

캐나다 북부 알버타주 데본기 후기 탄산염암 지역의 탄성과 층서

이민우¹ · 오진용² · 윤혜수^{1*}

¹충남대학교 지질환경과학과, ²충남대학교 자연과학연구소

Seismic Stratigraphy of Upper Devonian Carbonates Area in Northern Alberta, Canada

Minwoo Lee¹, Jinyong Oh² and Hyesu Yun^{1*}

¹Department of Geology and Earth Environmental Sciences, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

²Research Institute of Natural Sciences, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

The Upper Devonian Grosmont Formation in northern Alberta, Canada, underlies the erosion unconformity that formed between the Cretaceous and Upper Devonian. The formation is divided into four units on the basis of intercalated shales and showing a typical shelf environment of shallowing-upward. It was possible to separate four units(LG~UG3), considering the seismic interpretation attributes of polarity, continuity, frequency/spacing and amplitude and showing the reflection characteristics of the medium-high amplitude, medium-low frequency, good continuity, and subparallel reflection events. The formation can be interpreted as shelf or platform, based on in-situ core data. However, it is difficult, only with reflection attributes and features, to recognize the boundaries and sedimentary environment of parasequence. Therefore, we try to interpret by parasequence set in this study. The parasequence set was formed by erosion unconformity with systems tracts. The erosion unconformity can be recognized by facies data and karst, erosional surface. Grosmont carbonate deposits ranging from platform and shelf to shelf slope are; by wedge-shaped strata of characterized by complex sigmoid-oblique progradational configurations, reflecting a depositional history of upbuilding and outbuilding in response to sea-level changes. Most of the sedimentary units is interpreted as platforms under regression and lowstand environments that support is evidences. In particular, shale layer at the basal part of the highstand systems tracts represents the regressive to lowstand of sea level.

Key words : erosional surface, Grosmont Formation, seismic, parasequence set, platform

캐나다 북부 알버타주의 데본기 후기 Grosmont층은 중생대 백악기와 데본기 후기 사이 형성된 침식 부정합면 하부에 위치하며 Ireton층의 세일에 의해 4개의 단위로 구분되고, 상향 천해화(shallowing-upward)를 보이는 전형적인 대륙붕 환경이다. Grosmont층은 탄성파의 극성, 연속성, 주파수/간격, 진폭 등의 해석요소를 고려하여 4개의 단위(LG, UG1, UG2, UG3)로 구분할 수 있었고 반사파는 중-고진폭, 중-저주파수의 특징을 보이고 반사면은 연속성이 좋으며 서로 평행한 형태로 나타났다. 시추공의 암상자료를 바탕으로 대륙붕 또는 플랫폼(platform) 환경으로 해석할 수 있지만 반사파의 특성이나 형태만으로 순차층의 경계면과 퇴적환경을 인지하기란 쉽지 않기 때문에 이 연구에서는 부순차층세트(parasequence set)로 하여 층서 해석을 시도하였다. 침식 부정합면에 의해 퇴적계 연합체와 함께 부순차층세트가 형성되는데, 침식부정합면은 암상자료와 탄성파상의 카르스트화작용 및 침식면에 의해 그 인지가 가능하였다. 연구지역에 분포하는 Grosmont 탄산염암층은 플랫폼 및 대륙붕 환경으로부터 분지 방향의 플랫폼 주변부를 향하면서 층수가 점차 감소하는 쉐기형태로 발달하며 전진하는 시그모이드-오블리크(sigmoid-oblique) 형태의 음향특성을 갖는 것이 특징적이며, 이는 해수면 변동과 연계되어 퇴적작용이 진행되었음을 지시해주고 있다. 퇴적단위의 대부분은 주로 해퇴 및 저해수면 환경 하에서 형성된 것으로 해석되어 플랫폼 환경을 뒷받침해주는 증거가 된다. 특히, 고해수면 환경 하에서 형성된 퇴적체 하부의 세일층은 반복되는 해퇴기간 동안 대부분이 박층으로 분포하는 것으로 해석된다.

주요어 : 침식 부정합면, Grosmont층, 탄성파, 부순차층세트, 플랫폼

*Corresponding author: hsyun@cnu.ac.kr

1. 서 론

캐나다의 북부 알버타주는 데본기의 탄산염암 저류층이 발달하였고 많은 양의 오일샌드, 탄산염암 비트멘(bitumen carbonate)과 같은 비재래 석유자원으로 세계적인 높은 관심을 끌고 있다. 아울러 알버타주의 지하층서에 대한 관심이 증대되며 이에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 기존 연구(Anderson, 1988)에 따르면 북부 지역의 데본기 층서는 초-중기의 하부 엘크포인트층군(Lower Elk Point Group)과 상부 엘크포인트층군(Upper Elk Point Group), 후기의 비버힐레이크층군(Beaver Hill Lake Group), 우드벤드층군(Woodbend Group), 윈터번층군(Winterburn Group)으로 구성된다. 특히, 우드벤드층군의 탄산염암 지역 Grosmont층은 중생대 백악기와 고생대 데본기 후기 사이 부정합면 하부에 위치한다. 이 지역은 과거 해수면 하강에 의해 침식면을 형성하고 카르스트화작용에 노출되게 된다. 하부의 Grosmont 상부층은 이에 대해 붕락 각력암(collapse breccia), 침출(leaching) 등의 특성을 보이고 천해성 대륙붕 환경으로 퇴적물의 공급이 원활하여 산호초 빌드업(reef carbonate build-up)이 나타난다(Mossop and Shetsen, 1994).

이러한 침식 부정합면 하부의 탄산염암층에 대한 연구는 석유와 가스 탐사를 목적으로 지구물리 탐사자료 해석 및 시추공 자료를 분석하여 암층서 및 생층서에 대한 연구가 현재도 활발히 수행되고 있다. 이러한 연구들에 의해 Grosmont층은 얇은 셰일 층에 의해 4가지의 단위로 구분되는 공통적인 연구결과가 나오게 되었다(Belyea, 1952, 1956; Cutler, 1983; Dembicki *et al.*, 1996; Buschkuehle *et al.*, 2007). 이 연구들은 지구물리 검층자료를 토대로 셰일층과 공극률분포를 이용한 분류 및 코어분석 연구에 의해 4가지 단위로 분류하였다. 그러나 탄성과 반사법 자료 해석에 대한 연구가 미흡한 실정이기 때문에, 본 연구에서는 Grosmont층을 기준으로 탄성과파상을 상세히 조사하여 기존연구에서의 층서분류를 재검토하고, 퇴적환경을 복원하고자 하였다. 이를 위해 위경도(56~57°, 113~115°) 사이에 위치한 South Panny지역에서 주향, 경사 방향의 축선에서 각각 얻어진 자료(SP4, SP6)를 축선에 인접한 시추공자료와 함께 복합해석을 시도하였다. 탄성과 탐사자료 해석은 KINGDOM 소프트웨어를 사용하였고 퇴적층서 및 환경을 파악하기 위해 3개(A, B, C)-시추공의 코어 및 물리검층 자료를 이용하였다(Fig. 1).

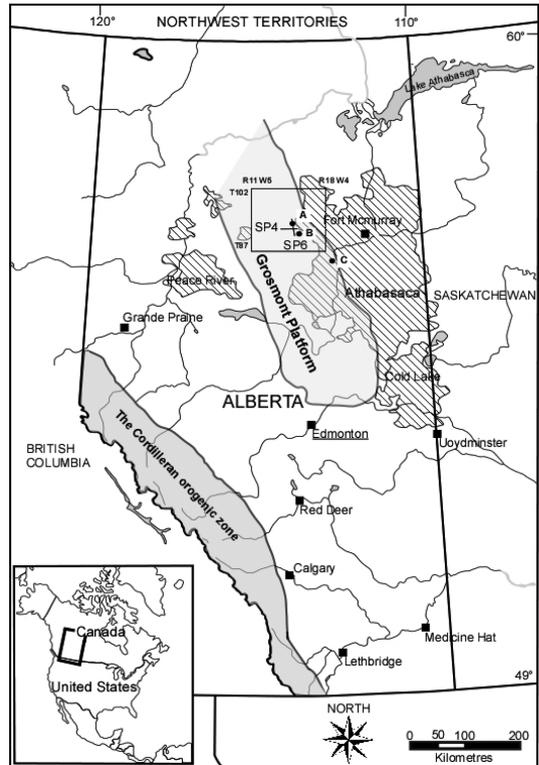


Fig. 1. General location map of study area, northern Alberta, Canada. seismic profiles(SP4, SP6) are located in the box and showing Grosmont deposit with well locations of core examined (modified from Bachu, 1995): A, well-log data in 6-34-92-24W4; B, lithofacies in 11-12-91-24W4; C, fossil data in 7-08-85-18W4.

2. 광역지질 및 연구지역

2.1. 광역지질

캐나다 로키산맥은 중생대 시기의 대륙충돌에 의한 횡압력 때문에 스러스트(thrust) 단층이 기존 탄산염암층을 변형시켜 지층경사가 수직에 가까운 스러스트 복합체를 형성하며 생성되었다. 이 과정에서 스러스트 복합체의 하중에 의해 동쪽의 지형들이 점점 침강하여 서부 캐나다 퇴적분지(Western Canada Sedimentary Basin; WCSB)가 형성되기 시작하였다(Mossop and Shetsen, 1994). 데본기 후기의 우드벤드층군은 윈터번층군과 함께 프라스니안기(Frasnian)와 파메니안기(Famennian)로 탄산염암과 세설퇴적암의 순환, 탄산염암과 증발암 퇴적의 순환 등이 추가 되어 비버힐레이크층군과 와바먼층군 사이의 연대층서적 단위의 역할을 한다(Belyea, 1964). 프라스니안기에 알버타주는 해

침(transgression)을 시작하였고 그 결과, 남동쪽에 탄산염암 침식면이 발달하여 산호초 복합체가 발달하게 되었다. 해양성 퇴적층의 해퇴는 프라스니안기 후기에 일어나 전체적으로 전혀 다른 퇴적양상을 보이게 된다. 파메니안기 초기에는 대륙붕들이 서쪽방향으로 전진퇴적되어 탄산염암과 동등한 양의 세일이 퇴적되었다. 대륙붕 환경에 있는 우드벤드층군의 초기 퇴적단계 동안 서부 캐나다 퇴적분지는 점차적인 층서변화를 보이기 시작하였고 분지와 대륙붕 사이의 지형적인 차이로 인해 탄산염암의 두꺼운 수직누적층을 형성하였다. 후기 퇴적단계에서는 침강율이 낮아지고 해수면이 줄어들었으며 분지 대부분이 세일들에 의해 채워지기도 하였다. 윈터번층군의 퇴적작용도 마찬가지로 전체적인 천해성 환경과 분지충진과 같은 특징을 보인다. 우드벤드와 윈터번층군의 퇴적작용이 발생한 시기의 주목할만한 퇴적 환경의 변화들은 1) 퇴적물의 보존 및 집적률이 증가한 것과, 2) 세일의 분지 충진이 급격하게 증가한 것, 3) 산호초의 광역적이고 두꺼운 발전, 4) 좋은 질의 근원암 생성, 5) 탄산염암 저류암에 의한 경제성 높은 많은 양의 탄화수소가 집적된 것(Mossop and Shetsen, 1994) 등 여러 가지의 변화로 오늘날 캐나다 북부 알버타주에서 많은 양의 석유자원을 개발하고 회수하는 지에 대해 알 수 있다.

2.2. 연구지역

Grosmont층

데본기 후기의 층서에는 와바먼층군의 Nisku층, 우드벤드층군의 Ireton, Grosmont, Leduc층이 속하며 위치에 따라 중생대 백악기 맨빌층군의 McMurray, Clearwater, Grand Rapids등의 사암층이 부정합을 형성하며 데본기 후기의 탄산염암층을 덮고 있다(Fig. 2, Bachu *et al.*, 1996). 우드벤드층군에 속하는 Grosmont층은 북서-남동의 주향으로 분포하며 북부 알버타주에서 약 500 km × 150 km(세로 × 가로)의 크기로 250-420 m 구간에 위치하고 대략 170 m의 두께를 보이며, 동쪽의 조산운동에 의해 서쪽으로 향할수록 완만한 경사를 보이고 있다. 아울러 다양한 종류의 탄산염암 암상을 가지고 있는데, 암상의 범위는 치밀하고 균질한 석회질 세일(tight homogeneous calcareous shales)/점토질 이암(argillaceous mudstones)에서 탄산염질/돌로마이트질 와케스톤(calcitic/dolomitic wackestones), 플로트스톤(floatstones), 그레이스톤(grainstones), 루드스톤(rudstones) 등이 있다. 화석들은 바다나리류(crinoids), 복족류(gastropods), 완족류(brachiopods), 산호류(corals),

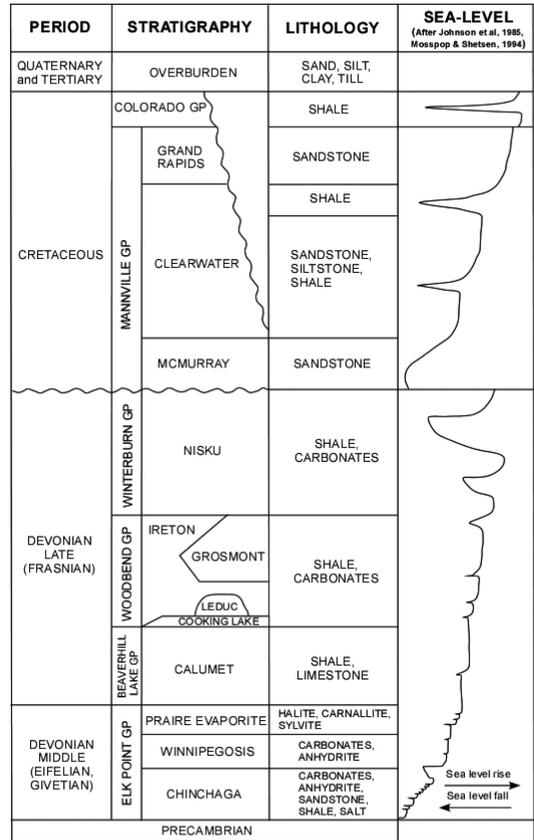


Fig. 2. Lithostratigraphy in the study area, northern Alberta, Canada (modified from Bachu *et al.*, 1996).

스트로마토포로이드(stromatoporoids) 등이 있으며, 상부층으로 갈수록 세립 석회질(fine-grained calcareous)부터 비석회질 세일(noncalcareous shales)까지의 암상으로 퇴적되는 상향 조립 및 천해화의 특성을 보이며 조하대(subtidal)-조간대(intertidal) 환경으로 Grosmont층이 생성된다. 이러한 암상과 Ireton층의 세일 및 이암층이 협재하여 Grosmont층에 대해 4개의 단위로 분류할 수 있다.

Grosmont층의 암상 사이클

Grosmont층의 탄산염암층서는 천해환경에 의한 전진퇴적에 의해 생성되는 것이 대표적이다. 전형적으로 완전한 탄산염암층서는 조하대부터 고위갯벌(supratidal)까지의 퇴적환경에서 형성된다(James, 1979). 일반적으로 Grosmont층은 상향 천해화의 퇴적상변화를 보이는데, 일반적으로 암상은 반복되는 양상(ABCABC)을 보인다. Wilson(1975)에 의하면 이렇게 상향 천부가 되

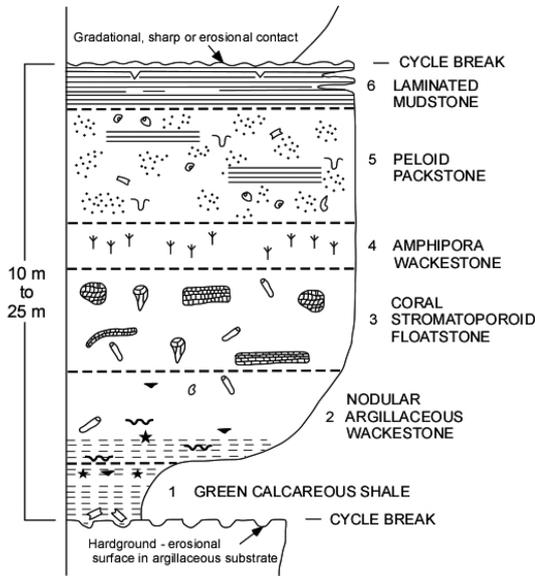


Fig. 3. Idealized, complete shallowing-upward lithofacies cycle for Grosmont Formation platform carbonates (modified from Cutler, 1983).

는 사이클에 대한 용어로 간단히 ‘사이클(cycle)’이라 명명했다.

이 곳의 암상 사이클은 6개의 주요 암상으로 분류되는데 1) green calcareous shales(Ireton층 암상); 2) nodular argillaceous wackestones; 3) coral-stromatoporoid floatstones; 4) *Amphipora* wackestones; 5) fossiliferous peloid packstones; 6) laminated mudstones 이다. 이러한 점진적인 사이클 내에서의 암상 사이 접하는 부분은 특정주기에 따라 하나 또는 그 이상의 암상이 결층(hiatus)이 될 수 있다(Cutler, 1983). 이러한 암상에 의해 상향 친해화의 퇴적환경을 유추할 수 있는 기초가 된다(Fig. 3).

3. Grosmont층의 탄성과 자료 해석

3.1. 주요 부정합면

탄성과 자료의 해석에 의하면 중생대 백악기와 데본기 후기 사이에 존재하는 강한 반사면의 특성을 갖는 침식부정합면에 의해 분리할 수 있다. 대기중에 노출되어 침식된 증거로서는 카르스트화작용, 하도(channel), 봉락각력암, 침출 등이 발견되었고(Huebscher, 1996) 상당 기간 동안 퇴적이 중단되어 결층을 보이며 상·하층을 구분할 수 있는 부정합면의 특징이 있는데 이것은 물리검층 결과에 의해서도 확인된다(Fig. 4). 감마

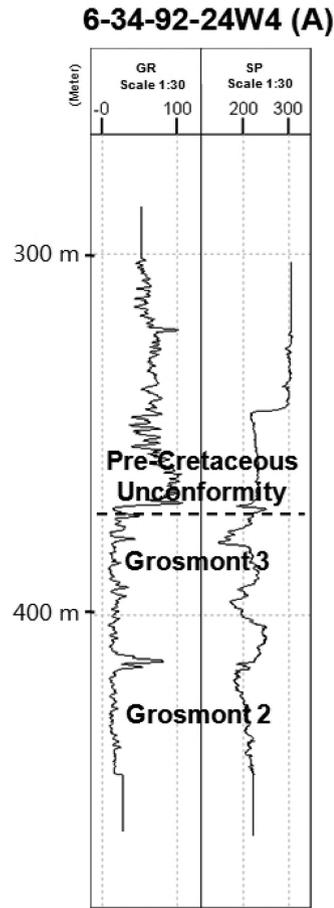


Fig. 4. γ -ray and SP(self-potential) well-log curves for the core A.

검층과 자연전위검층 모두 부정합면에서 탄산염암층과 점토질 퇴적층과의 경계를 인지할 수 있는 차이를 확인할 수 있다. 부정합면 하부에 위치하는 Grosmont층은 나중에 설명할 탄성과 단면상(Figs. 6, 7)에서 연속성이 양호하고 완만한 경사를 가지고 측선 SP4, SP6에서 각각 동쪽과 북쪽으로 향하는 습곡 및 단층구조로 보이는 점에서 경사부정합(angular unconformity)으로 해석하였다. Fig. 6을 보면 부정합면이 침식된 결과, 침식된 지역이 전체적인 밀도가 가벼워지며 하부 기반암의 용기와 같은 구조운동이 일어나고 상부는 다시 침식된 퇴적물들의 잔해들이 외해로 밀려나가며 외해쪽의 밀도가 무거워지고 두껍게 된다. 이러한 표면을 해퇴 침식면(regressive surface of erosion)이라 하며 이것은 저수위 퇴적계 다발(Lowstand System Tract)에 해당되며 상대적인 해수면 변동의 증거가 될 수 있

다(Posamentier and Chamberlain, 1993). 침식 부정합면에 대한 탄성과 해석요소가 다양하기 때문에, 탄성과 단면상에서의 해석은 매우 중요하다.

3.2. 층서 경계면 해석

중생대 백악기 침식부정합 반사면 하부에 위치하는 Grosmont층은 데본기 후기 해수면 변동에 의해 해침과 해퇴를 반복하며 형성된 퇴적체이다. 앞서 발표된 연구 결과(Dembicki *et al.*, 1994)에 의하면 세일에 의해 4가지의 단위로 Grosmont층을 분류할 수 있었고 하부부터 Lower Grosmont(LG), Upper Grosmont(UG1, UG2, UG3)로 분류되며 얇은 세일 호층은

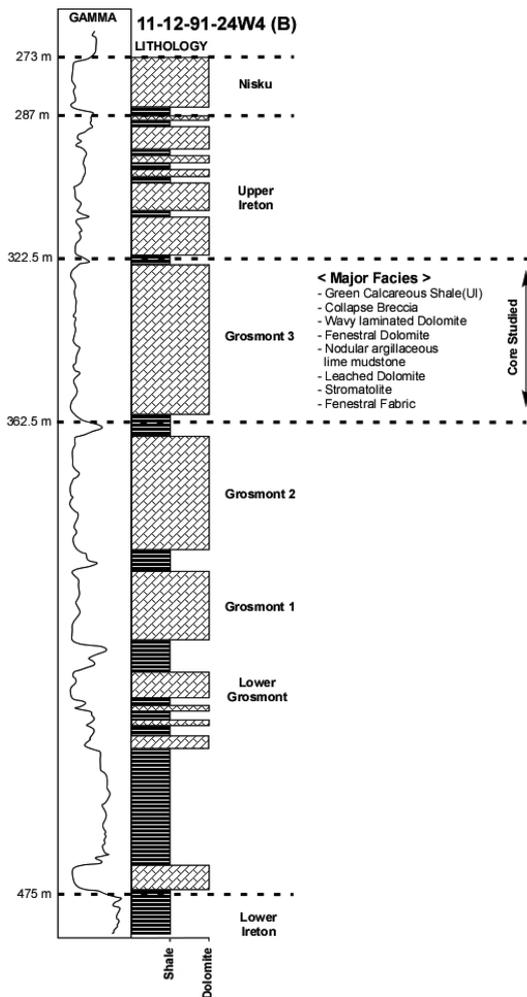


Fig. 5. γ -ray and detailed lithofacies description of the Upper Grosmont 3, B core.

Shale Break 1, 2, 3(SB-1, SB-2, SB-3)로 구분된다. 이것들은 감마검층자료에서 확인된다(Fig. 5). 하지만 탄성파단면도상에서 대략 0.2 ~ 0.5 m 두께의 세일층을 찾는 것은 거의 불가능하였다(PTAC, 2007). 따라서 반사이벤트의 극성, 연속성, 주파수/간격 등의 해석방법을 시도하여 대략 0.5 ~ 0.65 ms 사이에 존재하는 Grosmont층에서 뚜렷한 반사면 4개를 찾을 수 있었다. Figs. 6, 7에서 음향 임피던스가 낮은 것에서 높은 것으로 변하는 구간으로 양의 반사계수(reflection coefficient)가 커지는, 즉 양(positive)의 진폭으로 그 세기가 커지는 구간이며, 주파수에 따른 간격의 수직 분해능 또한 경계를 인지할 수 있었다. 또한 탄산염암과 세일의 일반적으로 알려진 속도차이를 감안하였다. 따라서, 세일과 탄산염암과 같이 음향 임피던스가 낮은 암질에서 높은 암질로 변하는 구간으로 얇은 세일층의 인지가 어려운 대신 이러한 반사면을 기준으로

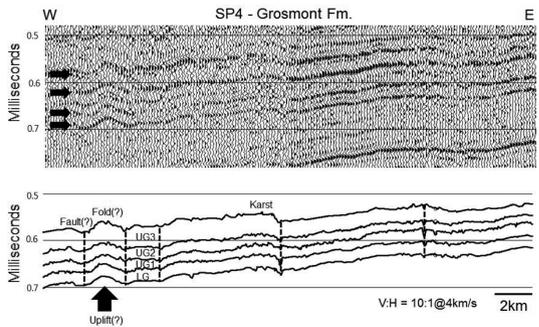


Fig. 6. Seismic Interpretation of the line SP4. The unconformity is represented by subaerial exposure. Each boundary of the sedimentary units (LG~UG3) is successfully identified with positive polarity and carbonate interval.

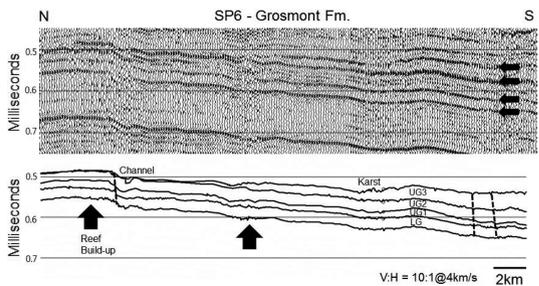


Fig. 7. Seismic Interpretation of SP6. The unconformity is represented by subaerial exposure. Each sedimentary unit (LG~UG3) boundary can be correlated with positive polarity and carbonate interval. This is characterized by complex sigmoid-oblique progradational configurations.

하부부터 LG, UG1, UG2, UG3의 층서를 구분할 수 있는 기준이 되었다.

3.3. 퇴적환경 및 탄성파상

퇴적환경 및 과정을 파악하기 위해 탄성과 측선에 인접한 B공(Fig. 8)의 암상자료, 감마(γ -ray)물리검층자료를 이용하였고 반사면의 진폭, 주파, 연속성을 고려

하여 탄성파상을 해석하였다. Grosmont층의 탄성파상은 주로 반사파가 중-고진폭, 중-저주파이고 반사면의 연속성이 좋은 평행한 반사형을 보인다. 일반적으로 Sangree and Widmier(1977)에 의하면, 양호한 연속성 및 평행한 반사형은 안정된 퇴적환경을 지시하며 시추공의 암상자료 역시 상향 천해화의 암상과 산호화석을 보이는데(Fig. 9), 이를 통해 대륙붕 환경으로 해석하는 기초가 되었다(Fig. 10). SP4의 단면도(Fig. 6)를 보면 미세한 전진구축형(progradation)을 보이며 서쪽에서 동쪽방향으로 가면서 중간부분에서 진폭의 세기와 연속성이 경계면을 따라 높아지는 것을 볼 수 있는데, 이것은 Fig. 11에서와 같이 중-고진폭의 대륙붕 또는 플랫폼 환경에서 경계면을 따라 좋은 연속성과 고진폭을 보이는 플랫폼 주변부 환경으로의 퇴적환경 변화를 유추할 수 있다(Vail, Todd and Sangree, 1977). SP6의 단면도(Fig. 7)를 보면 마찬가지로 전진구축형을 보이며 남쪽에서 북쪽방향으로 가면서 진폭의 세기가 낮아지는 것은 대륙대의 환경에서 중-저진폭의 양상을 띠는 분지로 환경변화를 유추할 수 있다. 기존 연구결과에 의하면 북쪽 하부에서는 고해수면 환경의 산호초에 의한 빌드업이 형성되어 층을 변형시키며 쉼기형태의 층을 형성하게 되었고, 플랫폼의 퇴적환경이 형성되었을 가능성이 높다. SP6의 단면상에서는 밀도차에 의한 용기 구조와 유사한 구조는 관찰되지 않았다.

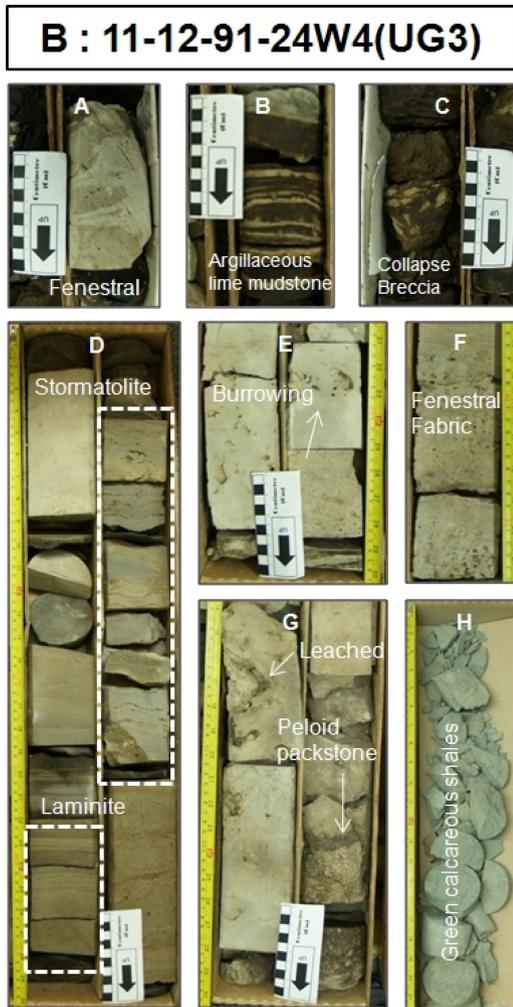


Fig. 8. Sedimentary features in Grosmont carbonates: Upper Grosmont 3 (B core): A, fenestral dolomite; B, argillaceous lime mudstone infilled with bitumen; C, collapse breccia with Cretaceous shale matrix infill; D, when this facies has not been reduced to a breccia zone due to dissolution it is a laminated dolomite of tidal origin; E, subvertical burrowing; F, fenestral fabric; G, leached finely bedded, peloid, intraclast lime packstone, with a mound-like structure; H, green calcareous shales from Ireton Formation.

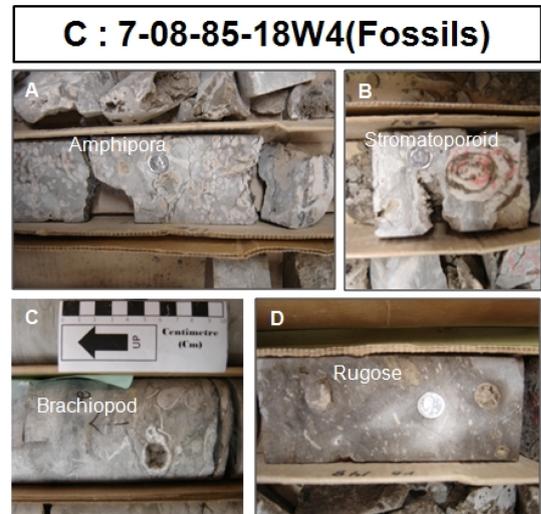


Fig. 9. Major fossils of reef in C core (UG2): A, Amphipora wackestones to packstones with a skeletal; B, dolomitized stromatoporeid-coral-rich bed; C, thick shelled brachiopod debris are set in a matrix; D, dolomitized rugose-coral-rich bed.

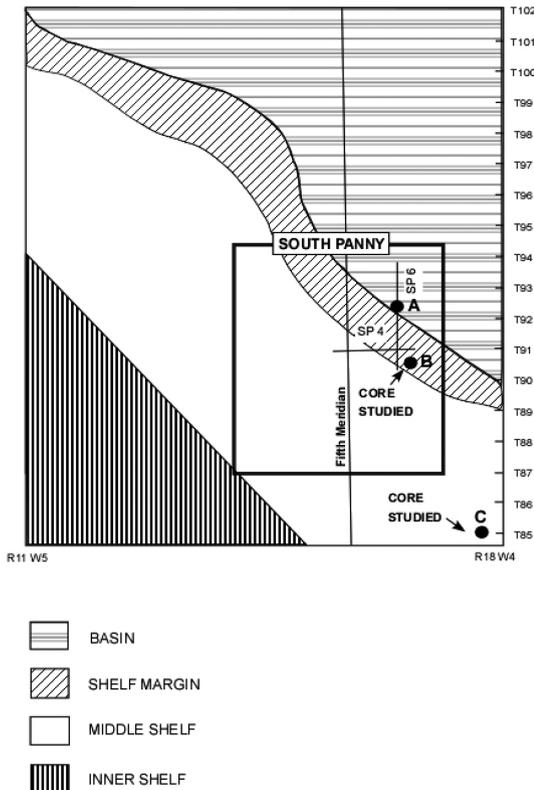


Fig. 10. Paleoenvironment of study area, South Panny (modified from Campbell, 1987).

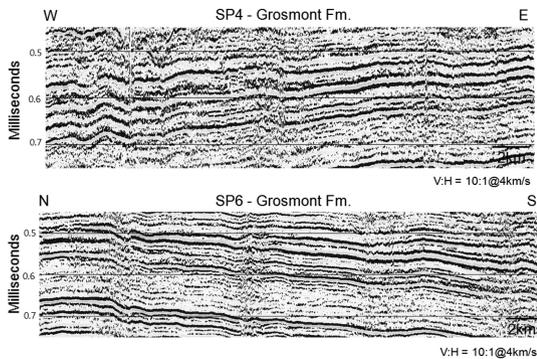


Fig. 11. Interpretation of seismic facies in the study area.

4. 토 의

상기 결과에 의하면 연구지역에 분포하는 Grosmont 탄산염암층은 플랫폼 및 대륙붕 환경으로부터 분지 방향의 대륙붕대를 향하면서 층후가 점차 감소하는 썩기 형태로 발달해 있으며 탄성과 단면상의 각 퇴적단위는

대륙붕대를 향하며 전진하는 시그모이드-오블리크형태의 음향특성을 갖는 것이 특징적이다(Fig. 7). 기존의 연구결과에 의하면 본 지역에 발달해 있는 퇴적층은 데본기 후기의 프라스니안기-파메니안기 동안 형성된 것으로 해석되며(Mossop and Shetsen, 1994), 이 기간동안 주기적으로 반복된 해수면 변동과 연계되어 퇴적작용이 진행된 것으로 알려졌다(Fig. 2). Fig. 12에 해수면 변화와 연계된 각 퇴적단위의 발달과정을 요약하였다. 층서단위는 경계면의 침식과 퇴적계 연합체를 구성하는 부순차층세트의 집적형태 등에 의해 구획이 정해지고, 다시 이들 특성과 순차층 내에서의 위치에 따라 상대적 해수면 변동과 관련지어 3개의 퇴적계 연합체 등으로 분류된다. 반사파의 특성이나 형태만으로 순차층의 경계면을 인지하기란 쉽지 않기 때문에 순차층의 구성단위를 기술적 구분요소가 강한 부순차층세트로 하여 층서모델을 제시해 보았다. 부순차층세트는 ‘기원적으로 연계된 부순차층(parasequence)의 연속체’로 정의되며, 단순히 부순차층의 집적형태(progradational; 전진형태, aggradational; 수직누적 또는 retrogradational; 후퇴형태)에 따라 구분된다(Van Wagoner *et al.*, 1988). 한편, 부순차층은 야외 노두나 시추자료에서 상향 친해화의 퇴적상변화를 보이는 구간으로서, 단주기의 급격한 해침면을 경계로 구분된다(Van Wagoner *et al.*, 1990). SP6의 탄성과 단면도 상에서 퇴적층의 발달 과정을 4단계로 분류하였고 다음과 같다.

Stage 1 : 저해수면 조건하에서 Cooking Lake층은 플랫폼 환경이 형성되었고 해침에 의한 해침면(transgressive surface)이 형성되며 해침에 따른 지속적인 해안선의 이동으로 두꺼운 퇴적층을 형성하기 보다는 대체로 얇은 세일 박층을 형성하였을 것으로 해석된다.

Stage 2 : 저해수면 시기에 해수면 하강은 탄산염 퇴적물 생성에 막대한 영향을 미치며 하부 산호초 빌드업 환경을 조성하고 이에 의한 구조변형으로 경계면 상부에 전진 구축형 퇴적체가 형성되기 시작하였고 급격히 해수면이 상승하게 되어 해침과 해퇴를 반복하였다. 깊은 심도의 녹색 탄산염질 세일이 얇은 층으로 협재하여 탄산염암층과 호층을 이루게 되며 최대해침면(maximum flooding surface)이 형성되며 대기노출에 의한 플랫폼환경 위로 퇴적작용이 진행된 것으로 해석하였다(LG).

Stage 3, 4 : 해수면이 최대 상승하게 되면서 수

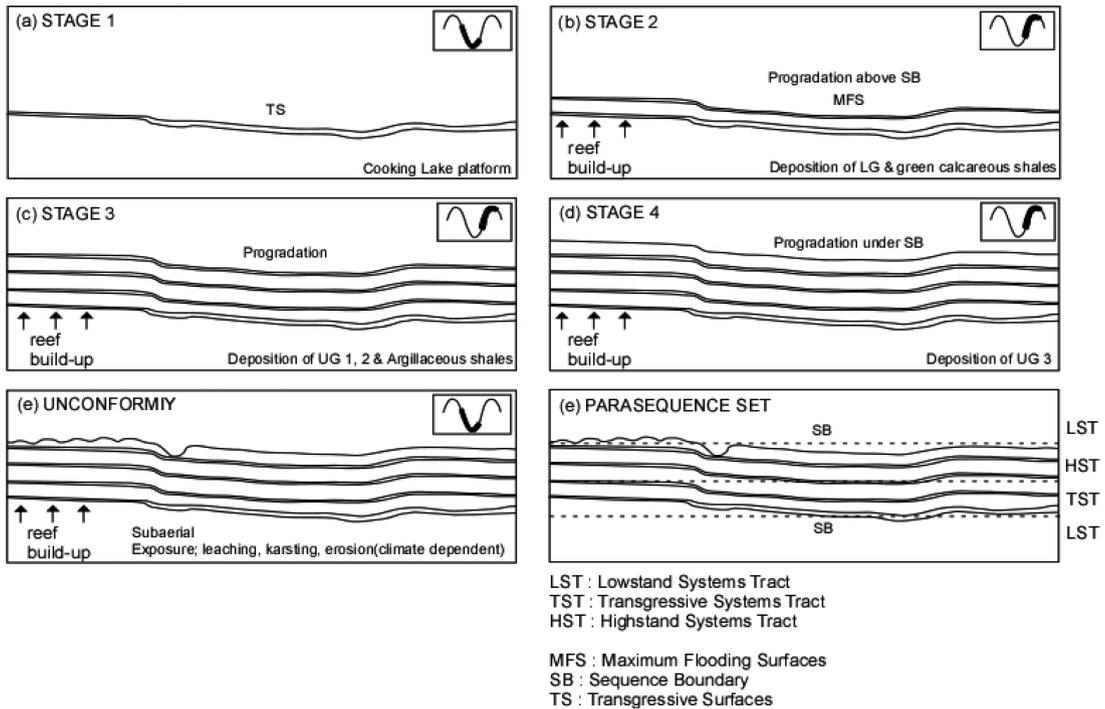


Fig. 12. Schematic diagram for the Grosmont platform sequence (SP6), created in response to sea-level fluctuations.

직누적과 전진에 의해 퇴적체가 형성되며 해수면 상승률이 점차 감소함에 따라 층서적으로 경계면 하부에서 상향 천해화 연계층을 형성하게 된다(UG1~3).

침식 부정합면 : 다시 저해수면 조건이 되면서 대기 노출에 의해 침출, 카르스트화작용 등이 일어나게 된다. 대륙붕 및 플랫폼 환경에서 대기에 노출된 탄산염이 침식되는 정도는 기후와 밀접한 연관이 있는데 연구지역과 같이 카르스트의 지표가 발달하게 되면 습윤한 기후를 지시하는 것으로 해석된다.

5. 결 론

연구지역에 분포하는 데본기 후기 탄산염암 퇴적층의 침식 부정합면은 카르스트화작용, 하도, 침식면 등에 의해 인지가 가능하였다. 아울러 Grosmont층의 경계면과 퇴적환경을 해석하는데 극성, 연속성, 주파/간격, 진폭 등의 해석요소들을 고려하여 음향 임피던스가 고-저로 변하는 구간으로 양의 반사계수를 갖고 강한 양의 진폭을 띄며 연속성이 좋고, 주파수에 따른

간격의 수직적인 변화 등으로 경계가 되는 구간에 해당하는 세일과 탄산염암과 같이 음향 임피던스가 낮은 암질에서 높은 암질로 변하는 반사면을 기준으로 하부부터 상부층까지의 층서를 구분할 수 있는 기준이 되었다. 퇴적환경은 탄성파상의 반사파가 중-고진폭, 중-저주파이고 반사면의 연속성이 좋은 평행한 반사형을 보이고 시추공의 암상자료 역시 상향 천해화의 암상과 산호화석을 보여, 이를 통해 플랫폼 환경으로 해석된다. 하지만 반사파의 특성이나 형태만으로 순차층의 경계면과 퇴적환경을 인지하기란 쉽지 않기 때문에 순차층의 구성단위를 기술적 구분요소가 강한 부순차층세트로 하여 층서모델을 제시하였다. 침식 부정합면에 의해 분리되는 퇴적단위(LG~UG3)를 포함하며 이 퇴적단위의 형성은 주기적으로 반복되는 해수면 변동에 의해 크게 조절되었으며, 퇴적단위의 대부분은 주로 해 퇴 및 저해수면 환경 하에서 형성된 것으로 해석되어 플랫폼 환경을 뒷받침해주는 증거가 된다. 특히, 고해수면 환경 하에서 형성된 퇴적체의 하부의 세일층은 반복되는 해퇴기간 동안 대부분이 박층으로 분포하는 것으로 해석된다.

사 사

본 연구는 2011년도 지식경제부의 재원으로 한국석유공사(KNOC)의 “비재래 탄산염암 지역의 탄성과 자료처리 및 해석 연구” 과제의 지원을 받아 수행된 연구 과제이다(No. 2008-R-ER11-P-04-3-040).

참고문헌

- Anderson, N.L., Brown, R.J. and Hinds, R.C. (1988) A seismic perspective on the Panny and Trout fields of North-Central Alberta. *Canadian Journal of Exploration Geophysics*, v.24, n.2(December 1988), p.154-165.
- Bachu, S. (1995) Synthesis and Model of Formation-Water Flow, Alberta Basin, Canada. *AAPG Bulletin*, v.79, n.8(August 1995), p.1159-1178
- Bachu, S., Underschultz, J.R., McPhee, D. and Cotterill, D.K. (1996) Regional geology and hydrostratigraphy in northeast Alberta. *AEUB Open File Report* 96-16, 161p.
- Belyea, H.R. (1952) Notes on the Devonian system of the north-central plains of Alberta. *Geol. Survey Canada*, p.52-27, 66p.
- Belyea, H.R. (1956) Grosmont formation in the Loon Lake area. *Alberta Soc, Petroleum Geology J.*, v.4, p.66-69.
- Belyea, H.R. (1964) Upper Devonian, part II, Woodbend, Winterburn and Wabamun Groups, in McCrossan, R. G., and Glasister, R. P., eds., *Geological History of Western Canada*. Alberta Soc, Petroleum Geologists Calgary, p.66-68.
- Buschkuehle, B.E. (2007) An Overview of the Geology of the Upper Devonian Grosmont Carbonate Bitumen Deposit, Northern Alberta, Canada. *Natural Resources Research*, v.16, n.1(March 2007).
- Campbell, C.V. (1987) Stratigraphy and facies of the Upper Elk Point Subgroup, Northern Alberta, in Krause, F. F. and Burrows, O. G., eds., *Devonian lithofacies and reservoir styles in Alberta*. Second Internat. Symp. Devon. Syst., Calgary, p.243-286.
- Cutler, W.G. (1983) Stratigraphy and Sedimentology of the Upper Devonian Grosmont Formation, Northern Alberta. *Bulletin of Canadian Petroleum Geology*, v.31, n.4(Dec. 1983), p.282-325.
- Dembicki, E.A. (1994) The Upper Devonian Grosmont Formation: Well-log evaluation and regional mapping of a heavy oil carbonate reservoir in northeastern, Alberta. unpubl. masters thesis, Univ. Alberta, Edmonton, 221p.
- Dembicki, E.A. and Machel, H.G. (1996) Recognition and delineation of paleokarst zones by the use of wireline logs in the bitumen-saturated Upper Devonian Grosmont Formation of northeastern Alberta, Canada. *Am. Assoc. Petroleum Geologists Bull.*, v.80, n.5, p.695-712.
- Huebscher, H. (1996) Regional controls on the stratigraphic and diagenetic evolution of the Woodbend group carbonates, north-central Alberta. unpubl. doctoral dissertation, The Univ. Alberta, Edmonton, 231p.
- James, N.P. (1979) Shallowing-upward sequences in carbonates. In: Walker, R. G. (Ed.), *Facies Models*. Geoscience Canada, Reprint Series 1, p.109-119.
- Johnson, J.G., Klapper, G. and Sandberg, C.A. (1985) Devonian eustatic fluctuations in Euramerica. *Geological Society of America, Bulletin*, 96, p.567-587.
- Mossop G.D. and Shetsen I. (compilers) (1994) *Geological Atlas of the Western Canada Sedimentary Basin*. Calgary, Canadian Society of Petroleum Geologists and Alberta Research Council, 510p.
- Posamentier, H.W. and Chamberlain, C.J. (1993) Sequence-stratigraphic analysis of Viking Formation lowstand beach deposits at Joarcam field, Canada. *Spec. Publ. Int. Assoc. Sediment.* n.18 : 469-485.
- PTAC(Petroleum Technology Alliance Canada) (2007) *Low GHG Recovery Technology Scenarios*. Technology Information Session.
- Sangree, J.B. and Widmier, J.M. (1977) Seismic stratigraphy and global changes of sea level, part 9: seismic interpretation of clastic depositional facies. *American association of petroleum geologist, Memoir*, 26, 165-184.
- Vail, P.R., Todd, R.G. and Sangree, J.B. (1977) Chronostratigraphic significance of seismic reflections, in C. E. Payton, *Seismic stratigraphy applications to hydrocarbon exploration*: Am. Assoc. Pet. Geol. Mem. 26, 160-168.
- Van Wagoner, J.C., Mitchum, R.M., Jr, Campion, K.M. and Rahmanian, V.D. (1990) Siliciclastic sequence stratigraphy in well logs, cores, and outcrops: concepts for high-resolution correlation of time and facies. *American Association of Petroleum Geologists Method Exploration Series*, 7, 55p.
- Wilson, J.L. (1975) *Carbonate Facies in Geologic History*. New York, Heidelberg, Berlin: Springer-verlag, 472p.