

울릉분지 남서연변부의 탄성과 시퀀스 층서분석

Seismic Sequence Stratigraphy in the Southwestern Margin of the Ulleung Basin, East Sea

최 동 립 (Dong-Lim CHOI)*

요 약

울릉분지 남서연변부의 다중채널 탄성파단면도를 이용하여 중기에서 말기 마이오세동안의 시퀀스 층서분석을 정밀 분석하였다. 해퇴층서는 오랜 융기되고 변형된 하부층을 기저로 한 해침층서 위에 발달하였다. 뚜렷한 응축층이 해침과 해퇴 층서사이를 구분 짓는다. 해침층서는 하부의 융기되고 변형된 지층위로 상향걸침한다. 해퇴층서는 구분 가능한 저해수준, 고해수준, 그리고 해침 체계역으로 구성된 여섯 개의 전진형 퇴적 시퀀스를 포함한다. 대부분의 퇴적 시퀀스는 분지선상지, 사면선상지, 그리고 전진복합체로 이루어진 저해수준 체계역이다. 잠재적인 석유 저류층은 분지선상지의 사암, 사면 선상지의 해저수로 충진 사암과 오버뱅크의 사암, 그리고 대륙붕지역의 침식곡 충진 사암들이다. 또한 해침퇴적층서내 천해 사암층도 유망하다. 성공적인 탐사활동을 위해 연구 주변지역에 대한 정밀 시퀀스 층서분석, 탄성과 자료의 재처리, 그리고 3-D 탄성과 탐사의 실시를 제안한다.

주요어: 울릉분지, 해퇴층서, 해침층서, 저류층, 시퀀스 층서분석

Abstract : A multichannel seismic profile from the southwestern margin of the Ulleung Basin, East Sea, was analysed in detail to interpret the middle to late Miocene sequence stratigraphic evolution of the area. A regressive package is overlying a transgressive package which, in turn, is underlain by older uplifted and deformed sedimentary layers. A prominent condensed section separates the regressive and transgressive packages. The transgressive package is characterized by onlapping onto the underlying uplifted and deformed strata. The regressive package contains six prograding sequences composed of seismically resolvable lowstand, highstand, and transgressive systems tracts. Most of the depositional sequences comprise lowstand systems tracts consisting of basin-floor fan, slope fan, and prograding complex. Potential reservoirs in the regressive package are turbidite sands in basin-floor fans, channel-fill sands and overbank sand sheets in slope fans, and incised valley-fill sands in the shelf. The shallow marine sands in transgressive packages are another type of reservoir. Detailed sequence stratigraphic analysis, seismic data reprocessing, and 3-D seismic survey are suggested for the successful hydrocarbon exploration in the study area.

Key words: Ulleung Basin, regressive package, transgressive package, reservoirs, sequence stratigraphic analysis

서 론

Exxon 그룹에 의해 개발 발전된 시퀀스 층서학이 석유탐사자료 해석에 적극 적용되고 있으며, 육상 및 해저 퇴적분지에서 획득한 탄성과 자료의 시퀀스 층서해석으로부터 석유 유망지역의 발견과 개발에 커다란 영향을 끼치고 있다 (Wilgus *et al.*, 1988; Van Wagoner *et al.*, 1990). 특히 탄성과 단면도나 시추자료가 부족한 지역에서 탄성과 단면도상에서 나타나는 시퀀스 층서의 구축양식은 퇴적작용, 퇴적환경, 암상 등을 비교적 정확히 예견할 수 있고, 또한 범세계적인 해수면 변동과 상호대비를 통해 퇴적 시기까지도 유추가 가능하다. 최근 양질의 자료 축적과 우수한 연구결과들의 양산은 퇴적분지 분석시 시퀀스 층서학의 적용이 매우 강력한 연구수단이 되었다.

동해 울릉분지 남서 연변부 (그림 1)는 신생대 퇴적층이 두껍게 쌓여있는 퇴적분지의 퇴적 집중지역로서 가스의 부존이 이미 확인되어 탐사 활동이 활발히 진행되고 있다. 그러나 활발한 탐사 활동에도 불구하고 자료의 대외 유출이 극도로 제한되어 지금까지 매우 적은 연구결과들만 발표되었다. 최근 Chough 등 (1997)이 울릉분지 남서 연변부에서 탄성과 단면도를 이용하여 층서 발달양상 및 시퀀스 분석을 통해 분지의 지구조과정을 연구 발표하였다. 논문에 게재된 탄성과 단면도는 시퀀스 층서 분석 적용에 적합한 시퀀스 층서 양상을 지니고 있었으며, 따라서 시퀀스 층서분석의 기본 원리를 바탕으로 탄성과 단면을 재해석 하였다. 탄성과 시퀀스 층서분석과 퇴적분지의 발달과정 그리고 유망 저류암 발달구조의 제시가 본 연구의 목적이다.

일반 지질환경

한반도와 일본사이에 위치하는 울릉분지 남쪽 연변부는 신생대

*한국해양연구소 해양지질연구단 (Marine Geology and Geophysics division, KORDI, Ansan P.O. Box 29, Seoul 425-600, Korea)

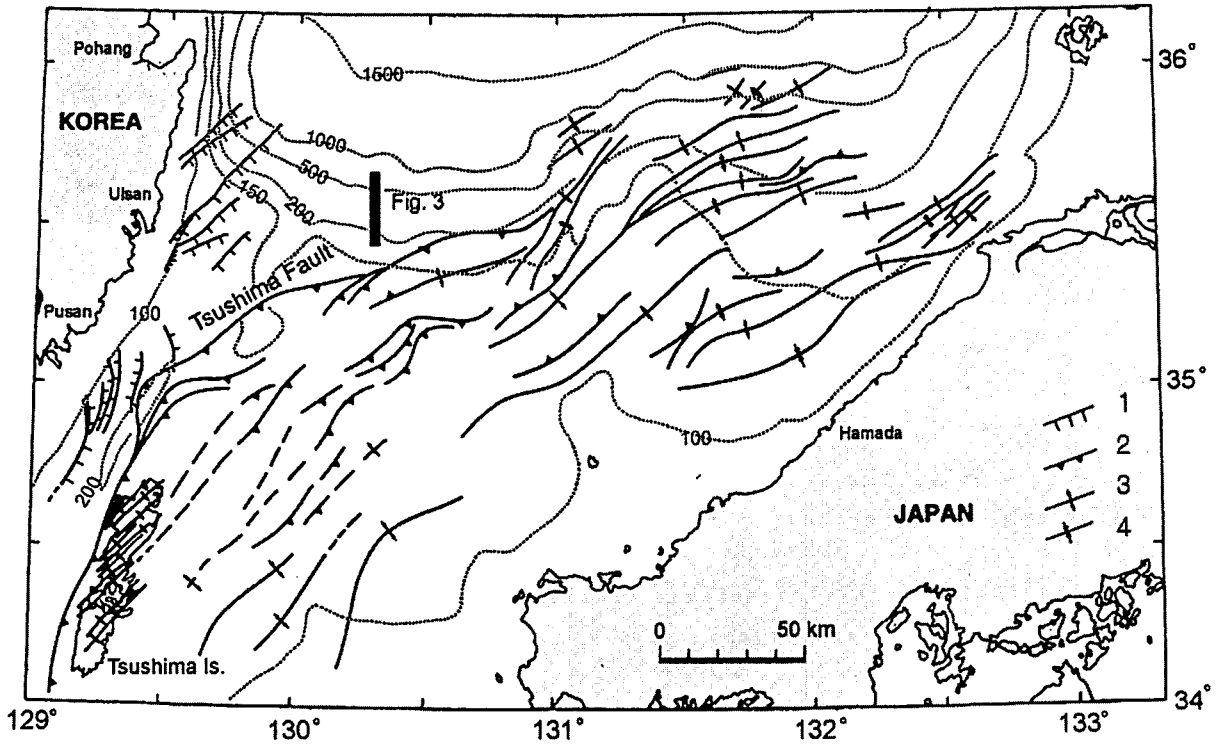


Fig. 1. Structural map of the southern margin of the Ulleung Basin with location of seismic profile shown in Fig. 3 (from Choi, 1995). 1, normal fault on basement; 2, thrust fault; 3, anticline; 4, syncline. Depth unit in meter.

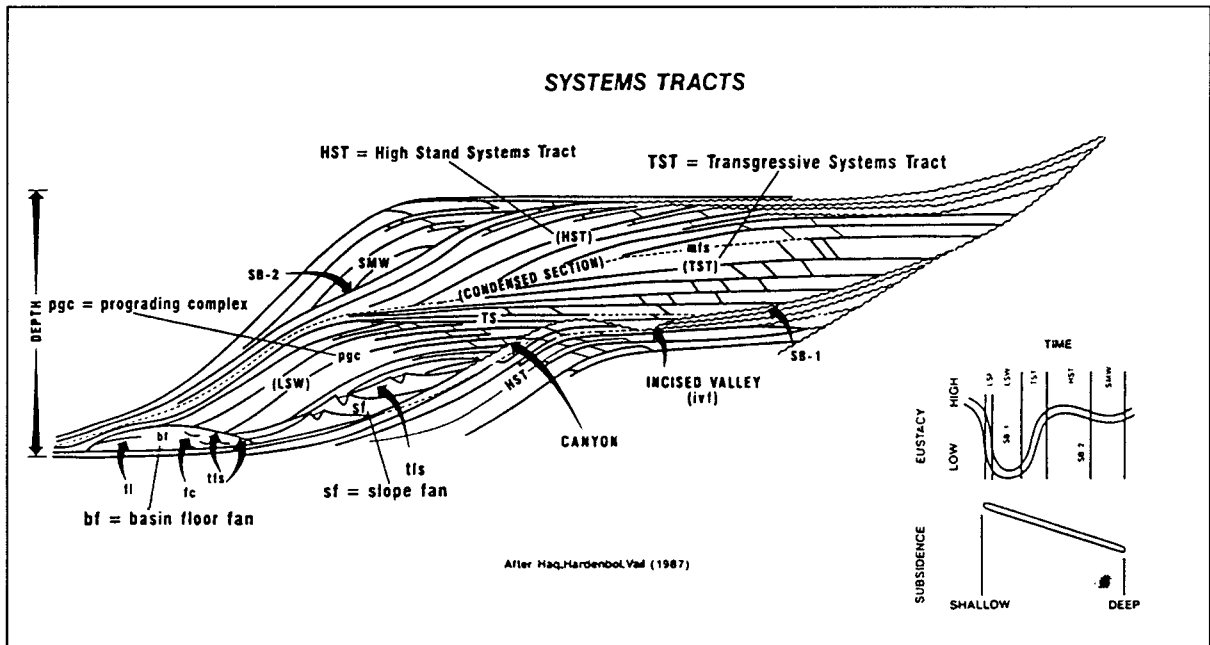


Fig. 2. Sequence stratigraphy depositional model (from Haq *et al.*, 1987).

퇴적층의 두께가 10 km 정도로서 울릉분지내에서 가장 두껍게 쌓인 퇴적 중심부이다. 분지의 기반암은 한반도와 일본주변에 분포하는 백악기 관입암류와 화산암류 그리고 고제3기 화산암류가 주를 이룰 것으로 해석된다 (최동립, 1995). 분지내 퇴적은 초기 동해 형성 시기인 올리고세부터 시작하는 것으로 알려져 있다 (Shimada, 1977). 초기 마이오세에서 중기 마이오세까지 신장성

지구조운동에 의해 동해 열림작용이 왕성하면서 울릉분지 남쪽 연변부에 집중적으로 퇴적된다. 중기 마이오세 중기에서 후기 마이오세 초기까지 압축성 지구조운동이 울릉분지 남동부 대륙붕 지역에 영향을 미치면서 퇴적층의 응기와 함께 심한 지층변형을 일으킨다 (Minami, 1979; 최동립, 1995). 반면 울릉분지 남서부 대륙붕지역은 지구조운동의 영향을 거의 받지 않았다. 후기 마이

오세 이후 용기된 퇴적층의 침식작용에 의해 형성된 퇴적물이 다시 울릉분지로 이동 퇴적되었다.

울릉분지 남부 연변부의 지질구조 분포는 한반도쪽의 기반암에 발달한 정단층구조와일본쪽의 트리스트단층과 습곡구조들에 의해 특징된다 (그림 1). 쓰시마 단층대가 북동-남서 방향성을 보이면서 한반도와 일본사이에 발달하였다. 한반도쪽의 기반암내 정단층들은 신장성 지구조환경하에 초기 동해 리프팅시 발달한 것으로 해석하였다 (최동림, 1995). 주구조선인 북동-남서방향의 쓰시마 단층대는 주향이동운동을 하면서 동해 형성시 주요역할을 하였을 것으로 보고되었다 (Lallemand & Jolivet, 1986; Jolivet *et al.*, 1991). 울릉분지 남동 대륙붕에 분포하는 북동-남서의 습곡 및 트리스트 구조는 중기 마이오세 중기에서 후기 마이오세 초기 동안 횡압축 지구조운동에 의해 지층의 단축 변형을 받으면서 형성된 것으로 해석된다 (Minami, 1979; 최동림, 1995). 쓰시마 단층대는 압축성 지구조운동하에서 좌수주향이동운동을 하면서 주변지층의 심한 변형을 야기한 것으로 제시되었다 (Ishikawa & Tagami, 1991; Yoon, 1994; 최동림, 1995). 한편 울릉분지 남서 연변부는 지구조적 영향을 심하게 받아 변형된 지층구조가 발달

한 남동 연변부와 달리 변형이 없는 지층구조를 나타낸다.

분석 방법

시퀀스 층서학의 기본 단위는 해수면 하강과 상승 폭선동안 퇴적되는 것으로 해석되는 퇴적 시퀀스이다. 시퀀스는 부정합이나 그와 대비되는 정합면에 의해 상 하로 경계되는 성인적으로 관련된 층서의 단위이다 (Mitchum, *et al.*, 1977). 퇴적 시퀀스는 일련의 퇴적체계역 (systems tract)으로 세분되는데, 각각의 체계역은 범해수면 변동과정에서 일정 기간동안에 퇴적된다 (그림 2). 각 체계역들은 저해수준, 해침, 고해수준, 그리고 육붕 연변체계역을 포함한다 (Vail, 1987). 제1형 시퀀스에서 저수위 체계역은 분지 선상지 (basin-floor fan), 사면선상지 (slope fan), 그리고 전진 복합체 (prograding complex)으로 구성되며, 제2형은 저해수준 체계역 대신 육붕 연변체계역이 나타난다 (Vail, 1987; Posamentier and Vail, 1988). 본 연구에서 분석된 탄성과 단면도 상에서는 제1형 시퀀스만 발달한 것으로 생각된다.

연구에 이용된 탄성과 단면도로부터 반사층리의 종결양상과 반

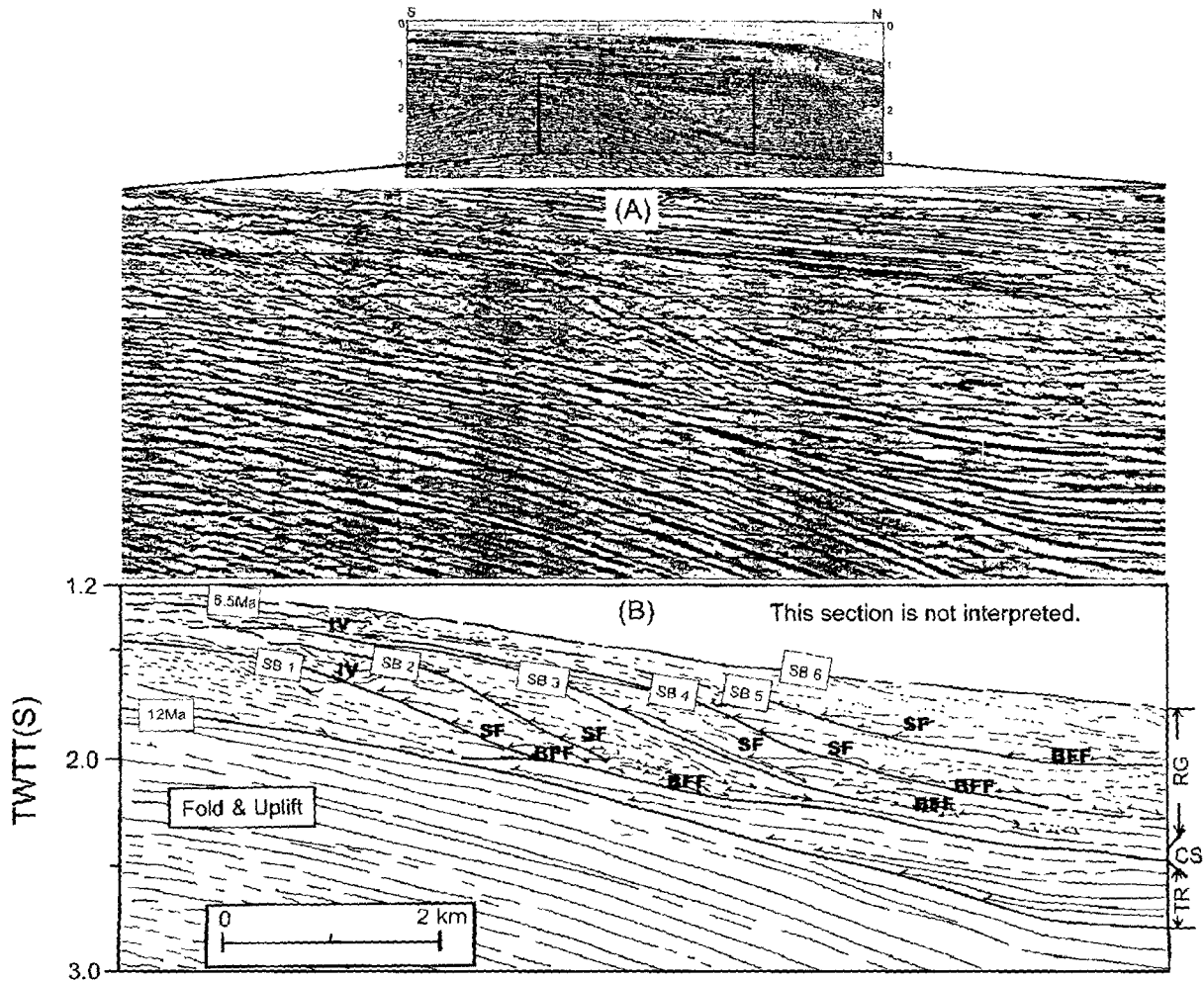


Fig. 3. Seismic profile used in this study, (A) uninterpreted, (B) interpreted. RG, regression package; TR, transgression package; CS, condensed section; IV, incised valley; SF, slope fan; BFF, basin-floor fan.

사형대 그리고 시퀀스의 구축양식에 따라 시퀀스의 층서 구분을 하였다 (Vail, 1987). 시퀀스의 층서 연대는 Chough 등 (1997)에 의해 발표된 자료를 이용하였다. 우선 12 Ma 이전 층리까지의 습곡과 용기에 의한 배사 지층구조를 하부층으로 설정하고, 12 Ma에서 6.5 Ma까지의 퇴적 시퀀스를 집중 분석하였다 (그림 3). 12 Ma에서 6.5 Ma 사이 퇴적층서는 크게 두개의 특징적인 퇴적 양상으로 발달하였는데, 하부의 해침 퇴적상 (transgression phase) 와 상부의 해퇴 퇴적상 (regression phase)이다 (그림 3). 해침층은 하부의 용기층에 상향걸침 (onlap)으로 차례로 쌓이는 퇴적층서를 보이는 반면, 여러 개의 퇴적 시퀀스로 구성된 해퇴층은 하위의 해침층위로 분지쪽을 향해 연속적으로 전진하면서 하향걸침 (downlap)을 나타낸다. 응축퇴적층 (condensed section)이 해침과 해퇴층서 사이에 넓게 분포한다.

시퀀스 층서분석

해퇴층서내 전진형 퇴적체는 여섯 개 시퀀스로 구분된다 (그림 3). 각 시퀀스의 발달형태는 초기 제 1층의 S자형 전진 (sigmoidal prograding)에서 나머지 다섯개 사교형 전진 (oblique prograding)을 보인다. 이는 퇴적물의 공급속도 차이의 결과로서 처음에는 비교적 저속도의 퇴적물 공급에서 점진적인 퇴적물 공급 증가를 지시한다 (Galloway, 1989). 전진형 시퀀스 층서분석으로부터 범세계적인 해수면 변동과 퇴적물 공급량 그리고 퇴적분지의 침강에 따라 퇴적물 체계역들이 구성되어 하나의 시퀀스를 만들고 있다. 제1형 시퀀스 경계면을 기저로 하여 저해수준 (분지선상지, 사면선상지 그리고 전진 복합체), 해침, 그리고 고해수준 체계역에 대해 분석하였다.

저해수준 체계역 (Lowstand systems tract)

분지 선상지 (basin-floor fan) : 분지 선상지의 특징은 불연속적인 반사층리이고 둔덕형 (mounded) 반사형태를 보이는 것이다 (그림 3). 반사진폭은 강하며 내부 탄성과 퇴적상은 언덕상 (hummocky)이다. 분지 선상지가 하위 시퀀스 경계면에 상향걸침 그리고 응축단면위 양 방향으로 하향 걸침의 반사종결 특징을 보인다. 분지선상지는 해수면 하강 동안 형성되는 것으로 해석된다 (Vail, 1987) (그림 4). 구성퇴적물은 비교적 깨끗한 모래질이며, 석유 및 가스의 고품질 저류암으로서의 역할을 한다 (Sangree et al., 1988; Mitchum et al., 1993). 단면도상에서의 퇴적층 두께는 약 0.5에서 1.2 초의 두께를 보인다.

사면 선상지/전진 복합체 (slope fan/prograding complex) : 사면선상지 층서는 분지선상지위에 하향걸침하면서 발달한다 (그림 3). 사면 선상지 퇴적체는 해수면 하강후기와 이어서 해수면 정체기 (stillstand) 시작 동안에 형성되며 (그림 4), 퇴적환경은 수로와 자연제방 복합체 등으로 구성된다 (Vail, 1987). 반사층리는 불연속적이고 불규칙하며, 진폭은 강한 것에서 약한 것으로 매우 다양하다. 이들 층리는 시퀀스 경계면에 상향걸침의 반사종결 특징을 보인다. 수로내 충진 모래와 범람층내 협체된 모래질이 저류암으로 분류된다. 전진 복합체는 해수면의 정체 후반기와 해수면 상승 초반기 동안에 형성된다 (Vail, 1987). 층리 발달양상은

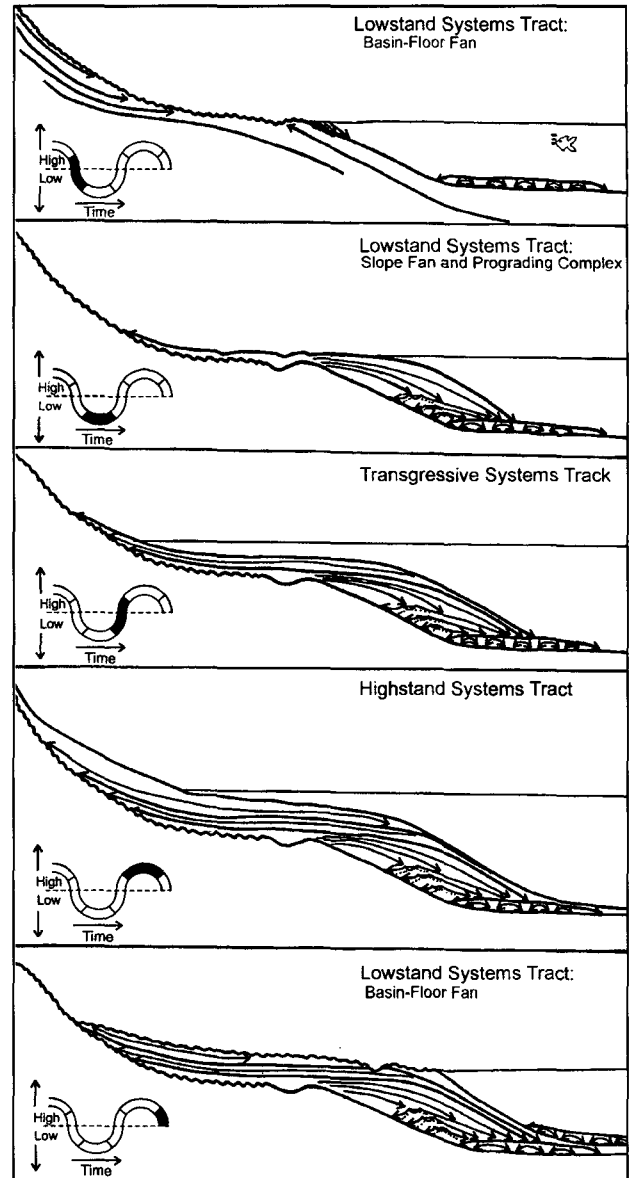


Fig. 4. Sequence stratigraphic model in the study area.

기존의 사면과 대륙붕 연변부에 상향걸침하고 분지선상지나 사면선상지에 하향걸침한다 (그림 3). 반사층리는 평행하고 비교적 연속적이며, 진폭은 강에서 약으로 다양하게 나타난다. 전진복합체의 퇴적물 공급원의 근접지역은 침식곡이 발달하며 원거리 지역은 박리판상 (shingled) 저탁류가 발달하는 것으로 해석된다 (Sangree et al., 1988; Mitchum et al., 1993). 저류암으로 침식곡 충진모래와 박리판상 저탁류 퇴적층이 유망하다.

해침/고해수준 체계역 (Transgression/highstand systems tract)

해침 체계역은 해수면의 상승기 동안 형성되며 (그림 4), 퇴적양상은 해수면이 서서히 상승하면서 대륙붕을 가로질러 후진형 준시퀀스 층군 (backstepping parasequence set)으로 구성되면서 상향걸침의 특징을 보인다 (Vail, 1987). 저류암으로는 해빈이나 해안전면 환경에서 퇴적된 모래질이나 침식곡 충진 모래가 대표적이다. 응축단면 (condensed section)은 일반적으로 해침 후반기

와 고해수준 초기동안에 널리 형성된다 (Loutit *et al.*, 1988). 이어서 고해수준 체계역이 해수면 상승과 고해수준 시기동안에 형성되며 (그림 4), 최대 범람면 (Maximum Flooding Surface) 위에 하향 걸침의 층리 발달양상을 갖는다. 다시 해수면이 하강하면서 해침 및 고해수준 체계역 퇴적물이 상당량 침식되면서 부정합면을 형성하고 또 다른 시퀀스 경계면이 만들어진다 (그림 4).

퇴적분지 발달과정

연구에서 사용된 탄성파단면도상에서 적어도 12 Ma 이전까지 퇴적층은 배사 습곡구조가 발달하였다. 습곡구조층을 기반으로 해침 퇴적층서와 해퇴 층서가 연속해서 나타난다. 이들 지질구조 및 퇴적층서의 구축양식은 이 지역의 지구조적 작용과 분지 발달과정이 지사적으로 변화하였음을 지시한다.

동해의 초기 형성은 후기 올리고세부터 시작되어 초기 마이오세까지 매우 활발하게 확장된 것으로 알려지고 있다 (Ingle, 1992; Tamaki *et al.*, 1992; Yoon, 1994; 최동립, 1995). 분지의 형성과 함께 퇴적물의 공급이 활발해지면서 분지에 퇴적물이 채워진다. 연구지역에 작용했던 신장성 지구조운동은 지구조 환경이 바뀌면서 압축성으로 변화한다. 압축 응력을 받은 지층은 습곡 및 트러스트 단층구조와 함께 지층 변형이 발생한다. 단면도상에 발달한 12 Ma 이전의 변형지층이 압축운동에 의해 형성된 것으로 판단되며, 쓰시마 해협에 분포하는 퇴적층에 널리 발달한다 (그림 1). 압축성 지구조운동은 연구지역에서 적어도 12 Ma까지 발생하였으며, 시작시기는 발표된 기존자료들에 의하면 약 15 Ma 전후로 해석된다 (Hayashida *et al.*, 1991; Ishikawa and Tagami, 1991). 압축 지구조운동이 종료되고 융기대의 전면 지역에 소규모 만곡 분지가 발달한다. 이들 분지는 쓰시마 해역의 융기에 의한 퇴적물 공급의 일시적 차단과 퇴적물 공급이 감소로

인해 느린 퇴적작용이 발생하였을 것으로 해석된다. 해침퇴적층서는 만곡 분지내 소량의 퇴적물공급과 분지의 침강 그리고 해수면 상승에 의해 형성된 것으로 사료된다. 이후 융기된 쓰시마 해협에서 퇴적물 공급이 급격히 증가하면서 해침에서 해퇴퇴적층서로 변한다. 융기대로부터의 다량의 퇴적물 공급과 해수준의 하강 운동은 외해를 향해 전진형 퇴적층리 발달의 원인이 된다.

석유부존 유망지역

단면도상에서 보여주는 유망 저류암 구조 (그림 5) 중 분지 선상지 퇴적체가 가장 중요하게 선택된다. 분지 선상지의 구성은 주로 깨끗한 사질의 저탁류 퇴적물로서 석유의 저류암으로 각광을 받고 있다. 분지선상지는 응축단면위에 하향 걸침으로 나타난다. 응축단면은 매우 느린 퇴적속도로 쌓인 얇은 해양 층서로, 주로 반해양성내지 해양성 퇴적물로 구성되며, 육성기원퇴적물의 공급결여와 최대 해수면 상승과 해안선의 최대 해침동안 대륙붕, 사면, 그리고 분지평원에 넓게 분포한다 (Loutit *et al.*, 1988). 유기물 함량이 높은 검은 셰일층의 응축층은 석유나 가스의 근원암으로 매우 중요한 역할을 한다. 따라서 응축층위에 분지선상지가 놓여있다는 사실은 분지선상지내 석유 부존의 가능성을 매우 높게 한다. 또 다른 유망지역으로 대륙붕내의 침식계곡 충전 사질, 사면선상지내의 수로 충전 사질, 그리고 범람층에 협재된 사질층이 단면도상에서 확인되는 대표적인 저류층으로 해석된다. 그밖에 해침퇴적층서 내에서 천해성의 해빈이나 해안전면 사질퇴적층이 기저부에 상향 걸침으로 분포하는 바 이들이 저류암일 가능성이 있다.

결론 및 제언

탄성과 단면도상으로부터 하부에서 상부로 가면서 융기된 습

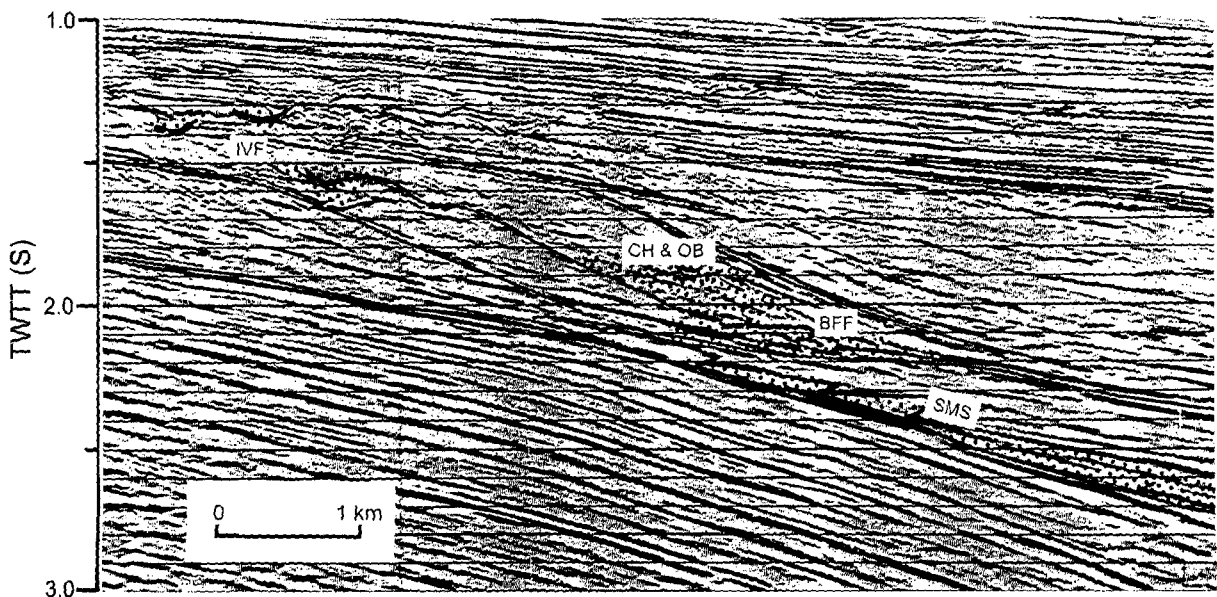


Fig. 5. Potential reservoirs on seismic profile. IVF, incised valley-fill facies; CH & OB, channel and overbank facies; BFF, basin-floor fan facies; SMS, shallow marine sand facies.

곡지층과 용기대를 기저로 해침퇴적층서와 해퇴층서가 연속해서 나타난다. 변형된 지층은 12 Ma 이전 층으로 압축성 지구조운동이 연구지역에 작용하여 발생한 것으로 해석된다. 용기대 전면에 발달한 만곡 분지에 해침퇴적층서가 주 해침과정에서 형성된다. 해침층서의 퇴적과정은 퇴적분지의 침강과 해수면 상승 그리고 소량의 퇴적물 공급에 의한 것으로 판단된다. 이어서 발달한 해퇴퇴적층서는 해수면 하강 운동과 용기된 배후지로부터의 퇴적공급량의 증가가 주 원인으로 해석된다. 해침퇴적층서의 발달 후 그리고 해퇴층서를 구성하는 전진형 퇴적 시퀀스들이 발달하는 동안 응축층이 넓게 분포한다.

전진형 시퀀스는 해수면 순환곡선의 특정위치에 따라 분지선상지, 사면선상지 그리고 전진 복합체를 포함하는 저해수준 체계역, 해침 체계역, 그리고 고해수준 체계역으로 구성된다. 분지선상지는 불연속적이고 언덕퇴적상 반사층리, 둔덕형 반사형태, 그리고 다양한 진폭크기로 특징된다. 그리고 시퀀스 경계면에 상향걸침과 응축면위에 하향걸침으로 쌓여있다. 사면선상지는 불연속 반사층리와 다양한 진폭이 특징이다. 시퀀스 경계면에 상향걸침하고 분지선상지에 하향걸침한다. 이들은 해저수로와 범람퇴적층으로 구성된다. 전진복합체가 연이어 발달하는데 연속적인 반사층리와 다양한 진폭을 보인다. 해침과 고해수준 체계역은 대륙붕 지역에 주로 분포하며 대부분의 퇴적층이 해수면 하강시 침식되어 일부만 분포한다. 대륙사면과 분지중심부에 얇게 퇴적되며 응축층과 대응된다.

유망 저류암은 사질의 저탁류 퇴적물로 구성된 분지선상지 퇴적물이 가장 우선적으로 제시된다. 사면선상지의 수로 충전모래와 범람층내 사질층리, 그리고 전진복합체의 침식곡 충전모래층은 저류암 후보중 하나이다. 대륙붕내의 침식곡 충전모래도 저류층으로 분류된다. 또한 해침퇴적층서의 천해 사질퇴적층이 가능성이 높은 저류암으로 판단된다.

본 연구를 수행하면서 생각되었던 향후 연구과제를 다음과 같이 제시하고자 한다. 첫 번째 주변지역에서의 기존자료를 취합한 후 정밀 시퀀스 층서분석하여 퇴적 시퀀스의 공간적, 수직적 분포양상을 파악한다. 두 번째는 탄성파자료의 재처리를 통해 이상지역을 정밀분석한다. 마지막으로 이상지역을 중심으로 3-D 탄성파 탐사를 실시하여 보다 정확한 정보획득과 석유탐사의 성공 확률을 높인다.

사 사

귀중한 조언과 수정을 가해 주신 이광훈 교수와 익명의 심사위원님께 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌

- 최동림, 1995, 동해 울릉분지 남쪽 연변부의 신생대 탄성과 퇴적층서, 지질구조 및 지구조진화. 이학박사 학위논문, 인하대학교, 127p.
- Chough, S.K., Yoon, S.H., and Park, S.J., 1997, Stratal patterns in the southwestern margin of the Ullung Basin off southeast Korea: sequence architecture controlled by back-arc tectonism. *Geo-Marine Letters*, 17, 207-212.
- Galloway, W.E., 1989, Genetic stratigraphic sequences in basin analysis: architecture and genesis of flooding surface bounded depositional units. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 73, 125-142.
- Haq, B.U., Hardenbol, J., and Vail, P.R., 1987, The chronology of the fluctuating sea level since the Triassic. *Science*, 269, 483-489.
- Hayashida, A., Fukui, T., and Torii, M., 1991, Paleomagnetism of the early Miocene Kani Group in southwest Japan and its implication for the opening of the Japan Sea. *Geophysical Research Letters*, 18, 1095-1098.
- Ingle, J.C., Jr., 1992, Subsidence of the Japan Sea: stratigraphy evidence from ODP sites and onshore sections. Proceedings of the Ocean Drilling Program, scientific results, 127/128 (part 2), 1197-1218.
- Ishikawa, N. and Tagami, T., 1991, Paleomagnetism and fission-track geochronology on the Goto and Tsushima Islands in the Tsushima Strait area: implication for the opening mode of the Japan Sea. *Journal of Geomagnetism and Geoelectricity*, 43, 229-253.
- Jolivet, L., Huchon, P., Brun, J.P., LePichon, X., Chamot-Rooke, N., and Thomas, J.C., 1991, Arc deformation and marginal basin opening: Japan Sea as a case study. *Journal of Geophysical Research*, 96, 4367-4384.
- Lallemant, S. and Jolivet, L., 1986, Japan Sea: a pull-apart basin? *Earth and Planetary Science Letters*, 76, 375-389.
- Loutit, T.S., Hardenbol, J., Vail, P.R., and Baum, G.R., 1988, Condensed sections: the key to age determination and correlation of continental margin sequences. In: C.K. Wilgus, et al. (Editors), Sea-level changes: an integrated approach. *Society of Economic Paleontologists and Mineralogists Special Publication* 42, 183-213.
- Minami, A., 1979, Distribution and characteristics of the sedimentary basin offshore San-in to Tsushima Island. *Journal of Japanese Association Petroleum Technologists*, 44, 321-328 (in Japanese).
- Mitchum, R.M., Jr., Sangree, J.B., Vail, P.R., and Wornardt, W.W., 1993, Well-log and seismic criteria for recognizing sequences and systems tracts in late Cenozoic expanded sections, Gulf of Mexico. In: P. Weimer and H.W. Posamentier (Editors), Siliclastic sequence stratigraphy: recent developments and applications. *American Association of Petroleum Geologists Memoir* 58, 163-198.
- Mitchum, R.M., Jr., Vail, P.R., and Thompson, S., 1977, Seismic stratigraphy and global changes of sea level, Part 2: the depositional sequence as a basic unit for stratigraphic analysis. In: C.E. Payton(Editor), Seismic stratigraphy-applications to hydrocarbon exploration. *American Association of Petroleum Geologists Memoir* 26, 53-62.
- Posamentier, H.W. and Vail, P.R., 1988, Eustatic controls on clastic deposition II-Sequence and systems tract models. In: C.K. Wilgus et al. (Editors), Sea-level changes: an integrated approach. *Society of Economic Paleontologists and Mineralogists Special Publication* 42, 125-154.
- Sangree, J.B., Vail, P.R., and Sneider, R.M., 1988, Evolution of facies interpretation of the shelf-slope: application of the new eustatic framework to the Gulf of Mexico. *20th Annual Offshore Technology Conference*, OTC #5695, 133-144.
- Shimada, N., 1977, Lead-zinc ore deposits of the Tsushima Islands, Nagasaki prefecture, with special reference to shigekuma-type mineralization. Membership of Faculty Science, Kyushu University, Series D. *Geology* XXIII(3), 417-480.
- Tamaki, K., Suyehiro, K., Allan, J., Ingle, J.C., Jr., and Pisciotto, K.A., 1992, Tectonic synthesis and implications of Japan Sea ODP drilling. Proceedings of the Ocean Drilling Program, scientific results, 127/128 (part 2), 1333-1348.
- Vail, P.R., 1987, Seismic stratigraphy interpretation using sequence stratigraphy. Part 1: seismic stratigraphy interpretation procedure. In: A.W. Bally(Editor), Atlas of seismic stratigraphy. *American Association of Petroleum Geologists Studies in Geology* 27, 1-10.
- Van Wagoner, J.C., Mitchum, R.M., Jr., Campion, K.M., and Rahmanian, V.D., 1990, Siliclastic sequence stratigraphy in well logs, cores, and outcrops: concepts for high-resolution correlation of time and facies. *American Association of Petroleum Geologists Methods in Exploration Series* 7, 55p.

Wilgus, C.K., Hastings, B.S., Kendall, C.G.St.C., Posamentier, H.W.,
Ross, C.A., and Van Wagoner, J.C., 1988, Sea-level changes: an
integrated approach. *Society of Economic Paleontologists and
Mineralogists Special Publication* 42, 407 p.
Yoon, S.H., 1994, The eastern continental margin of Korea: seismic

stratigraphy, geologic structure and tectonic evolution. Ph.D. thesis,
Seoul National University, 235 p.

1999년 2월 28일 원고접수