Korean Jour. of Petrol. Geol., V. 5, No. 1, 2, p. 1~8, 1997

고해상탄성파탐사자료에 의한 한국남동대륙붕의 퇴적사 및 조구조운동

Sedimentary History and Tectonics in the Southeastern Continental Shelf of Korea based on High Resolution Shallow Seismic Data.

민건홍 (Geon Hong Min)*, 박용안 (Yong Ahn Park)**

요 약

한국남동해 대륙붕에서 획득된 고해상탄성파탐사자료의 탄성파층서적 해석에 의하면 본 연구해역의 퇴적층은 서로 다른 4개의 퇴적층, 즉 하부로부터 퇴적층 D, 퇴적층 C, 퇴적층 B 및 퇴적층 A로 구성된다. 양산단층 연장부의 서쪽에 발달하는 퇴적층 D는 분지가 침강함에 따라 천해환경에서 퇴적된 것이나, 동쪽에 발달하는 것은 사면전면 충진형태로 형성되었다. 퇴적과 동시에 경동조구조운동이 일어나 육지쪽에 발달하는 사면전면 충진 퇴적층은 침식되어 인접한 사면에 퇴적되었다. 이 조구조운동은 울릉분지의 닫힘과 수반되어 일어난 것으로 보인다. 양산단층 연장부의 서쪽에 발달하는 퇴적층 C는 저해수면 하성퇴적물, 해침퇴적물, 그리고 고해수면 해성퇴적물이 겹쳐 쌓여서 형성된 것으로 추측된다. 동쪽에 발달하고 있는 퇴적층 C는 대륙붕단에서 퇴적된 것으로 해석되며, 이러한 작용으로 대륙붕단 외해로 전진하게 되었다. 퇴적층 C가 형성되는 동안에도 경동조구조운동은 계속되었으나, 퇴적층 D가 형성되는 동안에 있었던 것보다는 약하였다. 퇴적층 B가 형성되기 시작하면서 경동조구조운동은 멈추고, 선근원에서 점근원의 퇴적이 일어나기 시작하였다. 연구지역에 발달하는 본 퇴적층은 고해수면퇴적계, 저해수면퇴적계 그리고 해침퇴적계로 구분된다. 고해수면퇴적계는 욕지도주위에 부분적으로 보존되어 있으며, 저해수면퇴적계는 대한해곡에 비교적 잘 발달되어 있다. 해침퇴적계는 욕지도 및 거제도 남쪽앞바다에 잘 보존되어 있다. 경동조구조운동이 멈추면서, 울릉분지의 닫힘작용에 의한 압축력은 주향단층들에 의해 해소되는 것으로 보인다.

주요어: 한국남동대륙붕, 퇴적사, 경동조구조운동

Abstract: Seismic stratigraphic analysis of the high resolution profiles obtained from the southeastern shelf of Korea divided the deposits into 4 sequences; 1) sequence D, 2) sequence C, 3) sequence B and 4) sequence A (Holocene sediments). Sequence D was deposited in shallow-water environment at west of the Yangsan Fault as the basin subsided. On the other hand, the eastern part was formed at the slope front. Landward part of the slope-front fill sediments were eroded and redeposited nearby slope due to the syndepositional tilting of the basin. This tilting probably resulted from the continuous closing of the Ulleung Basin. Sequence C is made of stacked successions of the lowstand fluvial sediments, transgressive sediments and marine highstand sediments derived from the paleo-river in the western part of the Yangsan Fault. Sequence C in the eastern part of the Yanshan Fault was formed at the shelf break. Progradation of the lowstand sediments resulted in broadening of the shelf. Sequence C in the eastern part was also tilted but the tilting was weaker than in Sequence D. During the formation of sequence B the tilting stopped and the point source instead of the line source started in both sides of the Yangsan Fault. Sequence B was composed of the highstand systems tract partially preserved around the Yokji island, lowstand systems tract mainly preserved in the Korea Trough and transgressive systems tract. After the stop of the tilting, the force of compression due to the closing of the Ulleung Basin may be released by the strike-slip faults instead of tilting.

Key word: Korean southeastern continental shelf, sedimentary history, tilting

서 론

석유 및 천연가스의 부존가능성이 높은 울릉분지 남쪽 연변부(그림 1)에는 신생대 퇴적층이 10 km이상 퇴적되어 있다 (Minami, 1979). 한국과 일본은 1970년대부터 각각 조사구역을 설정하여 해양지질 및 해양지구물리탐사를 실시하여 상당한 자료들이 축적되어 있으며, 이들 자료들로부터 울릉분지 남쪽 연변부의 신생대 퇴적층서가 개략적으로 밝혀졌다 (김종수 외, 1987; 김만식 외, 1989; Park, 1990). 이러한 석유 및 천연가스의 탐사와는 별도로 동해의 생성과 진화에 대한 연구에 의하면 동해 (일본, 야마토 및 울릉) 분지의 형성에 중요한 주향단층이 대한해협에 발달하고 있다고 가정하여 왔다 (Lallemend and Jolivet, 1985;

* Petroleum and Marine Resources Division, Korea Institute of Geolgy, Mining, & Materials, Taejon, Korea. (한국자원연구소, 석유 · 해저부),

** Department of Oceanography, College of Natural Sciences, Seoul National University, Seoul, Korea. (서울대학교 자연과학대학 해양학과)

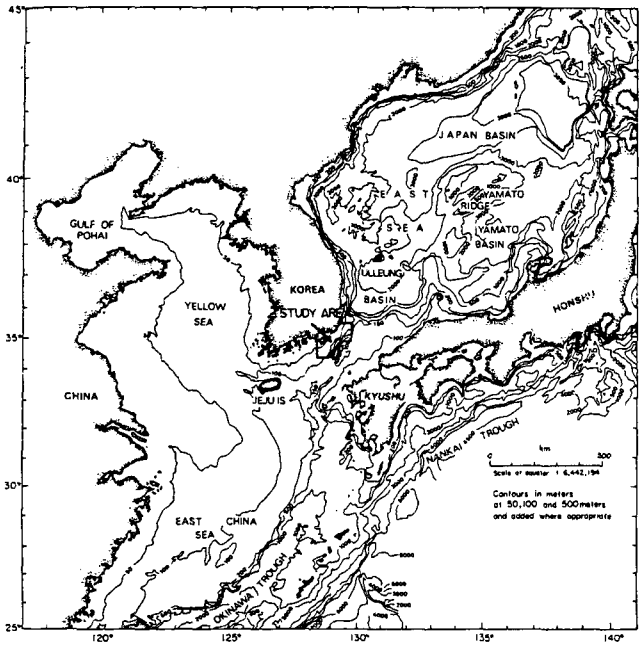

Fig. 1. Bathymetry of the Korean seas and the study area. After Chough (1983). (Contours in meters.)

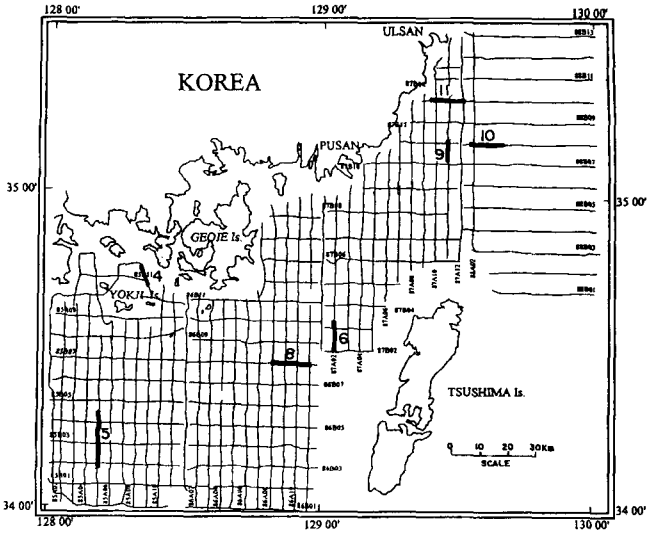

Fig. 2. Track lines of the seismic survey using 3.5 kHz subbottom profiler and sparker system. After Shin *et al.*, (1986, 1988) and Kim *et al.*, (1987, 1989). The numbers indicate the figure numbers.

Jolivet *et al.*, 1991, 1994; Jolivet and Tamaki, 1992; Yoon and Chough, 1995).

석유 및 가스 탐사를 위한 다채널탄성파탐사자료와 해양지질연구를 위한 단채널탄성파탐사자료 및 ODP시추와 석유시추자료의 해석에 의하면 울릉분지는 25-12 Ma에 형성되었고, 그 이후에는 닫힘작용이 진행되어왔다고 밝혀졌다 (Park, 1990; Jolivet and Tamaki, 1992, 1994; Yoon and Chough, 1995).

석유부존의 가능성유무를 확인하기 위해 획득된 다채널탄성파탐사자료의 해석 및 석유시추자료에 의한 연구는 비교적 긴 시간대에 대한 층서 및 퇴적사를 밝힌 것이고 ODP시추는 심해에서 실시되어 연구지역에 발달하고 있는 퇴적층과의 대비에는 문제점이 있다. 또한 기존의 조구조연구에 대한 연구는 동해 및 울릉분지의 진화와 관련된 것으로 그 시기가 비교적 오래된 것으로 연구지역에 발달하고 있는 신생대 말기의 퇴적층 (민, 1994)에 나타나는 조구조운동을 설명하기에는 한계가 있다.

한국자원연구소 연구팀은 남해동부와 동해남부대륙붕에서 1985, 1986, 1987 및 1988년도에 스파커 (sparker) 지층탐사기를 사용하여 반사법 탄성파탐사자료를 획득하였다 (그림 2). 이 고해상탄성파탐사자료의 해석을 통하여 대한해협에 존재하리라고 추측되고 있는 주향단층의 존재를 추적하고, 대한해협에 발달하고 있는 퇴적층의 연구를 통하여 본 퇴적층의 퇴적사와 울릉분지의 닫힘작용이 일어나는 기간동안의 자세한 조구조운동을 밝히는 것이 본 연구의 목적이다.

연구자료

한반도 주변대륙붕의 해저지질도 작성을 위하여 한국자원연구소 연구팀은 남해동부와 동해남부대륙붕에서 1985, 1986, 1987 및 1988년도에 조사를 실시하였다. 해상도가 높은 3.5 kHz 지층탐사기 (subbottom profiler)와 스파커 지층탐사기를 사용하여 연구지역에 대한 약 4,900 km에 달하는 반사법 탄성파탐사자료 (김철민 외, 1987, 1988; 신원철 외, 1986, 1989)가 획득되었다 (그림 2). 1985, 1986 및 1987년도에는 2마일 간격의 남북측선을 주측선으로 하고 4마일 간격의 동서측선을 보조측선으로 탐사가 실시되었으나, 1988년도에는 4마일 간격의 동서측선을 주측선으로 2개의 남북측선을 보조측선으로 한 탐사가 실시되었다. 이때 스파커 지층탐사기의 음원은 퇴적층의 층후가 얇을 것으로 추측되는 욕지도 주변해역과 욕지도 및 거제도앞 외해역에서는 500J 내지 1,000J이 사용되었으며, 층후가 두꺼울 것으로 추측되는 부산 및 울산앞 외해역에서는 3,000J 내지 4,000J이 사용되었다. 본 연구에서는 이중 스파커탐사장비에 의해 취득된 반사법 탄성파탐사자료가 이용되었다. 선위측정에는 Mini-ranger III navigation system (1985와 1986년도)과 로란 C가 부착된 GPS (Global Positioning System with Loran C: 1987과 1988년도)가 이용되었다.

탄성파탐사자료의 해석은 Mitchum 과 Vail (1977) 및 Vail (1987)에 의해 제시된 탄성파층서 및 순차층서 해석방법에 따라 실시되었다.

퇴적층의 탄성파반사특성

고해상탄성파탐사자료의 해석에 의하면 연구지역에 발달하고 있는 퇴적층은 4개의 반사계면 (α, β, γ, δ-reflector)에 의해 분리되는 서로 다른 4개의 퇴적층 (하부로부터 퇴적층 D, C, B 그리고 A)과 음향기반암으로 구성된다 (그림 3). 현세퇴적층으로 밝혀진 퇴적층 A (민, 1992, 1994)를 제외한 나머지 퇴적층에 대한

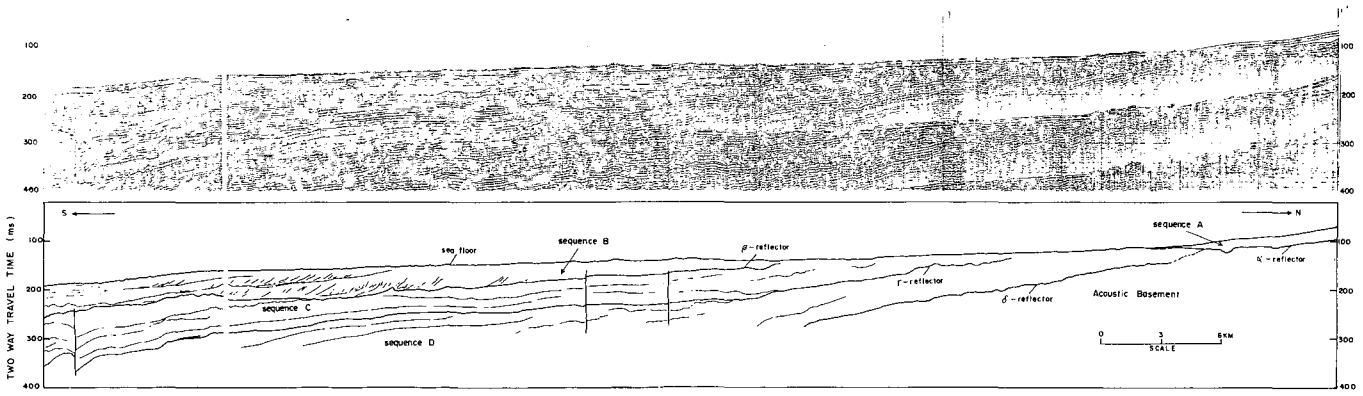

Fig. 3. Sparker profile and its interpretation of line 87A2, showing four depositional sequences (D, C, B and A in an ascending order) and acoustic basement separated by four distinct reflectors (α, β, γ and δ). For location, see Fig. 2.

탄성파반사특성은 다음과 같다.

퇴적층 B (Sequence B)

욕지도 주변 근해역에 발달하는 퇴적층 B의 음향상 (seismic facies)은 하천충진 (channel fill)반사형상, 수평층리 (horizontally parallel)반사형상 그리고 수평층리반사형상의 상부를 절단하는 소규모의 충진반사형상으로 이루어져 있다 (그림 4).

욕지도와 거제도의 남쪽 천해에 발달하는 본 퇴적층의 음향상은 수평층리반사형상, 하천충진반사형상 그리고 반사면들이 불연속적이고 반사강도 (intensity of reflection)의 변화가 매우 심한 반사형상로 이루어져 있다. 하천충진형태는 상부의 비교적 평탄한 반사면들과 하부의 충진반사면들로 구분된다. 하부의 충진반사면들은 전진구축반사 (prograding reflection)형상으로 발달하다가 수평층리반사형상으로 변한다. 일부 충진형태는 이미 생성된

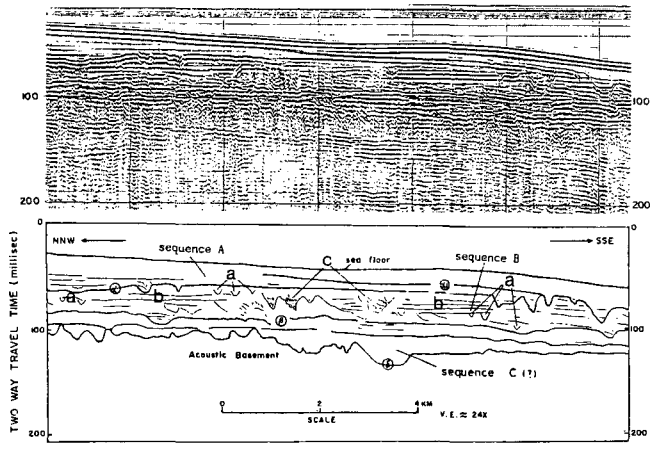

Fig. 4. Sparker seismic profile showing three sequences (A, B and C), bounded by two reflectors (α, and β). The sequence B is acoustically characterized by three distinct seismic facies; tidal creek (a), the continuous, well-stratified (b) and the channel fill (c). For location, see Fig. 2.

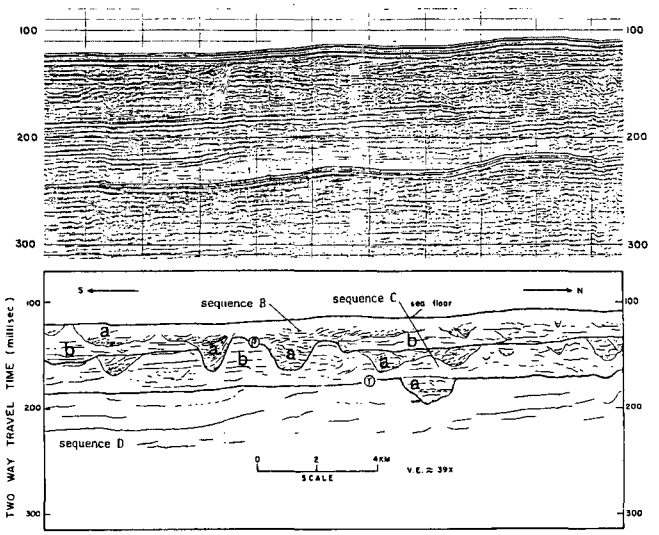

Fig. 5. Sparker seismic profile showing the channel fills (a) and horizontally parallel reflectors areas (b) between the channel fills in the sequences B and C. The weakly inclined reflectors in the sequence D are truncated by the γ-reflector. For location, see Fig. 2.

충진형태가 일부 침식되어 새로운 충진형태가 형성된 모습을 보여주며, 2-3차례에 걸쳐 이런 충진작용이 반복되어 형성된 것도 있다 (그림 5).

대한해곡에 발달하고 있는 본 퇴적층은 강한 반사면에 의하여 3개의 소퇴적층으로 잘 구분된다 (그림 6). 음향상은 크게 2가지 즉 대한해곡의 북측벽으로부터 비교적 큰 경사각을 갖는 반사면으로 이루어진 전진구축반사형상을 보여주는 것과 이 전진구축에 연이어서 발달하는 아주 작은 경사도를 갖는 평행반사형상으로 구분된다 (그림 6).

전체적으로 보아 퇴적층 B의 내부반사구조는 조구조적의 영향을 거의 받지 않은 특징을 보여주고 있으나, 거제도와 부산 남쪽 앞바다에서는 2개의 주향단층군이 퇴적층 B의 상부까지 발

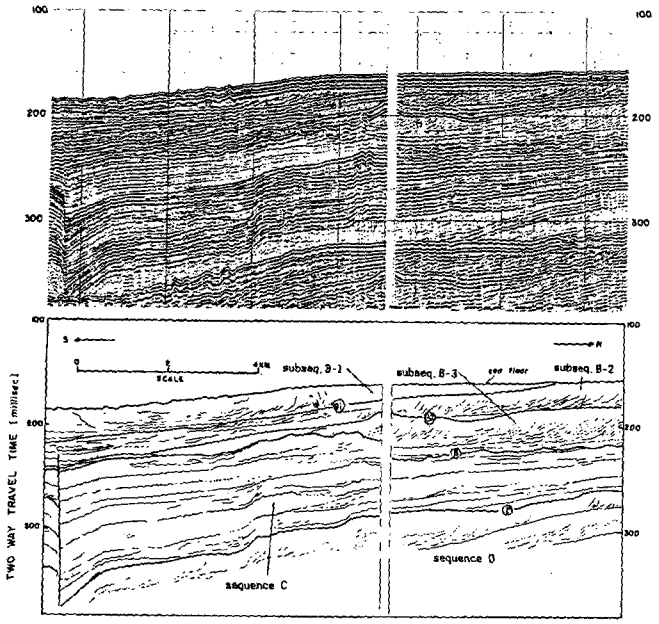

Fig. 6. Sparker seismic profile showing the subsequences B-1, B-2 and B-3. Sequence C can be divided into subparallel subsequences by the smooth mid-reflectors. The subsequences with highly inclined reflectors of the sequence D are truncated by the γ-reflector. Note a strike slip fault in the lower part of the sequence B. For location, see Fig. 2.

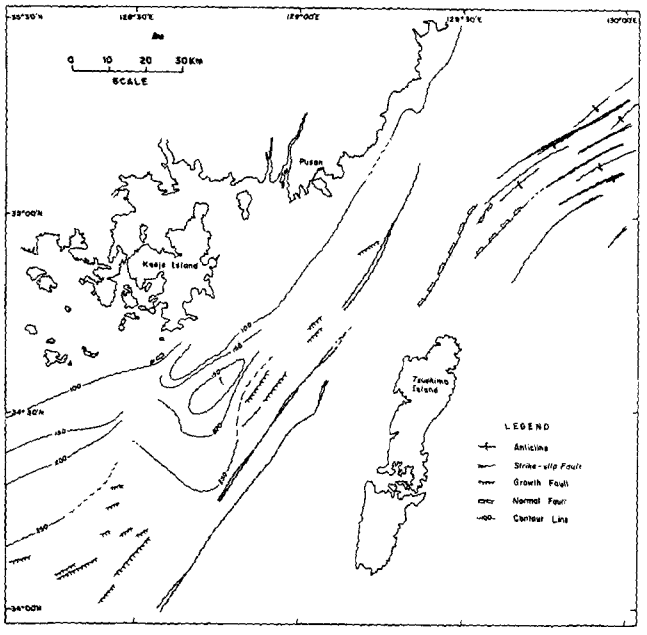

Fig. 7. Distribution of fault systems off the Pusan and Keoje island. Two groups of active strike-slip faults develop in the different direction from the Yanshan Fault. The contour indicates the depth of the top of acoustic basement.

달하고 있다 (그림 6, 7).

퇴적층 C (Sequence C)

퇴적층 C는 퇴적층 B의 하위에 놓이는 층으로써 욕지도와 거제도 근해역의 남쪽으로 발달한다. 이 층은 부산과 울산앞 천해역에서는 상위에 놓이는 퇴적층 B보다 내해에서부터 발달하고 있다. 욕지도와 거제도남쪽 천해역과 외해역에 발달하는 퇴적층 C의 음향상은 하천충진반사구조와 강한 반사강도를 나타내는 수평층리반사구조, 그리고 비교적 연속성이 좋은 반사면들로 이루어져 있다 (그림 5). 하천충진반사구조는 최하부에 무질서한 음향상, 그 상부로 잘 발달된 전진충진반사구조나 평행층리반사구조로 이루어져 있다.

거제도 동쪽 천해역에 발달하는 퇴적층 C는 비교적 잘 발달된 반사면으로 해역에 따라 다시 여러 층으로 나뉘어진다. 각 소퇴적층의 음향상은 불연속적이고 반사강도의 변화가 심한 반사면으로 이루어져 있으나 (그림 8), 일부 해역에는 상당히 넓은 폭으로 하천충진반사구조가 나타나기도 한다. 이 충진구조의 내부반사형상 하부는 전진충진반사구조나 거의 수평층리반사구조를 보이고 중앙부에는 전형적인 전진충진반사구조가 나타난다.

거제도의 남쪽 및 남동쪽 천해역의 퇴적층 C는 이러한 탄성파 반사특성으로 보아 조구조운동의 영향은 거의 받지 않고 해수면의 변화에 의해 퇴적된 퇴적층으로 이루어져 있으나, 2개 주향단층군이 이 퇴적층에 발달하고 있다 (그림 6, 7, 8).

부산앞 외해역에 발달하는 퇴적층 C는 동해쪽으로 가면서 해저면에 노두로 나타나는 지역이 넓어진다 (신원철 외, 1989). 대한해곡 북측벽에 발달하는 퇴적층은 연장성이 매우 좋은 반사면들로 다시 여러개의 소퇴적층으로 분리되나, 부산앞 해곡북측벽의 퇴적층은 매우 부드러운 경계면들을 갖고 비교적 비슷한 두께를 갖는 여러개의 소퇴적층이 겹쳐 쌓여서 이루어져 있다 (그림 6). 울산앞 해곡북측벽과 동해쪽에 발달하는 퇴적층도 여러개의 소퇴적층으로 나뉘어지지만 이 소퇴적층들을 나누는 반사면

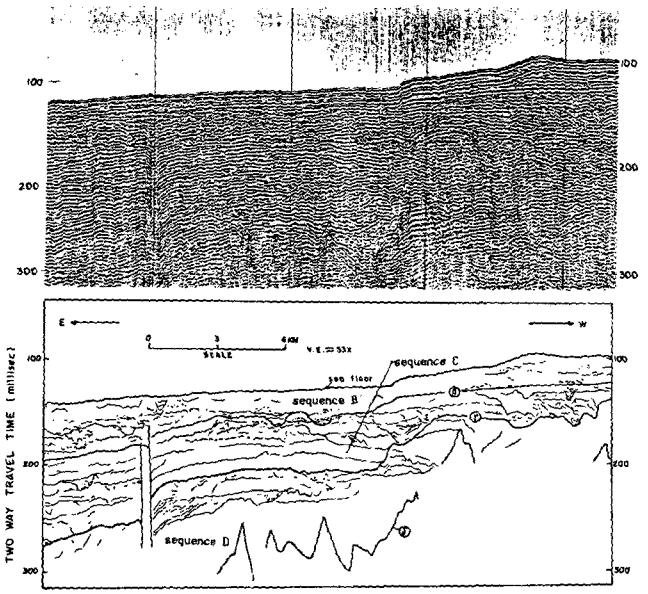

Fig. 8. Sparker seismic profile showing the discontinuous and various reflectors in the subsequences of the sequence C. The relief of the acoustic basement is 100 msec in two way travel time. Strike slip faults develop into the middle part of the sequence B. For location, see Fig. 2.

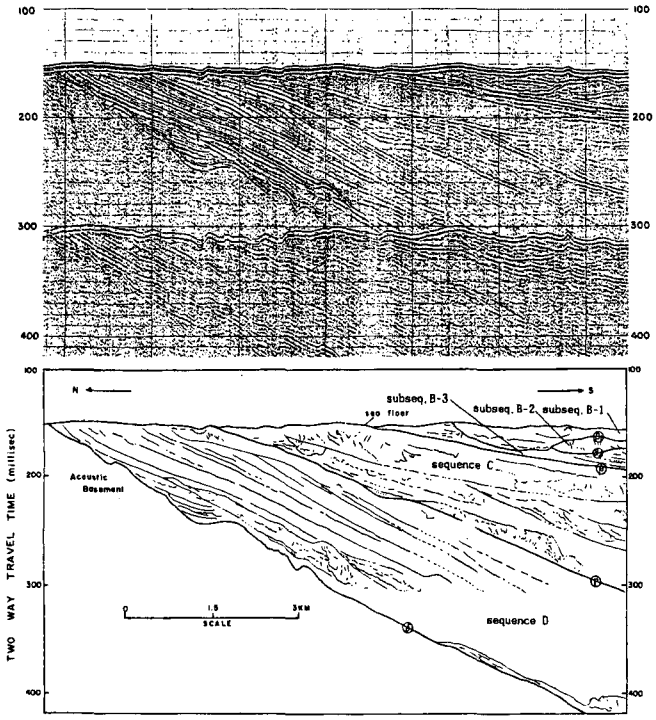

Fig. 9. Sparker seismic profile showing three sequences (B, C and D) bounded by two distinct reflectors (β and γ). The sequence B can be divided into three subsequences (B-1, B-2 and B-3). Sequences C and D is outcropped in the sea surface and can be divided several subsequences by mid-reflectors truncated by the sea surface. For location, see Fig. 2.

들은 주로 하부층들을 삭박하여 형성된 것들이다 (그림 9). 상부 2-3개의 소퇴적층들은 해곡 북측벽에 발달하는 퇴적층 B의 조립질 퇴적층과 같은 음향상을 보인다. 하부 수개의 소퇴적층들은 서쪽의 해곡북측벽에 발달하고 있는 소퇴적층들의 음향상과 다소 유사하지만, 층을 분리하는 반사면들의 경사각이 훨씬 크고 층 전체가 기울어진 후에 수평으로 삭박된 모습을 보여주고 있다 (그림 9).

퇴적층 D (Sequence D)

퇴적층 D는 퇴적층 C의 하위에 놓이며, 음향기반의 상위에 놓인다. 욕지도와 거제도앞 천해역의 퇴적층 D는 해안선으로부터 수십 키로미터 떨어진 해역부터 발달하기 시작하나, 부산앞 천해역에서는 해안선에 인접한 곳으로부터 외해로 발달한다. 욕지도와 거제도 남쪽 천해역에 발달하는 퇴적층 D의 음향상은 불연속적인 반사면과 하천충진반사구조로 이루어져 있으나, 전반적으로 반사면들의 반사강도가 매우 약하고, 때때로 무반사 (reflection-free)로 발전된 모습을 보인다. 내부 반사면들은 상부 경계면을 이루는 γ-반사계면에 의해 매우 작은 각도로 절단된 (truncated) 모습을 보여주고 있다 (그림 5). 외해로 갈수록 층후가 두꺼워져서 다중반사면들에 의해 음향기반이 인지되지 않는다.

거제도 남동쪽 외해역에 발달하는 퇴적층 D는 대한해곡의 북측벽에서 급격히 층후가 증가하며 비교적 연장성이 좋은 반사면들에 의해 소퇴적층들로 나뉘어진다. 각 소퇴적층들의 내부반사형상은 사면전진양상 (oblique prograding configuration)를 보여주거나 반사면이 없는 투명한 모습을 보여준다 (그림 8). 내부 반사면들은 전체적으로 상부 경계를 이루는 γ-반사계면에 의해 절단된 모습을 보여주며, 내부 반사면의 기울기는 욕지도 및 거제도 남쪽 천해역보다 크다.

부산앞 외해역에 발달하는 퇴적층 D는 연장성이 아주 좋은 반사면들에 의해 다시 여러개의 소퇴적층들로 나뉘며, 이 반사면들은 비교적 강한 반사강도를 보여주는 특징이 있다 (그림 3). 이러한 반사면들은 γ-반사계면에 의해 절단된 모습을 보이며, 반사면들의 기울기는 남서쪽 해곡의 북측벽에서 북동쪽의 북측벽으로 가면서 급격히 증가하나, 강한 반사면으로 구분되는 소퇴적층들의 층후는 남서쪽벽에서 북동쪽벽으로 갈수록 급격히 감소한다 (그림 6, 9).

울산앞 동해쪽 대륙붕단에 발달하는 퇴적층D는 연장성이 좋은 반사면들에 의해 다시 여러개의 소퇴적층들로 나뉜다 (그림 10). 상부에 놓이는 소퇴적층들은 S자형의 전진구축반사형태를 보이고, 각 소퇴적층내의 반사면들은 퇴적층 D를 분리하는 중간 반사면들에 의해 상부가 절단된 모습을 갖고 있다. 이러한 소퇴적층들은 전체가 한반도쪽으로 융기되어 γ-반사계면에 의해 절단되는 모습을 보인다 (그림 10).

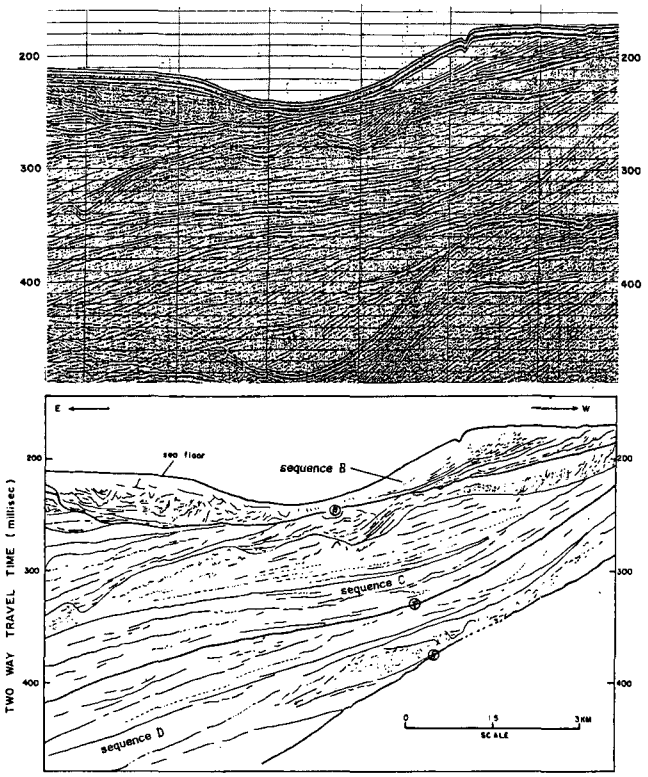

Fig. 10. Sparker seismic profile showing three sequences (B, C and D) bounded by two distinct reflectors (β and γ). Sequences C and D can be divided into subsequences by the continuous and relatively strong mid-reflectors. The subsequences of the sequences C and D have slightly divergent reflection configuration. For location, see Fig. 2.

음향기반 (Acoustic Basement)

본 연구해역에 발달하고 있는 음향기반은 음향상에 의해 2가지의 서로 다른 특징을 갖는 지역으로 구분된다: 즉 1) 욕지도 주변 근해역과 욕지도와 거제도앞 천해역에 분포하는 것, 2) 부산에서 울산앞바다에 걸친 수심 100 m이내 해역에 분포하는 것이다.

욕지도근해역에 분포하는 음향기반의 음향상은 무반사이고, 매우 작은 기복의 표면을 갖고 있다. 욕지도의 남쪽으로 갈수록 퇴적층후의 증가로 음향기반까지 투과되지 않았으나 기복이 작은 표면을 갖다가 외해로 기복의 크기가 왕복주사시간으로 50 msecs에 달하는 δ-반사계면으로 변한다. 거제도 남쪽 외해역으로는 비교적 큰 기복의 표면을 갖고 천천히 깊어지고 있으나, 동남쪽 외해역으로는 급격히 깊어져서 기복의 크기가 왕복주사시간으로 100 msecs에 달하는 δ-반사계면이 인지된다 (그림 8). 이러한 급한 경사면은 일정한 방향성을 갖고 있은 것으로 보아 단층일 가능성이 높으며, 이 방향은 양산단층의 남해쪽 연장선을 형성하고 있다.

부산에서 울산앞 외해 수심 100 m이내 해역에서 노두로 분포하는 음향기반은 전체적으로 투명한 음향상을 보인다. 이 퇴적층은 다시 급한 경사 (약 5.4°의 기울기)로 깊어지다 작은 둔덕을 형성한 후에 완만한 경사 (약 1.8°의 기울기)를 이루거나, 혹은 이러한 경사형태를 여러개 반복해서 갖는 반사면에 의해 소퇴적층으로 분리된다 (그림 11). 이러한 내부 반사면들의 특징으로 보아 이 퇴적층은 가파른 경사를 갖는 분지가장자리에서 대규모의 함몰사퇴 (slumping)를 동반하며 전진구축 (progradation)하는 퇴적기구에 의해 형성된 것으로 해석된다.

조구조운동과 퇴적사

탄성파탐사자료의 해석을 통하여 한국남동대륙붕에 발달하고 있는 퇴적층의 해수면의 변화에 따른 퇴적층의 생성과정, 대륙붕과 대륙사면의 지형 및 조구조운동차이에 의한 퇴적기구의 차이가 이해되었다. 그리고 한반도 남동대륙붕에서의 조구조운동과 이에 따른 퇴적과정이 다음과 같이 밝혀졌다.

퇴적분지의 형성

대한해곡을 중심으로 발달하고 있는 본 연구해역의 퇴적분지는 서쪽으로 양산단층, 남쪽으로는 대마도 서안단층 (Geological Survey of Japan, 1979) 그리고 북쪽으로 경상계와 마이오세퇴적층을 분리시켜주는 단층으로 경계되나, 동쪽으로는 인지된 경계면이 없다. 여러개의 정단층들에 의해 경계되어지는 모습으로 보아, 본 분지는 확장력 (extensional force)에 의해 생성되었음을 알 수 있다 (그림 12).

부산에서 울산에 이르는 지역의 외해역에 발달하는 음향기반은 이러한 분지형성과 밀접하게 관련되어 형성된 퇴적층으로써

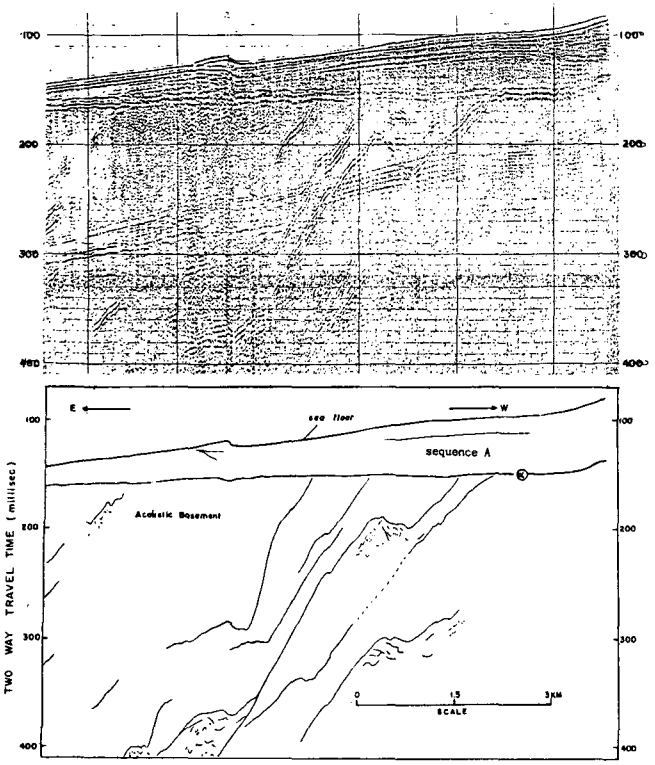

Fig. 11. Sparker seismic profile showing the reflectors in the acoustic basement. The reflectors may represent slumping scars and slumping deposits. For location, see Fig. 2.

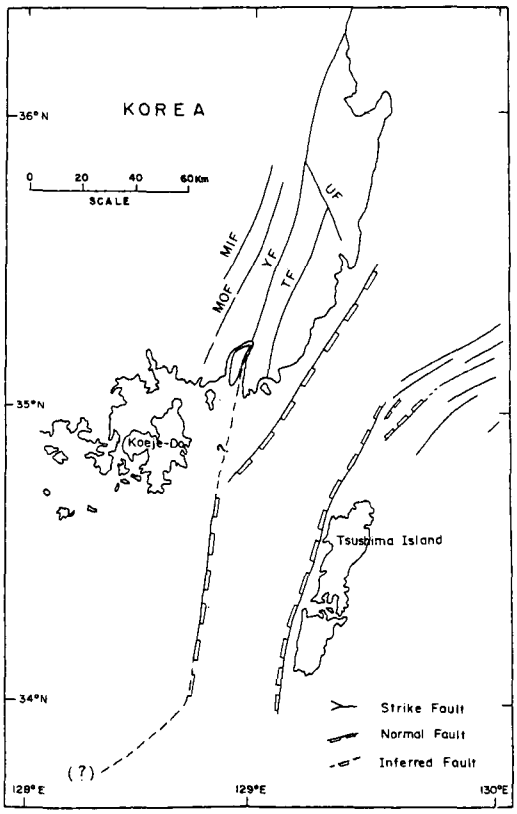

Fig. 12. Structural map of the study and adjacent area. UF : Ulsan Fault, YF : Yangsan Fault, TF : Tongrae Fault, MIF : Miryang Fault, MOF : Moryang Fault.

가파른 경사를 갖는 분지가장자리에서 대규모의 함몰사퇴를 동반하며 전진구축하는 퇴적기구에 의해 퇴적된 것이다. 이 음향기반의 발달정도는 다채널탄성파탐사자료의 해석에 의하면 (김종수 외, 1987) 부산과 울산사이의 대륙사면에서 최대로 발달하고 부산앞 외해쪽으로 점점 발달정도가 약해지며 욕지도 남쪽앞 외해역에서는 발달하지 않고 있다. 이러한 퇴적은 울릉분지의 열림(opening)이 계속되던 시기까지 이루어지다가 마이오세 말기에 울릉분지의 열림이 멈추고 닫힘 (closing)으로 바뀌면서, 연구해역의 북동쪽에 융기부들을 만들어지면서 광역적인 부정합을 형성하였다 (Chough and Barg, 1987; Park, 1990). 광역적인 부정합이 형성된 후의 각 퇴적층의 진화과정은 다음과 같다 (그림 13).

퇴적층 D

퇴적층 D가 퇴적될 당시 한반도 남동대륙붕은 지역에 따라 퇴적환경과 조구조운동이 달랐다. 마이오세의 퇴적층이 거의 발달하지 않는 욕지도와 거제도 남쪽해역에서는 서서히 분지침강이 일어나면서 외해역부터 천해환경 (대륙붕)에서 퇴적이 이루어졌으며, 그 결과 외해로 갈수록 두꺼운 퇴적층이 발달되었다.

부산과 울산앞 외해역에서는 깊은 분지가 아직 완전히 충진되지 않아 비교적 가파른 경사로 대륙사면이 발달하고 있어서 사면 바로 앞에는 사면전면충진 (slope front fill)구조를 발달시키며 퇴적이 이루어졌다. 부산 근해역에서 울산 근해역까지 거의 직선으로 발달하고 있던 단층의 재활동에 의한 경동 (tilting) 조구조운동에 의해 이미 퇴적된 퇴적층이 일부 침식되며 새로운 퇴적층을 형성하는 퇴적작용이 있었다 (그림 13A). 경동 조구조운동은 울산 남동쪽 외해역에서 부산앞 외해역으로 갈수록 약하게 일어나 층의 기울기가 부산앞 외해역쪽으로 갈수록 작아진다.

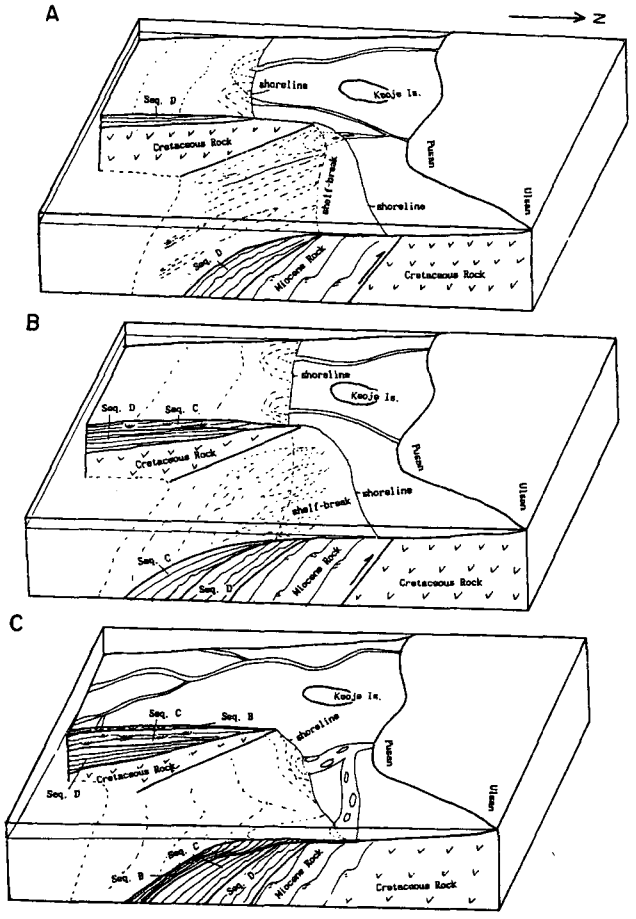

Fig. 13. A cartoon showing the depositional history of each sequences. A : Sequence D, B : Sequence C, C : Sequence B.

퇴적층 C

퇴적층 C도 연장된 양산단층을 경계로 하여 서로 다른 환경에서 퇴적되었다. 단층의 서쪽 해역에서는 하부에 놓이는 퇴적층 D와 비슷하게 천해인 대륙붕에서 퇴적된 것으로 퇴적층 D보다 얇게 발달되었다.

동쪽해역의 퇴적층 C도 지형의 경사가 급하고 조구조운동도 비교적 강하게 받으며 퇴적되어서, 퇴적층 D가 발달하며 형성시킨 대륙붕단의 위치를 외해로 전진시키며 퇴적이 이루어져 전체적으로 전진구축이 일어났다. 이러한 전진구축은 퇴적이 일어나는 동안에 계속된 경동 조구조운동으로 천해부의 퇴적물이 침식이 되고 이 침식된 퇴적물이 다시 바로 외해의 깊은 곳에 퇴적되면서 형성되었다. 퇴적층 D보다는 경동 조구조운동이 약하게 일어났던 울산동쪽 외해역에서는 비교적 넓은 지역에 걸쳐 퇴적이 일어났고 전체적으로 전진구축을 하지만 상향구축이 비교적 약하게 이루어진 모습을 보인다 (그림 13B).

퇴적층 B

퇴적층 B가 퇴적되기 시작할 즈음, 경동 조구조운동이 약해지면서 대륙붕단의 선근원 (line source) 퇴적작용은 멈추게 되었다. 그 대신 대한해곡과 동해남부는 고낙동강, 욕지도의 근해와 욕지도 및 거제도 앞바다는 고섬진강의 영향을 강하게 받는 점근원 (point source)의 퇴적이 이루어지기 시작하였다. 상당히 긴 해수면의 하강시기동안 대륙붕에 퇴적되어 있던 퇴적층은 대기에 노출되어 강한 반사면인 β-반사계면이 형성되었으며, 대륙붕단에는 저해수면 퇴적계 (lowstand system tract)가 형성되었다. 그 이후에 2번에 걸친 해수면의 상승과 하강에 의해 퇴적층 B가 형성되었다 (그림 13C).

이와 같이 퇴적층 B가 퇴적되는 동안에는 퇴적층 D나 C가 퇴적되는 시기와 같은 조구조운동은 받지 않은 것으로 추측되어진다. 그러나 퇴적층 B의 하부 혹은 해저면까지 발달하고 있는 2개의 주향단층군이 외해역에 존재하고 있다. 이 주향단층군의 발달방향이 분지형성시 발달하였던 단층들과 다르게 발달하고 있는 것은 연구지역에 작용하고 있는 압축력이 주향단층군의 발달로 해소됨을 나타내는 것으로 추측된다 (그림 7, 12).

결 론

한반도 남동대륙붕에서 한국자원연구소에 의해 획득된 반사법 탄성파탐사자료의 해석을 통하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1) 단채널탄성파탐사자료이기 때문에 대한해협에 존재할 것으

로 추측되는 주향단층의 존재는 확인할 수 없었지만, 분지 형성 과정을 생각할 때 주향단층이 있을 것으로 추측된다.

2) 남동대륙붕에 발달하고 있는 퇴적층은 4개의 단위 퇴적층으로 구분되나, 양산단층의 연장선으로 추측되는 단층을 경계로 하여 서로 다른 퇴적환경에서 퇴적된 것으로 보인다. 즉 서쪽대륙붕에 발달하고 있는 단위퇴적층 B, C, D는 모두가 분지 침강이 서서히 일어나면서 퇴적이 일어난 것으로 보인다. 그러나 동쪽대륙붕에 발달하고 있는 퇴적체중 단위 퇴적층 C와 D는 경동조구조운동을 받으며 퇴적이 일어났고, 단위 퇴적층 B는 분지침강이 일어나면서 퇴적이 일어난 것으로 보인다.

3) 동해의 닫힘작용이 일어나는 동안 남동대륙붕의 조구조 운동은 단위 퇴적층 C와 D에서 확인되는 바와같이 울산 남쪽에서 가장 강하고 서쪽으로 점차 약해지는 경동조구조운동으로 특징지워진다. 이러한 운동은 단위 퇴적층 B가 퇴적되기 시작한 후로는 정지하였고 그후에는 분지침강이 계속해서 일어났다. 이러한 분지침강은 계속되는 압축운동에 의한 힘이 경동조구조운동으로 해소되기보다는 주향단층의 발달로 해소되고 있음을 나타내는 것으로 보인다.

사 사

본 연구는 한국자원연구소 1986-1988년도 기본사업인 해양지질연구의 일부연구비 지원에 의해 수행되었다. 현장 자료획득에 수고하신 한국자원연구소 석유 · 해저자원연구부 여러분 및 탐해호 선원들과 본 논문을 세세하게 검토해 주시고 많은 조언을 아끼지 않으신 유동근 박사님과 익명의 독사자에게 감사드립니다.

참고문헌

김만식, 김근덕, 김을수, 유영호, 부범석, 남궁용, 김성훈, 박세진, 서동훈, 곽정일. 1989. 제VI-1광구시추 결과보고서. 한국석유개발공사, pp.192.

김종수, 이원영, 김철민, 박근필, 김원식, 신원철, 이호영, 최완실, 최윤경, 김승우, 공영세, 박영수, 최계림, 곽영훈, 손진담, 한종환, 정태진, 손병국, 봉필윤, 이호영, 최성자, 전희영. 1987. 한국대륙붕 단독개발광구의 지질 및 석유자원. 한국동력자원연구소 연구보고서, KR-86-2-22, pp.303.

김철민, 이원영, 김원식, 박근필, 신원철, 이호영, 최완실. 1987. 거제-부산간 해양물리탐사연구. 한국동력자원연구소 연구보고서 KR-86-2-20, p.101-149.

김철민, 이원영, 김원식, 박근필, 신원철, 이호영, 최완실. 1988. 부산-울산간 해양물리탐사연구. 한국동력자원연구소 연구보고서 KR-87-26, p.65-105.

민건홍. 1992. 한국남해대륙붕의 현세해침에 따른 퇴적층과 퇴적기구. 한국퇴적학연구그룹 특별논문집 ; 한반도와 주변해역의 퇴적분지 (조성권 편집), p.1-21.

민건홍, 1994. 한반도 남동대륙붕의 플라이오세-현세 퇴적층의 탄성파층서 및 퇴적사. 서울대학교 박사학위논문, pp.198.

신원철, 김원식, 이원영, 박근필, 최완실. 1986. 해양물리탐사연구 (남해도-거제도간 해역). 한국동력자원연구소 연구보고서 KR-86-20, p.79-128.

신원철, 김철민, 이원영, 박근필, 김원식, 이허영, 최윤경, 최완실. 1989. 울산-대마도간 해양물리탐사연구. 한국동력자원연구소 연구보고서 KR-88-3B, p.75-109.

Chough, S.K. 1983. Marine geology of Korean seas. International Human Resources Development Corporation Publishers, Boston, Massachusetts, pp.157.

Chough, S.K. and Barg, E. 1987. Tectonic history of Ulleung Basin margin, East Sea (Sea of Japan). Geology V.15, p.45-48.

Geological Survey of Japan. 1979. Marine geology map series 13 (Geological map of the southern Japan Sea and Tsushima Straits).

Jolivet, L. and Tamaki, K. 1992. Neogene kinematics in the Japan Sea region and volcanic activity of the Northeast Japan arc. Proc. of the ODP Program, Scientific Results, 127/128 (part 2), p.1311-1331.

Jolivet, L., Huchon, P., Brun, J.P., LePichon, X., Chamot-Rooke, N. and Thomas, J.C. 1991, Arc deformation and margional basin opening: Japan Sea as a case study. Jour. Geophys. Res., V.96 (B), p.4367-4384.

Jolivet, L., Tamaki, K. and Founier, M. 1994. Japan Sea, opening history and mechanism: Asynthesis. Jour. Geophys. Res. V.99 (B 11), p.22237-22259.

Lallemend, S. and Jolivet, L. 1985. Japan Sea: a pull-apart basin? Earth Planet. Sci. Lett., V.76, p.375-389.

Minami, A. 1979. Distribution and characteristics of the sedimentary basin offshore San-in to Tsushima Island. Jour. Jap. Asso. Pet. Geol. V.44, p.321-328 (in Japanese with English abstract).

Mitchum, R.M. and Vail, P.R. 1977. Seismic stratigraphy and global changes of sea level, part 7 : Seismic stratigraphic interpretation procedure. In Payton, C.W. ed., Seismic stratigraphy-applications to hydrocarbon exploration. A.A.P.G. Mem. 26, p.135-143.

Park, K.S. 1990. The seismic stratigraphy, structure and hydrocarbon potential of the Korea Strait. PhD thesis, Imperial College, pp.441.

Vail, P.R. 1987. Part I : seismic stratigraphy interpretation procedure. In Bally, A.W. ed., Atlas of seismic stratigraphy, A.A.P.G. Studies in Geology 27, V.1, p.1-10.

Yoon, S.H. and Chough, S.K. 1995. Regional strike slip in the eastern continenta margin of Korea and its tectonic implications for the evolution of Ulleung Basin, East Sea (Sea of Japan). Geol. Soc. Am. Bull., V.107, p.83-97.

1997년 7월 1일 원고접수