

일본 니이가타 퇴적분지의 석유지질

손 병 국

한국지질자원연구원 석유·해저자원연구부

1. 서언

동해를 중심으로 한국과 일본의 연안지역은 신제3기 지층이 넓게 분포하고 있다. 이 지역은 동해의 형성시기에 생긴 해성 퇴적분지 지역으로서, 일본열도가 한반도 등 대륙지역으로부터 분리되고 동해가 형성되는 지사를 연구하는 데 중요한 지역이다. 또한, 이 지역은 석유와 천연가스가 산출되거나 산출이 기대되었던 곳으로 경제적으로도 중요성을 갖는다.

일본의 연안지역에 분포한 니이가타 퇴적분지는 신제3기 지층이 두껍고 넓게 발달되어 있으며, 유전개발과 관련하여 수많은 시추가 수행되었고, 많은 지질학적 정보가 축적되어 왔다. 니이가타 분지에서는 1950년대부터 석유탐사를 계속하여 약 550개 공의 시추가 수행되었으며 현재 석유와 가스가 생산되고 있다. 또한 매장량 확보를 위하여 계속하여 탐사 및 시추가 수행되고 있다 (新潟縣, 2001).

2001년 8월 27일부터 사흘간 니이가타에서 동해주변의 제3기 퇴적분지의 발달에 대한 한·일 공동워크샵이 개최되었다. 우리나라에서는 9명의 연구자가 초청되어 일본의 학자들과 함께 연구발표를 하였으며, 니이가타 분지에 대한 야외노두 관찰 및 시추현장을 방문하여 니이가타분지에 대하여 이해할 수 있는 기회를 가졌다. 저자가 이 지역에 대하여 그 동안 연구한 결과와 한·일 공동워크샵 동안 얻은 지식을 바탕으로하여 니이가타분지의 지질과 석유시스템에 관하여 보고한다.

2. 분지형성 및 지질구조

니이가타 퇴적분지는 Miocene에서 Pleistocene에 이르는 시기에 퇴적된 쇄설성 퇴적물 및 화산쇄설성 퇴적물로 구성되어 있다. 구조적으로 니이가타 분지는 일본의 지질을 동북부와 남서부로 나누는 중요한 구조선인 Itoigawa-Shizuoka 구조선을 경계로 이 구조선의 동쪽에 위치하는 포사마그나 지역과 Shibata-Koide 구조선의 서쪽지역을 차지한다 (新潟縣, 2000). 이 분지는 Miocene 시기의 tensional back-arc spreading 과 관련된 rifting의 영향으로 형성되기 시작하였다. Middle Miocene 초기에 back-arc 지역에서 하나의 trough로써 형성되어 급격히 침강하면서 수심 약 2,000m 의 submarine hollow를 형성하였다. 주로 이질암과 터비다이트 사암이 퇴적되었고 동시에 화산활동이 산발적으로 활발하게 일어났다. 이 hollow는 동해형성의 최종단계에서 발달된 하나의 failed rift로 생각된다. Late Pliocene에서 Pleistocene에 이르는 동안 동서 방향의 압축력에 의하여 분지 내 퇴적층들은 남북 방향으로 대규모적인 습곡과 역단층이 발생하게 되었다 (岡村, 2000). 이 운동에 의하여 분지의 북부 지역과 남서부 지역은 융기하여 침식이 활발히 일어났으나 분지의 중앙지역은 Pliocene 이후에도 계속 침강하여 퇴적층은 더욱 두꺼워졌다.

3. 지질 및 층서

니이가타분지는 동북 일본의 소위 Green Tuff 라고 불리는 지역의 일부분을 차지하고 있다. 이지역은 주로 신생대 쇄설퇴적물과 화산암으로 되어 있으며 총 두께는 5000 m 이상이

된다. 니이가타 분지의 대표적인 지층과 암상은 Figure 1 에 기술하였다. 분지의 기반암은 고생대와 중생대의 퇴적암, 변성암, 화산암, 그리고 백악기의 화강암으로 되어있다. Paleogene과 하부Miocene 지층은 주로 니이가타 앞바다에 위치한 섬지역인 Sado에 분포되어 있으며, 화산암으로 구성되어 있다. Early Miocene 의 암석들은 주로 분지의 주변지역에 분포하며 andesite 또는 dacite질의 화산암과 용회암으로 구성되어 있다. Middle Miocene 의 해성지층은 니이가타분지의 중앙부에 넓게 분포하며, 최하부의 Tsugawa층은 rhyolite질 용암과 화산암질 hyaloclastite와 이질암으로 되어있다. Nanatani 층은 주로 이암으로 구성되어 있으며 화산암질 용암, 화산쇄설암, rhyolite 등으로 되어 있다. 이 층은 주로 분지 주변부를 따라서 노출되어 있으며 니이가타 평원 지역에서의 최하부 퇴적층으로 주로 나타난다. Teradomari 층은 이암과 사암이 호층으로 나타나나 이암이 현저하다. 이 지층은 유기물을 다량 함유하고 있으며 니이가타 분지의 석유를 생산하는 근원암의 지층으로 알려져 있다. Late Miocene의 Shiiya층은 터비다이트 사암이 우세한 지층으로서 니이가타 분지의 주 석유 저류층이 되고 있다 (Tokuhashi, 1996). 사암, 실트암, 역암 등이 나타나며 지역적으로는 andesite 질 또는 dacite 질 용암과 화산쇄설암이 협재되어 있다. Pliocene의 Nishiyama층은 괴상의 이암이 우세하며, 안산암질 용암과 화산쇄설암도 산출된다. Uonuma층은 Late Pliocene에서 Early Pleistocene에 이르는 지층으로 사암과 역암이 우세하며, 사암과 실트암의 호층이 자주 나타난다.

Epoch		Stratigraphy	Lithology
5	Pleistocene	Uonuma	Alternating beds of silt, sand, and conglomerate
	Pliocene	Nishiyama	Massive Mud
10	Late	Shiiya	Flysch-type alternating beds of sandstone and siltstone
		Teradomari	Miatomous mud Flysch-type alternating beds of sandstone and mudstone Black Mudstone
	Middle	Nanatani	Mudstone
		Tsugawa	Rhyolite-Basalt Sandstone and Congo.
20	Early	Aikawa	Andesite-Dacite Volcanics
25	Oligocene	Nyukawa	Dacite-Rhyolite Volcanics

Figure 1. Stratigraphy and Lithology of the Niigata Sedimentary Basin.

4. 석유지질

니이가타 지방에서 석유를 이용한 흔적은 옛날 조몬시대 (일본의 선사시대) 로 거슬러 올라간다. 즉, 약 5000-3000년 전의 유적에서 아스팔트가 발라진 석기와 토기가 발견되고 있으며, 아스팔트는 깨진 부분을 붙이는 접착제로 사용되었다. 아스팔트가 발라진 선사시대 유물들은 현재 석유가 산출되고 있는 니이가타 및 아키타지방에서 주로 출토되고 있다. 또한, 일본의 역사책인 일본서기에 의하면 668년에 현재의 니이가타 지방에서 "불에 타는 흙"과 "불에 타는 물"이 天智천황에게 헌상되었다는 기록이 있다. 불에 타는 물은 석유일 것이고 불에 타는 흙은 아스팔트였을 것이다.

니이가타 퇴적분지는 구조적으로 동쪽에는 니이즈-히가시야마 습곡대, 중앙에 야히코-니시야마 습곡대, 포사마그나와 접하고 있는 남서부에는 구비끼 습곡대가 발달하고 있다. 주요한 유전은 전부 이 습곡대의 배사부에 분포한다. 가스전은 신기퇴적물이 두껍게 발달한 니이가타 평야와 Nagaoka 부근에 주로 분포하고 있다. 또한 요시이·히가시야마와자키·가타가이 등의 가스전에서는 Nanatani Formation 등의 Green Tuff 층 내에서 대규모의 가스층이 발견되고 있다. 석유와 가스의 저류암은 주로 사암, 용암, 응회각력암 등이다. 시대는 Early Miocene의 Nanatani Formation에서 Pliocene의 Nishiyama 층준에 이른다.

주요한 석유와 가스의 산출지역은 니이가타시를 중심으로 한 북부지역, 나가오카를 중심으로한 니이가타 평야지역, 조에즈를 중심으로 하는 분지의 남부지역으로 나눌 수 있다. 니이가타시를 중심으로하는 지역은 Shiiya 층과 Nishiyama 층의 경계부에서 석유와 가스가 산출되는 것이 특징이다. 이 지역은 사암 층준이 pinch out되는 층서트랩이 많다. 나가오카지역과 남부 유전지역은 Nanatani층과 Teradomari층 하위에 있는 화산쇄설암과 화산암의 층준이 주요한 저류 층준이다. 이 중 대표적인 응회암 저류암의 사진을 Figure 2 에 제시하였다.



Figure 2. Reservoir Rocks of Tuff.

니이가타 유전지역에서는 석유, 가스, 콘덴세이트 등이 모두 산출되고 있으며 이들을 생산한 근원암은 하부Teradomari인 것으로 알려지고 있다. 산출되고 있는 가스의 동위 원소 분석에 의하며 나가오카 지역과 남부의 조에즈 지역의 유전에서는 $\delta^{13}C$ 값이 -32~-36을 보이

석에 의하며 나가오카 지역과 남부의 조에쓰 지역의 유전에서는 $\delta^{13}\text{C}$ 값이 $-32\sim-36$ 을 보이며 열분해 가스로 생각된다. 그러나 니이가타를 중심으로 한 북부지역에서 산출되는 가스는 $\delta^{13}\text{C}$ 값이 $36\sim-60$ 로 변화가 크게 나타난다. 이것은 박테리아 기원의 가스가 다량 함유되어 있는 것으로 생각된다 (Sakata, 1991).

5. 결론

니이가타 분지는 석유의 생산지역일 뿐만 아니라, 일본의 석유기술자를 양성한 석유의 교육장이다. 일본의 석유기술자들은 니이가타 유전에서 익힌 석유탐사 및 개발 기술을 세계의 다른 지역에서 석유를 찾는데 활용하여 크게 성공하였다. 니이가타 분지는 우리나라의 포항 분지와 생성시기와 퇴적환경이 유사하며, 동해의 형성과 매우 밀접하게 관련되어 있다. 따라서 니이가타 퇴적분지에 대하여 이해를 넓히게 된다면, 6광구 등 동해지역의 석유탐사 및 개발에 도움이 될 것으로 생각된다.

참고문헌

- 新潟縣, 2000, 新潟縣地質圖 説明書, 200p.
新潟縣, 2001, 天然ガスと石油開發の現況.
岡村行信, 2000, 日本海東縁のインバージョンテクトニクス, 石油技術協會誌, 第65卷, 第1号, 40-47.
Sakata, S., 1991, Carbon isotope geochemistry of natural gases from the Green Tuff Basin, Japan: *Geochimica et Cosmochimica Acta*, V. 55, 1395-1405.
Tokuhashi, S., 1996, Shallow-marine turbiditic sandstones juxtaposed with deep-marine ones at the eastern margin of the Niigata Neogene backarc basin, central Japan: *Sedimentary Geology*, V. 104, 99-116.