercalated sandstone and shale. c. A thrust fold developed in intercalated sandstone and shale.



Fig. 15. A normal fault near the thrust fault.

곳 스러스트 단층이 고각도를 이루는 것은 듀플렉스 스러스트 단층의 가장 상부에 해당되기 때문일 것이다. 변성되지 않은 두꺼운 사암체에 형성된 드렉슱곡은, 이 사암이 미고화 상태의 유동성을 가지고 있었을 뿐만 아니라 상하의 안정된 압력하에서 슱곡 작용에 의한 사암의 열곡이 아물 수 있는 오랜 기간에 걸쳐 서서히 드렉슱곡 작용을 받았을 것임을 보여 준다. 드렉슱곡을 따른 사암의 재슱곡은 이 스러스트 단층 형성 시 상당한 공간을 유지할 수 있는 견고성을 가지고 있었음을 시사한다. 따라서 이 스러스트 단층들도 사암이 상당한 암석화를 겪었으나, 완전히 고화되지 않은 상태에서 유동성으로 아물음이 가능한 상태에서 구조운동을 받아 형성되었을 것으로 추정할 수 있으며, 구조운동은 퇴적물이 완전히 고화되지 않은 상태에서 상당히 느리게 지속되었을 것이다.

사암의 팽창 및 회전 구조

이 지역의 사암에는 팽창된 형태와 이 팽창된 구조가 회전 양상을 보이는 독특한 구조가 관찰된다 (그림 14). 구조 형태는 δ형 “테일(tail)”의 센서 구조와 유사하다. 팽창된 사암은 주변 사암의 조성과의 큰 질의 사암으로 괴상이다. 이 사암의 팽창도 사암의 유동성과 연관된 것으로 추정된다. 사암의 유동은 퇴적물이 고화되기 전일 것이나, 사암체의 회전은 주변 세일에 발달한 열곡의 발달과 산출양상으로 볼 때 고화가 어느 정도 진행된 상태에서 이루어졌을 것이다. 즉, 준퇴적동시성과 퇴적후의 구

조적 움직임이 모두 퇴적암에 영향을 미쳤을 것임을 지시한다. 이 사암에서는 우수향의 센서를 관찰할 수 있다.

정단층

스러스트 단층과 슱곡에 인접해서는 두 조의 정단층이 관찰된다. 이 두 조의 정단층 중 하부 단층은 일정한 퇴적층 내에 한정되어 발달해 있으며, 그 방향성이 N20°W/78°N로서 슱곡축이나 스러스트 단층의 방향과 거의 직각을 이룬다 (그림 15). 이는 이 단층의 발달이 슱곡의 발달과 연관된 단층임을 추정케 한다. 특히, 단층면을 따라 맥석 광물이 침전되어 있지 않은 점과 단층이 퇴적층내 일정 구간에 한정된 점 등을 종합할 때 이 단층은 단층이 형성된 후 단층면 열곡의 아물음이 가능한 정도의 연성 상태이었음과 퇴적이 퇴적물 퇴적시의 일정 기간에 형성되었음을 의미한다. 따라서 이 단층도 준퇴적동시성으로 만들어졌을 것으로 판단된다. 상부 층에서 관찰되는 정단층은 주향과 경사가 NS/65°이며, 큰 규모의 단층을 형성하고 있으며, 퇴적물이 고화된 이후의 조구조 운동과 연관된 것으로 보인다.

슬럼프 연관 구조

슬럼프 : 검층 지역의 중부층에서는 약 5-10 cm 정도의 세립질 사암과 세일이 교호하며, 이러한 교호 층이 여러 매 겹쳐져 상하의 세일 층에 의해 한정되는 경우 슬럼프가 잘 발달한다 (그림 16a). 슬럼프에 의해서는 50-70 cm 두께의 사암과 세일 호층이 휘어지면서 깨어져 있다. 휘은 퇴적물 내에 남아 있던 사암과 세일이 점성이 있었다는 점을 시사한다. 즉, 변형이 일어났을 때 퇴적층은 함수 상태였을 것이다. 미고화 상태의 퇴적층은 고경사로 유도된 마찰 전단력이 점성도를 초과했기 때문에 슬럼프를 받았을 것이다. 슬럼프 구조도 모래와 연니의 준퇴적동시성 소성변형을 포함한다. 슱곡 구조를 포함하는 슬럼프는 대개 준퇴적동시성의 단층작용과 슬라이드 면으로 불리는 지각의 주 붕괴대 (zone of decollement)를 수반하며, 큰 퇴적체는 슬라이드면을 따라 측면으로 전위 (displace)된다. 따라서 슬럼프 슱곡은 일정한 방향으로 광범위한 측면 이동을 한 명백한 증거가 될 수도 있다. 슬럼프가 자리를 잡은 후에 슬럼프에 의해 운반된 모래의 탈수작용

시에는 완벽한 화산형태인 모래 화산이 형성될 수도 있는 것으로 알려져 있으나 (Gill and Kuenen, 1958; Gill, 1979), 이 지역에서는 관찰되지 않는다. 슬럼프는 강에서의 제방의 붕락에서부터 대륙 주변부의 붕괴에 이르기까지 모든 규모에 걸쳐 일어난다. 예를 들면, 플라이스토세의 거대한 슬럼프 퇴적체는 탄성과 탐사에서 북대서양의 락올뱅크 (Rockall Bank)와 뉴질랜드의 동부해안 바깥 쪽의 대륙사면에 걸쳐 운곡이 확인되었다 (Lewis, 1971; Roberts, 1972). 뉴질랜드의 동부해안 바깥 쪽 대륙사면의 경우는 10-50 m 두께의 플라이스토세의 모래와 실트 층이 1-4° 정도의 슬라이드 면을 따라 슬럼프가 일어났다. 규모에 있어 가장 극단적인 경우는 바르바도스 (Barbados)의 섬이 해양 분지로 미끌린 후 조구조적으로 다시 상승하였던 경우가 제시된 바 있다 (Davies, 1971). 이러한 예는 슬럼프와 슬라이딩에 의한 퇴적물의 측면 전위가 중력 구조조 운동의 영역에 접이시킬 수 있을 정도로 큰 구조적 제어를 받을 수 있음을 의미한다 (De Sitter, 1964). 슬라이드와 슬럼프가 처음 연구되었을 때는 이 현상이 구조적인 것인지 혹은 연질 퇴적물의 준퇴적동시성 변형에 의한 것인지에 대해 논란이 있었다. 준퇴적동시성 이동의 뚜렷한 기준은 사실 변형되지 않은 퇴적물에 의해 덮힌다는 것과 이들이 갖는 방향성이 광역적인 구조운동 유형과 방향성에 무관하게 발달한다는 것이 포함된다. 준퇴적동시성 변형 층리는 변형되지 않은 식물 뿌리 혹은 동물의 굴진 등에 의해 관통되어 있고 단층에는 맥석 광물들이 없어야 한다. 준퇴적동시성의 슬럼프와 슬라이드가 발생되기 위해서는 불안정한 사면 위를 니질 퇴적물이 빠른 속도로 퇴적되어야 한다. 측면 이동은 지진이나 폭풍 혹은 순수하게 자체 내에서의 현상으로도 시작될 수 있다. 이러한 조건은 활성적으로 침강하는 분지의 삼각주 전면에서 가장 잘 형성된다. 이러한 조건에서 슬라이드와 슬럼프가 일어난 예에 대한 많은 연구가 있으며 (Kuenen, 1948; Blanc, 1972; Klein *et al.*, 1972), 특히, Kuenen (1958)은 이러한 슬럼프 구조의 형성 기작을 제시하고 실험실에서 재현하였다. 따라서 연구 지역에서의 슬럼프 구조의 발달은 경사 사면 위에 퇴적상에서 살피 본 바와 같이 저탁류에 의한 많은 퇴적물이 공급되어 빠른 퇴적이 이루어졌으며, 외부의 조구조적 운동에 의해 촉발되어 측면을 따른 이동이 상당히 일어났다.

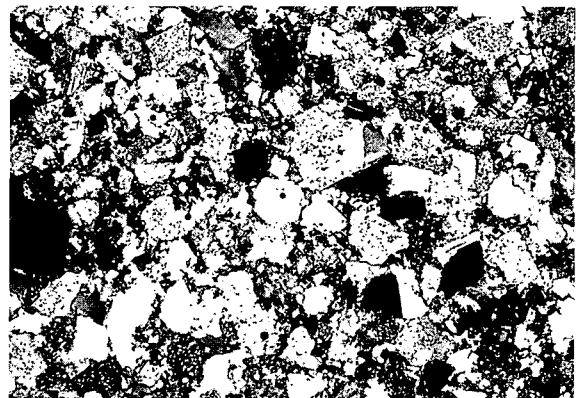
말린층리 : 이 지역의 말린층리는 3-5 cm 두께의 세립질 사암과 세일이 교호하며 3-5 매의 교호층의 상하가 세일에 의해 한정될 때 잘 나타나며, 변형의 정도에 따라 티그마틱습곡과 슬럼프 구조로 접이한다 (그림 16b). 말린층리는 험거운 패키지로 퇴적된 모래를 물이 수직으로 통과하여 형성되는 것으로 알려져 있으며 (Allen and Banks, 1972; Mills, 1983; van Loon and Brodzikowski, 1987), 이는 고경사에 따른 물의 유동으로 인해 발생된다. 대개 세립질 사암에서 형성되며 (Kuenen, 1953a; Potter and Pettijohn, 1963), 물은 퇴적물 자체에서 기원하여 정수력학적 수두 (hydrostatic head) 차에 의해 이동된다 (Williams, 1970). 모래는 표면에서는 소밀하나, 아래로 떨어지면서 더욱 치밀한 패키지를 보이게 된다. 그 결과 공극률은 감소하게 되며, 잉여 공극수는 직상부로 제거된다. 물로 채운 모래를 진동시키거나 난류상 와류를

를 만들어 줌으로써 치밀한 패키지를 형성시킬 수 있으며, 이 때 말린층리를 형성시킬 수 있다 (Selley, 1969). 이러한 실험은 말린층리가 지진의 결과 또는 지진 없이도 현생의 퇴적물에서 형성됨을 보여 준다 (Barratt, 1966; McKee *et al.*, 1967; Allen, 1986a). 말린층리는 여러 환경의 사암에서 발견되며, 특히 하성 사암에서의 특징으로 간주되고 있으나 (Selley *et al.*, 1963; McKee *et al.*, 1967), 풍성 퇴적물에서도 나타난다 (Doe and Dott, 1980). 이 지역 말린층리의 형성도 물이 포함된 모래에서 외부적인 요인에 의한 물의 유동에 따른 사암과 세일층리의 변형에 의해 형성되었으며, 퇴적의 아주 이른 시기에 이루어졌을 것으로 추정된다.

횡와습곡과 티그마틱 습곡 : 횡와습곡이 발달한 사암은 세립질이며, 두께는 약 3-5 cm 정도이나, 측면으로의 두께 변화가 거의 없고, 슬럼프 구조에서의 사암층보다는 두께가 얇은 편이다 (그림 16c). 습곡을 이루는 층은 세일층, 세립질 사암층과 세일층으로 된 30-50 cm 정도의 층에 한정되어 있으며, 대개 슬럼프 구조에 수반된다. 이러한 사암의 변형은 가소성을 갖는 사암이 이동되면서 변형되어 형성되었으며, 습곡 발달은 사암의 점성에 의한 것으로 해석하기 보다는 사암 자체가 점성이 높아진 이암에 싸여 휘어지면서도 깨어지지 않으면서 습곡을 만들 수 있었을 것으로 판단된다. 이런 기작은 물로 포화된 퇴적층보다 세일층이 상



(a)



(b)

Fig. 17. a. A pygmy fold developed in intercalated sandstone and shale. b. A photomicrograph of sandstone showing pygmy fold. (x-nicol).

당한 점성도와 응력을 갖게 되었으며, 물의 측면을 따른 유동보다는 층의 이동에 따른 전단작용이 더 우세했을 것으로 추정된다. 즉, 가소성의 세일에 의해 사암체가 깨어지지 않으면서 사암의 변형이 일어났으며 이동에 따른 전단력이 주로 작용하여 형성된 것으로 추정할 수 있다.

티그마틱습곡은 사암과 세일이 호층을 이루는 쇄설성 퇴적물에서의 사암층에 발달한 습곡이 마치 변성암에서의 티그마틱습곡과 같이 구불구불한 습곡을 이루고 있는 형태를 따라 붙인 이름이며, 성인적 의미는 없다. 이 습곡은 얇은 사암과 세일 호층 내에 퇴적된 약 15 cm 두께의 사암층에 국한되어 발달되어 있으며 (그림 17a), 사암층은 여러 번의 습곡을 이루면서 측면으로 연결되어 있다. 현미경 관찰에 의하면 사암은 분급이 양호하며 원마도가 낮은 장석과 석영으로 구성된 세립질의 장석질 사암이다 (그림 17b). 입자와 입자 사이는 대부분 탄산염 시멘트로 채워져 있다. 티그마틱습곡의 형성은 황외습곡이나 슬럼프의 형성과 유사한 기작에 의해 형성되었을 것으로 보이나, 황외습곡이 세일층 내에 한정된 여러 개의 사암 세일 호층에 발달된 것에 반해 사암 단일층에 발달되고 상하의 세일층도 습곡에 따른 변형을 받고 있는 점 등으로 보면 그 발달 시기는 상부의 세일층이 퇴적된 이후였을 것이다.

불꽃구조 및 짐구조

이 지역에서는 불꽃구조의 발달이 많은 반면 짐구조 (그림 18)의 발달은 적은 편이다. 불꽃구조와 짐구조는 비슷한 형태이나 짐구조는 주로 하중과 점성도의 차이에 기인하는 반면, 불꽃구조는 세일의 물이 투수성이 높은 사암으로 빠져 나가면서 세립질 입자들이 물과 같이 이동하는 현상이다. 따라서 짐구조는 대개 발달 범위가 넓으나, 불꽃구조는 그 범위가 넓지 않다. 이러한 구조의 발달은 대개 퇴적물이 쌓이면서 하부 층에 가하는 하중이 원인이며, 모래가 연니를 덮는 곳에서 형성된다. 연니와 모래의 사이면은 여러 방법으로 변형될 수 있다. 원래의 모래층으로부터 아래의 머드로 들어가 불규칙한 둥그런 모래 덩어리가 되는 것이 가장 전형적이다. 이런 구조는 짐 구조나, 콩팥형 구조 (ball and pillow) 등으로 명명된다. 극단적인 경우, 모래 덩어리는 상부의 모체로부터 완전히 분리될 수도 있다. 이와 유사하게 얇은 모래층이 길이를 따라 연니 내에 고립된 케이크 형태로 분리될 수 있

다. 연니 내의 이러한 분리된 모래체들을 정상 단괴와 구별하기 위해 “위단괴 (pseudonodule)”라 부른다 (Macar and Antun, 1949). 그러나, 이 지역에서는 위단괴 현상은 관찰되지 않는다. 짐구조와 위단괴는 현생과 고기의 여러 환경에서 모래/연니 경계를 따라 형성된다. 이것들은 대개 저탁류상에서 일반적으로 나타나는 퇴적구조이지만, 삼각주나 하성 퇴적물에서도 형성될 수 있다. 이러한 구조가 미고화 상태의 연니 위를 물로 채워진 모래가 덮으면서 차별적인 하중을 가함으로써 형성된다는 점에 대해서는 거의 의견이 일치된다 (Kuenen, 1958). 불꽃구조에서 관찰되는 방향성은 물의 유동시의 고경사 방향을 지시한다. 고경사 방향은 210°를 보이며, 이는 구조운동에 의한 분지 퇴적물의 경사가 분지 내부쪽으로 향했음을 시사한다.

준퇴적동시성 변형구조의 형성

준퇴적동시성 변형구조를 형성하는 과정에는 여러 가지가 있다. 이 중 대부분의 퇴적물에서는 중력에 의한 슬럼프와 슬라이딩, 퇴적물의 과부하와 균등하지 않는 짐하중이 가장 중요한 요인이 된다. 이러한 과정을 통해서 퇴적물은 수평적인 측면으로도 수직적으로도 이동이 가능하다. 이 외에도 액화와 같은 유체의 점착 마찰, 밀도가 다른 퇴적물의 점성도 차이 등이 있다. 그러나, 이러한 과정을 촉발시키는 직접적인 요인은 조구조적인 운동이다 (De Sitter, 1964). 신리 지역에서 발견되는 여러 종류의 준퇴적동시성 변형구조는 퇴적물이 퇴적되고 있는 동안 분지와 그 주변이 조구조적 운동이 상당히 활발하였음을 지시한다. 준퇴적동시성 변형구조의 분석을 통해 분지는 퇴적 동안과 퇴적 후 고화 전까지 지속적인 구조적 교란을 받았다. 이는 화산활동과 같은 조구조적 운동과 분지 외부의 조구조적 압축력 등이 원인이 되었을 것이다. 화산활동은 국부적인 블록 단층을 형성할 수 있으며, 이에 따른 분지의 경사는 퇴적물 자체의 하중에 기인된 연성 변형을 일으키기에 충분했을 것으로 추정된다. 신리 검층 대상지의 퇴적암의 최대 층후는 약 2 km 정도로 추정되며, 최대 속성 작용은 그와 같은매몰 깊이에서 이루어졌을 것으로 추정된다. 이는 지하 지온증온율을 30°C/km로 계산할 때 60°C 정도의 온도 상승에 해당되기 때문에 변성작용과는 무관하며, 현미경 관찰을 통해서도 변성 작용에 의해 재결정된 변성광물은 형성되지 않았음을 확인할 수 있다. 이러한 깊이와 지온은 고화된 퇴적암에 습곡 및 스트러스트 단층과 같은 큰 규모의 연성 (ductile) 변형을 일으키기에는 불충분하며, 이러한 점으로 미루어 신리에서 발견되는 큰 규모의 변형 구조도 가소성을 유지하기에 충분한 물을 함유하는 퇴적 후의 이른 시기에 변형 작용을 받았을 것임을 추정케 한다. 이러한 변형작용은 사암과 세일의 혼합은 거의 이루어지지 않고 있으므로, 점성과 유동성을 가지면서도 상당 정도 고화된 퇴적물이 존재했음을 지시한다. 반면, 두꺼운 사암체에서 두께의 변화나 암석의 균열이 없이 심한 연성 변형을 받은 드랙습곡이 만들어져 있는 점은 이러한 사암의 연성 변형이 급격하게 이루어진 것이 아니라 서서히 지속적인 힘의 누적 결과로 형성되었을 것임을 추정케 한다. 즉, 변형을 받은 사암체를 포함한 퇴적암이 아닐 수 있는 충분한 시간적 여유가 있었을 것이다. 따라서 이 지역에서 발견되는 준퇴적동시성 변형구조는 퇴적분지가 경사진 퇴적분지에 퇴적되어 슬럼프, 티그마틱습곡 등을

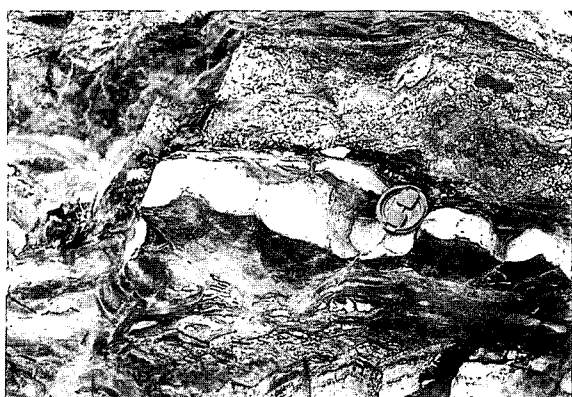


Fig. 18. A load structure developed in sandstone.

형성하였고 퇴적 후의 경사 형성과 점성도 차이 등으로 말린층리, 짐구조 및 불꽃구조 등을 형성하였으며, 점차 조구조적인 압축을 받아 보다 두꺼운 사암 층에서는 큰 규모의 습곡, 스러스트 단층을 형성하였다.

분지 퇴적물이 고화된 이후 진행된 퇴적후 조구조 운동에 의해 형성된 것으로 보이는 정단층과 사암체의 회전에 따른 변형구조는 조구조 운동이 퇴적 이후부터 시작되어 분지의 고화 이후에도 지속되었음을 시사한다. 특히 퇴적후의 우수향 이동을 지시하는 사암체의 운동 방향은 분지의 형성과 관련된 운동 방향과 다른 힘이 분지에 적용되었음을 강력히 지시한다. 따라서, 신리 지역 퇴적암에서 관찰된 사실에서 진안분지를 채운 진안층군은 퇴적되기 시작하여 퇴적이 종결되고 난 이후에도 오랫동안 조구조적인 운동의 영향을 받았을 것으로 판단된다.

결 론

진안층군의 북동 가장자리를 따른 신리 지역에서는 주로 세일 협재 조립질 사암과 사암/세일이 호층을 이루는 만덕산층과 세일이 우세한 달길층이 분포한다. 이 층들에서는 조립질 사암상, 사암/세일 호층상, 세일상 및 화산암상 등의 네 가지 암상이 관찰된다. 이 층들을 구성하는 암상 중 조립질 사암과 사암은 저탁암의 특성을 보이고, 세일은 호수 이암의 특성을 보인다. 또 전체적인 퇴적양상이 조립질 퇴적물에서 세립질 퇴적물로 상향세립화 경향을 보이는 점으로 미루어 이 지역이 호수의 중앙부에 해당되며, 기원지가 점차 멀어졌거나 호수가 점점 넓어졌음을 지시한다. 분지 퇴적물이 사암/세일층으로 전이하는 하부 170 m 층준에서부터는 화산쇄설편이 관찰되며, 이는 분지 퇴적물의 조성변화가 화산활동과 무관하지 않음을 시사한다. 이 퇴적암상에는 퇴적과 연관된 변형구조가 많이 관찰된다. 특히 큰 규모의 습곡 및 스러스트 단층은 변형되지 않은 상하부 퇴적층내에 한정되며, 연성을 지시하는 소규모 변형 구조가 포함되어 있어 준퇴적동시성을 지시한다. 습곡은 특정 층준에 한정되어 동형습곡의 형태를 보이며, 일부 습곡 내에서는 습곡의 정도가 층의 상부를 따라 점점 감소하면서 동심습곡으로 접이된다. 습곡의 측면에는 연성의 퇴적물이 이동한 팽창 구조와 날개부를 따라서는 부우딘 구조가 관찰된다. 스러스트 단층은 미끌린 면을 따른 연질 퇴적물의 변형과 소규모 습곡 및 이동 퇴적물 전면부의 로브형 변형이 관찰되며, 동일층으로 보이는 경계를 따라 듀플렉스 구조가 발달하고 후면부에서는 키크습곡을 보이기도 한다. 팽창, 부우딘 및 로브형 변형, 말린구조와 소규모 습곡 등의 구조들은 퇴적물의 유동성을 반영하며, 퇴적물의 미고화 상태의 변형을 지시한다. 습곡과 스러스트 단층 모두는 구조의 규모나 퇴적층의 특성에 비해 열극의 발달이 드물다. 이러한 점도 또한 변형 당시 퇴적물의 가소성을 지시한다. 스러스트 단층의 측면을 따라서는 스러스트 단층의 형성 시기가 같은 것으로 추정되는 정단층이 있다. 정단층도 변형을 받지 않은 상하부 퇴적층에 한정되어 있으며, 단층면을 따른 맥암의 관입이 없고 경계가 뚜렷하다. 작은 규모의 변형구조로서 슬러프와 연관된 구조로는 슬러프, 말린층리, 퇴적층내 횡외습곡 및 티그마틱습곡 등이 관찰된다. 그 외 연성 변형 구조로서 불꽃

구조와 짐구조 등이 발달해 있다. 이러한 구조들도 준퇴적동시성의 변형구조들로서 분지 퇴적물에 준퇴적동시성 조구조 운동이 영향을 미쳤음을 지시한다. 이러한 여러 가지 특징들은 퇴적물이 퇴적되는 시기부터 고화되기 이전까지의 분지 지역의 계속된 구조운동을 지시하는 것으로, 분지 발달 초기부터 시작된 화산활동과도 무관하지는 않을 것으로 추정된다. 분지 퇴적물이 고화된 이후 진행된 퇴적후 조구조 운동에 의해 형성된 것으로 보이는 정단층과 사암체의 회전에 따른 변형구조는 조구조 운동이 퇴적 이후부터 시작되어 분지의 고화 이후에도 지속되었음을 시사한다. 따라서, 신리 지역 퇴적암에서 관찰된 사실에서 진안분지를 채운 진안층군은 퇴적되기 시작하여 퇴적이 종결되고 난 이후에도 상당기간 조구조적인 운동의 영향을 받았을 것이다.

참고문헌

- 김규봉, 최위찬, 황재하, 김정환. 1984, 한국지질도(1:50,000), 오수도폭 및 설명서. 한국동력자원연구소, 38p.
- 손치무. 1969, 한국의 지각변동에 관하여. 지질학회지, 5, 167-210.
- 윤선, 손양은. 1995, 경상남도 덕명리 해안과 고현리 해안의 진동층의 퇴적구조와 고환경. 한국고생물학회지, 11, 79-88.
- 이영업. 1992, 백악기 진안분지의 층서, 퇴적환경 및 진화에 관한 연구, 서울대학교 박사학위 논문, 287p.
- 장기홍. 1985, 한국지질론. 민음사, 270p.
- 홍만섭, 윤선, 길영준. 1966, 한국지질도(1:50,000), 갈담도폭 및 설명서, 국립지질조사소, 21p.
- 홍재모. 1981, 진안-마령-부귀-성수-소양면 일대의 백악계 층서 및 퇴적, 경북대학교 석사 학위논문, 38p.
- Allen, J.R.L., 1986a, Earthquake magnitude-frequency, epicentral distance, and soft sediment deformation in sedimentary basins, *Sedimentary Geology*, 46, 67-76.
- Allen, J.R.L. and Banks, N.L., 1972, An interpretation and analysis of recumbent-folded deformed cross-bedding. *Sedimentology*, 19, No. 3/4.
- Barratt, P.J., 1966, Effects of the 1964, Alaskan earthquake on some shallow water sediments in Prince William Sound, S.E. Alaska, *Journal of Sedimentary Petrology*, 36, 992-1006.
- Blanc, J.J., 1972, "Slumpings" et figures sedimentaires dans le Cretace superieur du bassin du Beausset, France, *Sedimentary Geology*, 7, 47-64.
- Conybeare, C.E.B. and Crook, K.A., 1968, Manual of sedimentary structures, 327p. Bureau of Mineral Resources, Geology and Geophysics, Canberra A.C.T., Bulletin 102.
- Davies, S.N., 1971, Barbados: a major submarine gravity slide, *Bulletin of Geological Society of America*, 82, 2593-2602.
- De Sitter, L.U., 1964, *Structural Geology*, Mc Graw-Hill, London. 561p.
- Doe, T.W. and Dott, R.J.Jr., 1980, Genetic significance of deformed crossbedding-with examples from the Navajo and Weber Sandstones of Utah, *Journal of Sedimentary Petrology*, 50, 793-812.
- Gill, W.D., 1979, Syndepositional sliding and slumping in the West Clare Namurian Basin, Ireland. *Geological Survey of Ireland Special Publication* 4, 121p.
- Gill, W.D. and Kuenen, P.H., 1958, Sand volcanoes on slumps in the Carboniferous of County Clare, Ireland. *Quaternary Journal of Geological Society of London*, 113, 441-460.
- Gwag, J.H., 1990, Depositional environment of the Maisan Conglomerate Formation (Cretaceous) in the southern part of the Jinan Basin. Ms D thesis, Seoul Nat. University, 99p.
- Lewis, K.B., 1971, Slumping on a continental slope inclined at 10-40. *Sedimentology*, 16, 97-110.
- Klein, G. de Vries, de Melo, U. and Favera, J.C.D., 1972, Subaqueous

- gravity processes on the front of Cretaceous deltas, Reconcavo Basin, Brazil. *Bulletin of Geological Society of America*, 83, 1469-1492.
- Kuenen, P.H., 1948, Slumping in the Carboniferous rocks of Pembrokeshire, *Quaternary Journal of Geological Society of London*, 104, 365-385.
- Kuenen, P.H., 1953a, Significant features of graded bedding. *Bulletin of American Association of Petroleum Geologists*, 37, 1044-1066.
- Kuenen, P.H., 1958, Experiments in Geology. *Transnational Geological Society of Glasgow*, 23, 1-28.
- Lewis, K.B., 1971, Slumping on a continental slope inclined 10-40. *Sedimentology*, 22, 157-204.
- Macar, P. and Antun, P., 1949, Pseudonodules et glissements sous-aquatiques dans l'Emsian inferior de l'Oesling. *Ann. Soc. Geol. Belgium*, 73, 121-150.
- McKee, E.D., Crosby, E.J. and Berryhill, H.L., 1967, Flood deposits, Bijou Creek, Colorado, June 1965, *Journal of Sedimentary Petrology*, 37, 829-851.
- Mills, P.C., 1983, Genesis and diagnostic value of soft-sediment deformation structures-a review. *Sedimentary Geology*, 35, 83-104.
- Potter, P.E. and Pettijohn, F.J., 1963, Sedimentary structures, sand shape fabrics, and permeability 1., *Journal of Geology*, 71, 441-471.
- Reedman A.J. and Um S.H., 1975, *The Geology of Korea*. Korea Institute of Energy and Resources, 139p.
- Roberts, D.G., 1972, Slumping on the eastern margin of the Rockall Bank, North Atlantic Ocean, *Marine Geology*, 13, 225-237.
- Selley, R.C., 1969, Torridonian alluvium and quicksands. *Scottish Journal of Geology*, 5, 328-346.
- Selley, R.C., Sutton, J., Shearman, D.J. and Watson, J., 1963, Some underwater disturbances in the Torridonian of Skye and Raasay, *Geological Magazine*, 100, 224-243.
- Shimamura, S., 1925, *Geological Atlas of Chosen (Korea; 1:50,000)*. Jinan and Cheonju sheets. *Geol. Surv. Korea*, No. 5.
- Twiss, R.J. and Moores, E.M., 1992, *Structural Geology*, W.H. Freeman and Company, New York, 532p.
- van Loon, A.J. and Brodzikowski, K., 1987, Problems and progress in the research on soft sedimentation deformations. *Sedimentary Geology*, 50, 167-194.
- Williams, G.E., 1970, Origin of disturbed bedding in Torridon Group Sandstones, *Scottish Journal of Geology*, 6, 409-410.
- Yi, S., Yun H. and Lee, J.D., 1998, Palynofacies of the Sansudong Formation (Lower Cretaceous), Jinan Basin, Korea, *Journal of the Paleontological Society of Korea*, 14, 1-13.

1999년 2월 9일 원고접수