

포항분지에 대한 석유지질학적 연구

김 기현¹⁾, 김 재호¹⁾, 김 상석¹⁾, 박 동배¹⁾, 이 용일²⁾

¹⁾ 한국석유개발공사 기술실, 경기도 안양시 동안구 관양동 1588

²⁾ 서울대학교 자연과학대학 지질학과, 서울특별시 관악구 신림동 산 56-1

ABSTRACT

The Pohang Basin is located in Pohang City and adjacent coastal areas in the southeastern Korea. It has a sequence of 900 meters of Neogene marine sediments (Yeonil Group) while offshore basins in the East Sea, e.g., the Ulleng basin, is over 10 Km in thickness. An understanding of the marine Yeonil Group in the Pohang Basin may provide insights into the hydrocarbon potential of the offshore East Sea regions.

Heulandite, smectite, dolomite, kaolinite and opal-CT are commonly found as diagenetic minerals in the Yeonil Group. Among these minerals, heulandite occurs as a main cement only in sandstones consisting of volcanic matrix. Smectite composition and diagenetic mineral facies such as heulandite and opal-CT may reflect that the Yeonil Group has undergone shallow burial, temperatures below about 60 degrees. This suggest that sandstones have experienced weak diagenetic alteration. In order to reconstruct the thermal history of the basin, apatite fission-track analysis was carried out. Apparent apatite fission-track ages (AFTAs) exhibit a broader range of ages from 238 Ma to 27 Ma with mean track lengths in the range of 15.24 ± 8.0 micrometers, indicating that these samples had undergone significant predepositional thermal alteration. The Triassic to Cretaceous AFTAs seem to represent the timing of cooling of their sedimentary sources. Late Cretaceous mean AFTA (79.0 ± 8.0 Ma) on the Neogene Yeonil Group indicates that the Yeonil Group had not been buried deeper than 2 km since its deposition.

The organic matters of the Pohang Basin remain in the immature stage of thermal evolution because burial depth and temperature were not sufficient enough for maturation even in the deep section of the basin.

1. 서 언

우리나라의 제3기층은 동해안을 따라 북평, 영해, 포항, 어일 및 울산지역에 분포하고, 또한 제주도 서귀포 지역에 소규모로 발달되어 있으나, 이 중에서 본 연구는 포항 일대에 분포하고 있는 포항분지내의 제3기층을 주 조사대상으로 한다. 포항분지는 국내 육상에서 최초로 석유발견을 목적으로 탐사작업이 실시된 지역으로 그동안 학계 및 정부출연 연구소에서 학문적인 목적으로 다수 연구가 수행되어져 왔고, 포항분지에 인접한 울릉분지는 국내 최대의 대륙붕 탄화수소의 탐

사지역으로 현재까지 수 개의 시추공을 통해 광역적인 지질학적인 특징이 많이 알려져 있다. 따라서, 울릉분지의 연변부에 위치한 포항분지와 기타 소분지의 성인 등에 대한 연구는 울릉분지의 지질학적인 제 문제점을 해결할 수 있는 실마리를 제공한다고 할 수 있다.

이 연구의 목적은 포항분지의 형성과 발달과정으로부터 탄화수소 부존 가능성여부를 확인하고, 울릉분지와 지질학적인 관련성을 밝혀 향후 이 지역에 대한 탄화수소 탐사의 방향을 제공코자 한다. 이 연구에서는 포항분지의 석유지질학적 특성을 파악하기 위하여 포항분지에 대한 기존자료를 수집하고 분석하였으며, 야외지질조사를 통하여 기존 지질도의 확인과 시료를 채취하였다. 탄화수소의 생성과 부존 가능성에 대한 평가의 일환으로 이 연구에서는 분지의 열역사 (thermal history) 및 속성작용에 대한 연구도 실시하였다. 분지의 열역사를 밝히기 위하여 휘스트랙법 (fission track analysis)을 이용하여 지질시대의 측정과 퇴적물의 매몰정도를 가늠해 보고, 이질암에 대한 X-선회절 분석을 통하여 점토광물의 종류와 결정도를 확인하였으며, 저류암 가능 암석의 특성을 파악하기 위하여 조성광물의 형태, 산출상태와 배열 등을 조사하였다.

2. 퇴적 암석학적 연구

2.1. 사암의 조성

연일층군의 사암을 구성하고 있는 모래 입자들은 모양이 각상을 띠며, 모래 입자들은 대체로 중립에서 세립의 입자의 크기를 나타내는데 분급의 정도는 불량하거나 중간정도를 나타내고 있다. 전반적인 조직의 특성은 모래퇴적물의 조직을 그대로 간직하고 있으며, 모래 입자들은 점점촉 (point contact)을 하고 있는 것이 특징이다. 사암의 구성광물은 암석 전체로 볼 때 장석이 평균 42.9%로 가장 많이 산출을 하며, 다음으로는 석영이 20.1%를 차지한다. 대부분의 사암시료에서는 사장석이 정장석보다 더 많이 함유되어 있으나, 한 시료 (26b)에서는 정장석이 더 많이 나타나기도 한다. 정장석은 대체로 신선한 상태로 산출을 하는데 퍼사이트가 약 절반정도를 차지한다. 정장석에 비하여 사장석은 신선한 것이 드물고 대개는 점토광물로 약간씩 변질이 되어 있다.

연일층군의 사암에 산출하는 암편은 평균 10.6% 정도 나타나는데 주로 화산암의 암편과 퇴적암의 암편으로 이루어져 있다. 기질은 사암의 시료마다 다양한 양으로 산출을 하는데 몇몇 시료에서는 암석 전체의 30%에 이를 정도로 많이 나타나기도 한다. 기질은 대부분이 점토 (스멕타이트류)로 이루어져 있으며, 한 시료에서는 화산물질이 나타나기도 한다.

조직이 잘 보존된 사암시료의 공극률은 대체로 20% 이상으로 나타나나, 기질이 많이 나타나는 암석 시료에서는 대략 2% 미만으로 나타나기도 한다. 화산물질을 기질로 가지는 시료 (26b)에서는 휴란다이트 (heulandite)가 공극을 채우는 교질물로 산출을 하고, 결정의 크기는 0.02-0.1 mm 범위를 보인다.

사암의 조성을 이용하여 사암을 분류하여 보면 (그림 1), 사암 시료의 대부분은 장석질 사암 (arkose)으로 분류가 되며, 약간은 암편질 아코스와 장석질 암편사암도 나타난다. 사암의 조성을 이용하여 모래퇴적물을 공급한 기원지의 조구조 환경을 유추하여 본 결과 (그림 2), 기원지는 대륙기원의 기반암 용기대가 주를 이루었을 것이며, 또한 화산호의 환경에서도 상당량의 퇴적물이 공급되었을 것으로 해석된다. 이를 종합하여 보면 화산기원의 물질은 대륙에 발달한 화산호로부터 유래되었을 것으로 여겨진다.

2.2. 사암의 속성작용

연구된 사암 시료의 속성작용은 우선 사암 시료 자체가 고화가 되어 있지 않은 것으로 판단하여 불 때 속성작용을 많이 받지 않았음을 알 수 있다. 현미경을 이용하여 퇴적물의 조직을 관찰하여 보면 모래 입자 주위에 미미할 정도의 점토의 코팅 (clay coating)이 관찰되며 철산화물의 코팅도 간헐적으로 관찰된다. 그밖의 속성작용은 화산기원 물질이 기질로 있는 시료에서는 이 기질이 용해되면서 홀란다이트 교질물이 기질의 녹은 자리에 침전을 하며 공극을 채우고 있는 것이 관찰이 된다. 또한 비록 공간적으로 제한된 시료에서 관찰이 된 속성작용으로는 백운석의 교질물을 들 수가 있다. 이들 교질물이 관찰된 사암시료의 공간적 분포를 보면 이들 시료는 모두 선상지-삼각주 퇴적물의 가장자리 퇴적물에 해당하는 부분이다. 홀란다이트 교질물은 기질을 이루는 물질과 성인적 관계가 밀접히 관련되어 있는 것으로 해석이 된다. 백운석 교질물은 이들의 산출이 선상지-삼각주의 말단부에서 산출하는 퇴적환경이라는 점을 감안할 때 기상수와 해수가 혼합이 일어나는 공극수의 환경에서 침전이 일어난 것으로 해석할 수 있다.

2.3. 점토광물

X-선 회절분석에 의한 이질암의 구성광물로는 석영과 장석, opal-CT, 스�멕타이트, 일라이트와 카올리나이트가 있다. 분석 시료와 구성광물은 그림 4에 나타나 있다.

2.3.1. 전암 XRD 결과

석영은 거의 모든 시료에서 양의 다소는 있지만 산출을 하고 있다. 또한 점토광물이 아닌 광물로 opal-CT도 산출을 하며 장석은 대체로 부수적인 광물로 산출하고, 장석이 아예 없는 시료도 많다. 전암분석 결과를 종합하여 보면 도읍산에서 분지 중심부로 가면서 점토광물을 제외한 구성광물의 변화는 그림 3에 나타나 있다. 최하부의 이질암은 석영과 장석으로 주로 구성되었다가 (그림 3-A), 홍해층에 이르면 opal-CT가 나타난다 (그림 3-B). 두호층 하부에서는 opal-CT와 장석이 나타나지 않고 거의 석영으로만 구성된 이질암이 나타나다가 (그림 3-C) 상부에서는 다시 opal-CT와 소량의 장석이 발견된다 (그림 3-D).

2.3.2. 점토광물 XRD 결과

점토광물만을 분리한 시료에서는 많은 시료에서 스�멕타이트가 관찰 (그림 4)되나, 혼합층상 광물은 인지되지 않았다. 스�멕타이트 이외의 점토광물들은 상대적으로 적은 편이며 소량의 일라이트와 카올리나이트가 발견된다. 일부 시료에서는 카올리나이트만이 산출하기도 한다. 남동부의 두호층에서는 스�멕타이트가 거의 나타나지 않는 것이 특징적이다.

3. 횡선트랙 연구

인회석 횡선트랙 연대측정한 결과는 표 1에 나타나 있으며, 단일입자의 연대는 238 Ma에서부터 27 Ma까지 다양하게 나타나며, 평균 횡선트랙 연대가 79.0 ± 8.0 Ma가 된다. 총 24개의 인회석의 HCT 횡선트랙 길이 측정한 결과는 그림 10에서 막대그림표로 표현되어 있다. 전체적으로 트

랙의 길이는 unimodal한 분포를 나타내며, 평균 길이는 $15.24\mu\text{m}$ 이다.

연대측정결과 포항분지의 인회석 휘선티랙연대는 충서연대인 마이오세보다 오래된 것으로 나타났다. 대부분의 단일입자연대는 백악기로 나타나며, 이들의 평균 휘선티랙 연대가 79.0 ± 8.0 Ma로 후기 백악기인 Campanian으로 나타난다. 단일입자 연대 중에서 하나의 입자가 약 27 Ma로 상대적으로 젊은 연대치를 보이지만, 이 연대 역시 충서연대와 거의 유사한 연대를 나타내기 때문에 포항분지에서의 퇴적물이 겪은 thermal event의 증거가 될 수 없다. 따라서 포항분지 사암 내에 인회석들이 기원지의 연대를 나타낸다고 할 수 있으며, 퇴적이후 매몰된 깊이는 2 km 이내로 매우 낮았고, 매몰온도는 60°C 이하였을 것으로 추정할 수 있다. 연대측정에 대한 해석은 휘선티랙의 길이분포 패턴에 의해서도 알 수 있다. 트랙의 평균 길이는 $15.24\mu\text{m}$ 이고, 트랙분포 양상은 unimodal하며, 대체로 skewed되지 않은 대칭적인 패턴을 보인다. 따라서 트랙은 “annealing”되지 않았으며, 어떤 종류의 thermal event도 겪지 않았다고 할 수 있다. 즉 포항분지의 퇴적암들은 퇴적 후 2-3 km 이내의 낮은 깊이에 매몰되었다가 다시 융기한 것으로 해석된다.

4. 결론 및 제언

지금까지는 포항분지 자체가 융기와 더불어 이미 상당량의 침식작용을 받은 것으로 추론이 되었고 초기 분지의 매몰작용은 현재보다 훨씬 깊었을 것으로 여겨졌다. 그러나, 포항분지 자체에 대한 본 연구 결과와 이전의 연구의 결과를 종합하여 보면 퇴적분지가 융기를 할 때 매몰작용은 알게 일어났으며, 이에 따라 포항분지 자체의 탄화수소의 생성 및 부존 가능성은 낮은 것으로 밝혀진다. 물론 동해로의 연장부에서는 어떠한 퇴적기록이 있는지는 육상의 지질조사를 통하여는 그 규모를 밝힐 수는 없지만 해양 쪽에 발달한 울릉분지에서는 퇴적물의 두께가 4,000 m, 그리고 대륙붕 쪽에는 10 km 이상의 퇴적물이 있는 것으로 밝혀진 점으로 미루어 보아 포항분지가 위치한 대륙 연변부에서는 비록 얕은 매몰과 미미한 속성작용을 보이고, 유기물의 열적 성숙도도 미숙인 상태이지만 이 퇴적물의 해양 연장부에서는 탄화수소의 생성에 충분한 조건을 갖추었다고 여겨진다. 단지 아직 미확인 상태이지만 포항분지와 이의 해양연장부에는 구조적인 융기대가 존재하여 포항분지 자체가 어느 정도 고립된 독립적인 분지의 형태를 띤다면 이에 대해서는 따로 고려를 하여야 할 것이다. 울릉분지의 탄화수소 탐사공으로부터 채취한 동일 시기의 퇴적물을 이용한 점토광물의 연구 (Hillier *et al.*, 1996)에 의하면 포항분지의 연일층군 퇴적물과 동일시기에 퇴적된 분지 중심부의 마이오세의 퇴적층이 상당한 정도의 속성작용을 받은 것으로 나타나므로, 이 역시 분지의 연변부인 포항분지쪽 퇴적물과 비교해 볼 때 분지 중심부의 퇴적물이 융기가 일어나기 이전뿐만 아니라 그 이후에 다른 매몰의 경로를 겪었다는 것을 지시한다. Hillier *et al.* (1996)의 연구에서는 마이오세 퇴적층에는 비트리나이트 반사도가 0.8에서 2.3 정도로 측정되어 유기물의 열적 진화는 이미 성숙의 단계에 이르른 것으로 나타나 점토광물의 연구 결과와 일치한다. 이상의 연구 결과를 종합하여 볼 때 포항분지 동쪽의 해양분지에 대한 시추 등의 자세한 조사가 이루어져야 해양분지에서의 탄화수소 생성 및 부존 가능성이 밝혀질 것으로 여겨진다.

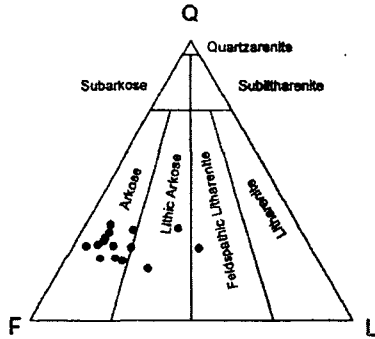


그림 1. 포함분지 사암의 분류
(after Folk, 1968)

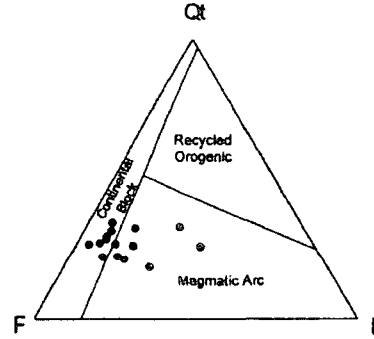


그림 2. 포함분지 사암의 기원지 구조조건경
(after Dickinson, 1985)

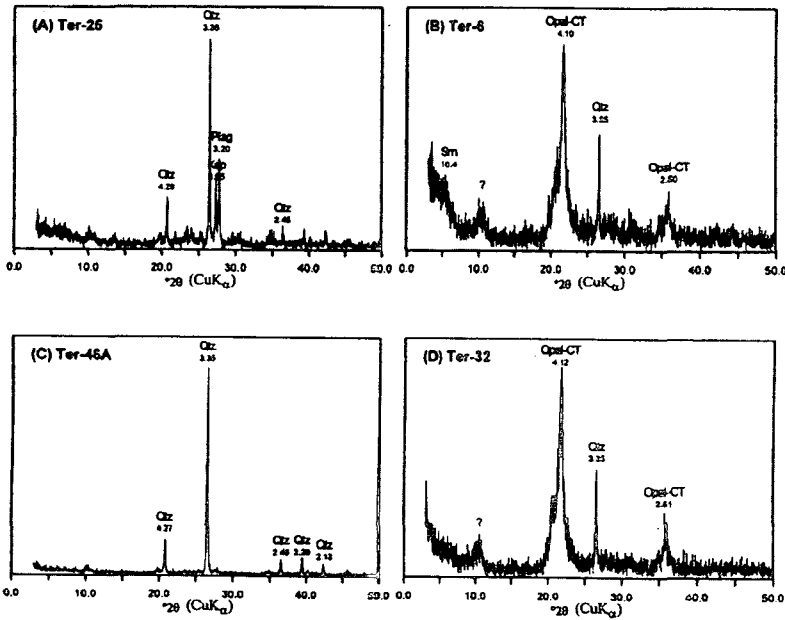


그림 3. 포함분지 서편부터 동편까지의 대표적인 이질암 시료의 전암 XRD 양상

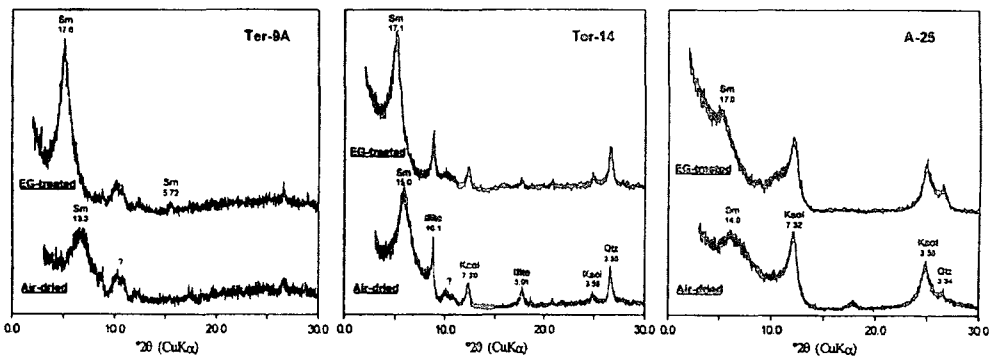


그림 4. <2μm 점토광물의 대표적 XRD 양상

표 1. 포항분지 인회석의 윗선트랙 연대측정 결과

No	Grain	N _s	N _i	Area	N _s /N _i	ρ _s	ρ _i	Age (Ma)
1	B-4	67	157	20	0.427	2.110	4.945	64.33 ± 10.2
2	C-1	32	20	9	1.600	2.240	1.400	237.97 ± 69.5
3	D-2	29	40	9	0.725	2.030	2.799	108.92 ± 27.5
4	E-3	44	60	9	0.733	3.079	4.199	110.16 ± 23.0
5	E-4	19	16	8	1.188	1.496	1.260	177.45 ± 61.3
6	E-6	17	95	12	0.179	0.892	4.987	27.06 ± 7.3
7	F-1	35	75	9	0.467	2.450	5.249	70.32 ± 15.1
		243	463	76	0.525	2.014	3.837	79.03 ± 8.0

Irradiation: HANARO 971028

Slide No: Ter-4d

Counted by: LHS

Area of basic unit = $1.5876 \times 10^{-6} \text{ cm}^2$

Chi Squared = 48.415 with 6 degrees of freedom

P(chi squared) = 0.0 %

Correlation Coefficient = 0.684

N_s/N_i = 0.52

Mean Ratio = 0.76 ± 0.48

Ages calculated using a zeta of 316.7 ± 18.6 for SRM612 glass

ρ_d = $0.9568 \times 10^6 \text{ cm}^{-2}$; N_d = 1671

Mean Age = $79.0 \pm 8.0 \text{ Ma}$

표 2. 포항분지 인회석의 윗선트랙 길이분포 자료

Sample No	Mean track Length	Standard deviation	No. of tracks	Number of tracks in length interval(μm)										
				10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
11-19a	15.24 μm	2.54 μm	24	2		1	2	4	3	4	3	3	1	1

참고문헌

- 노진환, 1994, 제3기 연일층군의 층서, 암상 및 속성광물상. 한국석유지질학회지, v. 2, 91-100.
- 노진환, 1995, 제3기 연일층군 역암 및 사암에서의 속성기원 홀란다이트 교결물의 생성. 지질학회지, v. 31, 499-511.
- 엄상호, 이동우, 박봉순, 1964, 한국 지질도 '포항도폭' 1:50,000, 국립지질조사소.
- 진명식, 김성재, 신성천, 1987, K-Ar과 윗선 트랙 연령측정에 의한 한국 동남부지역 화강암류의 지열사와 냉각사 연구, 동위원소 지질연구 (KR-89-IC): 63-105, 한국동력자원연구소.
- 한중환, 곽영훈, 손진담, 1986, 한국 동남부 지역 제3기 퇴적분지내의 지체구조 발달 및 퇴적환경 연구. 과학기술처, 76p.
- Chough, S. K., Hwang, I. G. and Choe, M. Y., 1989, The Miocene Doumsan fan-delta, South Korea: A composite fan-delta system in back-arc margin. Jour. Sed. Petrol., v. 60, 445-455.
- Chough, S. K. and Barg, E., 1987, Tectonic history of Ulleung Basin margin, East Sea (Sea of Japan). Geology, v. 15, 45-48.
- Dickinson, W. R., 1985, Interpreting provenance relations from detrital modes of sandstones, In: Zuffa, G. G. (ed.), Provenance of Arenites, D. Reidel Publ. Co., 333-361.
- Folk, R. L., 1968, Petrology of Sedimentary Rocks. Hemphill's Book Store, Austin, TX.
- Hillier, S., Son, B. K. and Velde, B., 1996, Effects of hydrothermal activity on clay mineral diagenesis in Miocene shales and sandstones from the Ulleung (Tsushima) back-arc basin, East Sea (Sea of Japan), Korea. Clay Minerals, v. 31, 113-126.
- Huntec, Ltd., 1967, Report on the offshore geophysical survey in the Pohang area, Republic of Korea. UN ESCAP, CCOP, Tech. Bull., 1, 1-12.
- Hwang, I. G., 1993, Fan-delta systems in the Pohang Basin (Miocene), SE Korea. Ph.D thesis, Seoul National Univ., 923p.
- Kim, B. K., 1965, The stratigraphic and paleontologic studies on the Tertiary (Miocene) of the Pohang area, Korea. Jour. Seoul National Univ. Sci. Tech. Ser., v. 15, 32-121.

- Kim, H. Y., 1990, Hydrocarbon source rock study-Part III. Nature and maturity of organic matter from the Tertiary marine sedimentary rocks in the Pohang Basin. Jour. Geol. Soc. Korea, v. 26, p. 195-212.
- Korea Institute of Energy and Resources, 1982, Petroleum Resources Potential in the Continental Shelf of Korea. 342p.
- Nilsen, T. H., 1982, Alluvial fan deposits. in: Scholle, P. A. and Spearing, D. (eds.), Sandstone Depositional Environments, Am. Assoc. Petrol. Geol. Mem. 31, 49-86.
- Robert E. G., Lawrence E. M., Lee Y. G., Chun H. Y., 1979, Petrology, Sedimentology and Diagenesis of Miocene Diatomaceous and Opal-CT Mudstones in the Pohang Area, Korea. Jour. Geol. Soc. Korea. Vol. 15. No. 3. 230-252.
- Tateiwa I., 1924, Geologic Atlas of Chosen, 2. Ennichi-Kyuroho and Joyang Sheets. Geological Survet of Chosen.
- Woo K. S. & Park K. H., 1993, Sr Isotope Ages of Well Preserved Mollusks from the Chunbuk Formation(Pohang Basin) and the Shinhyun Formation(Yangnam Basin), Korea. Jour. Geol. Soc. Korea. Vol. 29. No. 4. 353-359.
- Yun H.S., 1986, Emended stratigraphy of the Miocene Formations in the Pohang Basin. Part I. Jour. Paleontological Soc. Korea, 2, 54-69.