

아르헨티나 북서분지의 석유타랩 특성

고재홍¹, 오재호², 김종영³

- 1) 연세대학교 자연과학연구소
- 2) 한국자원연구소 석유·해저자원연구부
- 3) 주식회사 동원

아르헨티나의 북서분지 (Fig. 1)는 한국의 해외 유전개발에 있어서 중요한 위치를 차지한다. 주식회사 동원은 아르헨티나의 Compania General de Combustibles와 CNO-1 광구의 탐사 및 개발을 진행중이며, 최근 단독으로 북서분지의 6개 탐사광구를 입찰, 획득하여 직접 운영권을 행사하고 있다. 또한 석유개발공사를 비롯한 국내기업들의 Consortium은 Palmar Largo 생산광구의 운영에 참여하고 있다.

본 연구는 기존의 시추자료, 탄성과 단면, 구조도 등을 이용하여 북서분지의 기생산, 개발 유전의 석유타랩 특성을 분석하였다.

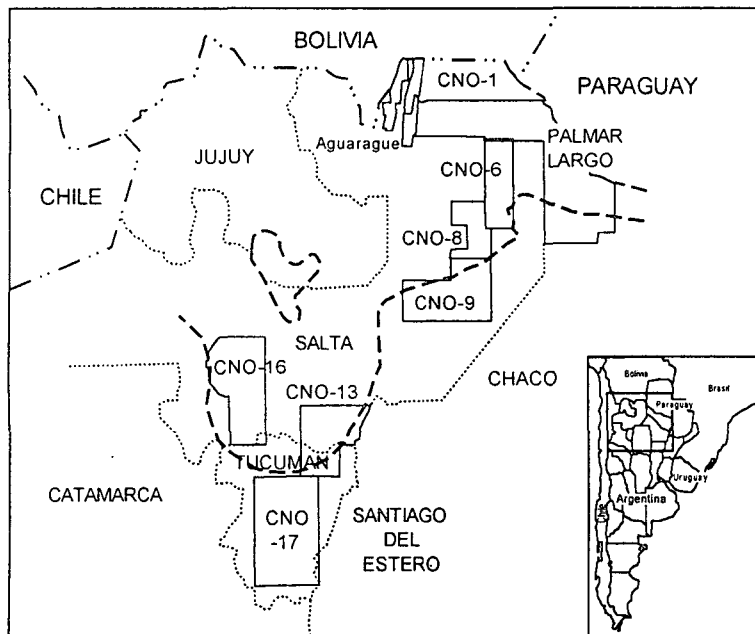


Fig. 1. Northwest Basin, Argentina and areas of interest. The heavy dashed line delineates the Northwest Basin.

북서분지의 지질

남미의 조구조는 전형적인 Andean style로 전호, 화산호, 드러스트-습곡대, 전지분로 구분된다 (Fig. 2). 북서분지는 드러스트-습곡대의 전단과 전지분에 위치한다. 분지는 선 캄브리아기로부터 제4기까지의 퇴적층으로 구성되며, 최대 두께가 10 km에 이른다. 분지는 각기 그 특징과 기원이 다른 다음 4개의 중첩된 퇴적 분지 (successor basin)로 나뉜다: 선 석탄기 분지, 석탄기 분지, 백악기 분지, 제3기 분지 (Fig. 3).

선 석탄기 분지는 선 캄브리아기-데본기 전기 동안 곤드와나 (Gondwana)를 형성했던 남미 대륙지괴의 안정 대륙붕에 퇴적된 천해성 퇴적물로 이루어져 있으며 북서분지에서 가장 높은 탄화수소 잠재능력을 보인다. 주 저류층은 데본기의 Huamampampa와 Santa Rosa층이며, Los Monos와 Icla층이 덮개암 역할을 한다 (Fig. 4). 트랩은 드러스트와 연계된 배사 구조로, 이들 구조는 북북동-남남서의 방향성을 보이는 길고 좁은 띠를 형성하고 있다 (Fig. 5).

석탄기 분지는 주로 볼리비아에 분포하며 가장 남쪽의 연장이 북서분지의 북단에 나타난다. 석탄기층은 데본기층 위에 부정합으로 놓이는데 이 부정합은 남미 남부에서 광역적으로 관찰된다. 이 부정합의 의미는 아직 명확하지 않으나 남미의 서부 margin이 passive 형태에서 active 형태로의 변화에서 비롯된 것으로 사료된다. 남미 전역에 걸쳐 분포하는 고생대 후기-중생대 전기의 magmatic arc 기원의 화성암이 고 태평양판 (paleo-Pacific plate)의 섭입이 이 시기에 시작되었음을 지시한다 (Forsythe, 1982). 고 태평양판의 섭입과 관련된 수평응력에 의한 융기로

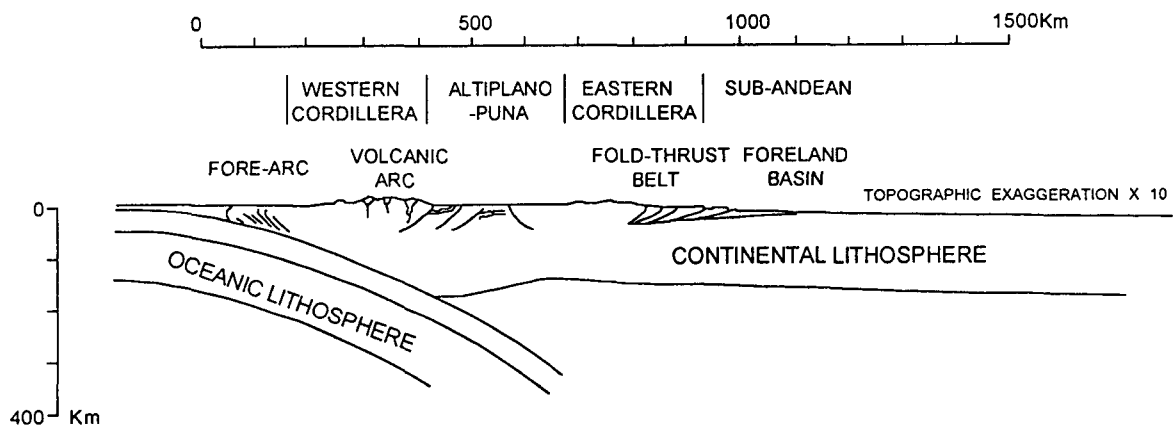


Fig. 2. A schematic cross-section showing the tectonic and corresponding geomorphological units of the Andes Mountain Belt. Modified after Dongwon and Petro America (1994; Technical Report).

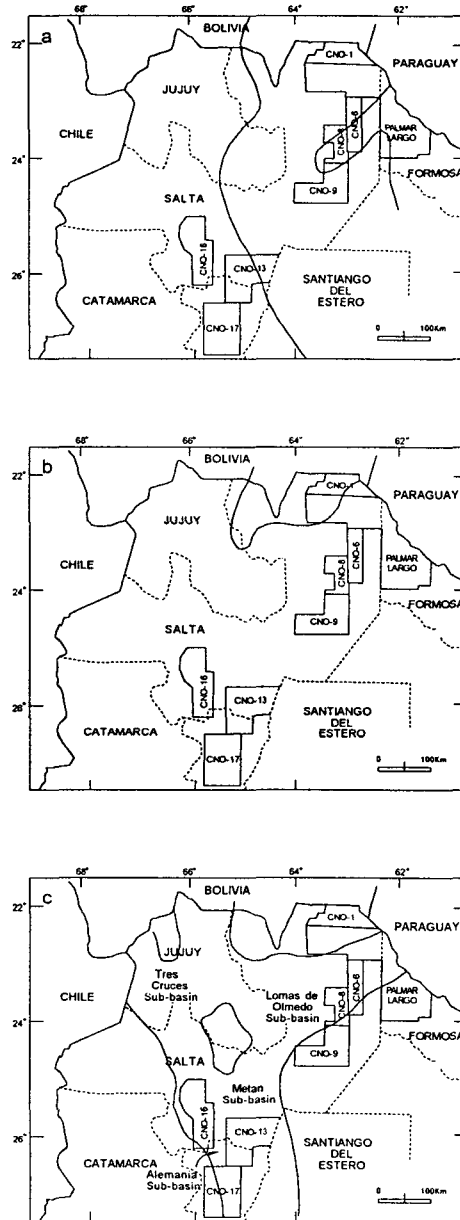


Fig. 3. Sub-basins of the Northwest Basin, Argentina. a. Pre-Carboniferous basin, b. Carboniferous basin, and c. Cretaceous basin. After Dongwon and Petro America (1994).

	Age	Lithology	Formation	Thickness m
Carboniferous		(stippled)	San Telmo	450
		(stippled)	Las Penas	200
		(triangles)	Tarija	750
		(triangles)	Itacuami	50
		(parallel dashes)	Tupambi	170
Devonian		(parallel dashes)	Iquiri	100
		(parallel dashes)	Los Monos	500
		(parallel dashes)	Huamampampa	300
		(parallel dashes)	Icla	500
		(parallel dashes)	Santa Rosa	400

Fig. 4. Devonian and Carboniferous stratigraphy of the Northwest Basin, Argentina. After Dongwon and Petro America (1994). Lithology : sandy units-stippled, muddy units -alternating parallel dashes, coarse-grained units-ellipses (conglomeratic) or triangles (angular).

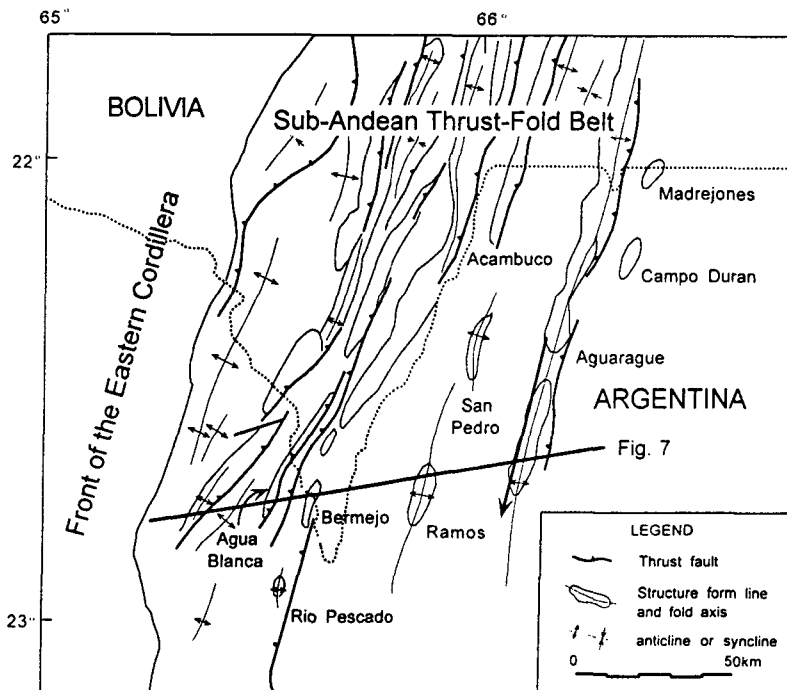


Fig. 5. Structural framework of Paleozoic oil and gas fields.

proto-Andes가 형성되기 시작하였으며 석탄기에 proto-Andes로부터 유입된 molasse성의 육상 퇴적물이 북서분지에 쌓이게 되었다. 석탄기 분지의 주 저류층은 7-18%의 좋은 공극율을 보이는 하성 (fluvial) 기원의 Tupambi층으로 Campo Duran, Madrejones, 그리고 지금은 생산이 중단된 Tonono유전의 생산층으로 확인된다.

백악기 분지는 곤드와나의 분리 (break-up)와 대서양의 생성과 관련된 내륙의 열개 (intra-continental rift)에 의하여 형성되었다 (Uliana et al., 1989). 북서분지에 위치하는 백악기의 내륙 열개분지는 고지대 (arch)에 의하여 분리되어 있는 Lomas de Olmedo, Tres Cruces, Metan, Alemania의 소분지로 구성된다. 백악기 퇴적층은 하부의 적색 충적 퇴적층 (Pirgua층군), 해침의 영향을 받은 호성 (lacustrine)의 석회암층 (Yacoraite층)을 포함하는 Balbuena층군, 하성 및 호성의 쇄설성 퇴적층과 증발암으로 이루어진 Santa Barbara층군으로 구성된다 (Fig. 6). 백악기 분지의 주 탐사대상층은 Yacoraite층으로 근원암 및 저류암을 포함하며 층간의 셰일 (shale)은 덮개암의 역할을 한다.

제3기 분지는 에오세-현재의 전지분으로 2-3km 두께의 육성의 쇄설성 퇴적물이 선 제3기 분지들을 피복하고 있다. 제3기층에서 규모있는 유전은 발견되지 않았다.

북서분지의 유전

북서분지의 확정 매장량은 오일과 콘덴세이트가 80.3 MMbbl (12.8 MMm³), 천연가스가 2,098 Bcf (59,148 MMm³), 액화가스 (LPG)가 2,904 Mmt (metric ton)이며, 예상 매장량은 613 MMbbl의 오일과 콘덴세이트, 7.1 Tcf의 가스로 추정된다 (Gaffney, Cline & Associates, 1992). 지금까지 442개의 탐사정이 시추되었으며, 현재까지의 총생산량은 234.5 MMbbl로 1개 정당 회수량이 530,538 bbl로 상당히 높은 편이다 (Pucci, 1994). 과거와 현재의 대규모 유전으로 Aguarague, Palmar Largo, Campo Duran, Madrejones, Caimancito, Ramos 등이 있다.

Aguarague유전

Aguarague구조는 안데스 사면의 전형적인 고생대 드러스트-습곡구조로 동쪽으로 전진하는 드러스트 전단에 형성된 폭이 좁고 남북으로 신장된 배사구조이다 (Fig. 5). 안데스 사면의 모든 드러스트 단층대는 탄화수소를 함유한다 (Fig. 7). 이들 드러스트 단층-습곡구조는 대부분 마이오세 이후의 조구조 운동에 의하여 형성되었다 (Jordan and Alonso, 1987). 드러

스트들은 천부에서는 큰 경사를 보이거나 심부로 갈수록 평탄해져 decollement을 형성하는 thin-skinned 성격을 보인다. 배사구조는 일반적으로 동심원 (concentric) 형태이나 두께가 두꺼운 셰일 (예, Los Monos층)이 존재할 경우 상자형 (예, Ramos유전) 또는 중심 부분에서 상당한 두께의 증가를 보이는 유사습곡 (similar folds)의 형태를 보이기도 한다.

생산층은 단층작용에 의하여 단열된 데본기의 Huamampampa층으로 평균 4.5% 공극율, 0.037

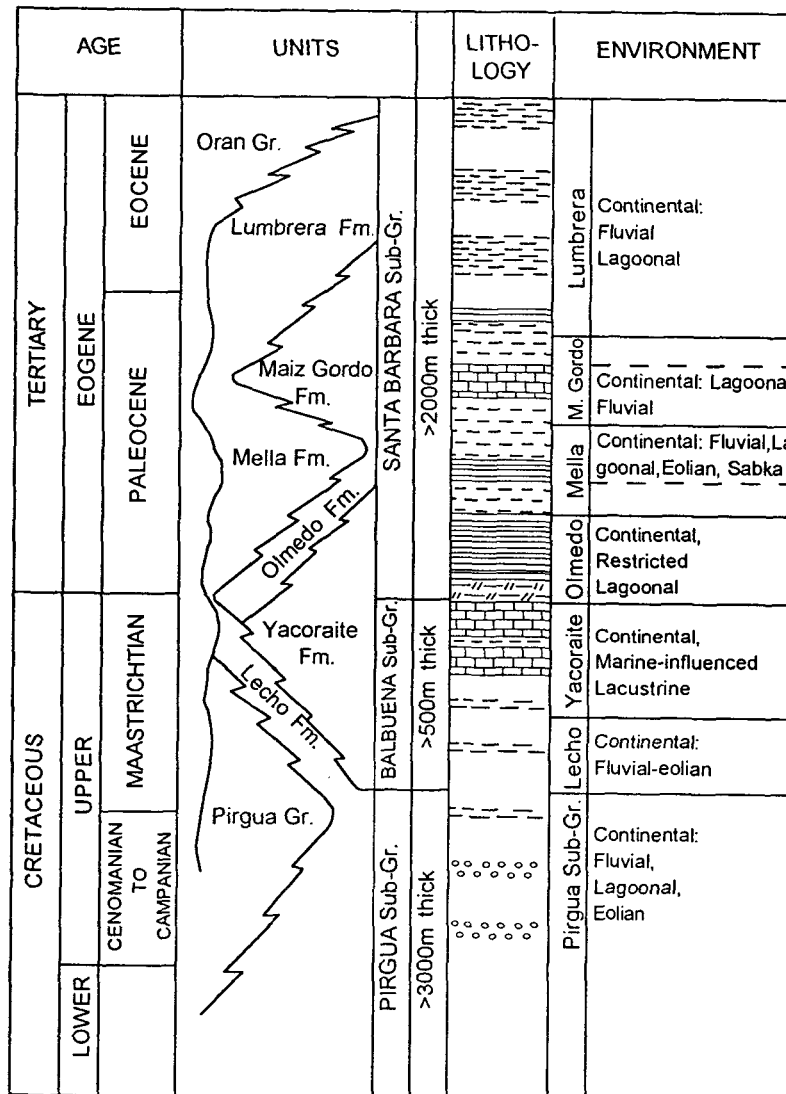


Fig. 6. Cretaceous and Tertiary stratigraphy of the Northwest Basin, Argentina. After Donwon and Petro America (1994). Lithology : sandy units-stippled, muddy units-alternating parallel dashes, coarse-grained units-ellipses, shales-parallel lines, limestones-bricks, salts-horizontal dashes with double slashes.

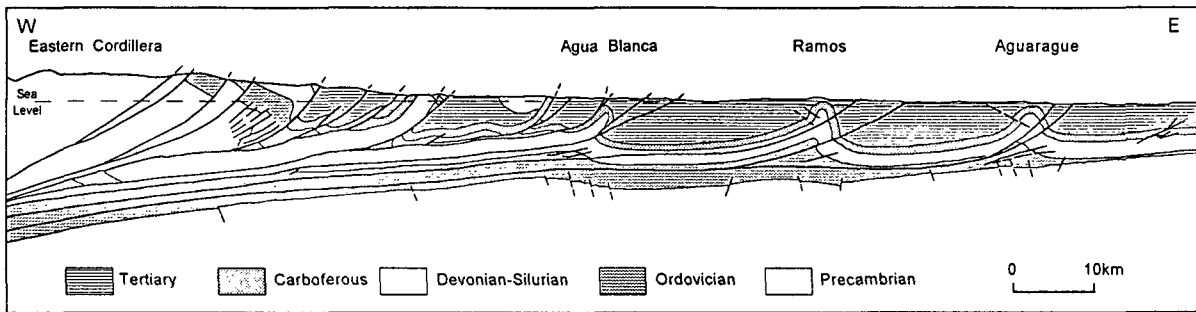


Fig. 7. A cross-section of the Sub-Andean thrust-fold belt showing the relationship to Paleozoic oil and gas fields. For location of the section, see Fig. 5. Modified after C.G.C. (1990; Technical Report).

md 투수율을 보인다. Huamampampa층은 천해에서 퇴적된 사암으로 두께가 250-300 m이며, 상부면의 평균 깊이가 4598 m이다. 근원암은 Los Monos층으로 두께 800-1000 m의 흑색 셰일로 총유기탄소량 (total organic carbon)이 0.5-1.7%이다. 유기물은 Sapropelic형으로 유기용매에 의하여 추출가능한 bitumen의 양이 400-1300 ppm이며 포화 (saturated) 탄화수소가 >40%이다. 오일로의 속성 (oil window)은 백악기 전기-마이오세 후기에 이루어졌던 것으로 추정된다 (C.G.C., 1995).

Aguarague와 비슷한 구조는 볼리비아를 포함, 안데스 사면에 위치하는 모든 유전에서 발견되며 북서분지에서는 Agua Blanca, Ramos, Campo Duran, Madrejonas 유전 등이 이에 해당한다. Campo Duran, Madrejonas, Ipagueazu 등 많은 유전은 석탄기의 Tupambi층이 저류층을 형성한다. Tupambi층은 100-250 m 두께의 하성 사암으로 깊이 및 암층의 연대로 볼 때 이례적으로 높은 >10%의 공극율을 보인다. 근원암은 데본기 유전과 마찬가지로 Los Monos층으로 생각되나 어떤 요인이 저류의 층준을 결정하는지 확실치 않다.

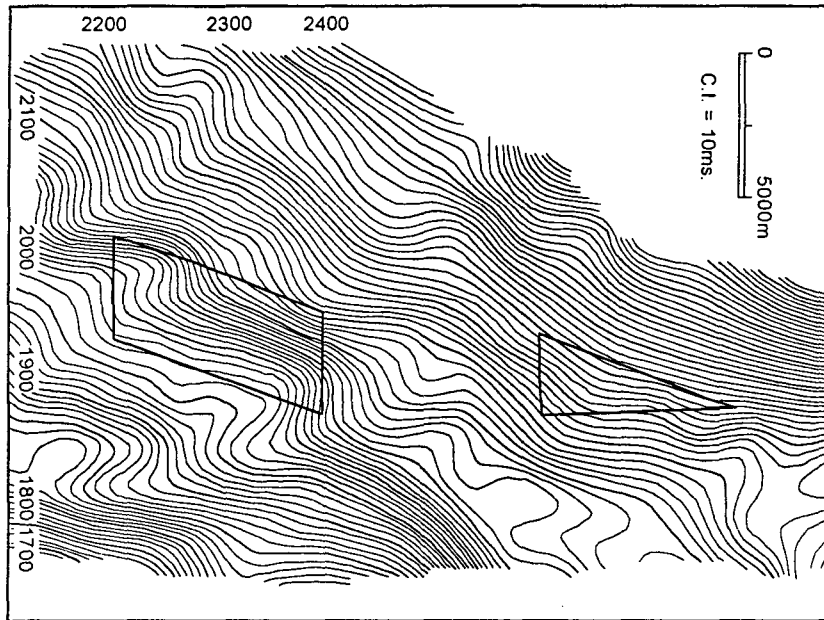


Fig. 8. Structure map of the Devonian top, CNO-1. Contours in a 10 millisecond scale.
After C.G.C. (1990).

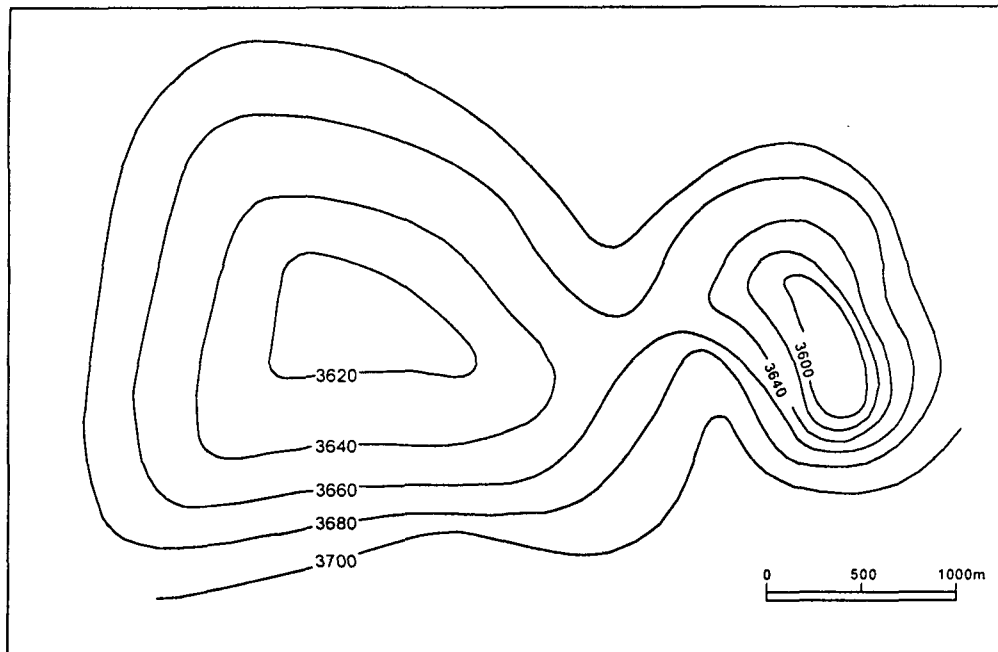


Fig. 9. Structure map of the top of the Palmar Largo Formation, Palmar Largo field.
Depth in m. After Pluspetrol (1994).

Tonono 유전

Tonono 유전은 매장량의 규모로 볼 때 큰 유전은 아니나 Chaco 평원이 넓은 면적을 차지하는 북서분지의 경우 앞으로의 탐사에서 비슷한 play가 중요한 역할을 할 것으로 기대된다.

Tonono 유전은 계곡을 채우는 퇴적층에 의하여 형성된 층서 트랩으로 저류층은 Tupambi층 상부의 렌즈상 사암이다. Tupambi층은 데본기층과 부정합의 관계를 보이는데 부정합면은 침식에 의한 굴곡면으로 Tupambi층은 이 면에 onlap 또는 downlap의 형태로 퇴적된다. 부정합면은 지역의 다른 층서면들과 마찬가지로 북서 방향의 경사를 보이거나 북북서-남남동으로 가로 지르는 석탄기의 하도, 계곡, 그리고 고·저지대 등에 의하여 좀더 복잡한 지형을 보인다 (Fig. 8). CNO-1광구의 남동부에 좀더 명확하게 발달된 하도가 존재하는데 시추는 시도되지 않았으나 유망구조로 사료된다.

Palmar Largo 유전

Palmar Largo 유전은 북서분지의 대표적인 백악기 유전이다. Palmar Largo 광구는 Formosa주에 위치하며 북쪽으로 CNO-1 광구와 접하고 있다. Palmar Largo 유전은 지리적으로 Chaco 평원, 구조적으로 백악기의 내륙 열개분지 (Lomas de Olmedo 소분지)에 속한다.

Palmar Largo 유전은 층서 트랩으로 화산암에 의한 2개의 마운드가 저류에 양호한 구조를 형성하고 있다 (Fig. 9). 동쪽의 마운드가 서쪽의 마운드에 비하여 더 높으며 급한 경사를 보인다. 저류층은 Palmar Largo층으로 평균 두께 46 m의 화산·쇄설성 각력암으로 평균 13.5%의 공극율, 2-60 md의 투수율을 보인다. 근원암은 Palmar Largo층 상부의 이질성 석회암인 Yacoraite층, 증발암을 포함하는 Olmedo, Mella층 등으로 생각되나 체계적인 유기 지화학적 연구는 수행되지 않았다. Palmar Largo 유전지대에 위치하는 YPF.Fr.SM.x-1공에 대한 매몰사 연구에 따르면 석유생성은 에오세 중기에 돌입한 것으로 보인다 (Pluspetrol, 1994). Palmar Largo 유전 주변에 화산암 마운드에 의하여 형성된 소규모 유전들이 분포하는데 Puesto la Entrada, Canada Rica, La Tigra Norte, El Potrillo, Ramon Lista 유전 등이다.

기타 유전

규모는 크지 않으나 북서분지의 탐사에 새로운 play 개념을 제공하는 유전으로 Balbuena Este 유전이 있다. Balbuena Este 유전은 1989년에 발견되었으며 Palmar Largo 광구에 위치한다. 백악기 유전으로 내륙 열개분지 생성과 관련된 정단층에 의하여 형성된 roll-over 배사구조이다 (Fig. 10). 확정매장량은 140 Mm³이며, 예상매장량은 749 Mm³이다. 저류층은 평균 13%의 양호한 공극율을 보이는 Yacoraite층이다.

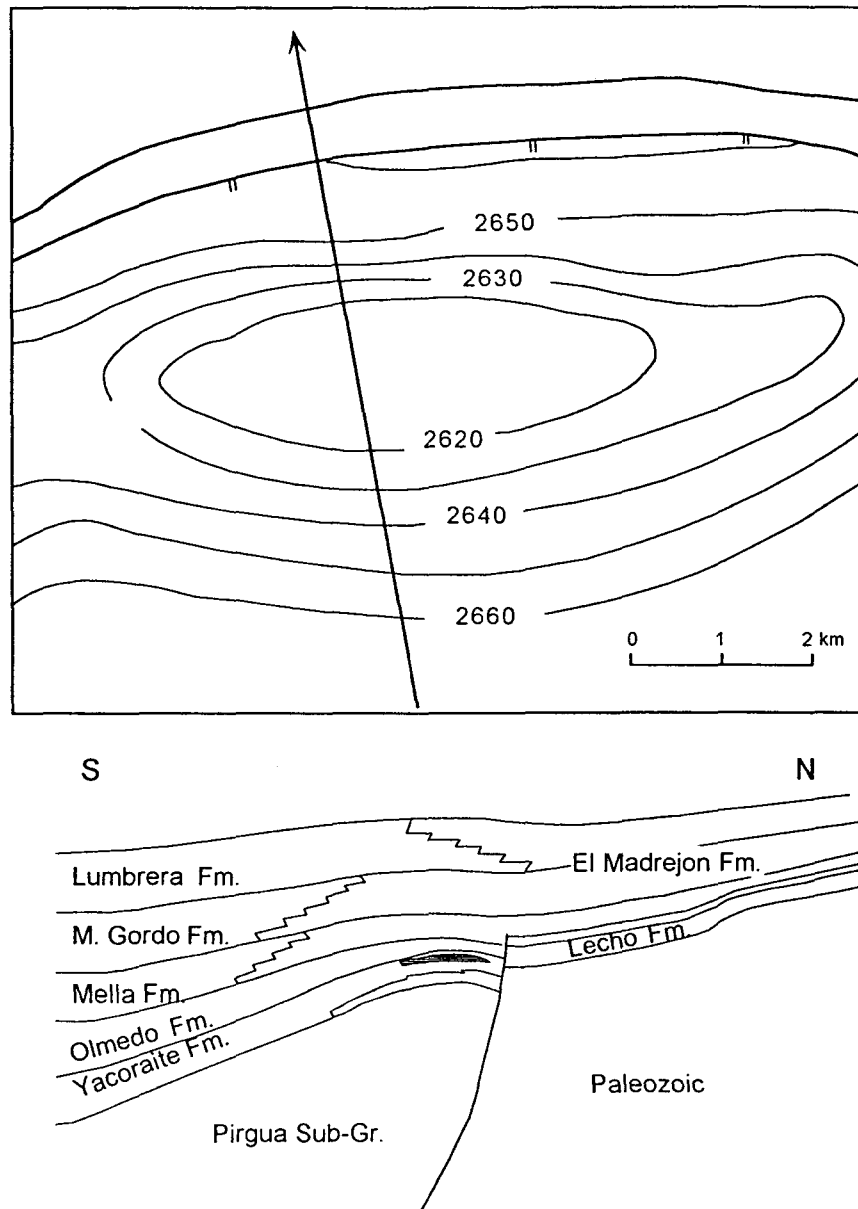


Fig. 10. Structure map and the cross-section of the Balbuena Este field. Top of the Yacoraite Formation. Depth in m. After Pluspetrol (1994).

결 론

북서분지의 석유트랩은 크게 4가지 형으로 분류될 수 있다: 드러스트와 연계된 배사구조, 하도에 의한 층서 트랩, 화산 분출에 의하여 형성된 마운드, 정단층에 의한 roll-over 배사구조. 볼리비아 및 아르헨티나 등 남미의 대규모 육상유전의 대부분이 안데스 사면의 드러스트와 연계된 배사구조에서 발견되었다. 그러나 북서분지에서의 고생대 드러스트-습곡구조에 대한 탐사는 충분히 이루어 졌다고 판단되며 심부에 숨겨진 구조 (예, Jollin) 외에 더 이상의 새로운 발견을 기대하기 힘들 것으로 사료된다. 새로운 가능성은 북서분지의 남쪽에 분포하는 백악기 드러스트-습곡구조이다 (CNO-13, CNO-17). 백악기 드러스트-습곡구조에서의 탐사성공률은 그다지 높지 않으나, 근원암, 저류암, 이동 및 저류 기구 등에 대한 이해가 진척되면 앞으로 많은 유전이 발견될 수 있을 것이다. 하도에 의한 층서 트랩은 석탄기 분지의 새로운 가능성을 제시한다. 기발견 유전으로 Tonono가 있으며 CNO-1과 Palmar Largo 광구에서 수 개의 비슷한 구조가 탄성과단면을 통하여 확인된다. 열개와 관련된 구조는 북해 및 남미의 대륙붕 등에서의 대표적인 석유구조로 백악기 분지에 나타난다. 열개분지는 형성 초기의 폐쇄성 분지에 유기물 함량이 높은 퇴적물이 쌓여 석유부존 가능성이 매우 높으며 실제로 Palmar Largo유전, Balbuena Este유전 등은 열개와 관련된 화산활동, 정단층 운동 등의 작용으로 형성된 유전들이다. 열개분지는 다양한 석유구조를 보이며 이들에 대한 지식도 상당히 축적되어 있다. 이러한 연구 결과가 백악기 분지에 효과적으로 활용된다면 새로운 play가 발견될 수도 있을 것이며 결과적으로 북서분지의 잠재 매장량의 증대 효과도 얻을 수 있을 것이다.

참고문헌

- Forsythe, R., 1982, The Paleozoic to early Mesozoic evolution of southern South America: a plate tectonic interpretation: J. Geol. Soc. London, v. 139, p. 671-682.
- Uliana et al., 1989, cited from *Plan Argentina 1992* by Intera Information Technologies.
- Gaffney, Cline & Associates, 1992, The Northwest Basin.
- Pucci, J.C., 1994, Geology, potential of Argentina's international bidding areas: Oil & Gas J., June 13, 1994, p. 138-144.
- Jordan, T.E. and Alonso, R.N., 1987, Cenozoic stratigraphy and basin tectonics of the

Andes mountains, 20° -28° south latitude: Amer. Assoc. Petrol. Geol., v. 71, p. 49-64.
Compania General de Combustibles S.A., 1995, Bloque CNO-1 - Santa Victoria, Province of Salta: Unpublished technical brochure, Buenos Aires, Argentina.
Pluspetrol S.A., 1994, Palmar Largo Area: Unpublished technical brochure, Buenos Aires, Argentina.