보령지역 충남 분지 중생대 초기 하조층의 퇴적상 분석

이신우 · 정공수*

충남대학교 자연과학대학 지질환경과학과, 305-764, 대전광역시 유성구 대학로 79

Facies Analysis of the Early Mesozoic Hajo Formation in the Chungnam Basin, Boryeong, Korea

Sin Woo Lee and Gong Soo Chung*

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

Abstract: Facies analysis of the Late Triassic Hajo Formation, the lowest stratigraphic unit in the Chungnam Basin, shows that the lower part is composed mainly of breccias or conglomerates; the middle part, conglomerates; and the upper part, conglomerates and sandstones. The formation consists of 13 facies, which include horizontally stratified clast-supported conglomerate, clast-supported massive breccia, matrix-supported massive breccia or conglomerate, matrix-supported graded conglomerate, massive pebbly sandstone, horizontally laminated sandstone, massive sandstone, graded sandstone, inversely graded sandstone, planar cross-bedded sandstone, trough cross-bedded sandstone, low angle cross-bedded sandstone, and massive mudstone. These are grouped into 4 facies associations (FA). FA I consisted of clast-supported and matrix-supported massive breccias presumably deposited in the talus or upper fan delta environment. FA II consists of matrix-supported massive conglomerate and horizontally stratified clast-supported conglomerate of cobble size and it seems to have been deposited in the upper fan delta environment. FA III consisted of matrix-supported massive conglomerate of pebble size, horizontally laminated sandstone and massive sandstone may have been deposited in the middle fan delta environment. FA IV consists of massive pebbly sandstone, horizontally laminated sandstone and massive sandstone and presumably was deposited in the lower fan delta environment. In general the Hajo Formation is interpreted to have been deposited at the talus/upper fan delta environment in early stage; it might have been deposited in the alternating environments of upper and middle fan delta in middle stage; and it seems to have been deposited in alternating environments of middle and lower fan delta in late stage.

Keywords: Chungnam Basin, Hajo Formation, facies association, fan delta

요약: 충남 보령 지역 트라이아스기 후기 하조층은 충남분지의 최하위층으로서 하부는 주로 각력암이나 역암, 중부는 역암, 상부는 역암과 사암이 호층을 이루고 있다. 하조층은 입자지지 수평층리 역암, 입자지지 균질 각력암, 기질지지 균질 역암, 기질지지 점이층리 역암, 역질 사암, 평행 엽층리 사암, 균질 사암, 정상 점이층리 사암, 역전점이층리 사암, 판상 사층리 사암, 곡상 사층리 사암, 저경사 사층리 사암 그리고 이암의 13개의 암상으로 구성되고 이들은 4개의 상조합을 이룬다. 상조합 I은 테일러스나 상부 선상지 삼각주에서 퇴적된 것으로 보이는 입자지지 및 기질지지 균질 각력암으로 구성되어 있다. 상조합 II는 기질지지 균질 역암과 수평층리 입자지지 역암으로 구성되고 상부선상지 삼각주에서 퇴적된 것으로 보인다. 상조합 III은 기질지지 균질 역암, 평행엽층리 사암 및 균질 사암으로 구성되고 중부선상지 삼각주에서 퇴적된 것으로 보인다. 상조합 IV는 균질 역질 사암, 수평엽층리 사암과 균질 사암으로 구성되고 하부선상지 삼각주에서 퇴적된 것으로 보인다. 전체적으로 보아 하조층은 초기는 테일러스와 상부 선상지 삼각주 환경에서 퇴적되고, 중기는 상부 선상지 삼각주와 중부 선상지 삼각주가 교호한 환경에서 퇴적되었으며, 말기에는 중부 선상지 삼각주와 하부 선상지 삼각주가 교호하는 환경에서 퇴적된 것으로 해석된다.

주요어: 충남분지, 하조층, 상조합, 선상지 삼각주

*Corresponding author: gschung@cnu.ac.kr

Tel: 82-42-821-6429

Fax: 82-42-822-8733

서론

한반도 남부에 분포하는 하부 중생대 퇴적분지들은 김포층군, 반송층군, 문경탄전 그리고 충남분지에 분포되어 있다(김정환 외, 1999). 초기 중생대 퇴적분지들 중 최대 면적을 차지하는 충남분지는 충남 보령 지역에 위치하고 있다(Fig. 1A). 초기 중생대 퇴적층에 대한 연구로서 김정환 외(1989, 1992)는 반송층군과 문경탄전의 지질구조를 보고하였고, Ree et al. (2006)은 저어콘의 U-Pb SHRIMP(Sensitive High-Resolution Ion MicroProbe) 연대측정을 통하여 반송층군의 지질연대와 중생대 지구조적 관계를 규명하였다. 하조층은 충남분지에 분포하는 남포층군의 최하위층으로 편마암류와 편암류의 변성암인 기반암 위에

퇴적되었다. 최현일 외(1987)는 충남탄전의 지질과 퇴적구조 및 퇴적진화과정에 대해 보고하였고, 에가와 코우스케와 이용일(2006)은 오천과 오서산 지역의 남포층군 층서에 대해 조사하였다. 또한 전희영(2004)의 에스테라이트(estherites) 화석 연구와 Jeon et al.(2005)의 저어콘의 U-Pb SHRIMP 연대 측정에 의해 남포층군의 연대가 후기 트라이아스기에서 전기 쥐라기로 추정되었다.

퇴적상 분석을 통해 퇴적작용과 퇴적환경을 유추할 수 있다(Miall, 1996). Kim and Chough(2000)는 역암이 많이 분포하는 포항분지의 도읍산 전삼각주(prodelta)의 퇴적상 분석을 통하여 전삼각주 퇴적층이 자갈 돌출부(lobe)에서 퇴적되었음을 밝혔으며 돌출부안에 하도상 메꿈이 나타나는데, 이는 수중의 하

Fig. 1. (A) Geological map of the Boryeong area (Seo et al., 1982). Enlarged maps show study sites; site 1 is located at the incised slope near Boryeong dam and Yongsuri in Jusanmyeon and Misanmyeon respectively. Site 2 is located at Baekjegol in Misanmyeon (B). Site 3 is located at Ocheon (C).

도 체계적이었기 때문이라고 해석하였다. Ciftci and Bozkurt(2009)는 터키 북서부에 위치하고 있는 Gediz 지구의 퇴적상 분석을 통하여 Gediz 지구(graben)가 초기에는 반지구(half graben) 형태에서 퇴적되었다가 말기에는 지구 형태로 퇴적되었음을 보고하였다. 장력에 의해 대륙지각의 신장이 일어나 지구나 반지구의 형태로 생성되는 육성 퇴적분지에서 퇴적될 때 충적선상지, 강 그리고 호수의 다양한 퇴적물이 퇴적되며 분지의 가장자리를 따라 다양한 암상이 산출될 수 있다. Turkmen et al.(2007)은 터키 동부에 있는 Malatya 분지의 퇴적상 분석을 통해 퇴적물이 충적선상지와 호수 환경에서 퇴적되었음을 밝혔으며, 퇴적물의 이동 방향이 주로 남동쪽으로 있었고 단층과 동시적으로 퇴적된 것을 지시한다고 하였다. 또한 이 병주와 김복철(2003)은 백악기 공주분지의 퇴적상 분석을 통하여 공주분지가 분지 가장자리에서부터 충적선상지 환경에서 선상지 평원을 거쳐 호수 주변 하천 및 호수 환경으로 변한 두꺼운 퇴적층을 형성하고 있다고 해석하였다. 본 연구의 목적은 충남 보령 일대에 분포하는 충남분지의 남포층군 중 최하위층인 하조층의 퇴적상 분석을 통해 퇴적 작용과 퇴적 환경을 밝히는 것이다.

지질개요

충남분지가 위치하고 있는 보령 지역은 기반암이 선캄브리아대의 서산층군과 경기 변성암 복합체 및 화강 편마암과 편암으로 구성되어 있다. 충남분지의 퇴적층에서 석탄이 분포하여 충남탄전을 형성하고 있다. 충남분지에 퇴적된 지층은 남포층군을 이루며 대동누층군에 속한다. 대동누층군은 대보조산운동이 일어나기 전까지의 누층군을 말하며 하부에서부터 하조층, 아미산층, 조계리층, 백운사층 그리고 성주리층으로 구성되어 있다(양승영, 1999). 남포층군의 퇴적시기는 에스테라이트(estherites) 화석연구(전희영, 2004)와 식물화석 연구(Kim and Kimura, 1987, 1988; Kim, 2001)에 의하여 후기 트라이아스기에서 전기 쥐라기로 추정되었다. 남포층군을 이루고 있는 하조층은 최하위층으로서 주로 역암으로 구성되어 있고 아미산층은 사암과 세일이 호층을 이루고 있다. 조계리층은 주로 역암과 사암으로 구성되어 있고 아미산층과 조계리층의 접촉은 부정합적 관계이다. 백운사층은 주로 역암과 사암으로 구성되어 있고 성주리층은 주로

사암과 세일로 구성되어 있다. 하조층은 보령댐 절개지, 용수리, 백제골, 소항리, 오천 그리고 오서산 지역에 노출되어 있다.

암 상

하조층을 구성하는 퇴적층을 입자의 크기, 조직, 퇴적구조 등에 근거하여 13개의 암상으로 구분하였다(Table 1). 13개의 암상은 입자지 지수평층리 역암상, 입자지 지 균질 각력암상, 기질지 지 균질 역암상, 기질지 지 점이층리 역암상, 역질 사암상, 평행 엽층리 사암상, 균질 사암상, 정상 점이층리 사암상, 역점 이층리 사암상, 판상 사층리 사암상, 곡상 사층리 사암상, 저경사 사층리 사암상, 이암상으로 구분된다. 이들 암상들은 암상코드(lithofacies code)로 정리였다. 즉, 입자지 지 수평층리 역암상을 Gh, 입자지 지 괴상 각력암상을 Bcm, 기질지 지 균질 역암상을 Gmm, 기질지 지 점이층리 역암상을 Gmg, 역질 사암상을 Gmp, 균질 사암상을 Sm, 정상점이층리 사암상을 Sg, 역점이층리 사암상을 Si, 평행 엽층리 사암상을 Sh, 판상 사층리 사암상을 Sp, 곡상 사층리 사암상을 St, 저경사 사층리 사암상을 Sl, 이암상을 Fm로 명명하였다.

입자지 지 수평층리 역암상(Clast-supported horizontally stratified conglomerate: Gh)

기재: 입자지 지 수평층리 역암상은 크기는 주로 10-12 cm의 왕자갈로 구성되어 있고 최대 23 cm의 역도 관찰된다. 왕자갈(cobble) 크기의 역으로 구성되어 있으며(Fig. 2A) 부분적으로 자갈(pebble)과 거력(boulder)크기의 역 또는 자갈과 왕자갈 크기의 각력들도 나타난다. 역의 원마도는 subangular에서 subrounded이고 역들은 압력 용해되어 비대칭적인 꼬리를 형성하고 있다. 역의 함량은 85%이상으로서 역의 장축이 층리면에 평행하게 배열되어 있다(Fig. 2B). 역의 분급은 불량하고 일부 양호하기도 하다. 기질은 조립질 모래에서 극조립질 모래로 구성되어 있고 전체적인 암상의 색은 회색이며 횡적연장성은 나쁜 편이다. 상부로 갈수록 압력 용해의 양상이 감소한다. 역은 대부분 기반암인 변성암 기원의 편암, 편마암, 호상 편마암과 규암으로 구성되어 있고 개별적인 층의 두께는 120 cm에서 420 cm이며 일부는 10 m 정도의 두께를 보이기도 한다.

Table 1. Description of sedimentary facies and inferred depositional processes.

Lithofacies	Description	Interpretation
Clast-supported horizontally stratified conglomerate (Gh)	Mainly composed of subrounded to rounded cobble and minorly pebble or boulder; matrix of coarse to very coarse sand; poorly to well sorted; arrangement of long axis of gravels parallel to bedding surface; poor lateral continuity; average thickness of bed about 360cm with range from 120 cm to 420 cm.	Sedimentation by high energy streamflow (Cantalamesa and Delma, 2004); sheetflood deposit (Turkmen et al., 2007)
Clast-supported massive breccia (Bcm)	Mainly composed of subangular to angular pebble and minorly granule; more than 85% gravel content; matrix of fine to medium sand; poorly sorted; poor lateral continuity; 5 cm to 33 cm thick.	Density-modified grain-flows or high density flow close to fault (Celma and Cantalamesa, 2007; Krapez and Han, 2008)
Matrix-supported massive breccia or conglomerate (Gbm or Gmm)	Gbm Composed of angular pebble or megabreccia; matrix of coarse to very coarse sand; poorly sorted; light gray to gray.	Debris flow having viscous clast interaction (Nemec and Steel, 1984; Shultz, 1984)
	Gmm Composed of subrounded to rounded pebble or cobble; matrix of coarse to very coarse sand; poorly sorted; good lateral continuity; light to dark gray.	Cohesive debris flow (Miall, 1977; Chun and Chough, 1995; Collinson, 1996); laminar flow (Horton and Schmitt, 1996)
Matrix-supported graded conglomerate (Gmg)	Composed of angular to subangular pebble or cobble; matrix of very coarse sand; normally or reversely graded; light to dark gray; partially laminated.	Hyperconcentrated flow (Lowe, 1979; Nemec and Steel, 1984); high density turbidity current (Mastalerz, 1995)
Massive pebbly sandstone (Smp)	5 to 20% pebble clasts; average clast size of 2-3 cm; composed of subrounded to rounded pebbles; poorly sorted; medium to very coarse sand; gray to light gray.	Subaqueous debris flow (Deynoux et al., 2005); thin diluted sandy debris flows generated from cohesionless subaqueous debris flows by surface flow transformation (Sohn et al., 2002)
Horizontally laminated sandstone (Sh)	Mainly composed of coarse to very coarse sand and minorly fine and medium sand; gray to dark gray; 1-2 mm lamination; 6cm to 300cm thick.	Plane-bed sands of the upper flow regime as channel fill or overbank (Turkmen et al., 2007)
Massive sandstone (Sm)	Mainly composed of coarse to very coarse sand, and minorly fine and medium sand; gray; 2 to 348 cm thick.	High density stream flow (Alexander and Gawthorpe, 1993)
Graded sandstone (Sg)	Composed of fine to coarse sandstone; normally graded sandstone; gray to dark gray; 7 to 27 cm thick.	Sediment gravity flow or deposit at lower flow regime (Allen, 1984; Miall, 1996)
Inversely graded sandstone (Si)	Composed of very fine to coarse sand; light gray; 4 to 46 cm thick.	Concentrated or hyperconcentrated density flow (Mulder and Alexander, 2001)
Planar cross-bedded sandstone (Sp)	Composed of coarse sand; planar cross lamination with 15 degrees; 35 cm thick.	Migrating of 2-D dune (bedforms), reworking by waves and longshore currents (Rasmussen, 2000)
Trough cross-bedded sandstone (St)	Composed of coarse sand; trough cross-bedded sand; 14 cm thick.	Migration of 3-D dune in fluvial channel (Miall, 1978; Plint, 1983; Miall, 1996)
Low angle cross-bedded sandstone (Sl)	Composed of coarse sand; cross-bedding angle less than 15 degree; 18 cm thick.	Plane beds deposited on initially dipping surfaces (Miall, 1996)
Massive mudstone (Fm)	Composed of shale; massive to horizontally laminated; dark gray; 1 to 41 cm thick.	Mud flow (Nemec and Steel, 1984; Shultz, 1984)

Fig. 2. Photographs of facies. Clast-supported horizontally stratified conglomerate facies (Gh) observed at Baekjegol (A), clast-supported massive breccia facies (Bcm) composed of granules and cobbles observed at the incised slope near Boryeong dam (B), matrix-supported massive conglomerate facies (Gmm and Gbm) composed of cobbles observed at Baekjegol (C), megabreccia found at the incised slope near Boryeong dam (D), matrix-supported graded conglomerate facies (Gmg) observed at Baekjegol (E) and massive pebbly sandstone facies (Smp) observed at Baekjegol (F).

해석: 입자지지 수평층리 역암상은 역이 주로 왕자갈로 구성되어 있고 장축이 층리면에 평행하게 배열되어 있으며 약간의 외상중첩구조를 보이는 것으로 보아 높은 에너지의 하천류(stream flow)에 의해 퇴적된 것으로 보인다(Cantalamessa and Delma, 2004). 분급이 양호하고 입자들의 배열상태가 균등한 것으로 보아 빠르고 일시적인 흐름에 의해 퇴적된 것으로 해석된다(Hadlari et al., 2006). 이 암상은 비교적 짧

은 기간 동안에 많은 물의 흐름으로 물이 얇은 층을 이루며 흐르는 판상홍수(sheetflood)와 같은 빠른 물의 흐름에 의해서도 퇴적될 수 있는 것으로 해석된다(Turkmen et al., 2007).

입자지지 균질 각력암상(Clast-supported massive breccia: Bcm)

기재: 입자지지 괴상 각력암상은 주로 자갈 크기의

각력으로 구성되며 부분적으로 잔자갈과 왕자갈 크기의 각력들이 보인다(Fig. 2B). 일부 역은 직경이 3 m에 이르는 거력으로 구성되어 있다. 역들은 기반암인 변성암 기원의 편암, 편마암으로 구성되어 있고 석영이나 슬레이트의 역들도 관찰된다. 역의 함량은 85% 이상이고 역의 원마도는 subangular에서 angular이다. 역의 분급은 불량하고 방향성은 없다. 역의 크기는 주로 1-3.5 cm이다. 기질은 세립질 모래에서 중립질 모래로 구성되어 있고 전체적인 암상의 색은 회색에서 암회색이다. 개별적인 층의 두께는 5 cm에서 33 cm 이내이다.

해석: 입자지지 균질 각력암상은 역이 주로 자갈 크기이고 기반암인 편암과 편마암으로 구성되어 있으며 부분적으로 직경 2-3 m의 역들이 나오는 것으로 보아 기반암의 단층작용과 관련되어 퇴적된 것으로 해석된다(Almeida et al., 2009). 분급이 불량하고 원마도가 subangular에서 angular인 것으로 보아 각력들은 단층 작용으로 인하여 단층 활면에서 떨어져 나온 암편들이 밀도가 변하는 입자류(density-modified grain-flows) 또는 고밀도류(high density flow)에 의해 가까운 장소에 퇴적된 것으로 보인다(Celma and Cantalamessa, 2007; Krapez and Han, 2008).

기질지지 균질 역암상(Matrix-supported massive conglomerate: Gmm and Gbm)

기재: 기질지지 균질 역암상은 주로 자갈 혹은 왕자갈 크기의 역으로 구성되어 있으며(Fig. 2C) 일부 거력 크기의 역과 각력들도 관찰된다(Fig. 2D). 역의 원마도는 angular에서 rounded이고 분급은 전체적으로 불량하다. 역의 함량은 주로 60-70%이고 일부는 층리에 평행하게 배열되어 있다. 역들은 호상 편마암, 편암, 규암과 석영으로 구성되어 있다. 기질은 층서적으로 차이를 보이는데 하조층의 하부에서는 극조립질 모래로 구성되어 있고 중부와 상부는 중립질 모래에서 극세립질 모래로 구성되어 있다. 암상의 색은 밝은 회색에서 회색을 띠고 개별적인 층의 두께는 3 cm에서 589 cm이다. 일부 하부구간에서 각력암층이 나타나는데 이들 층은 주로 잔자갈크기와 자갈크기의 각력으로 구성되어 있고 때로는 2-3 m의 거력들도 관찰된다. 역의 함량은 30-60% 정도이고 기질은 중립질 모래에서 모래로 구성되어 있다. 이 각력암층의 개별적인 층의 두께는 5 cm에서 100 cm이다. 일부

지역(백제골과 오천)에서의 본 암상의 역은 압력 용해현상이 나타난다.

해석: 기질지지 균질 역암상은 역의 원마도가 angular한 것과 subrounded에서 rounded한 것으로 나누어 퇴적작용을 생각할 수 있다. 우선 원마도가 angular한 것은 보령댐 절개지 지역과 용수리 지역에서 기반암으로부터 45 m 두께까지 나타난다. 자갈과 거력 크기의 각력들은 단층작용과 관련되어 생성되었음을 암시하며 기질지지 각력암층 안에 일부 거각력암(megabreccia)이 관찰되는 것으로 보아 기록된 심한 퇴적물 근원지로부터 다양한 크기의 퇴적물을 많이 포함하여 점성도가 큰 암설류(debris flow)에 의해 빠르게 퇴적된 것으로 해석된다(Nemec and Steel, 1984; Shultz, 1984). 원마도가 angular하고 역의 크기가 다양한 것으로 보아 이동거리가 짧았던 것으로 보이며 하조층 생성당시에 퇴적된 것으로 해석된다.

분급이 불량한 것과 자갈과 왕자갈의 크기로 구성되어 있는 것으로 보아 본 암상은 암설류에 의해 퇴적된 것으로 해석된다(Miall, 1996). 또한 역들이 기질로 둘러싸인 기질지지인 점으로 보아 기질의 힘이 입자들을 이동시키는 입자들이 응집이 잘되는 암설류에 의해 퇴적된 것으로 해석된다(Miall, 1977; Chun and Chough, 1995; Collinson, 1996). 본 암상에서 일부 입자들이 층리에 평행하고 입자의 배열성이 잘 나타나는 것으로 보아 일부 층류(laminar flow)에 의해서도 퇴적된 것으로 보인다(Horton and Schmitt, 1996).

기질지지 점이층리 역암상(Matrix-supported graded conglomerate: Gmg)

기재: 기질지지 점이층리 역암상은 하부에는 자갈 크기의 역과 상부에는 잔자갈 크기의 역들이 점이적으로 분포하며(Fig. 3E) 일부 역전점이층리가 관찰되는 구간도 있다. 역의 함량은 10% 정도이고 역은 angular에서 subangular한 원마도를 보인다. 점이적으로 구성되어 있는 암상의 색은 회색에서 암회색을 띠고 역전점이적으로 구성된 암상의 색은 밝은 회색이다. 기질은 조립질 모래 내지 극조립질 모래로 구성되어 있고 부분적으로 렌즈모양의 하도 배움이 관찰되는 암상도 있다. 역의 크기는 주로 4-40 mm이고 미미한 점층리가 관찰된다. 개별적인 층의 두께는 보통 3.5 cm에서 106 cm이다.

Fig. 3. Photographs of facies. Horizontally laminated sandstone facies (Sh) observed at Baekjegol (A), massive sandstone facies (Sm) observed at the incised slope near Boryeong dam (B), graded sandstone facies (Sg) observed at the incised slope near Boryeong dam (C), inversely graded sandstone facies (Si) observed at the incised slope near Boryeong dam (D), trough cross-bedded sandstone facies (St) observed at Baekjegol (E) and mudstone facies (Fm) observed at the incised slope near Boryeong dam (F).

해석: 기질지지 점이층리 역암상은 역의 크기가 잔 자갈에서 자갈인 것, 기질이 조립질 모래 내지 극조립질 모래인 것과 역의 함유율이 Gmm암상과 Gh암상에 비해 비교적 낮은 것으로 보아 고농도류(hyper-concentrated flow)가 유속이 급속히 감소하면서 퇴적된 것으로 해석된다(Nemec and Steel, 1984). 일부 나타나는 역전점이층리 역암상은 고농도 저탁류(high density turbidit current)에 의해 퇴적된 것으로 해석된다(Mastalerz, 1995).

역질 사암상(Massive pebbly sandstone: Smp)

기재: 역질 사암상은 기질이 모래로 구성되어 있고 소량의 역이 포함되어 있는 암상이다. 역은 주로 자갈 크기이고 일부 왕자갈 또는 잔자갈 크기의 역들이 소량 관찰된다(Fig. 2F). 역의 함량은 5-15%이고 일부 20%의 함량을 보이는 층도 있다. 역의 크기는 평균 2-3 cm이고 분급은 불량하며 원마도는 subrounded에서 rounded이다. 기질은 주로 조립질 모래에서 극조립질 모래고 일부 중립질 모래도 관찰된다. 전체적인

암상의 색은 회색에서 밝은 회색을 띤다. 일부 역들이 층리에 평행하게 배열되어 있으면서 평행 엽층리가 관찰된다. 층의 두께가 작을수록 역의 원마도가 불량하며 역의 함량은 많아진다.

해석: 역질 사암상은 역의 크기가 주로 자갈 크기의 역으로 되어 있는 점과 역의 원마도가 subrounded에서 rounded이고 암상의 색이 회색이며 역의 함량이 적고 역의 등급이 불량한 것으로 보아 수중 암설류(subaqueous debris flow)가 우세한 곳에서 퇴적된 것으로 해석된다(Deynoux et al., 2005). 일부 역이 드물게 구성되어 있고 평행 엽층리가 나타나는 것은 표면류(surface flow) 변화에 의한 응집력이 없는 수중 암설류로부터 발생한 얇고 약해진 모래 암설류에 의해 퇴적된 것으로 해석된다(Sohn et al., 2002).

평행 엽층리 사암상(Horizontally laminated sandstone: Sh)

기재: 평행 엽층리 사암상은 주로 중립질 모래에서 극조립질 모래로 구성되어 있고 일부 극세립질 모래와 세립질 모래로 구성되어 있다(Fig. 3A). 1-2 mm 정도의 평행엽층리가 뚜렷하게 관찰되고 일부 1-5 cm의 역들이 평행하게 배열되어 있는 것이 관찰되기도 한다. 전체적인 암상의 색은 회색에서 암회색을 띠며 개별적인 층의 두께는 6 cm에서 300 cm이다.

해석: 평행 엽층리 사암상은 입자가 주로 중립질 모래에서 조립질 모래로 구성되어 있고 평행 엽층리가 나타나는 것으로 보아 강 계곡의 안정한 지역에서 상부유권의 판상류에 의한 부유퇴적물이 하도 메꿈 또는 Overbank의 형태로 퇴적된 것으로 해석된다(Turkmen et al., 2007).

균질 사암상(Massive sandstone: Sm)

기재: 균질 사암상은 주로 중립질 모래내지 조립질 모래로 구성되어 있으며 일부 세립질 모래 또는 극조립질 모래가 관찰되기도 한다(Fig. 3B). 횡적연장성은 불량하고 일부 미미한 엽층리가 관찰되기도 한다. 등급은 양호하며 중부와 상부에서는 상하 경계가 점이적이고 하부에서는 급변한다. 원마도는 주로 subrounded내지 rounded이고 일부 subangular하기도 하며 잔자갈크기의 각력 또는 역들이 관찰되는 경우도 있다. 암상의 색은 하부에서는 주로 밝은 회색에서

회색을 띠고 상부에서는 주로 회색에서 암회색을 띤다. 개별적인 층의 두께는 2 cm에서 348 cm이다.

해석: 균질 사암상은 입자가 주로 중립질 모래에서 조립질 모래까지 나타나는 것과 괴상으로 보이거나 부분적으로 미세한 평행 엽층리가 나타나는 것으로 보아 퇴적물 중력류에 의한 빠른 퇴적현상으로 생성된 것으로 보인다(Miall, 1996). 특히 용수리와 보령댐 절개지 지역에서는 사암이 두껍게 쌓인 것과 잔자갈크기의 역들이 포함된 것으로 볼 때 높은 밀도의 빠른 하천류에 의해 모래 퇴적물이 높은 퇴적속도를 유지하며 퇴적된 것으로 해석된다(Alexander and Gawthorpe, 1993).

정상 점이층리 사암상(Graded sandstone: Sg)

기재: 정상 점이층리 사암상은 하부에는 조립질 모래 내지 극조립질 모래와 상부에는 중립질 모래 내지 세립질 모래가 점이적으로 분포되어 있고 하부에 잔자갈로 구성되어 있거나 잔자갈크기의 각력이 소량 포함되어 있는 경우도 있다(Fig. 3C). 렌즈 모양의 하도메꿈의 퇴적층에서 잘 관찰된다. 이 암상과 관련하여 미미한 엽층리가 관찰되기도 한다. 전체적인 암상의 색은 회색에서 암회색을 띠며 개별적인 층의 두께는 7 cm에서 37 cm이다.

해석: 정상 점이층리 사암상은 주로 조립질 모래로 구성되어 있는 것으로 보아 퇴적물 중력류에 의한 빠른 퇴적현상으로 생성되었거나 유속의 변화가 심한 하부 유권(lower flow regime)에서 퇴적된 것으로 해석된다(Allen, 1984).

역전점이층리 사암상(Inversely graded sandstone: Si)

기재: 역전점이층리 사암상은 하부에는 중립질 모래, 상부에는 조립질 모래가 역점이적으로 구성되어 있으며 때로는 하부에 세립질 모래로 구성되어 있다(Fig. 3D). 등급은 양호한 편이고 개별적인 층의 두께는 4 cm에서 46 cm이다. 보령댐 절개지에서 본 암상의 색은 밝은 회색이고 백제굴 지역의 본 암상의 색은 암회색이다.

해석: 역전점이층리 사암상은 입자가 중립질 모래에서 조립질 모래까지 역전점이적으로 분포하는 것으

로 보아 고밀도 저탁류에 의하여 퇴적된 것으로 해석된다(Mulder and Alexander, 2001).

판상 사층리 사암상(Planar cross-bedded sandstone: Sp)

기재: 판상 사층리 사암상은 백제골 지역에서 관찰되며 주로 조립질 모래로 구성되어 있다. 층의 두께는 35 cm이고 판상 사층리는 15°의 경사를 보인다.

해석: 판상 사층리 사암상은 입자가 조립질 모래인 것, 사층리의 각이 저각인 것으로 보아 2차원적 사구 같은 저면구조(bedform)의 이동에 의해 형성된 것으로 해석된다(Rasmussen, 2000).

곡상 사층리 사암상(Trough cross-bedded sandstone: St)

기재: 곡상 사층리 사암상은 백제골 지역에서 관찰되며 조립질 모래로 구성되어 있다(Fig. 3E). 층의 두께는 14 cm이고 평행 엽층리와 곡상 사층리가 관찰된다.

해석: 곡상 사층리 사암상은 선상지 표면을 흐르던 강의 하도 안에 형성된 물결모양의 사구의 퇴적물로 해석된다. 또한 조립질 모래로 구성되어 있는 것으로 보아 저경사 사층리 사암상보다 더 높은 에너지에 의하여 3D 사구의 형태로 퇴적된 것으로 해석된다(Miall, 1978; Plint, 1983; Miall, 1996).

저경사 사층리 사암상(Low angle cross-bedded sandstone: Sl)

기재: 저경사 사층리 사암상은 백제골 지역에서 관찰되며 조립질 모래로 구성되어 있다. 분급은 양호하며 층의 두께는 18 cm이고 평행 엽층리와 저경사 사층리가 동시에 관찰된다.

해석: 저경사 사층리 사암상은 입자가 조립질 모래인 것, 분급이 양호한 것, 평행 엽층리가 보이는 것으로 보아 경사진 사면위에 판상층에 의하여 쌓인 것으로 해석되며 평행 엽층리 사암상과 유사하게 에너지가 낮은 환경에서 퇴적된 것으로 보인다(Miall, 1996).

이암상(Mudstone: Fm)

기재: 이암상은 조사구간의 하부와 상부에서 관찰된

다. 주로 세일로 구성되어 있으며(Fig. 3F), 하부에는 3.5-1 cm의 각력을 포함하기도 하고 상부에는 모래층 사이에 협재되어 나타난다. 일부 렌즈모양이나 엽층리가 관찰되며 암상의 색은 암회색을 띠고 분급과 원마도는 양호하다. 개별적인 층의 두께는 1cm에서 41 cm이다. 백제골 지역에서 본 암상은 압력을 받아 점판암으로 변성이 되었으며 박리성(fissility)이 보인다.

해석: 이암상은 mud가 우세한 망상 평원과 같은 환경이나 낮은 에너지의 강에서 형성된 것으로 해석된다. 수 cm 두께의 각력을 포함하는 층은 급격한 중력류 중에서 이류(mud flow)에 의해 빠르게 퇴적된 것으로 해석된다(Shultz, 1984; Nemec and steel, 1984). 엽층리가 잘 나타나는 암층은 비교적 수심이 깊은 저에너지 환경에서 느린 침강에 의해 퇴적된 것으로 해석된다.

상조합

퇴적층에서 구분된 상(facies)은 퇴적작용의 관점에서 해석될 수 있으며, 이러한 퇴적작용들은 퇴적물이 형성될 당시의 퇴적환경에서 일어난다고 할 수 있다(Nichols, 1999). 따라서 퇴적과정을 반영하는 상조합을 통해 분지가 형성될 당시의 퇴적환경을 해석할 수 있다. 본 논문에서 조사한 하조층의 퇴적환경을 분석하기 위해 앞서 제시한 13가지 암상들을 조합하여(1) 테일러스/상부 선상지 삼각주(FAI), (2) 상부 선상지 삼각주(FAII), (3) 중부 선상지 삼각주(FAIII), (4) 하부 선상지 삼각주(FAIV)와 같은 4개의 상조합으로 분류하였다(Table 2).

상조합I: 테일러스/상부 선상지 삼각주(Talus/Upper fan delta) 상조합

기재: 상조합I은 입자지지 균질 각력암상(Bcm), 각력의 입자를 갖는 기질지지 균질 역암상(Gmm)이 우세하게 나타나고 균질 사암상(Sm)과 점이층리 역암상(Gmg), 점이층리 사암상(Sg)과 이암상(Fm)이 드물게 나타나는 조합으로서 각력암이 많이 분포한다. 각력암층은 5 cm에서 100 cm의 두께로 분포하며 일부 직경이 2-3 m인 거각력암들이 드물게 나타난다. 대부분 층리양상은 미약하고 역들의 방향성은 없다. 역의 함량은 30-90%이고 기질은 세립질에서 조립질 모래이다. 사암과 이암층은 각력암층에 협재한다. 전체적

Table 2. Facies associations of the Hajo Formation

Facies association	Major facies	Minor facies	Description	Depositional environment
FA	Bcm, Gmm (breccia)	Gmg, Sm, Sg, Fm	Mainly composed of subangular to angular pebble and cobbles; minorly granule or megabreccia; clast of schist and gneiss; matrix of fine to very coarse sand; poorly sorted; poor lateral continuity; deposition dominated by subaqueous debris flow and high density flow; breccia formed by rotation of basement.	Talus/Upper fan delta
FA	Gmm (cobble), Gh	Gmm (breccia, pebble), Bcm, Gmg, Sh, Sm, Sg, Fm	Mainly composed of subrounded to rounded pebble and cobbles; minorly boulder; matrix of coarse to very coarse sand; poorly sorted; arrangement of the major axis of gravels parallel to bedding surface; good or poor lateral continuity; poor lateral continuity; deposition dominated by stream flow and cohesive debris flow.	Upper fan delta
FA	Gmm (pebble), Sh, Sm	Gmm (cobble), Gmm, Smp, Sh, Si, St	Composed of subrounded to rounded pebbles; matrix of coarse to very coarse sand; minorly fine and medium sand; poorly sorted; good lateral continuity; 1-2 mm thick laminae; light to dark gray; deposition dominated by laminar flow and high density turbidity current.	Middle fan delta
FA	Smp, Sh, Sm	Gmm (pebble), Fm	1-25% pebble clasts; average clast size of 2-3 cm; mainly composed of subrounded to rounded pebbles; poorly sorted; Mainly medium to coarse sand matrix and minorly fine and medium sand; light gray to dark gray; 1-2 mm thick laminae; deposition dominated by high viscosity debris flow and subaqueous debris flow.	Lower fan delta

인 암상의 색은 회색이거나 암회색이다. 이 상조합은 용수리와 보령댐절개지 지역에서만 나타난다.

해석: 본 상조합은 각력암이 우세한 것으로 보아 단층으로 이루어진 분지의 경계로부터 멀리 떨어지지 않은 곳에서 퇴적되었음을 시사한다. 규모가 큰 각력의 분포는 이 각력을 포함하는 본 상조합이 단층작용에 의해 단층사면 환경과 관련이 많음을 시사한다(Ortner et al., 2008). 하조층 최하부에서 기질지 지 각력암상 안에 일부 거각력암이 관찰되는 것은 기복이 심한 퇴적물 근원지로부터 다양한 크기의 퇴적물을 많이 포함하여 점성도가 큰 암설류에 의해 빠르게 퇴적된 것으로 해석된다(Nemec and Steel, 1984; Shultz, 1984). 본 상조합이 퇴적된 환경은 원마도가 angular하고 분급이 불량한 것으로 보아 다양한 크기의 퇴적물을 포함한 점성도가 큰 암설류에 의해 퇴적되다가 입자가 많고 분급이 불량한 고밀도류에 의해 역의 생성지로부터 가까운 곳에 퇴적된 것으로 보인다(Celma and Cantalamessa, 2007; Krapez and Han, 2008). 이 상조합은 테일러스나 상부 선상지 삼각주 환경에서 퇴적된 것으로 해석된다(Read, 1982).

상조합II: 상부 선상지 삼각주(Upper fan delta) 상조합

기재: 상조합II는 주로 왕자갈 크기의 기질지 지 역

암상과 입자지 지 수평층리 역암상으로 구성되어 있으며 입자지 지 균질 각력암상(Bcm), 기질지 지 점이층리 역암상(Gmg), 자갈크기 또는 각진 기질지 지 역암상(Gbm), 평행엽층리 사암상(Sh), 균질 사암상(Sm), 점이층리 사암상(Sg), 이암상(Fm)이 협재하고 있는 상조합이다. 대부분의 역암층은 수십 cm에서 수백 cm로 구성되어 있으며 역들은 주로 기반암인 편암, 편마암과 호상 편마암으로 구성되어 있다. 역의 크기는 주로 왕자갈 크기이며 최대 23 cm의 역도 관찰된다. 역들은 주로 층리에 평행하게 배열되어 있으나 분급은 불량하다. 역암층의 기질과 사암층은 주로 중립질 모래에서 극조립질 모래이다. 사암상과 이암상은 역암층 사이에 협재하고 있으며 상부로 갈수록 사암의 양이 증가한다. 오천과 백제골의 지역의 본 상조합에서는 압력용해현상이 잘 나타난다. 전체적인 암상의 색은 회색이고 미미하거나 뚜렷한 평행 엽층리가 보인다.

해석: 주로 왕자갈 크기의 역들이 퇴적되고 역의 함량이 많으며 많은 역들이 층리에 평행하게 배열되어 있는 것은 높은 에너지의 하천류에 의해 퇴적된 것으로 해석된다(Cantalamessa and Delma, 2004). 분급이 불량한 것은 암설류에 의해 퇴적된 것을 의미하며 하천의 상부임을 지시한다. 이는 역의 함량이 많은 것과 기질이 조립질 모래 내지 극조립질 모래로

구성되어 있는 것과 일치한다. 또한 역의 원마도가 subrounded에서 rounded를 보이는 것으로 보아 역들의 이동거리가 상조합I보다 먼 것을 알 수 있다. 왕자갈 크기의 역들이 층리에 평행하게 배열되기 위해서는 일정한 흐름이 요구되는 점으로 보아 층류의 영향을 받은 것으로 해석된다(Horton and Schmitt, 1996). 또한 역의 함량이 많으면서 분급이 불량한 것과 전체적인 암상의 색이 회색인 것으로 보아 높은 에너지의 하천류와 기질의 힘이 입자들을 이동시키는 응집성이 좋은 암설류에 의해 퇴적된 것으로 보인다. 일부 나타나는 점이층리 역암상은 유속이 급속히 감소하면서 고농도류에 의해 퇴적된 것으로 보인다. 본 상조합의 전체적인 경향으로 보아 상부 선상지 삼각주로 해석된다.

상조합III: 중부 선상지 삼각주(Middle fan delta) 상조합

기재: 상조합III은 자갈 크기의 기질지지 역암상(Gmm), 평행 엽층리 사암상(Sh)과 균질 사암상(Sm)이 우세하게 나타나며 일부 입자지지 수평층리 역암상(Gh), 왕자갈 크기의 기질지지 역암상(Gmm), 기질지지 점이층리 역암상(Gmg), 역질 사암상(Smp), 역점이층리 사암상(Si)과 곡상 사층리 사암상(St)이 나타나는 상조합이다. 이 상조합에서는 역들이 왕자갈 크기에서 자갈 크기로 변화하는 것을 볼 수 있으며 역의 원마도가 좋아지는 것을 확인할 수 있다. 역암층은 수십 cm에서 수십 m로 나타나고 역들은 주로 subrounded에서 rounded한 편암과 편마암으로 구성되어 있다. 역의 함량은 60-70%이고 분급은 불량하다. 경우에 따라 역들이 층리에 평행하게 배열되어 있고 미미한 엽층리가 나타난다. 역의 기질과 사암층은 세립질 모래에서 조립질 모래로 구성되어 있다. 평행 엽층리 사암상과 곡상 사층리 사암상은 역암층 사이에 협재되어 있다. 전반적인 암상의 색은 회색에서 암회색을 띠며 개별적인 사암층의 두께는 수 cm에서 수십 cm이다. 오천과 백제골 지역에서 나타나는 본 상조합은 압력 용해현상이 잘 나타난다.

해석: 역의 크기가 자갈크기인 것과 기질이 중립질 모래 내지 조립질 모래로 구성되어 있는 점으로 보아 상조합II보다 상대적으로 낮은 에너지의 흐름에 의해 퇴적된 것으로 추정된다. 분급이 불량한 점, 비교적 높은 역의 함유를 그리고 역이 subrounded에서

rounded한 것으로 보아 암설류에 의해 퇴적된 것으로 보인다. 특히 역들이 층리에 평행하게 배열되어 있는 역암층들은 흐름의 속도가 일정한 층류에 의해 퇴적된 것으로 해석된다(Horton and Schmitt, 1996). 전체적인 암상의 색이 회색이고 전반적으로 횡적연장성이 나쁜 것으로 보아 선상지 삼각주 환경에서 퇴적되었을 것이라고 생각한다. 부분적으로 점이층리 역암상이 나타나는 것으로 보아 일시적으로 고밀도 저탁류(high density turbidity current)의 영향을 받았으며(Mastalerz, 1995) 상조합II보다 입자의 크기가 작은 자갈 크기의 역들이 많은 것으로 보아 역들이 더 많이 이동되었음을 알 수 있다. 일부에서 나타나는 역점이층리 사암상은 고밀도류(hyperconcentrated density flow)에 의하여 퇴적된 것으로 해석된다(Mulder and Alexander, 2001). 역암층 사이에 협재하는 평행 엽층리 사암층은 강 계곡의 안정한 지역에서 상부유권의 판상류에 의한 부유퇴적물이 하도페꿈 또는 Overbank 형태로 퇴적된 것으로 해석된다(Turkmen et al., 2007). 위의 내용들은 종합하여 보면 본 상조합은 중부 선상지 삼각주에서 퇴적된 것으로 해석된다.

상조합IV: 하부 선상지 삼각주(Lower fan delta) 상조합

기재: 상조합IV은 주로 역질 사암상(Smp), 균질 사암상(Sm) 그리고 평행 엽층리 사암상(Sh)으로 구성되어 있고 일부 자갈 크기의 기질지지 균질 역암상과 이암상이 나타나는 상조합이다. 역의 함량이 적어지고 사암의 양이 현저하게 많은 상조합이다. 역질 사암상에서 나타나는 역은 원마도가 subrounded내지 rounded이고 역의 함량은 5-20%이다. 역의 기질과 사암층은 중립질 모래 내지 조립질 모래가 우세하고 전체적인 암상의 색은 밝은 회색에서 회색을 띤다. 수 cm에서 수십 cm의 역암층과 이암층은 사암층 사이에 협재되고 상부로 갈수록 사암층의 두께가 두꺼워진다. 개별적인 층의 두께는 수 cm에서 수백 cm이다.

해석: 역의 크기가 자갈 크기인 역들이 소량으로 나타나는 것으로 보아 낮은 에너지의 퇴적환경에서 생성되었음을 알 수 있다. 또한 분급이 불량하고 암상의 색이 회색인 것으로 보아 수중 암설류에 의해 퇴적된 것으로 보인다(Deynoux et al., 2005). 균질

역암상은 높은 밀도의 빠른 하천류에 의해 모래 퇴적물이 높은 퇴적속도를 유지하며 퇴적된 것으로 해석되며(Alexander and Gawthorpe, 1993) 평행 엽층리 사암상은 안정한 지역에서 상부유권의 관상류에 의한 부유퇴적물이 하도 메꿈 형태로 퇴적된 것으로 해석된다(Turkmen et al., 2007). 결론적으로 본 상조합은 역이 자갈(pebble)크기인 것, 역의 함량이 적은 것, 분급이 불량한 것, 원마도가 subrounded~rounded인 것, 사암층이 역암층보다 더 두껍게 나타나는 것으로 보아 점성이 높은 암설류에 의해 퇴적된 것으로 해석되고(Lowe, 1982) 하부 선상지 삼각주에서 퇴적된 것으로 해석된다.

토 의

하조층은 충남 보령 지역에서 북동-남서방향으로 대상으로 분포하고 있으며 주로 4개의 지역(오천, 오서산, 보령댐 절개지-용수리 그리고 백제골)에 노두가 발달해 있다. 하조층은 지역별로 두께가 다르며 수직적인 암상의 분포에서 차이를 보인다(Figs. 4와 5). 이러한 특징들은 하조층이 형성되면서 하나의 연속적인 분지에서 퇴적되었다기보다는 네 개 이상의 분리된 분지에서 형성되었을 가능성을 시사한다. 하조층에서 나타나는 두꺼운 역암들과 하조층의 하부가 기반암과 접이적으로 변성되어있는 것은 높은 퇴적률과 분지안에 두꺼운 층이 퇴적되었다는 것을 암시하며 사암과 이암이 역암층 사이에 교호하는 것은 에너지가 급변하였다는 것을 의미한다. 하조층에서 주로 나타나는 기질지 역암층은 분급이 불량한 것으로 보아 암설류에 의해 퇴적되었으며 보령댐 절개지와 용수리 지역에서 나타나는 원마도가 angular하며 분급이 불량한 각력암층과 일부 거각력암을 포함한 기질지 각력암상이 하조층의 하부에서 나타나는 것은 하조층이 선상지 삼각주 환경에서 퇴적된 것으로 해석된다(Laird, 1995). 하조층의 하부에서 상부로 가면서 나타나는 암상의 변화는 지구조 운동과 수반된 퇴적환경의 변화를 반영한다.

하조층은 선캄브리아기 변성암인 기반암위에 부정합적으로 퇴적이 일어난 지층이며 하조층에서 측정된 주상도는 지역에 따라 층의 두께가 다르게 나타난다(Figs. 4와 5). 하조층 하부는 노두가 잘 드러나지 않고 있으나 일부 지역(보령댐 절개지와 용수리 지역)에서 기반암과 접하고 있는 하조층의 최하부의 부정

합면과 하부 층서단면이 관찰된다. 하조층 하부가 관찰된 두 지역(보령댐 절개지와 용수리)에서 하조층 하부는 주상도상에서 기반암으로 높이 45 m까지 각력암이 우세하게 나타나는 구간과 그 위의 자갈이 우세한 구간 약 70 m로 간주된다(Figs. 4와 5). 보령댐 절개지 지역에서 기반암에서부터 0-3 m와 70-76 m 지점에 기질지 역암층에 직경 2-3 m의 거각력암이 관찰된다. 일부 거각력암이 기질지 각력암층에서 관찰되는 것은 단층작용과 관련이 있는 기복이 심한 퇴적물 근원지로부터 다양한 크기의 퇴적물을 많이 포함하여 점성도가 큰 암설류에 의해 빠르게 퇴적된 것으로 해석된다(Fig. 6A). 하조층 하부가 퇴적된 시기에는 단층운동이 활발하였으며 활발한 단층운동과 함께 기복이 심한 퇴적물 근원지로부터 다양한 크기의 퇴적물을 많이 포함하여 점성도가 큰 암설류에 의해 빠르게 퇴적된 것으로 해석된다(Nemec and Steel, 1984; Shultz, 1984). 하조층 하부 구간에서 각력암의 퇴적과 함께 상부로 가면서 입자지 지 수평층리 역암상이 우세해지는 것으로 보아 단층 형성 이후에 높은 밀도의 저탁류가 우세해지고 호수의 수위는 감소하였다가 증가하며 점차로 하부 선상지 삼각주에서 상부 선상지 삼각주 환경으로 변한 것으로 해석된다(Hofmann et al., 2001). 보령댐 절개지와 용수리에서 측정된 주상도를 근거로 제시한 각력암이 퇴적되는 퇴적환경의 모식도는 Fig. 6A와 같다.

층서적으로 보아 하조층의 중부 구간은 왕자갈(cobble)과 자갈(pebble)이 우세하게 나타난다(Figs. 5와 6). 왕자갈이 우세한 하조층의 중부 구간의 두께는 지역에 따라 차이가 있는데 용수리에서는 수 m이며 백제골에서는 116 m이다. 왕자갈이 우세한 층서 구간은 주로 입자지 지 수평층리 역암상과 기질지 자갈 역암상으로 되어있고 상부로 갈수록 평행 엽층리 사암상이 협재한다. 일부 기질지 지 점이층리 역암상이 나타나며 사암층 내에는 잔자갈로 구성된 하도상의 역암층이 협재하기도 한다. 역의 원마도가 subrounded에서 rounded이고 분급이 불량한 것으로 보아 주로 응집성이 좋은 암설류(Miall, 1977; Chun and Chough, 1995)와 높은 에너지의 하천류가 우세하게 퇴적된 것으로 해석된다(Cantalamesa, 2004). 상조합 결과 하조층 중부 구간에서 상부로 가면서 왕자갈이 자갈로 변하면서 입자가 작아지는 것으로 보아 하조층의 퇴적 중기에는 주로 상부 선상지 삼

Fig. 4. Stratigraphic columns measured at Ocheon (A), the incised slope near Boryeong dam (B), Yongsuri (C) and Baekjegol (D).

각주와 중부 선상지 삼각주 환경이 교호하면서 퇴적된 것으로 해석된다(Fig. 6). 상부로 갈수록 사암의 양이 증가하는 것으로 보아 선상지 삼각주 환경 중 호수의 수위가 증가한 것으로 보인다. 역의 함량이

줄어드는 것으로 보아 단층활동이 약해지면서 단층활동에 비해 퇴적층이 많이 쌓였으며 호수면의 수위가 증가하면서 중부 선상지 삼각주 환경이 우세해지는 과정이라고 해석된다(Fig. 6).

Fig. 4. Continued.

하조층의 상부는 자갈과 모래가 우세한 층서구간으로 주로 역질 사암상, 균질 사암상 그리고 평행 엽층리 사암상으로 구성되어 있고 자갈 크기의 기질지

균질 역암상과 이암상이 나타난다. 역은 원마도가 rounded 내지 subrounded이고 함량이 1-20%인 것으로 보아 수중 암설류가 우세하게 퇴적된 것으로 해

Fig. 5. Vertical distribution of main grain types in stratigraphic columns measured at 4 localities. A. Ocheon, B. Boryeong dam, C. Yongsuri, D. Baekjeol.

석된다(Deynoux et al., 2005). 역이 거의 포함되지 않고 기질은 주로 중립질 모래에서 조립질 모래이고 사암의 양이 눈에 띄게 많아지는 것으로 보아 중부 선상지 삼각주환경에서 하부 선상지 삼각주 환경이 우세해지는 환경으로 해석된다(Fig. 6). 상부로 갈수록 역들이 감소하고 사암의 양이 증가하는 것으로 볼 때 점차 호수 환경으로 변화한 것으로 생각되며 이는 상부의 아미산층이 호수 환경이었던 것과 일치한다.

결론

충남분지의 최하위층인 하조층의 퇴적상 분석을 통해 퇴적암상을 구분하고 퇴적작용과 퇴적환경을 해석하였다. 하조층의 하부는 주로 각력암과 역암으로 구성되어 있다. 하조층중부에서는 왕자갈로 구성된 역

암이 산출되어 상향 조립화 경향을 보인다. 층서적으로 중부에서 상부로 가면서 왕자갈로 구성된 역암은 자갈로 구성된 역암으로 변하며 상부는 자갈로 구성된 역암과 사암이 교호하면서 상향세립화 경향을 보인다. 상부로 갈수록 역의 원마도는 좋아지는 경향을 보이며, 역의 함량이 줄어들고 점차 사암으로 변하여 상위 아미산층의 사암대와 접하게 된다. 하조층은 총 13개의 암상으로 구성되는데, 이들은 입자지지 수평층리 역암상(horizontally stratified clast-supported conglomerate), 입자지지 균질 각력암상(clast-supported massive breccia), 기질지지 균질 역암상(matrix-supported massive conglomerate), 기질지지 점이층리 역암상(matrix-supported graded conglomerate), 역질 사암상(massive pebbly sandstone), 평행 엽층리 사암상(horizontally laminated sandstone), 균질 사암상(massive sandstone), 정상 점이층리 사암상(graded

Fig. 6. Depositional settings of the Hajo Formation. (A) Depositional setting at Yongsuri characterized by breccias deposited in the talus and upper fan delta at the lower part of stratigraphic section, pebbles and cobbles deposited in the upper and middle fan delta at the middle part, and sands and pebbles deposited in the upper fan delta at the upper part of the stratigraphic section. (B) Depositional setting at Ocheon and Baekjegol characterized by cobbles to pebbles deposited in the upper and middle fan delta at the middle part of the stratigraphic section, and pebbles and sands deposited in the middle and upper fan delta at the upper part of the stratigraphic section. Lower part of stratigraphic section of the Hajo Formation was covered by soil both at Ocheon and Baekjegol; consequently schematic diagram (B) represents middle and upper part of the stratigraphic section.

sandstone), 역점이층리 사암상(reversely graded sandstone), 판상 사층리 사암상(planar cross-bedded sandstone), 곡상 사층리 사암상(trough cross-bedded sandstone), 저경사 사층리 사암상(low angle cross-bedded sandstone) 및 이암상(mudstone)이다.

하조층은 4개의 상조합으로 구분되었다. 이들은 테일러스/상부 선상지 삼각주(Talus/Upper fan delta) 상조합, 상부 선상지 삼각주(Upper fan delta) 상조합, 중부 선상지 삼각주(Middle fan delta) 상조합 그리고 하부 선상지 삼각주(Lower fan delta) 상조합이

다. 하조층 하부는 테일러스/상부선상지에서 퇴적된 것으로 해석되었으며, 중부는 상부선상지 삼각주와 중부선상지 삼각주에서 퇴적되었고, 상부는 중부 선상지 삼각주와 상부 선상지 삼각주에서 퇴적된 것으로 해석된다.

감사의 글

이 논문은 2007년 충남대학교 “교원 연구력 강화 과제개발 및 수행비”에 의해 지원되었습니다. 연구비

지원을 감사드립니다. 이 연구가 수행되는 동안 야외 지질조사에 협조한 학부생들에게 감사를 표합니다. 논문 심사과정에서 좋은 지적을 통해 논문이 개선되도록 도움을 주신 심사위원들께 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌

- 김정환, 기원서, 김일석, 1989, 문경탄전 북부지역의 지질구조. 지질학회지, 25, 72-81.
- 김정환, 김형식, 나기창, 박용안, 박창엽, 양승영, 오민수, 원종관, 윤선, 이동영, 이종혁, 이찬진, 조성권, 진명식, 최덕근, 최현일, 1999, 한국의 지질. 대한지질학회, 서울, 802 p.
- 김정환, 이재용, 남길현, 1992, 단양탄전, 영춘지역의 지질구조. 광상지질, 25, 175-190.
- 서해길, 김동숙, 이창범, 배두중, 조민조, 1982, 석탄자원조사보고서, 충남탄전 II. 한국동력자원연구소, 서울, 39 p.
- 양승영, 1999, 충남탄전 지역의 대동호 퇴적분지. 대한지질학회 편저, 1999, 한국의 지질. 시그마프레스, 서울, 218-222.
- 에가와 코우스케, 이용일, 2006, 오천 지역과 오서산 지역의 남포층군 층서: 부정합에 대한 조계리층 역암의 중요성. 지질학회지, 42, 635-643.
- 이병주, 김복철, 2003, 백악기 공주분지의 지질 및 지질구조 특성 연구. 지질학회지, 39, 161-170.
- 전희영, 2004, 중생대 식물화석(하부중생대를 중심으로). 한국고생물학회지, 365-397.
- 최현일, 서해길, 김동숙, 1987, 충남탄전 서부지역 대동지층의 퇴적환경 및 분지 발달, 석탄자원조사연구(IV). 한국동력자원연구소, 서울, 9-55.
- Alexander, J. and Gawthorpe, R.P., 1993, The complex nature of Jurassic multistorey, alluvial sandstone body, Whitby, North Yorkshire. In North, C.P. and Prosser, D.J. (eds.), Characterization of fluvial and aeolian reservoirs. Geological Society Special Publication, 73, 123-142.
- Allen, J.R.L., 1984, Parallel lamination developed from upper-stage plane beds: A model based on the larger coherent structures of the turbulent boundary layer. Sedimentary Geology, 39, 227-242.
- Almeida, R.P., Janaikian, L., Frago-Cesar, A.R.S., and Marconato, A., 2009, Evolution of a rift basin dominated by subaerial deposits: The Guaritas Rift, Early Cambrian, Southern Brazil. Sedimentary Geology, 217, 30-51.
- Cantalamesa, G. and Delma C.D., 2004, Sequence response to syndepositional regional uplift: Insights from high-resolution sequence stratigraphy of late Early Pleistocene strata, Periadriatic Basin, central Italy. Sedimentary Geology, 164, 283-309.
- Celma, C.D. and Cantalamesa, G., 2007, Sedimentology and high-frequency sequence stratigraphy of a forearc extensional basin: The Miocene Caleta Herradura Formation, Mejillones Peninsula, northern Chile. Sedimentary Geology, 198, 29-52.
- Chun, S.S. and Chough, S.K., 1995, The Cretaceous Uhangari Formation, SW Korea: Lacustrine facies. Sedimentology, 42, 293-322.
- Ciftci, N.B. and Bozkurt, E., 2009, Evolution of the Miocene sedimentary fill of the Gediz Graben, SW Turkey. Sedimentary Geology, 216, 49-79.
- Cole, R.B. and Stanley, R.G., 1995, Middle Tertiary extension recorded by lacustrine fan-delta deposits, Plush Ranch Basin, western Transverse Ranges, California. Journal of Sedimentary Research, B65, 223-235.
- Collinson, J.D., 1996, Alluvial sediments. In Reading, H.G. (ed.), Sedimentary Environments: Processes, Facies and Stratigraphy. Blackwell Scientific Publication, London, UK, 37-82.
- Deynoux, M., Ciner, A., Monod, O., Karabiyikoglu, M., Manatschal, G., and Tuzcu, S., 2005, Facies architecture and depositional evolution of alluvial fan to fan-delta complexes in the tectonically active Miocene Koprucay Basin, Isparta Angle, Turkey. Sedimentary Geology, 173, 315-343.
- Hofmann, A., Dirks, P.H.G.M., and Jelsma, H.A., 2001, Late Archaean foreland basin deposits, Belingwe greenstone belt, Zimbabwe. Sedimentary Geology, 141-142, 131-168.
- Horton, B.K. and Schmitt, J.G., 1996, Sedimentology of a lacustrine fan-delta system, Miocene Horse Camp Formation, Nevada, USA. Sedimentology, 43, 133-155.
- Hwang, I.G. and Chough, S.K., 1990, The Miocene Chunbuk Formation, southeastern Korea: Marine Gilbert-type fan-delta system. In Coella, A. and Prior, D.B. (eds.), Coarse-grained deltas. International Association of Sedimentologists Special Publication, 10, Blackwell Scientific Publication, London, UK, 235-254.
- Jeon, H.J., Cho, M.S., Kim, H.C., Horie, K., and Hidaka, H., 2005, U-Pb zircon geochronology of Early Jurassic Daedong Supergroup, South Korea: Tectonic implications. 60th Annual Meeting of the Geological society of Korea (Abstracts), Gyeongsang National University, Jinju, October 28-29, p. 9.
- Kim, J.H., 2001, New fossil plants from the Nampo Group (Lower Mesozoic), Korea. Geosciences Journal, 5, 173-180.
- Kim, J.H. and Kimura, T., 1987, Fossil plants from the Baegunsa Formation, Nampo Group, Korea (abstract). Pacific Science Congress Association, 16th Congress, p. 271.
- Kim, J.H. and Kimura, T., 1988, Lobatannularia nampoensis (Kawasaki) Kawasaki from the Upper Triassic Baegunsa Formation, Nampo Group, Korea. Proceedings of

- Japan Academy Science, Series B64, 221-224.
- Kim, J.W. and Chough, S.K., 2000, A gravel lobe deposit in the prodelta of the Doumsan fan delta (Miocene), SE Korea, *Sedimentary Geology*, 130, 183-203.
- Krapez, B. and Han, J.L., 2008, Late Archaean deep-marine volcanoclastic sedimentation in an arc-related basin: The Kalgoorlie Sequence of the Eastern Goldfields Superterrane, Yilgarn Craton, Western Australia. *Precambrian Research*, 161, 89-113.
- Laird, M.G., 1995, Coarse-grained lacustrine fan-delta deposits (Pororari Group) of the northwestern South Island, New Zealand: Evidence for Mid-Cretaceous rifting. In: Plint, A.G. (ed.), *Sedimentary facies analysis*. International Association of Sedimentologists Special Publication, 22, Blackwell Scientific Publication, London, UK, 197-217.
- Lowe, D.R., 1982, Sediment gravity flows II. Depositional models with special reference to the deposits of high-density turbidity currents. *Journal of Sedimentary Research*, 52, 279-297.
- Mastalerz, K., 1995, Deposit of high-density turbidity currents on fan-delta slopes: An example from the upper Viséan Szczawno Formation, Intracratonic Basin, Poland. *Sedimentary Geology*, 98, 121-146.
- Miall, A.D., 1977, A review of the braided river depositional environment. *Earth Science Review*, 13, 1-62.
- Miall, A.D., 1978, Lithofacies types and vertical profile models in braided river deposits: A summary. In: Miall, A.D. (ed.), *Fluvial Sedimentology*. Canadian Society of Petroleum Geology Memoir, 5, 597-604.
- Miall, A.D., 1996, *The Geology of Fluvial Deposits*. Springer-Verlag, Berlin, Germany, 582 p.
- Mulder, T. and Alexander, J., 2001, The physical character of subaqueous sedimentary density flows and their deposits. *Sedimentology*, 48, 269-299.
- Nemec, W. and Steel, R.J., 1984, Alluvial and coastal conglomerates: Their significant features and some comments on gravelly mass-flow deposits. In: Koster, E.H. and Steel, R.J. (eds.), *Sedimentology of Gravels and Conglomerates*. Canadian Society of Petroleum Geologists, 10, 1-32.
- Nichols, G., 1999, *Sedimentology and stratigraphy*. Blackwell Science, Oxford, UK, 355 p.
- Ortner, H., Ustaszewski, M., and Rittner, M., 2008, Late Jurassic tectonics and sedimentation: Breccias in the Unken syncline, central Northern Calcareous Alps. *Swiss Journal of Geosciences*, 101, Supplement 1, S55-S71.
- Plint, A.G., 1983, Sandy fluvial point-bar sediments from the middle Eocene of Dorset, England. In: Collinson, J.D. and Lewin, J. (eds.), *Modern and Ancient Fluvial Systems*. International Association of Sedimentologists, Special Publication 6, 355-368.
- Rasmussen, H., 2000, Nearshore and alluvial facies in the Sant Llorenç del Naut depositional system: Recognition and development. *Sedimentary Geology*, 138, 71-98.
- Read, J.F., 1982, Carbonate platform of passive (extensional) continental margins: Types, characteristics and evolution. *Tectonophysics*, 81, 195-221.
- Ree, J.H., Han, R., Cho, D.L., Kwon, S.T., and Armstrong, R., 2006, SHRIMP U-Pb zircon ages of pyroclastic rocks in the Bansong Group, Taebaeksan Basin, South Korea and their implication for the Mesozoic tectonics. *Gondwana Research*, 9, 106-117.
- Shultz, A.W., 1984, Subaqueous debris-flow deposition in the Upper Paleozoic Culter Formation, western Colorado. *Journal of Sedimentary Petrology*, 54, 759-772.
- Sohn, Y.K., Choe, M.Y., and Jo, H.R., 2002, Transition from debris flow to hyperconcentrated flow in a submarine channel (the Cretaceous Cerro Toro Formation, southern Chile). *Terra Nova*, 14, 405-415.
- Tanner, L.H. and Hubert, J.F., 1991, Basalt breccias and conglomerates in the lower Jurassic McCoy Brook Formation, Fundy Basin, Nova Scotia: Differentiation of talus and debris-flow deposits. *Journal of Sedimentary Petrology*, 61, 15-27.
- Turkmen, I., Aksoy, E., and Tasgin, C.K., 2007, Alluvial and lacustrine facies in an extensional basin: The Miocene of Malya basin, eastern Turkey. *Journal of Asian Earth Sciences*, 30, 181-198.

2010년 1월 14일 접수
2010년 2월 1일 수정원고 접수
2010년 2월 15일 채택