

남극 브랜스필드 해협 중앙분지의 지체구조 및 석유부존 가능성

Tectonic Structures and Hydrocarbon Potential in the Central Bransfield Basin, Antarctica

허 식 (Sik Huh), 김예동 (Yeodong Kim)*, 정대교 (Dae-Kyo Cheong)**,
진영근 (Young Keun Jin)*, 남상현 (Sang Heon Nam)*

요 약

남극 브랜스필드 해협 중앙분지에서 획득한 다중채널 탄성파탐사 자료를 중심으로 자료처리를 수행하여 전반적인 해저지형, 지층 및 지체구조를 해석하였다. 브랜스필드 중앙분지는 확장중심축을 경계로 해저지형, 화산분출물 및 단층분포, 기반암의 형태가 크게 달라진다. 급격한 경사를 보이는 북쪽 대륙붕은 낙차가 크고 연속성이 좋은 한 개의 긴 정단층 (북동-남서 방향)으로 구성되는 반면, 완만한 경사의 남쪽 대륙붕은 여러 개의 정단층들이 거의 일정한 간격으로 조밀하게 배열된 분포를 보여, 분지가 북서-남동 방향의 확장성 지구조운동에 의해 형성되었음을 나타낸다. 화산분출물 분포를 보면 확장중심과 그 근처에 선형의 대규모 분출물이 형성되어 있고, 양쪽 대륙붕 상단에는 소규모 분출물들이 존재한다. 이들 단층과 분출물은 지하 깊숙이 존재하는 트랜스퍼 (transfer) 단층의 영향을 받아 북서-남동 방향으로 수평이동 되었으며 기반암의 형태 및 퇴적양상을 변화시키고 있다. 퇴적층은 확장중심축 근처에서는 얇게 피복되어 있으나 분지 중심에서 대륙붕단까지는 썩기 형태로 두껍게 퇴적되어 있고, 대륙붕에서는 화산분출물이 있는 곳을 제외하고는 대체로 평행하게 퇴적되어 있다. 이와 같이 분지의 형태와 퇴적층의 분포는 밀접한 관련성을 보이며 확장중심축을 경계로 퇴적환경에 커다란 변화가 있었음을 알 수 있다. 브랜스필드 분지는 신생대 후기에 형성된 젊은 분지이지만 유기물이 풍부한 지질환경과 활발한 지구조운동에 결부된 높은 지열류량으로 인해 탄화수소를 충분히 성숙시킬 수 있는 조건을 가지고 있을 것으로 사료된다.

주요어 : 남극, 브랜스필드, 해구-호상-배호상 구조, 트랜스퍼 단층, 탄성파층서

Abstract : The study area is located in the Central Bransfield Basin, Antarctica. To analyze the morphology of seafloor, structure of basement, and seismic stratigraphy of the sedimentary layers, we have acquired, processed, and interpreted the multi-channel seismic data. The northwest-southeastern back-arc extension dramatically changes seafloor morphology, volcanic and fault distribution, and basin structure along the spreading ridges. The northern continental shelf shows a narrow, steep topography. In contrast, the continental shelf or slope in the south, which is connected to the Antarctic Peninsula, has a gentle gradient. Volcanic activities resulted in the formation of large volcanos and basement highs near the spreading center, and small-scale volcanic diapirs on the shelf. A very long, continuous normal fault characterizes the northern shelf, whereas several basinward synthetic faults probably detach into the master fault in the south. Four transfer faults, the northwest-southeastern deep-parallel structures, controlled the complex distributions of the volcanos, normal faults, depocenters, and possibly hydrocarbon provinces in the study area. They have also deformed the basement structure and depositional pattern. Even though the Bransfield Basin was believed to be formed in the Late Cenozoic (about 4 Ma), the hydrocarbon potential may be very high due to thick sediment accumulation, high organic contents, high heat flow resulted from the active tectonics, and adequate traps.

Key Words : Antarctica, Bransfield, trench-arc-backarc system, transfer fault, seismic stratigraphy

서 언

남극 대륙은 지구상에서 가장 혹심한 자연환경 때문에 개척되지 않고 남아 있는 유일한 대륙으로 이미 1940년대부터 많은 선

진국들이 연구를 시작하였으며 1957/58년 국제지구물리학의 해 이후 본격적인 연구와 탐사가 진행되었다. 남극은 대륙과 주변해역이 지닌 과학적 중요성, 막대한 양의 부존자원, 그리고 지구환경보존 측면에서의 중요성이 부각되어 현재 약 20여개 국가가

한국해양연구소 해양지질연구부 (Marine Geology & Geophysics Division, Korea Ocean Research & Development Institute, Ansan P.O. Box 29, Seoul 425-600, Korea)

* 한국해양연구소 극지연구부 (Polar Research Center, Korea Ocean Research & Development Institute, Ansan P.O. Box 29, Seoul 425-600, Korea)

**강원대학교 지질학과 (Department of Geology, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea)

상설기지를 설치하여 운영하고 있다.

남극 대륙의 주변 대륙붕은 아프리카, 남미, 호주 대륙의 거대 유전과 지사학적 성인이 거의 유사한 대규모 퇴적분지들을 포함하고 있으므로 석유 및 천연가스 자원의 부존 가능성이 매우 높다 (John, 1990). 현재까지 수행된 선진 각국의 탐사결과에 의하면 석유부존 유망지역은 로스해 (Ross Sea), 웨델해 (Weddell Sea), 윌크스랜드 (Wilkes Land), 브랜스필드 분지 (Bransfield Basin), 프리즈만 (Prydz Bay), 라센 분지 (Larsen Ice Shelf) 등이며, 지난 40여년간 구미 선진국들의 조사활동이 이들 지역에 집중되었다 (John, 1990). 가장 많은 조사가 수행된 지역은 퇴적층의 두께가 최대 7 km인 로스해 지역이다. 이 지역에서 개발이 이루어질 경우 향후 30년 동안 연간 1.44억 배럴을 채유할 것으로 예상되어, 미국, 일본, 이태리, 러시아가 이미 탄성파탐사를 실시했다. 다음으로 유망한 지역은 웨델해 지역으로 약 3 km 두께의 퇴적분지가 발달해 있고, 독일, 러시아, 일본, 노르웨이가 조사를 수행하였다. 브랜스필드 (Jeffers and Anderson, 1990)와 라센 분지도 미국, 영국, 이태리, 일본, 중국, 폴란드, 브라질 등의 국가가 지구물리 조사를 수행하고 있는 유망한 지역이다. 1992년까지 남극 대륙붕 지역에서 12개국이 획득한 탄성파탐사 자료는 총 135,900 km로 집계되고 있다 (John, 1990).

남극 반도 (Antarctic Peninsula)와 남셰틀랜드 군도 (South Shetland Islands) 사이에는 남셰틀랜드 해구의 섭입작용 결과로 확장 지구조운동에 의해 형성된 배호상분지 (back-arc basin)인 브랜스필드 분지가 위치한다 (그림 1). 브랜스필드 분지는 신생대 후기에 이르러서야 형성된 것으로 추정되는 극히 짧은 지질역사 (약 4백만년 전)를 가진 퇴적분지이다 (Barker, 1982; Barker and Dalziel, 1983; Gonzalez-Ferran, 1985; Parra *et al.*, 1988; Gamboa and Maldonado, 1990; Birkenmajer, 1992; Jeffers *et al.*, 1994; Maldonado *et al.*, 1994). 이 분지는 전형적인 해구-호상-배호상 구조 (trench-arc-backarc system)의 한 부분으로서 독특한 지구조 운동과 분지 형성과정, 높은 탄화수소 부존 가능성 때문에 많은 나라들이 남극 대륙에서 가장 활발하게 조사하고 있는 지역이다.

브랜스필드 분지는 북서-남동 방향으로 향하는 2개의 파쇄대 (Hero and Shackleton Fracture Zones; 그림 1)에 의해 나뉘어져 있다 (Gamboa and Maldonado, 1990). 남셰틀랜드 군도 북부에 위치한 파쇄대 (Hawkes, 1981)의 연장선으로 추정되는 트랜스퍼 단층은 열개 (rift)가 일어나기 전에 기반암을 수평이동시킴으로써 변형시키며, 또한 지각변형 후의 퇴적양상 (post-rift deposition)에도 영향을 준다 (Huh, 1995). 또한 이러한 트랜스퍼 단층을 경계로 서로 상이한 화산활동, 단층형태 및 퇴적작용을 야기시킨다. 따라서 분지 내의 단층구조, 화산분출물 분포, 퇴적양상에 대한 연구는 이들에 영향을 미친 트랜스퍼 단층을 규명하는데 필수적이나, 브랜스필드 분지에서 트랜스퍼 단층 등의 상세한 지질구조는 연구가 되어 있지 않다.

브랜스필드 해협은 크게 3개의 소분지 (서부, 중앙 및 동부)로 나뉘는데, 그 중 수심이 가장 깊은 중앙지역에서 다중채널 탄성파탐사를 실시하였다 (그림 2). 본 연구에서는 새로 획득한 탄성파 자료를 통해 브랜스필드 중앙분지의 생성과 관련된 지구조운

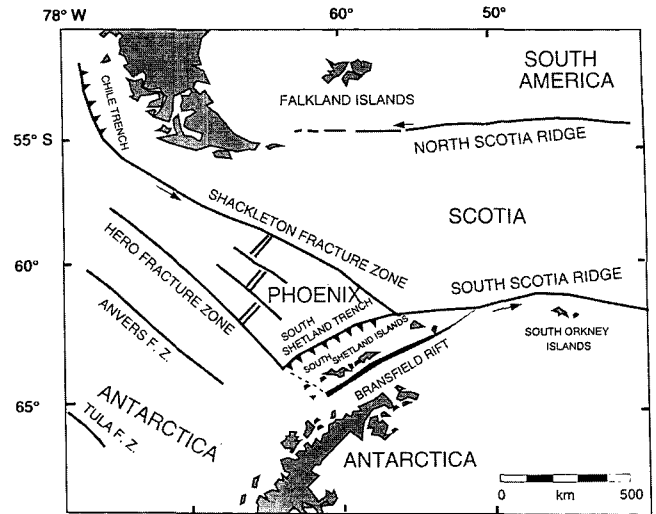


Fig. 1. Tectonic setting of Scotia Arc region and northern Antarctic Peninsula from Jeffers and Anderson (1990). Box represents the study area.

동, 분지의 해저지형 및 지체구조, 퇴적물의 분포와 특성, 그리고 탄성파층서 등을 규명하고자 한다. 또한 이를 종합하여 근원암, 저류암, 덮개암 및 석유 저장구조 (trap) 등의 석유 지질학적 관점에서 퇴적층들을 분석함으로써 석유부존 가능성에 대한 중요한 자료를 제공하고자 한다.

조사해역 및 다중채널 탄성파탐사 자료

“남극 해저지질 조사사업”의 제 1차년도 사업으로 1994년 12월에 수행한 남극 현장조사에서는 브랜스필드 해협의 중앙분

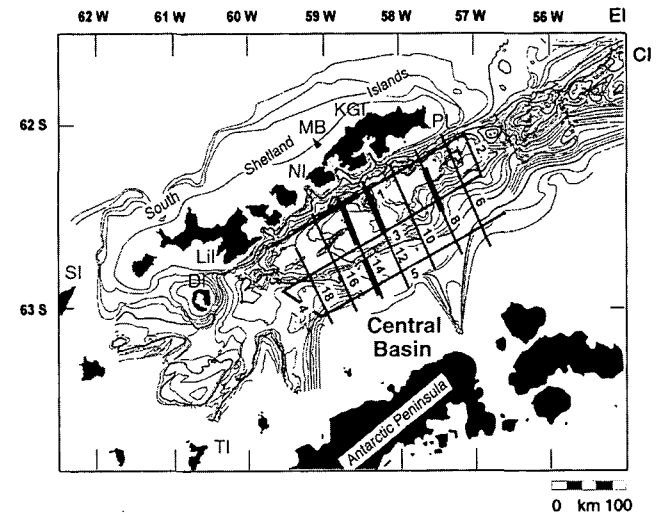


Fig. 2. Location of multichannel seismic lines in the Central Bransfield Basin, Antarctica. Bold lines indicate the location of seismic lines used in this study. The contour intervals of bathymetry are 100 meters. BI-Bridgeman Island; CI-Clarence Island; DI-Deception Island; EI-Elephant Island; KGI-King George Island; LI-Livingston Island; MB-Maxwell Bay; NI-Nelson Island; PI-Penguin Island; SI-Smith Island; TI-Trinity Island.

지 및 세종기지 인근의 맥스웰만 (Maxwell Bay)에서 다중채널 탄성파탐사를 실시하였다 (그림 2). 남미와 남극 주위의 태평양 연안에 형성된 대륙주변부 분지 중 가장 최근에 발달한 브랜스필드 해협의 중앙분지 경계는 북동 방향으로 엘리펀트섬 (Elephant Island) 근처이고 남서로는 보이드해협 (Boyd Strait)이다. 또한 최근에 있었던 디셉션섬 (Deception Island)에서의 화산활동과 브랜스필드 해협의 높은 지열류량은 확장운동이 지금도 계속되고 있음을 암시한다 (Sanders and Tarney, 1982).

현장조사를 위하여 러시아 해양지질 및 지구물리 전용조사선이며 내빙선인 R/V "Yuzhmoregeologiya" 호를 사용하였다. 12 채널 스트리머 (streamer)를 이용하여 총 19개 측선으로 이루어진 1,040 km의 탄성과 자료를 획득하였다.

결과 및 토의

해저지형

브랜스필드 중앙 퇴적분지에서 탄성과 자료의 해석 결과에 의하면 전체적으로 남쉐틀랜드 군도쪽의 북서쪽 사면은 경사가 심하고 남극 반도쪽의 사면은 경사가 완만한 비대칭적인 모습을 하고 있다 (그림 2 and 3). 분지 생성시 형성된 해양지각 (Barker and Austin, 1994)은 가파르게 경사진 북쪽 사면에서는 대륙사면 직하부에 위치하고, 완만한 남동쪽 사면에서는 대륙붕에서 멀리 떨어져 수심 1,500 m 정도에서 나타난다. 해저면 (sea-floor) 지형은 해양지각 내의 심부 기반암 형태에 의해 크게 좌우되어 북서쪽 사면은 확장중심까지의 거리가 상대적으로 좁아 분지의 폭이 남쪽 분지에 비해 좁다.

화산분출물

탄성과 단면도는 브랜스필드 해협을 따라 발달한 확장중심 (spreading center)의 형태 변화를 잘 보여준다. 화산분출물 상태를 알 수 있는 분출물 도면 (volcanic diapir map)에 의하면 확장

중심과 그 근처에 대규모 분출물이 위치하고, 대륙붕 내에 화산체 관입에 의한 소규모 분출물이 존재한다 (그림 4).

해저화산 (seamount)의 형태를 띤 대규모 해령 (ridge)과 기반암 상승부 (basement high)를 구성하고 있는 심부 화산체 (그룹 II)는 해양지각 위에 존재한다. 그룹 II에 나타나는 지하 깊숙한 대규모 화산분출물 형태의 기반암 상승부들은 해령의 남쪽에 위치하며 해저확장과 관련된 분출물이다. 특히 중앙분지 왼쪽에 약 800 m 높이의 거대한 해저화산이 솟아 있는데, 이 확장중심은 중앙분지에서 가장 큰 오르카 화산 (Orca volcano; 그림 5; Gonzalez-Ferran, 1991)이다. 오르카 화산은 남쪽으로 기반암 상승부에 연장되어 수직낙차가 큰 여러개의 정단층들을 형성하였으며, 북쪽면은 매우 가파른 경사를 보인다.

브랜스필드 해협의 확장에 수반된 플라이오세에서 최근까지의 화산작용은 디셉션섬, 브리지먼섬 (Bridgeman Island), 펑귄섬 (Penguin Island), 킹조지섬 (King George Island) 및 리빙스턴섬

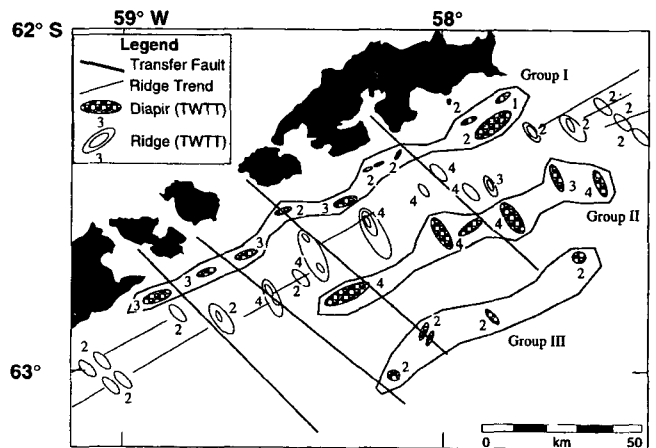


Fig. 4. Top of intrusive volcanic diapirs with transfer faults. Numbers in volcanic bodies are TWTT (two-way travel time in seconds). Group I and III are located in the continental shelf, whereas Group II in the oceanic crust.

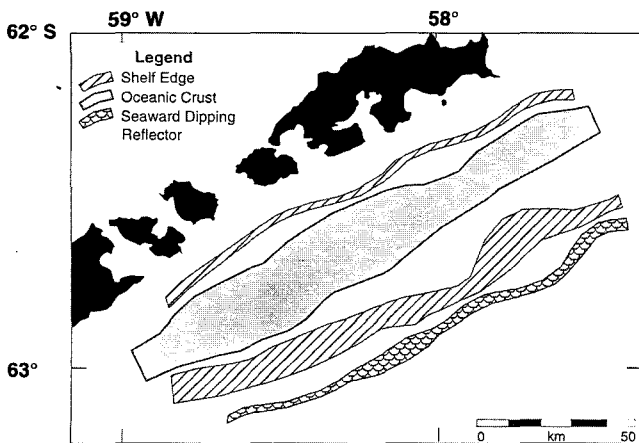


Fig. 3. Geologic map of major features in the Central Bransfield Strait. The northern continental shelf is narrower than the southern shelf. Note the seaward dipping reflectors along the southern shelf.

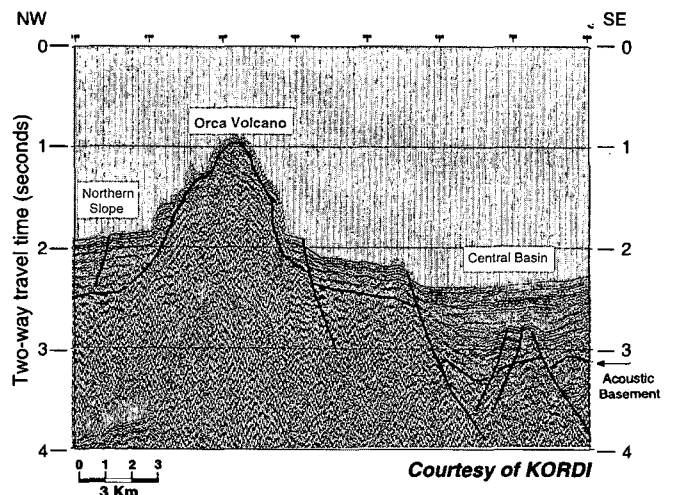


Fig. 5. Seismic section with Orca Volcano (Line 12). Location of seismic line is in Fig. 2.

(Livingston Island) 등을 형성하였고 (Saunders and Tarney, 1982), 또한 그룹 I과 III 같이 상부 퇴적층까지 상승한 소규모 화산분출물을 만들었다. 이러한 소규모의 화산분출물은 탄성파단면도 상에서 1초 근처까지 상승하였으며 대륙지각 위의 대륙봉 내에 존재하고 있다. 남단 대륙봉에는 해양쪽 경사 반사면 (seaward dipping reflectors; 그림 6)이 나타나는 북쪽 방향으로 그룹 III의 소규모 화산분출물이 관찰된다.

분지 축을 따라 잘 발달된 해령은 트랜스퍼 단층을 따라 형태와 위치가 급격히 변한다 (그림 4). 해협을 북서-남동 방향으로 가로지르는 대규모 트랜스퍼 단층의 영향에 따라 단면도상에 확장중심의 모습이 보이지 않고 분지 중심부에 넓은 분지만 나타나기도 하는데, 이러한 곳은 트랜스퍼 단층이 기반암을 수평이동시키며 변형시켜 확장중심에 대응시킬만한 뚜렷한 기반암 상승부가 보이지 않을 수도 있다 (그림 4 and 7). 이와 같이 확장중심의 위치와 분지의 형태는 밀접한 관련성을 보이며, 트랜스퍼 단

층을 경계로 퇴적환경이 급격히 변화한다.

단층

브랜스필드 분지 내에 존재하는 단층형태 및 분포에 대한 연구는 전무하므로 연구지역인 브랜스필드 중앙분지에서 단층도면 (fault map)을 작성하였다 (그림 8). 탄성파자료가 12 채널이고 축선 간격이 너무 넓어 연속성에 문제가 있지만 기반암과 퇴적층에 비슷한 영향을 미치는 단층들을 선택하였다. 분지가 배호상확장에 의해 형성되었으므로 단층이 심부까지 연결되어 있으리라 추정되지만 탄성파단면에는 명확하게 나타나 있지 않다 (그림 7).

단층도면을 보면 북쪽 대륙봉은 연속성이 좋은 한 개의 정단층으로 구성되어 있고 남쪽 대륙봉은 여러 개의 정단층들이 거의 일정한 간격으로 중첩되어 있다 (그림 8). 플라이오세에서 최근까지의 화산활동에 수반 (Saunders and Tarney, 1982)되어 남쉐틀랜드 군도에 위치한 북동-남서 방향의 긴 정단층은 가파른 북서 사면에서 분지쪽으로 형성되었다. 남쪽 대륙봉 내에 조밀하게 발달된 정단층들은 브랜스필드 분지가 확장 지구조운동에 의해 형성되었음을 나타내는 중요한 증거이며, 정단층들은 분지가 형성되는 시기에 기반암에 생성되어 퇴적암이 집적될 당시의 화산활동 등의 소규모 지구조운동에 의해 재활성되면서 기반암과 퇴적층을 심하게 교란하고 있다 (그림 7).

단층들은 대체로 분지중앙쪽으로 형성되어 있지만 해령 근처 남쪽에 위치한 2개의 정단층은 남쪽을 향하고 있다. 이 단층들은 해령 생성 당시에 해령에 부착되어 형성된 단층일 것으로 사려된다 (그림 7 and 8). 분지의 정단층들은 해협을 가로질러 가는 대규모 트랜스퍼 단층에 의해 그 형태나 위치를 달리하고 있다.

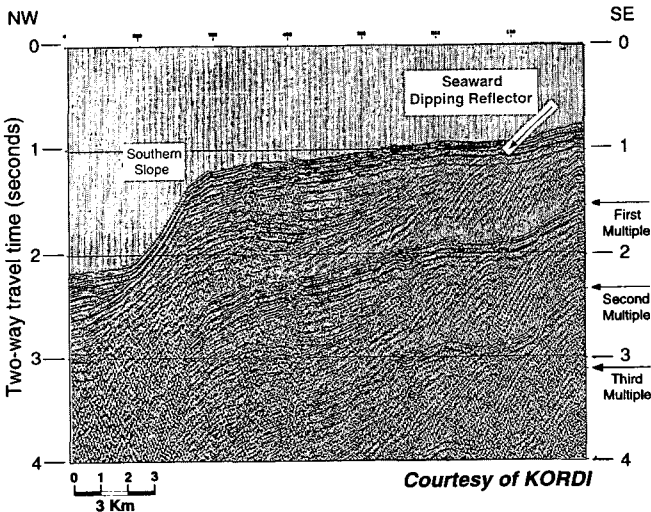


Fig. 6. Seismic section with seaward dipping reflector (Line 14; lower). Location of seismic line is in Fig. 2.

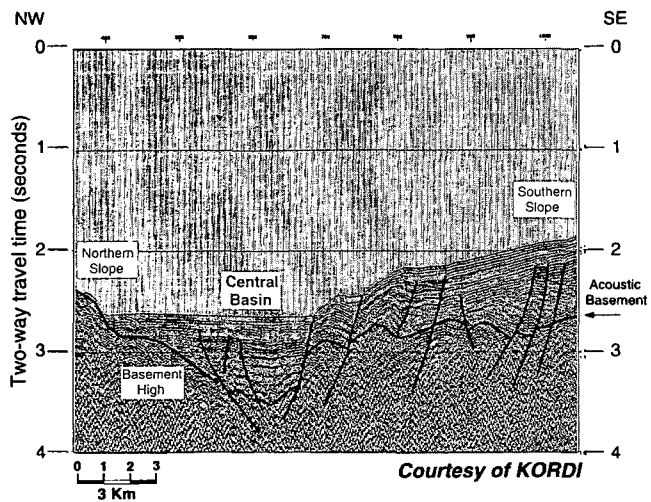


Fig. 7. Seismic section with normal faults (Line 8). Location of seismic line is in Fig. 2.

해양쪽 경사 반사면

확장 지구조운동의 증거로서 남쪽 대륙봉 전 지역에 나타나는 해양쪽 경사 반사면은 분지가 확장하기 시작할 때, 대륙지각이 깨져 나갈 당시 화산암과 화산쇄설물들이 삽입되어 형성된 층이다 (Gamboa and Maldonado, 1990). 이 반사면들은 남쪽 대륙봉에서만 관측되며, 해양쪽으로 경사지고 (그림 3), 5 km의 폭으로 탄성파단면도에서 뚜렷한 빗금 형태를 띄고 있다 (그림 6).

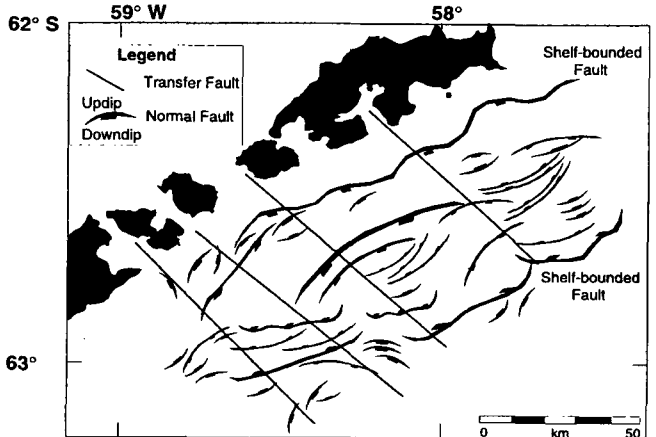


Fig. 8. Fault map with transfer faults in the Central Bransfield Basin.

탄성과층서

브랜스필드 분지의 지질과 시대를 알 수 있는 자료는 킹조지 섬의 노두와 분지에서 남동쪽으로 약 1,300 km 떨어진 DSDP 325공이 전부이다 (Anderson *et al.*, 1990). 이에 의하면 브랜스필드 퇴적분지는 신생대 후기에 형성된 배호상 분지로서 육상기원, 화산기원, 빙하기원, 해양생물기원 퇴적물이 복합적으로 혼합되어 있는 비교적 젊은 퇴적층으로 구성되어 있다.

브랜스필드에서 획득된 탄성과 탐사자료는 12 채널이기 때문에 퇴적반사면을 명확하게 보여주지는 못하지만, 불연속면을 통해 이 지역에 분포하고 있는 퇴적층을 크게 두 유형의 퇴적상으로 분류할 수 있는데 고해수면 (간빙기) 퇴적상 (highstand sediment; Jeffers and Anderson, 1990)과 빙하기동안 형성된 것으로 보이는 저해수면 퇴적상 (lowstand sediment)이다. 탄성과 단면에서 S₁과 S₃층은 대체로 연속적이고 평행한 반사면을 보이고, S₂와 S₄층은 전진형 퇴적상 (prograding reflector)이나 불연속적인 강한 반사면으로 나타난다 (그림 9). 이는 해수면 및 기후 변화에 따른 빙하의 성장, 후퇴에 의해 퇴적상이 교호하여 나타나며 (그림 9) 특히 대륙붕과 대륙사면 환경에서는 화산 쇄설물과 빙하기원 퇴적물이 퇴적층의 대부분을 구성하게 되었다.

해수면이 낮은 시기 동안의 하상-해양 (fluvio-marine) 환경 (그림 9의 S₂와 S₄층)에서 저수위 해저면 선상지 (basin floor fan; Vail and Wornardt, 1991)와 저수위 췌기형 퇴적체 (lowstand prograding complex)가 대륙붕을 지나 대륙붕단 부근의 깊게 파여진 골 (trough)을 따라 대양저에 퇴적되었을 것이다. 저수위 해저면 선상지는 저해수면 퇴적상 (S₂) 하부에 강한 두 개의 반사면으로 구성되며 양쪽 방향으로 아래걸침 (downlap)하고 있다 (그림 10). 골에 의해 형성된 췌기모양의 퇴적체는 분지 중심을 향해 전진 (prograding)하며 반사면이 잘 나타나지 않는 (transparent) 층이 확장중심에 위걸침 (onlapping)한다. 이 저탁암 (turbidite)층은 현생 원양성 퇴적층에 의해 덮여있다 (Jeffers and Anderson, 1990). 저탁암은 골의 분지 중앙쪽 출구 부분에서 전진 퇴적양상을 보이던 급경사의 퇴적체가 질량류 (mass flow)

의 일종인 함몰 (slump), 미끄럼사태 (slide), 쇄설류 (debris flow)에 의해 대양저에 재퇴적된다.

그러나 간빙기 동안 (그림 9의 S₁과 S₃층)에는 규조류 기원의, 유기물이 풍부한 세립 퇴적층이 빠르게 축적되었다 (Jeffers and Anderson, 1990). 육성기원의 저탁암 퇴적층은 거의 일정한 층후를 유지하면서 넓은 지역을 덮고 있는 강한 반사면으로써 대표되며, 원양성 퇴적층은 다소 불연속적이고 약한 반사면으로 구성되어 있으면서 사면을 얇게 덮고 있다.

트랜스퍼 단층

브랜스필드 해협에 나타나는 화산분출물 분포, 확장중심 축이 어긋나 있는 형태 및 단층 모양의 변화로부터 해협을 횡단하는 트랜스퍼 단층들의 위치를 찾아낼 수 있다 (그림 3, 4 and 7). 본 연구를 통해서 발견된 4개의 트랜스퍼 단층은 북서-남동 방향으로 교차하면서 심부에 위치한 기반암을 이동시킴으로써 분지의 형태를 변형시키므로, 이 지역을 지나는 대규모 심부 수평이동 구조 (deep-parallel structure)는 퇴적양상, 석유부존 지역 및 매장량에 영향을 미칠 것이다 (그림 3, 4 and 7; Huh, 1995).

석유부존 가능성

근원암: 브랜스필드 퇴적분지는 심부시추 자료가 없고 탄성과탐사 자료를 포함한 지구물리탐사 자료도 미흡하여, 본 연구에서 해석된 탄성과단면과 기존에 발표된 자료를 종합하여 분지 내에 석유부존 가능성을 타진하고자 한다. 특히 킹조지섬 근처의 해저면 표층 시추코아에서 취득한 현생 미고화 퇴적물로부터 열성숙에 의한 탄화수소가 발견되어 (Whiticar *et al.*, 1985), 석유 지질학적 관점에서 탄화수소를 부존할 수 있는 가능성이 상당히 높은 것으로 판단된다.

분지 내에 분포하는 퇴적층을 살펴보면 간빙기 (highstand sediments)에는 해양저에 쇄설성 퇴적물의 유입이 거의 없고 생물기원 퇴적물인 규조가 주를 이룬다 (Jeffers and Anderson, 1990). 또한 유기물 함량도 2% 이상 포함되어 있고 그 수평분포는 매우 넓다 (Demaster *et al.*, 1987). 또한 브랜스필드 퇴적분지는 주변의 육상 및 해저에서 화산활동이 활발하고, 최근까지도 열개가 진행되었던 점 (Sanders and Tarney, 1982)으로 미루어 보아 다른 분지의 평균 지각열류량보다 훨씬 높은 값을 가질 것이다.

유기물이 풍부한 근원암 가능층은 지질학적으로 젊고 상대적으로 매몰 깊이가 얕음에도 불구하고, 이곳에서 산출된 탄화수소가 열적으로 상당히 성숙된 심부 지층의 유기물로부터 생성되어 단층면을 따라 표층으로 이동되었음을 보여주고 있다 (Whiticar *et al.*, 1985). 이 가스는 높은 지온상승률 때문에 유기물의 숙성단계에서 보면 건성가스 생성단계 (catagenesis)의 후반부에 도달 (Whiticar *et al.*, 1985)해 있어, 근원암 내에서 생성된 원유는 가까운 저류암층으로 일차적인 이동을 완료했을 것으로 추정되며, 현재는 습성가스가 형성되는 단계에 도달해 있는 것으로 해석된다.

저류암: 브랜스필드 퇴적분지는 짧은 기간 동안 간빙기와 빙하

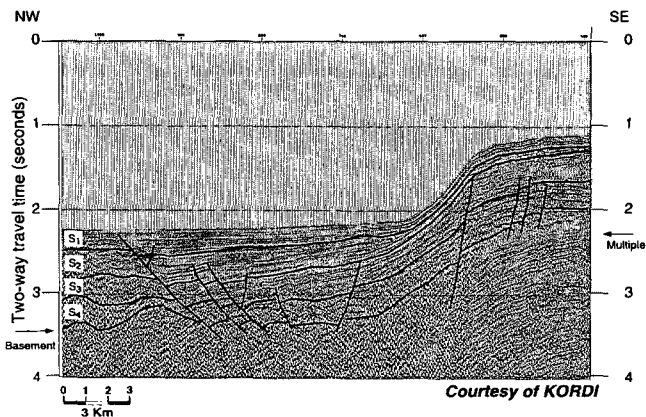


Fig. 9. Sequence stratigraphic interpretation of seismic profile with 2 sequences (Line 14; upper). S₁ and S₃ will represent highstand sediments, and S₂ and S₄ lowstand sediments. Location of seismic line is in Fig. 2.

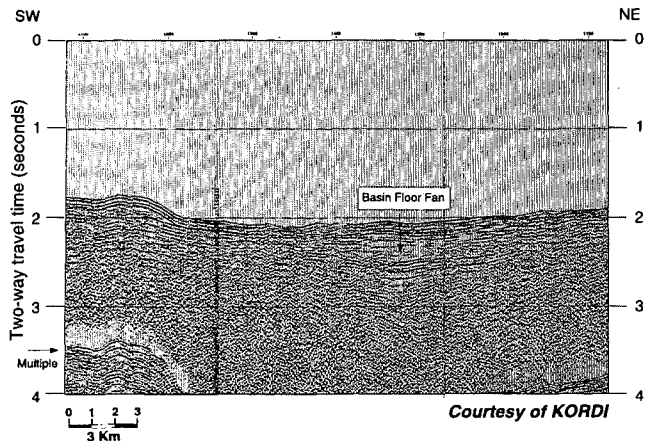


Fig. 10. Seismic section with basin floor fan (Line 1). Location of seismic line is in Fig. 2.

기가 주기적으로 반복되면서 빙하기 (lowstand sediments)에는 대기에 노출된 대륙붕 해역에 빙하에 의한 기저 퇴적물 (basal till)을 형성했다 (Jeffers and Anderson, 1990). 빙하기에 침식·이동을 통해 축적되었던 퇴적물이 간빙기에는 높아진 해수면 때문에 해수면하에 놓이게 되어 해류와 파도의 재동작용 (winnowing)으로 잔류퇴적물 (residual glacial-marine sediments)을 구성하고 있다 (Anderson et al., 1983). 이러한 퇴적물은 간빙기에 계속적인 재동을 받아 분급이 좋은 조립의 해저사구를 형성할 가망성이 커 저류암으로서의 역할을 할 것이다.

다른 저류암 가능 퇴적상으로는 빙하기 동안 대륙붕의 골이나 만을 통해 곡빙하에 의해 대륙사면에까지 운반·퇴적된 조립질 해저면 선상지 (그림 9)와 저수위 쉼기형 퇴적체이다. 또한 저탁류에 의한 퇴적층은 생물기원의 세립질 퇴적층과 호층을 이루게 되는데, 사면에서 해류에 의한 재동 정도에 따라 퇴적물의 성숙도 (maturity)가 달라져 양호한 저류암체로서의 역할을 담당할 수 있다.

덮개암: 브랜스필드 퇴적분지의 경우 덮개암의 역할을 담당할 수 있는 퇴적층은 빙하나 화산기원의 쇄설성 세립 퇴적층과 해양저에 주로 쌓이는 생물기원 세립 퇴적층을 들 수 있다 (Jeffers and Anderson, 1990). 저류암층 가능성이 높은 대륙붕의 잔류퇴적물의 경우에는 빙하 용융수를 통해 육지에서 공급된 세립질 퇴적물에 의해, 해양저 저탁암층의 경우에는 주변의 생물기원 세립 규질 퇴적물에 의해 둘러싸여 있어, 두 곳 모두 양호한 덮개암에 의해 덮여있을 것으로 평가된다 (Jeffers et al., 1991).

브랜스필드 퇴적분지에는 활발했던 해저확장의 영향으로 형성된 정단층군 (synthetic fault, antithetic fault, rollover anticline 등)의 상반과 하반, 화산체 관입에 의한 기반암 상승부 주변의 구조 (draped fold) 등이 석유를 저장할 수 있는 구조다 (그림 7 and 10). 그리고 열개 당시의 퇴적층 (syn-rift fill sediment)과 연관되어 있는 부정합구조 (unconformity trap)와 투수율 장벽 (permeability barrier)에 의한 층서구조 (pinch-out)가 대륙붕 및 해양저에 분포할 것으로 사려된다.

결론

중앙분지에서 획득한 탄성과 자료에 의하면 확장중심축을 경계로 분지의 형태가 크게 달라져서 북쪽 대륙붕은 급격한 경사를 보이는 반면, 남쪽 대륙붕은 완만한 경사를 보인다. 본 연구를 통해서 처음으로 브랜스필드 중앙분지에서 단층도면과 화산분출물 분포도를 도식화시킴으로써 상세한 지질구조를 밝힐 수 있었고 이들이 수평적으로 어긋나 있는 모습으로부터 트랜스퍼 단층을 찾을 수 있었다.

화산분출물 분포를 보면 확장중심과 그 근처에 선형 형태의 대규모 분출물이 위치하고, 대륙붕 상단에는 화산체 관입에 의한 여러 개의 소규모 분출물이 존재한다. 단층도면 상에서 북쪽 대륙사면은 낙차가 크고 연속성이 좋은 한 개의 긴 정단층으로 구성되고, 남쪽 대륙사면은 여러 개의 정단층이 거의 일정한 간격으로 조밀하게 배열된 분포를 보인다. 남쪽 대륙붕 지역에 나타나는 해양쪽 경사 반사면은 분지가 확장하기 시작할 때, 대륙부가 깨져나갈 당시의 화산암과 화산쇄설물이 교대하면서 형성된 층으로 해석할 수 있다.

확장 지구조운동에 의해 형성된 정단층과 분출물은 지하 깊숙이 존재하는 트랜스퍼 단층의 영향을 받아 퇴적양상 및 기반암의 형태에 영향을 미치고 있다. 브랜스필드 해협에 나타나는 분출물 및 단층 모양의 변화로부터 해협을 횡단하는 4개의 트랜스퍼 단층의 위치를 확인할 수 있다.

브랜스필드 분지는 유기물이 풍부한 퇴적층과 활발한 지구조 운동에 결부된 높은 지열류량으로 인해 탄화수소를 충분히 숙성시킬 수 있는 조건을 가지고 있다. 또한 해저확장의 영향으로 형성된 정단층의 상반과 하반, 화산체 관입에 의한 기반암 상승부, 열개 당시의 퇴적층과 연관되어 있는 부정합구조, 투수율 장벽에 의한 층서구조가 대륙붕과 해양저에 분포한다. 따라서 브랜스필드 중앙분지는 근원암, 저류암, 덮개암 및 석유 저장구조 등을 가짐으로써 석유부존 가능성이 매우 높을 것으로 사려된다.

사사

본 연구는 통상산업부 지원으로 수행된 “남극 해저지질 조사사업” (BSPG 00230-847-7)의 일부이다. 또한 강원대학교 자원개발연구소와 이 논문의 원고를 심사해 준 익명의 두 심사자에게 감사한다.

참고문헌

- 김예동 외, 1994. 남극 석유자원 조사사업. 한국해양연구소, 안산, 298p.
- Anderson, J.B., Brake, C.F., Domack, E.W., Myers, N.C. and Wright, R., 1983. Development of a polar glacial-marine sedimentation model from Antarctic Quaternary deposits and glaciological information. In: B. Molnia (Editors), *Glacial Marine Sedimentology*. Plenum Press, 233-264.
- Anderson, J.B., Pope, P.G. and Thomas, M.A., 1990. Evolution and hydrocarbon potential of the Northern Antarctic Peninsula continental shelf. In: B. St. John (Editors), *Antarctica as an ex-*

- ploration frontier-hydrocarbon potential, geology, and hazards. American Association of Petroleum Geologists Studies in Geology No. 31, Oklahoma, 1-12.
- Barker, P. F., 1982. The Cenozoic subduction history of the Pacific margin of the Antarctic Peninsula: Ridge crest-trench interactions. *J. Geol. Soc. London*, 139, 787-801.
- Barker, D.H.N. and Austin, Jr., J.A., 1994. Crustal diapirism in Bransfield Strait, West Antarctica: Evidence for distributed extension in marginal-basin formation. *Geology*, 22, 657-660.
- Barker, P. F. and Dalziel, I.W.D., 1983. Progress in geodynamics in the Scotia Arc region. In: R. Cabre (Editors), Geodynamics of the eastern Pacific region, Caribbean and Scotia Arcs. AGU, Denver, 137-170.
- Birkenmajer, K., 1992. Evolution of the Bransfield basin and rift, West Antarctica. In: Y. Yoshida, K. Kaminuma and K. Shiraishi (Editors), Recent Progress in Antarctic Earth Sciences. TERRAPUB, Tokyo, 405-410.
- Demaster, D.J., Nelson, T.M., Nittrouer, C.A. and Harden, S.L., 1987. Biogenic silica and organic carbon accumulation in modern Bransfield Strait sediment. *Antarctic Journal of the United States*, 22, 108-110.
- Gamboa, L.A. and Maldonado, R., 1990. Geophysical investigations in the Bransfield Strait and in the Bellingshausen Sea-Antarctica. In: B. St. John (Editors), Antarctica as an exploration frontier-hydrocarbon potential, geology, and hazards. American Association of Petroleum Geologists Studies in Geology No. 31, Oklahoma, 127-141.
- Gonzalez-Ferran, O., 1985. Volcanic and tectonic evolution of the northern Antarctic Peninsula-Late Cenozoic to Recent. *Tectonophysics*, 114, 389-409.
- Gonzalez-Ferran, O., 1991. The Bransfield rift and its active volcanism. In: J.W. Thomas (Editors), Geological Evolution of Antarctica. Cambridge University Press, Cambridge, 505-509.
- Hawkes, D.D., 1981. Tectonic segmentation of the northern Antarctic Peninsula. *Geology*, 9, 220-224.
- Huh, S., 1995. Structure and Seismic Stratigraphy of the Brazos, Galveston, and High Island OCS Areas, Gulf of Mexico and Palinspastic Reconstruction of the Corsair Fault. PhD Thesis, Texas A&M University, 259p
- Jeffers, J.D. and Anderson, J.B., 1990. Sequence stratigraphy of the Bransfield Basin, Antarctica: Implication for tectonic history and hydrocarbon potential. In: B. St. John (Editors), Antarctica as an exploration frontier-hydrocarbon potential, geology, and hazards. American Association of Petroleum Geologists Studies in Geology No. 31, 13-29.
- Jeffers, J.D., Anderson, J.B. and Lawver, L.A., 1994. Evolution of the Bransfield basin, Antarctic Peninsula. In: M.R.A. Thomson, J. A. Crame and J.W. Thomson (Editors), Geological Evolution of Antarctica. Cambridge University Press, Cambridge, 481-485.
- John, B., St., 1990. Antarctica as an exploration frontier-hydrocarbon potential, geology, and hazards. American Association of Petroleum Geologists Studies in Geology No. 31, 154p.
- Maldonado, A., Larter, R.D. and Aldaya, F., 1994. Forearc tectonic evolution of the South Shetland Margin, Antarctic Peninsula. *Tectonic*, 13, 1345-1370.
- Parra, J.C., Yanez, G. and USAC working Group, 1988. Aeromagnetic survey of the Antarctic Peninsula and surrounding seas: integration of the data obtained at different altitudes. *Serie Cientifica del Instituto Antartico Chileno*, 38, 118-131.
- Saunders, A.D. and Tarney, J., 1982. Igneous activity in the southern Andes and northern Antarctic Peninsula: A review. *J. Geol. Soc. London*, 139, 691-700.
- Vail, P.R. and Wornardt, W.W., 1991. An integrated approach to exploration and development in the 90's: well-log seismic sequence stratigraphy and integrated tools for the 90's. *GCAGS Transactions*, 41, 630-650.
- Whiticar, M.J., Suess, J.E. and Wehner, H., 1985. Thermogenic hydrocarbons in surface sediments of the Bransfield Strait, Antarctic Peninsula. *Nature*, 314, 87-90.