

칠레 남부 라고 소피아 (Lago Sofia) 심해저 하도 역암의 층구조와 퇴적 스타일

Architecture and Depositional Style of Gravelly, Deep-Sea Channels: Lago Sofia Conglomerate, Southern Chile

최문영 (Moon Young Choe)* · 조형래 (Hyung Rae Jo)** · 손영관 (Young Kwan Sohn)*** ·
김예동 (Yeadong Kim)*

요약 : 칠레 남부에 분포하는 라고 소피아 역암 (후기 백악기)은 이암이 우세한 심해 퇴적층 (Cerro Toro Formation) 내에 렌즈상으로 산출하고 남북방향으로 120 km 이상 연장된다. 라고 소피아 역암은 용기대전면분지 (foreland basin)인 마젤란 분지의 용기대전면곡분 (foredeep trough)을 따라 발달한 심해저 하도계 퇴적층으로 해석된다. 이처럼 연장이 대단히 좋은 역암의 심해저 하도가 발달하는 것은 현생 심해저 환경에서 매우 드문 현상으로 라고 소피아 역암은 퇴적학적으로 매우 흥미로운 예이다. 연구지역의 북부에 분포하는 라고 소피아 역암은 이암 퇴적층 사이에 협재하는 3-5개의 역암체로 구성되고, 고수류 측정에 따르면 퇴적물은 동, 남, 남동 방향으로 운반된 것으로 유추된다. 이 역암체는 용기대전면곡분의 서편에 위치한 해저사면을 따라 발달한 심해저 하도계의 지류에서 퇴적된 것으로 해석되며, 지류들은 남북방향의 주하도로 수렴하였을 것으로 추정된다. 남부 지역의 라고 소피아 역암은 300 m 이상의 두께를 가지는 역암체로 구성되고, 남북방향으로 긴 용기대전면분지의 축을 따라 발달한 주하도에서 퇴적된 것으로 해석된다. 이 역암체는 층리를 보이는 역암, 괴상 혹은 접이층리의 역암, 기질지지 역암으로 구성되며, 각각은 저탁류에 의한 밀집 운반, 고밀도 저탁류, 니질 암설류에 의해 퇴적된 것으로 해석된다. 층리역암에서 측정된 고수류 방향은 남남서향으로 주하도의 방향을 지시한다. 반면, 북부 및 남부 지역의 기질지지 역암에서 측정된 고수류 방향은 흔히 하도 방향에 대해 고각도를 이루는데, 이는 하도의 독 또는 주변 사면이 붕괴하여 니질 암설류가 형성되었음을 지시한다. 형태구성 (architecture) 분석 결과, 라고 소피아 역암은 육상의 역질 망상하천 퇴적층과 유사한 구성요소로 구성되며, 라고 소피아 심해저 하도계는 망상하천과 유사한 지형적 특성을 지녔을 것으로 추정된다. 또한 하도 역암 내 큰 규모의 층구조는 동쪽으로 이동 누적된 특징을 보이는데, 이는 지구조 운동에 의해 주하도가 점진적으로 동쪽으로 이동하였을 가능성을 시사한다.

주요어 : 라고 소피아 역암, 심해저 하도계 퇴적층, 형태구성분석, 저탁류, 암설류

Abstract : The Lago Sofia conglomerate in southern Chile is a lenticular unit encased within mudstone-dominated, deep-sea successions (Cerro Toro Formation, upper Cretaceous), extending from north to south for more than 120 km. The Lago Sofia conglomerate is a unique example of long, gravelly deep-sea channels, which are rare in the modern environments. In the northern part (areas of Lago Pehoe and Laguna Goic), the conglomerate unit consists of 3-5 conglomerate bodies intervened by mudstone sequences. Paleocurrent data from these bodies indicate sediment transport to the east, south, and southeast. The conglomerate bodies in the northern part are interpreted as the tributary channels that drained down the paleoslope and converged to form N-S-trending trunk channels. In the southern part (Lago Sofia section), the conglomerate unit comprises a thick (> 300 m) conglomerate body, which probably formed in axial trunk channels of the N-S-trending foredeep trough. The well-exposed Lago Sofia section allowed for detailed investigation of sedimentary facies and large-scale architecture of the deep-sea channel conglomerate. The conglomerate in Lago Sofia section comprises stratified conglomerate, massive-to-graded conglomerate, and diamictite, which represent bedload deposition under turbidity currents, deposition by high-density turbidity currents, and muddy debris flows, respectively. Paleocurrent data suggest that the debris flows originated from the failure of nearby channel banks or slopes flanking the channel system, whereas the turbidity currents flowed parallel to the orientation of the overall channel system. Architectural elements produced by turbidity currents represent vertical stacking of gravel sheets, lateral accretion of gravel bars, migration of gravel dunes, and filling of channel thalwegs and scoured hollows, similar to those in terrestrial gravel-bed braided rivers. Observations of large-scale stratal pattern reveal that the channel bodies are offset stacked toward the east, suggestive of an eastward migration of the axial trunk channel. The eastward channel migration is probably due to tectonic tilting related to the uplift of the Andean protocordillera just west of the Lago Sofia deep-sea channel system.

Key words : Lago Sofia conglomerate, gravelly deep-sea channel, architectural analysis, turbidity current, debris flow

*한국해양연구원 극지연구소 (Korea Polar Research Institute, Korea Ocean Research and Development Institute, Ansan P.O. Box 29, Seoul 425-600, Korea); mychoe@kordi.re.kr

**한국해양연구원 해양환경자원연구본부 (Marine Geoenvironments and Resources Research Division, Korea Ocean Research and Development Institute, Ansan P.O. Box 29, Seoul 425-600, Korea)

***경상대학교 지구환경과학과 (Department of Earth and Environmental Sciences, Gyeongsang National University, Chinju 660-701, Korea)

서론

심해저 하도는 육상 및 천해의 퇴적물을 심해환경으로 운반하는 주 통로이다. 또한 심해저 하도 퇴적층은 주변에 탄화수소의 저류암 역할을 할 수 있는 좋은 조건을 갖추고 있어 석유지질학적으로도 매우 중요하다. 이러한 중요성으로 인해 심해저 하도는 많은 관심을 받아왔고, 지난 20여 년 동안 심해저 하도의 규모, 형태적 특성, 층구조, 진화과정 등을 밝히기 위한 많은 연구가 진행되어 왔다 (Clark and Pickering, 1996a). 최근 급속히 발전한 고해상도 탐사기술을 이용한 심해연구를 통해 심해저 하도계의 정밀한 지형이 밝혀지고 있으며, 심해저 하도계가 육상하천과 유사한 지형적 요소로 구성되어 있음이 알려졌다 (Belderson *et al.*, 1984; Klaucke and Hesse, 1996; Ercilla *et al.*, 1998). 이러한 지형요소들을 고기 퇴적층에서 인지하기 위해, 육상 하천 퇴적학에서 좋은 성과를 거두어 온 형태구성분석 (architecture analysis) 이 심해저 하도 연구에도 도입되었다 (Clark and Pickering, 1996b; Stow and Mayall, 2000). 그러나 지형요소들의 내부 층구조에 대한 지식이 거의 없고, 현생 심해저 하도에서 관찰되는 지형요소들은 그 규모가 수 백 m 또는 수 km에 달하여, 고기 퇴적층에서 이들 지형요소를 인지하기는 쉽지 않다. 제시된 형태구성적 요소들은 그 분류에 있어 해석적 기준을 포함하고 있으므로, 현장조사에서 실용적이지 못하다. 뿐만 아니라, 정밀한 지층 탐사자료와 조밀하게 분포한 시추자료가 없다면, 퇴적층에서 심해저 하도계의 규모 및 형태를 알아내기는 어렵다.

칠레 남부에 분포하는 라고 소피아 역암 (Lago Sofia conglomerate)은 후기 백악기의 심해 퇴적층인 세로 토로층 (Cerro Toro Formation) 내에 렌즈상으로 포함되어 있으며, 남-북 방향으로 120 km 이상 연장된다 (Figs. 1, 2; Winn and Dott, 1979). 라고 소피아 역암은 연장이 긴, 역질의 심해저 하도를 나타내는 것으로, 현생 심해 환경에서는 매우 드문 예이다. 역암은

산과 구릉의 정상부를 따라 비교적 잘 드러나 있어, 역암의 분포 파악과 고수류 측정만으로 고기 심해저 하도계의 배수 형태 (drainage pattern)를 추정할 수 있다. 또한 길이 수 백 m 이상의 대규모 노두들은 심해저 하도 퇴적층의 형태구성을 분석할 수 있는 좋은 기회를 제공한다. 본 연구는 퇴적상 분석을 통해 라고 소피아 심해저 하도계의 퇴적기구를 밝힐 뿐만 아니라, 심해저 하도계의 규모 및 거시적 형태를 규명한다. 기존의 비실용적인 형태구성 분석체계를 따르지 않고, 층리구조와 퇴적상 등 기술적 특성을 기준으로 새로이 형태구성요소 (architectural elements)를 구분하며, 이를 통해 역질 심해저 하도계의 주요 지형요소 및 퇴적스타일을 제시한다. 또한 대규모 아키텍처 특성을 바탕으로 심해저 하도계의 진화와 규제요인을 규명하고자 한다.

지질 개요

남아메리카의 남부는 곤드와나 대륙이 분리되는 동안 지각신장을 겪었으며, 그 결과 쥬라기 초기에 고립된 육상 열개분지 (rift basin)들이 곳곳에 형성되었다 (Dalziel *et al.*, 1987). 쥬라기 중기에는 광범위한 지역에서 산성 화산활동이 일어났고, 백악기 초기에는 대륙의 태평양쪽 가장자리에 배호분지 (back-arc basin)인 로카스 베르데스 분지 (Rocas-Verdes Basin)가 형성되었다 (Hathway, 2000). 이 후, 백악기 중기에 안데스 조산운동이 시작되면서 이 지역에 작용하던 신장력은 황압력으로 바뀌었다. 이로 인해, 로카스 베르데스 분지가 닫혔으며, 분지의 기저를 이루던 오피오라이트 (ophiolite)가 동쪽의 대륙지괴 위로 부분적으로 압등 (obduction)하였다 (Dalziel and Brown, 1989). 대륙의 서쪽 가장자리는 융기하여 원시 안데스 산맥 (Andean protocordillera)이 형성되었고, 산맥의 동쪽 지역에는 트러스트 하중에 의해 침강이 일어나면서 융기대전면분지 (foreland basin)인 마젤란 분지 (Magallanes Basin)가 형성되었다 (Wilson, 1991). 또한 계속된

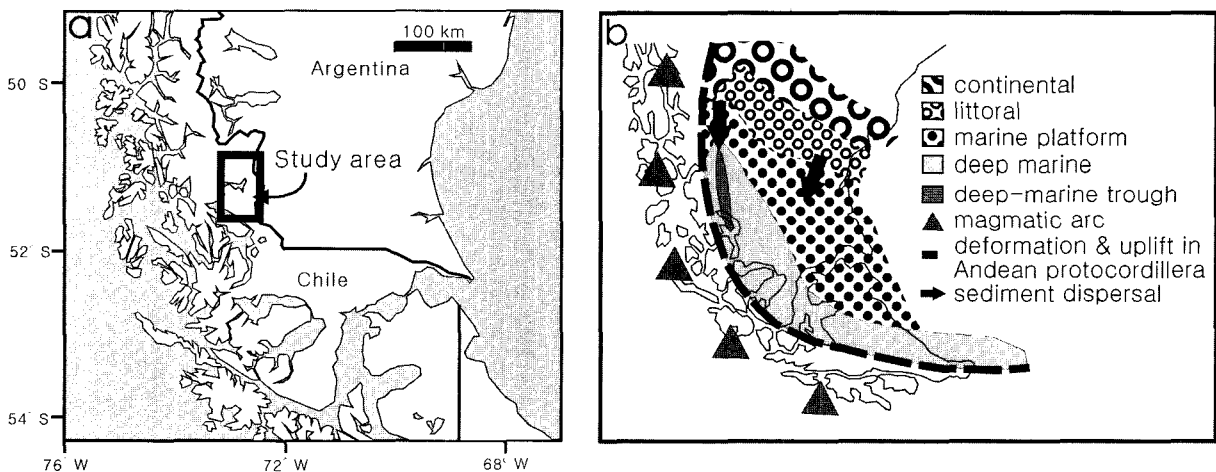


Fig. 1. (a) Location map of the study area. (b) Depositional setting of the Magallanes Basin during the Mid-Late Cretaceous. The Magallanes Basin was formed by flexural subsidence due to thrust loading, east of the uplifted Andean protocordillera. The basin consisted of a deep, N-S-trending foredeep trough adjacent to the western margin and a gently sloping foreland ramp in its central and eastern parts. Throughout the Late Cretaceous, arc- and cordillera-derived sediment was dispersed axially along the deep-water trough, resulting in a thick (ca. 7 km) Upper Cretaceous sequence of deep-water facies.

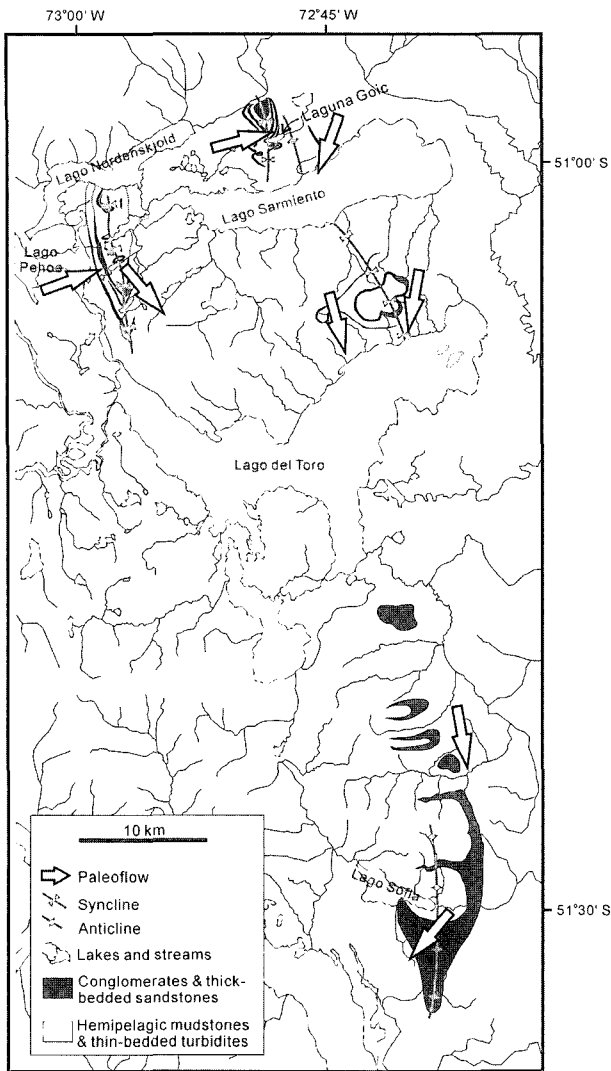


Fig. 2. Geologic map of the study area. The study area largely comprises thick sequences of hemipelagic mudstone and thin-bedded turbidite sandstone (Cerro Toro Formation, Late Cretaceous). The Cerro Toro Formation includes a sedimentary lens of Lago Sofia conglomerate, which extends for more than 120 km from north to south. The Lago Sofia conglomerate is interpreted as the deposit of deep-sea channels that developed along the axis of foredeep basin. Paleocurrent data indicate that sediment was generally dispersed from north to south with local sediment transport to the east in the northern part.

트러스트 활동과 함께 마젤란 분지의 중심지 (depocenter)는 점차 동쪽으로 이동하였다.

마젤란 분지는 전체적으로 북북서-남남동의 방향성을 보이고, 약 160,000 km²의 면적을 가진다 (Fig. 1). 분지의 서쪽 가장자리에는 북-남 방향의 심해 융기대전면곡분 (foredeep trough)이 발달해 있었고, 중앙부와 동부에는 완만한 경사의 융기대전면 램프 (foreland ramp)가 발달해 있었다 (Biddle *et al.*, 1986; Wilson, 1991). 백악기 후기 동안, 분지 서쪽의 화산호와 산맥으로부터 공급된 쇄설성 퇴적물이 주로 심해골을 따라 운반되었고, 그 결과

6.5~7.5 km 두께에 달하는 심해성의 후기 백악기 퇴적층이 형성되었다 (Scott, 1966; Winn and Dott, 1979; Wilson, 1991). 반면 분지의 동부에는 천해 대륙붕 및 대륙사면 환경이 발달해 있었다. 분지 동쪽으로부터의 퇴적물 공급은 빈약하여, 동부의 천해 환경은 느리게 남서쪽으로 전진하였다 (Biddle *et al.*, 1986). 이러한 분지 모양과 퇴적영역은 백악기 말까지 약 3천만년 동안이나 지속되었다. 백악기 말 마스트리치안에 파타고니아 습곡-트러스트 변형대 (Patagonia fold-thrust belt)가 동쪽으로 이동하는 중요한 사건이 일어났고, 이로 인해 마젤란 분지는 모양과 퇴적물 확산 경로에 있어 큰 변화를 겪었다 (Biddle *et al.*, 1986; Wilson, 1991). 즉, 쇄설성 퇴적물이 율기하는 산맥으로부터 공급되어 동쪽으로 확산되었다. 분지의 퇴적중심지는 점차 동쪽으로 이동하고 확장하여 이전의 율기대전면 램프를 포함하게 되었다.

라고 소피아 역암은 심해성 율기대전면곡분에 퇴적된 후기 백악기의 세로 토로층 (Cerro Toro Formation) 내에 포함되어 있다 (Fig. 2). 세로 토로층은 약 2,000 m의 두께를 가지고 반원양성 (hemipelagic) 이암과 얇은 저탁류 사암 (turbidite sandstone)으로 구성된다. 세로 토로층에서 관찰되는 퇴적동시성 습곡의 방향과 사암/이암 비율의 변화, 그리고 사암층의 두께 변화 등은 이 퇴적층이 쌓일 당시 (후기 백악기) 고사면 (paleoslope)이 동쪽으로 경사져 있었음을 지시한다 (Scott, 1966). 사암과 역암의 구성성분 역시 퇴적물 공급지가 분지의 서쪽에 발달한 원시 안데스 산맥이 있었음을 지시한다.

라고 소피아 역암

라고 소피아 역암은 이암이 우세한 심해 퇴적층인 세로 토로층 (Cerro Toro Formation) 내에 렌즈상으로 산출하고 남-북 방향으로 120 km 이상 연장된다 (Winn and Dott, 1979). 세로 토로층에는 완만한 습곡구조만이 발달해 있고, 풍화에 강한 역암층은 산과 구릉의 정상부를 따라 드러나 있으며, 주변의 이암질 퇴적층과는 뚜렷한 암상 차이를 보이므로, 어렵지 않게 역암의 분포를 파악할 수 있다. 연구지역에서도 남-북 방향으로 50 km 이상 추적이 가능하다 (Fig. 2).

역암층이 잘 드러나 있는 주 분포지역은 연구지역 북부의 Laguna Goic 주변, Lago Pehoe 서편, Lago Sarmiento 남쪽 지역이고, 남부의 Lago Sofia 주변 지역이다. 여기에서는 Laguna Goic, Lago Pehoe, Lago Sofia 지역에서 역암의 조직, 퇴적구조, 퇴적상, 구성요소 등을 자세히 관찰하고 기술하였으며, 고수류 방향을 알기 위해 역의 방향성을 측정하였다.

역암은 잔자갈에서 거력 크기의 역들로 구성되고, 남-북 방향으로 입도의 변화를 보이지 않는다. 북부 지역에는 3~5매의 역암체 (conglomerate body)가 암회색 이암층 사이에 협재하여 나타난다 (Fig. 3). 각 역암체는 수 십 m에서 100여 m의 두께를 가지고, 횡적으로 수 km 이상 연장되는 판상 (sheet)이다. 또한 횡적으로 얇아져 소멸하거나 두꺼운 사암층으로 전이하는 특징을 보인다. Lago Pehoe 지역에서 측정된 역의 비늘구조 (imbrication)는 전반적으로 동북동 방향의 고수류를 지시한다 (Fig. 4). Laguna Goic 지역에서 측정된 고수류 방향은 퇴적상에 따라 차이를 보인다

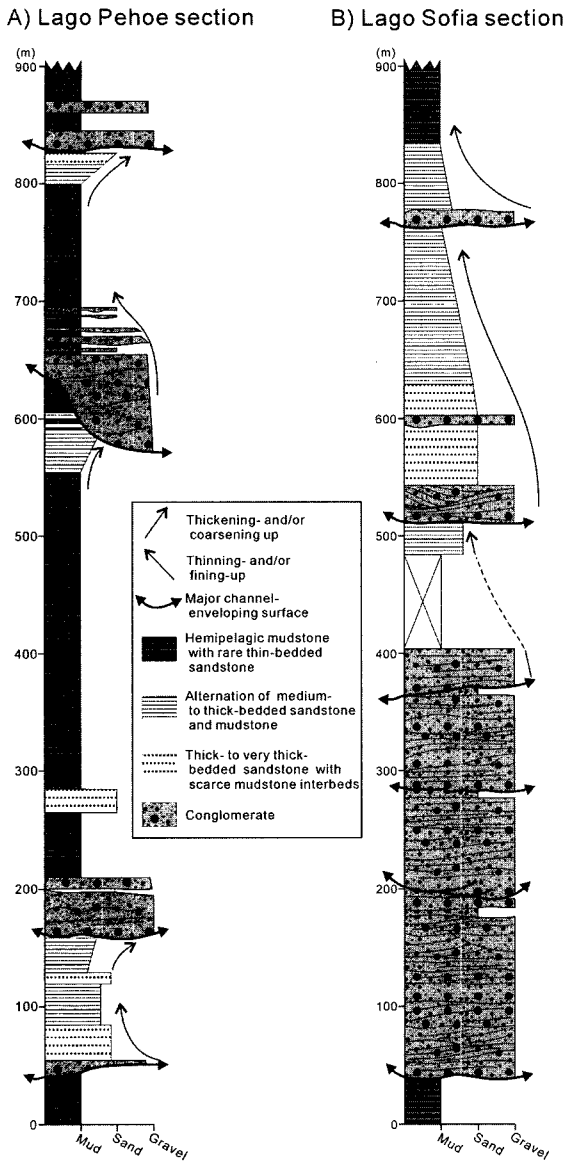


Fig. 3. Columnar logs of Lago Pehoe section in the northern part (a) and Lago Sofia section in the southern part (b). (a) The Lago Pehoe section comprises several isolated bodies of conglomerate and intervening fine-grained deposits. The conglomerate bodies are interpreted as the deposits of tributary channels. (b) The Lago Sofia section is characterized by a thick conglomerate body, which represents an axial trunk channel.

다 (Fig. 5). 층리가 잘 발달된 역암층은 동북동 또는 남남서 방향의 고수류를 지시하고, 니질 역암층 (diamictite)은 남남서, 동북동, 남동 등 다양한 고수류 방향을 보인다. 이는 퇴적상에 따라 퇴적기구가 다른데 기인하는 것으로 층리가 발달된 역암층에서 측정된 고수류 방향이 심해저 하도에서의 주수류 방향을 나타내는 것으로 사료된다 (뒤에서 설명).

연구지역 남부 (라고 소피아 지역)에 분포하는 라고 소피아 역암은 350 m 이상 두께의 역암체와 상위의 사암층 (약 350 m)으로 구성되며, 이암층은 거의 협재하지 않는다 (Fig. 3). 층상구

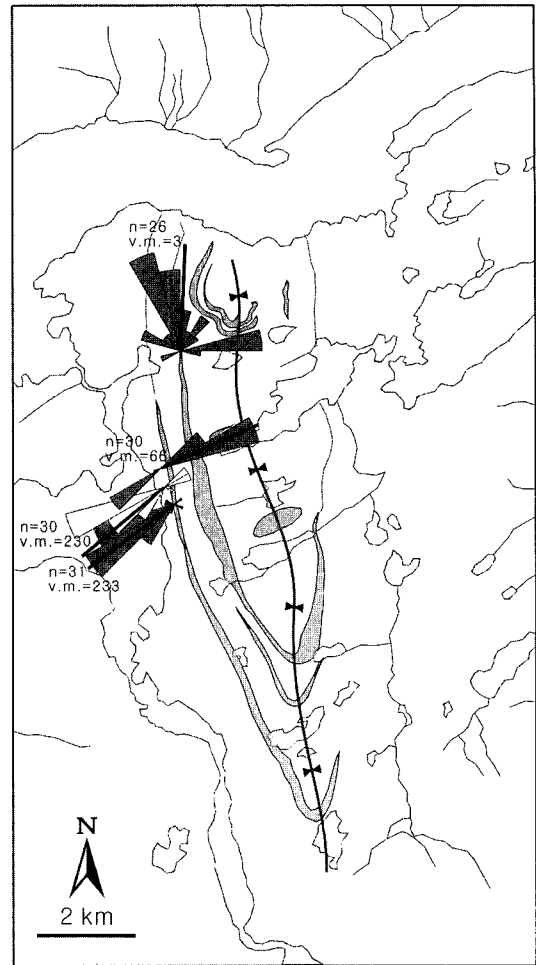


Fig. 4. Clast imbrication data from the Lago Pehoe area. The imbrication data from stratified conglomerate (white) indicates an eastward sediment transport, whereas those from diamictite beds (gray) shows variable transport directions.

조를 보이는 역암에서 측정된 고수류 방향은 남서향이나 니질 역암층의 고수류 방향은 서, 남서, 북동 등 다양하다 (Fig. 6). 역암체는 라고 소피아를 싸고 있는 산사면에 길이 1 km 이상의 노두로 잘 드러나 있어 상세한 퇴적상 및 형태구성 (architecture)을 관찰하는데 좋은 기회를 제공한다. 남쪽 산사면에서 역암체는 침식성 하부 경계를 가지고 두꺼운 이암 퇴적층 위에 놓이는데, 이 침식성 경계면은 심해저 하도의 기저를 나타낸다. 또한 북쪽 산사면에서 역암체가 서쪽 방향으로 급격히 얇아져 이암층내로 소멸하는데, 이는 심해저 하도의 서쪽 경계를 지시한다. 역암체 상위의 사암층에는 저탁류 (turbidity current)에 의한 퇴적을 지시하는 Ta, Tb, Tc 분층이 잘 발달되어 있고, 퇴적층이 굳기 전 하중에 의해 형성된 변형구조가 흔히 관찰된다.

역암의 퇴적상

역암층은 잔자갈에서 거력 크기의 역들과 중립질 모래의 기질로 구성된다. 역들의 원마도는 좋으며, 서로 접촉하여 지지된 조

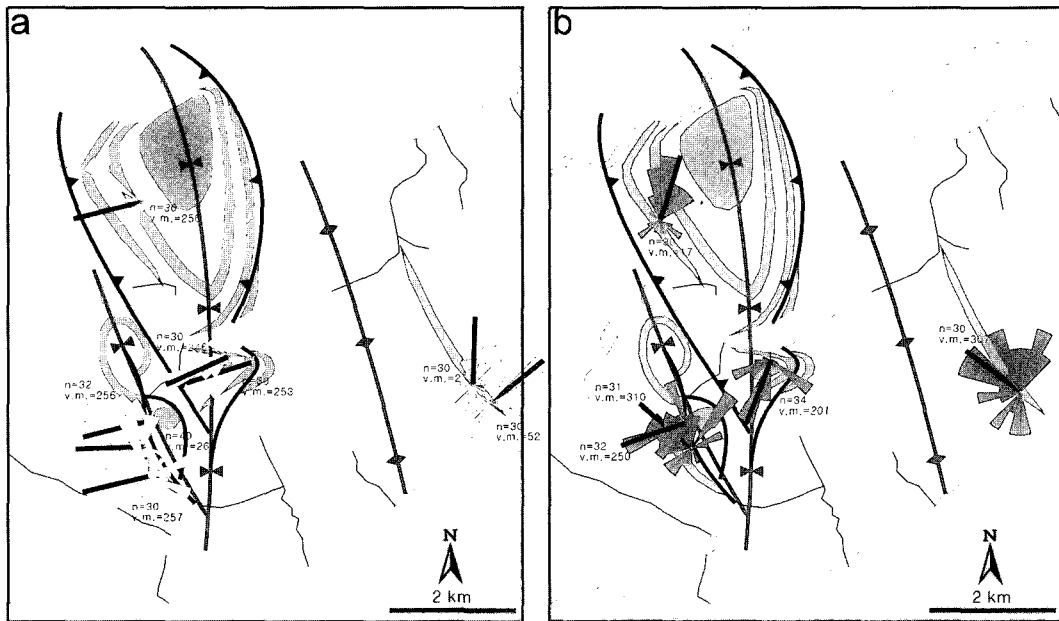


Fig. 5. Paleocurrent data from the Laguna Goic area. (a) Clast imbrication data from stratified conglomerate beds, indicating sediment transport to the east and the south. (b) Clast imbrication data from diamictite beds, which show various transport directions but commonly perpendicular or highly oblique to those from stratified conglomerate.

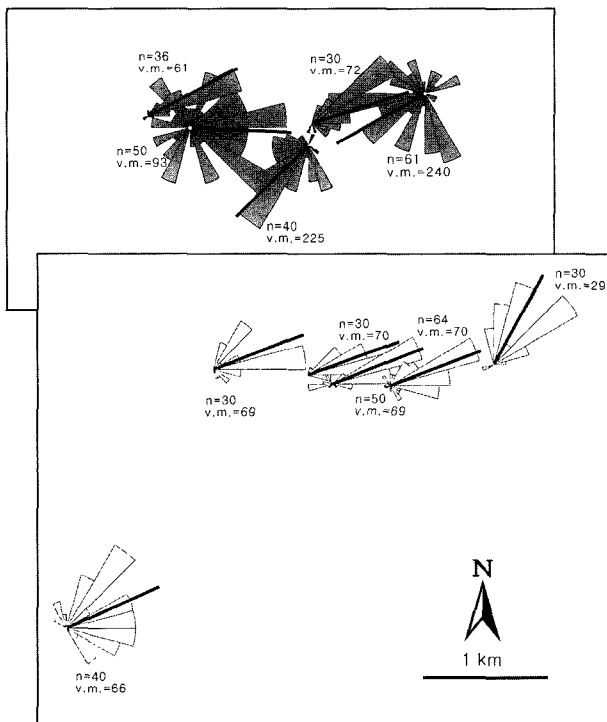


Fig. 6. Paleocurrent data from the Lago Sofia area. The clast imbrication data from stratified conglomerate beds (white) indicate that sediment was transported to the southwest, whereas those from diamictite beds (gray) show variable transport directions.

직을 보이거나 기질에 의해 지지된 조적을 보인다. 역지지 (clast-supported) 조적을 보이는 역암층이 우세한 편이고, 이 경우 기질

을 구성하는 모래의 분급도는 양호하다. 기질지지 (matrix-supported) 역암의 경우, 기질은 모래 뿐만 아니라 니질 퇴적물을 다량 포함한다.

역암은 퇴적구조와 조직에 따라 세 개의 퇴적상 (퇴적상 A, B, C)으로 구분된다. 퇴적상 A는 층리를 보이는 역암이다 (Fig. 7a). 역들은 서로 접촉하여 지지하고 있는 역지지 조직을 보이고, 흔히 비늘구조 (imbrication)를 보인다. 수평층리, 저각도 경사층리 (low-angle inclined stratification), 고각도의 사층리 (cross stratification) 등 다양한 층리가 나타난다. 개별 층의 두께는 대개 수 십 cm이다. 잘 발달된 층리와 역의 배열성 (비늘구조)를 바탕으로 이 퇴적상은 저탁류의 밑짐 (bedload)으로 운반되어 퇴적된 것으로 해석된다 (Winn and Dott, 1979).

퇴적상 B는 괴상 또는 점이층리를 보이는 역암이다 (Fig. 7b). 역들은 대개 역지지 조직을 보이고, 비늘구조도 흔히 관찰된다. 일반적으로 퇴적상 A에 비해 비늘구조의 발달이 약한 편이다. 뚜렷한 층리를 보이지 않는다는 점을 제외하고는 퇴적상 A와 유사하여, 두 퇴적상의 관계는 점이적이다. 즉, 퇴적상 A에 속하는 개별층은 괴상 혹은 점이층리의 층으로 볼 수 있다. 퇴적상 B 역시 저탁류의 밑짐운반에 의한 퇴적으로 해석된다. 퇴적상 A에 비해 역의 배열성이 약하고, 층리의 발달이 미약하므로 보다 급속하게 퇴적된 것으로 생각된다. 또한 퇴적상 A에 비해 운반되는 역의 농도가 높아 고밀도 저탁류의 상태로 운반되었을 가능성이 높다 (Lowe, 1982).

퇴적상 C는 기질지지의 조직이 우세한 역암이다 (Fig. 7c, d). 기질은 모래가 우세하나 니질 퇴적물을 많이 포함한다. 퇴적상 C의 역암층은 전체적으로 역의 크기와 양이 상부로 가면서 줄어드는 점이층리를 보이고, 상부와 하부로 나뉠 수 있다 (Fig. 7c).

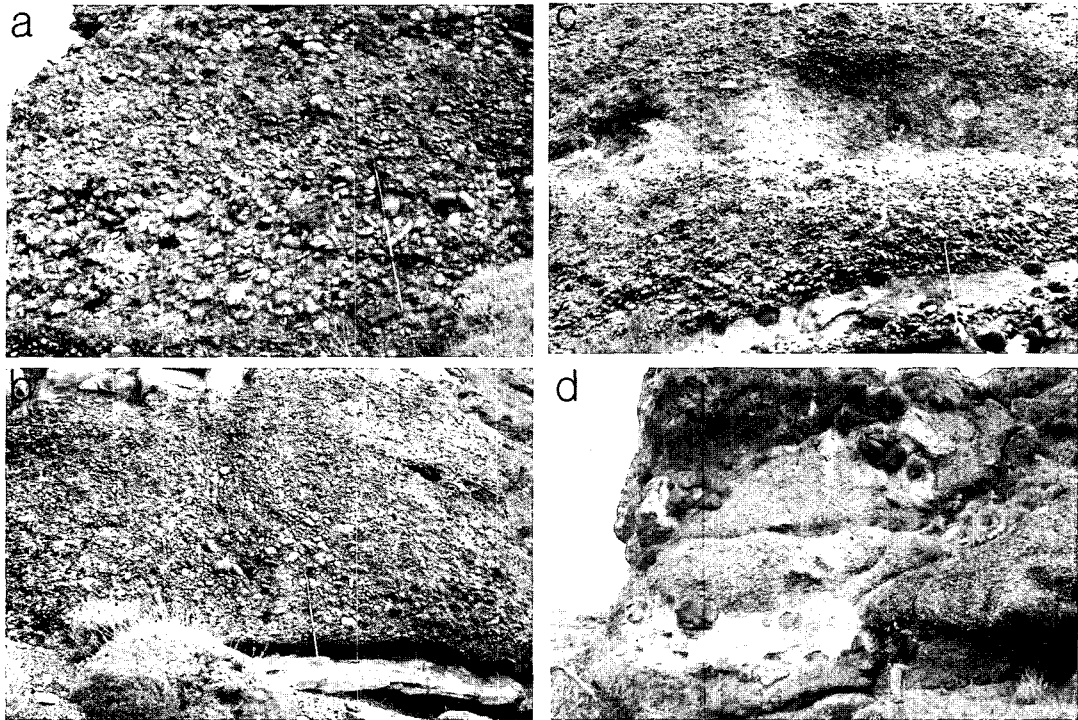


Fig. 7. (a) Stratified conglomerate (Facies A) in the Laguna Goic area. Stratification is marked by the alternation of cobble-grade and pebble-grade conglomerate strata. Note the clast imbrication. A stick for scale is 95 cm long. (b) Massive conglomerate (Facies B) in the Lago Sofia section. The conglomerate bed shows crude stratification. (c) A diamictite bed (Facies C) in the Lago Sofia section, comprising clast-supported lower part and matrix-supported upper part. Note the basal inverse grading and mudstone intraclasts in the upper part. (d) A diamictite bed (Facies C) with large sandstone blocks. Lago Sofia area.

상부는 잔자갈 역암 내지 니질 역암으로 구성된다. 기질지지의 조직을 보이고 괴상이다. 역들은 뚜렷한 배열성으로 보이지 않는다. 이암과 사암으로 구성된 층내 역 (intraformational clast)을 다량 함유한다 (Fig. 7d). 사암으로 구성된 층내 역은 길이가 수 m에 달하기도 한다. 하부는 역지지 조직을 보이고 잔자갈에서 왕자갈 크기의 역을 포함하는 역암으로 구성된다 (Fig. 7c). 흔히 기저부에 역점이 층리가 발달한다. 역들은 비늘구조를 보이는데 기저부에서 뚜렷하다. 이러한 특징으로 볼 때, 퇴적상 C는 종방향으로 분리된 질량류 (mass flow)로부터 퇴적된 것으로 해석된다. 이 질량류의 전방부와 후방부는 유동성 (rheology)이 달랐을 것으로 여겨진다. 즉, 전방부에서는 역들 간의 충돌로 인한 에너지가 흐름을 유지하였고, 후방부에서는 기질의 부력과 점성에 기인한 강도가 점착유연성 (viscoplastic)이 흐름을 유지 하였다. 이러한 특징의 흐름은 쇄설류 (debris flow)가 희석되어 고밀도 저탁류로 전이하는 과정에서 형성될 것으로 사료된다.

라고 소피아 역암의 형태구성






형태구성요소 (architectural elements)

큰 규모의 층리구조와 구성 퇴적상을 기준으로 5 개의 구성요소로 구분하였다 (Table 1): (1) 판상층리 퇴적체 (stacked sheets), (2) 횡경사층리 퇴적체 (laterally-inclined strata), (3) 전면층 퇴적체 (foreset strata), (4) 곡충진 퇴적체 (hollow fills),

(5) 기질지지 역암층 (diamictite). 판상층리 퇴적체는 판상의 역암층이 누적되어 있는 퇴적체이다 (Table 1; Fig. 8a). 이 퇴적체는 3~5 m의 두께를 가지고, 수 백 m의 횡적 연장성을 보인다. 개별 역암층은 수 십 cm의 두께를 가지고 수 m에서 수 십 m 정도 연장되며, 퇴적상 A와 B로 구성된다. 또한 개별층은 약간 침식성인 경계면과 입도차이에 의해 구분된다. 퇴적체 내부의 층리는 전체적인 층리와 평행하며, 역암층 사이에 얇은 사암층이 협재하기도 한다. 이 퇴적체를 구성하는 퇴적상 A와 B는 저탁류의 밀집 운반에 의한 퇴적을 지시한다. 한편 판상의 층리구조를 보이는 역지지 역암은 육상 하천환경에 발달하는 넓고 편평한 자갈톱 (gravel bar)의 전형적인 구조이다 (Boothroyd and Asley, 1975; Hein and Walker, 1977). 이러한 자갈톱은 하천 상류지역에 발달하는 역질 망상하천 (braided river)에서 흔히 형성되고, 큰 세기의 홍수류에 의해 주로 퇴적된다. 홍수류는 많은 양의 퇴적물을 한꺼번에 운반하므로 저탁류와 유사하다 (Todd, 1989; Maizels, 1993). 저탁류에 의해 형성되는 자갈톱에 대해서는 거의 알려진 것이 없지만, 라고 소피아 역암에서 관찰되는 판상층리의 퇴적체는 심해저 하도에서 저탁류에 의해 형성되는 판상 자갈톱의 예로 해석된다.

횡경사층리 퇴적체는 저각도로 기울어진 퇴적상 A와 B의 역암층들로 구성된다 (Table 1; Fig. 8b). 즉, 퇴적체 전체의 하부경계 또는 상부경계에 대해 퇴적체 내부의 층리면이 저각도로 기울어져 있다. 역암층의 경사방향은 역의 비늘구조로부터 측정된 고

Table 1. Architectural elements of Lago Sofia conglomerate

Elements	Geometry	Description	Interpretation
Stacked sheets (Element S) 	Sheet-like 3-50 m thick Hundreds of meters in lateral extent	Stacked sheet-like beds of clast-supported, pebble-cobble conglomerate Well-rounded, commonly imbricated clasts Medium-grained sandstone matrix Parallel to subparallel bed geometry Individual beds: decimeters thick; massive & graded; bounded by slightly erosional surfaces Thin sandstone interbeds	Stacking of broad gravel sheets and low-relief gravel bars by turbidity currents
Laterally-inclined strata (Element LIS) 	Sheet-like or lenticular 7-15 m thick Several tens to 200 m in lateral extent	Low-angle inclined strata of clast-supported, pebble-cobble conglomerate Dip of inclined strata, perpendicular or oblique at high angles to paleocurrent direction Well-rounded, commonly imbricated clasts Medium-grained sandstone matrix Individual beds: decimeters thick; bounded by conformable and slightly erosional surfaces with local scour hollows Thin sandstone interbeds, commonly thinning-out updip	Lateral accretion on gravel bars through multiple depositional events (turbidity currents)
Foreset strata (Element FS) 	Lenticular 2-4 m thick Several meters in lateral extent	Large-scale, planar & tangential cross-stratified, clast-supported, pebble-cobble conglomerate Commonly isolated sets with set thickness of up to 3 m Organized clast fabric	Downstream migration of large gravel dunes
Hollow fills (Element HF) 	Lenticular 2-12 m thick A few meters to 100 m in lateral extent	Lenticular lithosome bounded by concave-up, erosional surfaces Occasionally stepped margin Clast-supported, pebble-boulder conglomerate with occasionally sandstone interbeds Concave-up stratified, massive or crudely stratified	Filling of thalwegs, minor channel forms, and scours
Diamictite (Element D) 	Sheet-like A few meters to 30 m thick Hundreds of meters in lateral extent	Sheet-like lithosome of mud-rich conglomerate resting on concave-up, erosional surfaces and flat, conformable surfaces A single bed or more than one bed of diamictite Individual beds Two distinct divisions within individual beds: (1) lower division of clast-supported, imbricated, pebble-cobble conglomerate with common basal inverse grading and (2) upper division of matrix-supported, disorganized, pebble conglomerate or pebbly sandstone with intraformational clasts High variable paleocurrent directions, commonly perpendicular to those from stratified conglomerates	Sheet-like or tongue-shaped bodies deposited by debris flows with clast-rich frontal parts, originated from the failure of channel banks or slopes flanking the channel system

수류 방향에 대해 직각이거나 고각도를 이룬다. 이 퇴적체는 판상 혹은 렌즈상이며, 두께는 7~15 m이고 횡적연장은 수 m에서 200 m이다. 퇴적내의 개별 역암층은 수 십 cm 정도의 두께를 가지며, 비침식성 또는 약간 침식성의 면에 의해 경계지워진다. 경계면에 작은 규모의 침식곡 (scour surface)이 발달하기도 한다. 얇은 사암층이 흔히 협재하는데, 층경사의 상부방향으로 얹어져 소멸하기도 한다. 이 퇴적체의 층리구조는 고수류 방향에 대해 측방으로 퇴적이 일어났음을 지시한다. 측방퇴적 구조는 육상 하천의 모래톱 및 자갈톱에서 흔히 관찰되는 구조이며, 사행하천에 발달하는 포인트바 (point bar)의 전형적인 구조이기도 하다 (Allen, 1983; Miall, 1985; Bridge, 1993). 이러한 측방퇴적 구조는 톱의 측면을 따라 흐르는 수류에 나선형의 흐름이 발달하면서 형성된다. 저탁류에 의해 형성되는 측방퇴적체 (lateral-accretion deposit)는 잘 알려지지 않았지만, 육상 하천의 톱 (bar)에서 일어나는 측방퇴적 (lateral accretion)과 유사하리라 생각된다.

전면층 퇴적체는 큰 규모의 사층리를 보이는 역지 역암으로 구성된다 (Table 1; Fig. 8c). 이 퇴적체는 흔히 고립된 단일 층 묶음 (set)으로 산출하고, 층묶음의 두께는 약 3 m에 이른다. 퇴적체 내의 개별 역암층은 수 십 cm의 두께를 가진다. 이 퇴적체의 층리구조 역시 육상 하천 환경에서 잘 알려진 자갈 언덕 (dune)의 층리구조와 거의 동일하므로 (cf. Collinson and Thompson, 1989), 저탁류의 바닥에 발달한 자갈 언덕이 하류방향으로 이동하면서 퇴적된 것으로 해석된다. 이 자갈톱의 높이는 3 m에 달하고 종방향 길이는 수 m 정도인 것으로 추정된다.

곡층진 퇴적체는 아래로 오목한 침식성의 하부경계를 가지는 렌즈상의 퇴적체이다 (Table 1; Fig. 8d). 두께는 2~12 m이고 횡적 연장성은 수 m에서 100 m 정도이다. 이 퇴적체는 퇴적상 A와 B로 구성되고, 내부의 역암층은 괴상이거나 회미한 층리 또는 아래로 오목한 층리를 보인다. 얇은 사암층이 협재하기도 한다. 퇴적체의 경계면은 계단상을 보이기도 한다. 퇴적체의 모양과 층리구조를 바탕으로 이 퇴적체는 심해저 하도의 유심선 (thalweg), 소규모 하도, 침식곡 (scoured hollow) 등을 채운 것으로 해석된다.

기질지 역암층은 퇴적상 C, 즉 니토를 많이 함유한 기질에 의해 역들이 지지되는 조직의 역암으로 구성되며 (Table 1; Fig. 8e), 구성퇴적상에 있어 다른 구성요소와 뚜렷이 구분된다. 이 역암층은 판상이며, 수 m에서 30 m의 두께를 가지고 횡적으로 수 백 m 이상 연장된다. 하부경계는 아래로 오목한 침식성 부분 (침식곡)과 평탄한 비침식성 부분을 포함한다. 단일 역암층으로 산출하거나 몇 개의 층이 누적되어 있는 형태로 나타난다. 역의 비늘 구조로부터 측정된 고수류 방향은 변화가 큰데, 층리를 보이는 역암에서 측정된 고수류 방향에 대해 흔히 직각 또는 고각도를 보인다. 이 역암층은 퇴적상 C만으로 구성되어 있으므로 니토를 많이 함유한 쇄설류 (debris flow)에 의해 퇴적된 것으로 해석된다. 이러한 쇄설류 퇴적체는 판상 혹은 혀모양 (tongue shape)으로 추정되며, 너비가 수 백 m 이상이었을 것이다. 또한 고수류 방향의 특징은 하도의 둑 또는 하도계 주변 경사면이 무너지면서 쇄설류가 발달하였음을 지시한다.

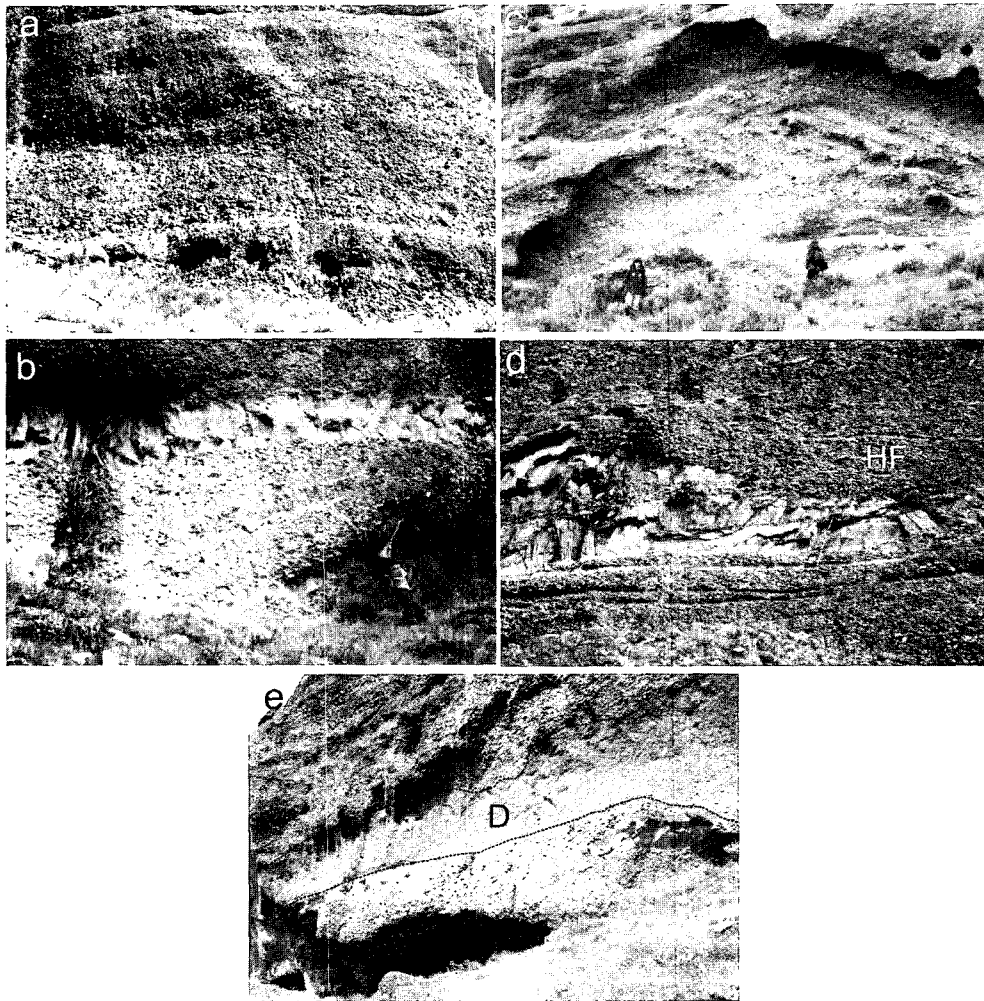


Fig. 8. (a) Stacked sheets of clast-supported conglomerate (Element S). Note the parallel to subparallel strata. Laguna Goic area. (b) Laterally-inclined strata (Element LIS) in the Lago Sofia section (the lower part of the photograph). The conglomerate strata are inclined with respect to the upper boundary. The dip direction of the strata is highly oblique to the paleocurrent direction measured from clast imbrication. (c) A set of foreset strata (Element FS) in the Lago Sofia area. The height of the cross strata is ca. 3 m. (d) A hollow-fill unit (Element HF) in the Lago Sofia section. Note the concave-up, erosional surface cutting into the underlying sandstone beds. A stick for scale is 95 cm long. (e) A diamictite bed (Element D, middle part of the photograph) in the Lago Sofia section, showing sheet-like geometry and slightly erosional base. A stick for scale (circled), 95 cm long.

형태구성 (architecture)

라고 소피아의 남쪽 산사면에는 길이 약 1.3 km, 높이 300 m 이상의 절벽에 역암체가 드러나 있어 심해저 하도 역암체의 층구조 및 형태를 잘 보여준다 (Fig. 9). 라고 소피아 노두의 역암층은 배사구조 (anticline)를 이루고 있다. 남-북 방향의 배사구조 축이 노두의 서부에 위치하고 있고, 이 부분의 역암층은 전체적으로 평탄한 층리를 보인다. 전체적인 층리 형태를 보면, 배사구조 축을 중심으로 서쪽의 층은 서쪽으로 기울어 있으며, 동쪽의 층은 동쪽으로 기울어 있다. 노두의 서부에서 역암체의 기저면이 관찰된다 (Fig. 9). 이 기저면은 침식성으로, 부분적으로 계단상을 보이고 일련의 홈자국 (groove mark)이 기저면에 잘 보존되어 있다. 역암체 기저면의 하부는 저탁류 기원의 얇은 사암과 암회색 이암의 호층으로 구성된다. 노두의 중앙부와 동부에서는 기저면이 부분적으로 드러나 있으며, 곡 형태의 침식면을 보인다. 배사

구조만을 고려한다면, 동쪽으로 기운 역암층들이 땅속으로 계속 연장될 것으로 보인다. 그러나 드러나 있는 역암체의 수 m 아래에 이암/사암 호층이 군데군데 드러나 있고, 역암체의 침식성 기저면이 부분적으로 드러나 있어, 역암체의 기저면이 그림에서 보는 것처럼 노두의 수 m 아래에 위치할 것으로 추정된다 (Fig. 9). 이러한 추론은 라고 소피아 북쪽 산사면에서 관찰되는 역암체의 렌즈상 모양과도 잘 부합한다. 즉, 역암체의 하부 경계가 아래로 오목한 형태이며, 역암체는 서쪽 방향으로 두께가 감소하여 소멸한다. 이러한 역암체의 형태와 층구조를 고려하고 배사구조에 의한 변형을 복원한다면, 라고 소피아 노두의 역암층은 동쪽으로는 편심축적 (offset stacking)을 보일 것이다.

역암체는 내부의 주요 침식면 (major erosional surface)을 기준으로 8개의 하도복합체 (channel complex)로 구분될 수 있다 (Fig. 9). 각 하도복합체는 앞에서 기술한 여러 구성요소들로 구성

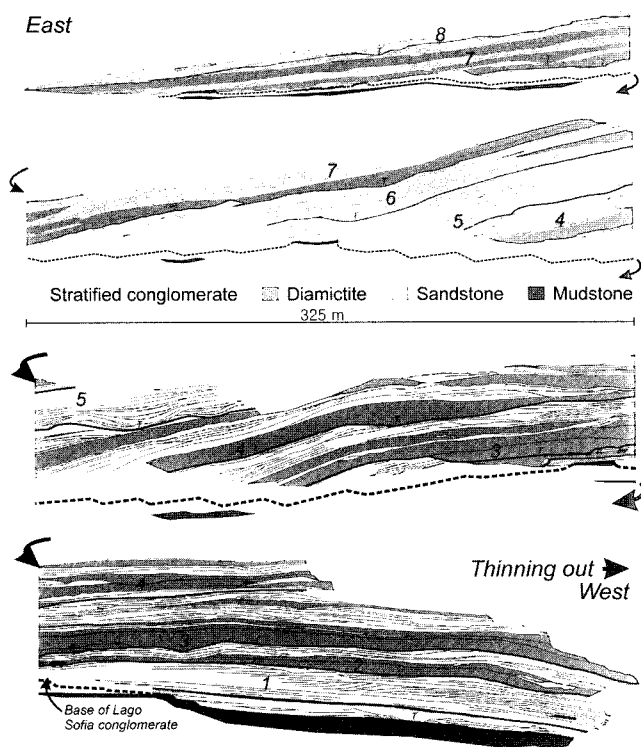


Fig. 9. Sketch of a large outcrop in the Lago Sofia area, highlighting the architecture of deep-sea channel conglomerate. The outcrop consists of stratified conglomerate, diamictite, and sandstone beds formed in an axial trunk channel. The stratified conglomerate is interpreted as the deposits of turbidity currents. Clast imbrication in these conglomerates is indicative of a sediment dispersal to the southwest, reflecting a southwestward-draining trunk channel. Diamictite beds were formed by muddy debris flows. Paleocurrents measured from the diamictite beds are highly oblique to those from stratified conglomerate, suggesting that the debris flows were originated from intermittent failure of channel bank or slope flanking the channel system. Note the progressive eastward shift of channel complexes (numbered) bounded by major down-cutting surfaces (thick lines), which implies a long-term migration of the axial channel to the east. T=thalweg.

되고, 주요 침식면 위에 놓인다. 이 침식면은 아래로 오목한 부분을 포함하고 있는데, 이 부분에서 하부층의 침식이 가장 크다. 즉, 이 부분이 심해저 하도의 유심선 (thalweg)으로 해석된다. 또한 유심선의 위치가 상부로 가면서 동쪽으로 이동하는 경향을 보인다 (Fig. 9). 각 하도복합체는 다양한 퇴적상과 구성요소로 구성된다. 복합체 1, 5, 6과 8은 주로 저탁류 역암층 (퇴적상 A, B)으로 구성된다. 반면 복합체 2, 3, 4와 7은 비슷한 비율의 저탁류 역암층과 니질 쇄설류층 (퇴적상 C)으로 구성되나, 전체적으로 저탁류 역암층이 우세한 편이다. 또한 니질 쇄설류층 (퇴적상 C, 기질지지 역암층)은 역암체의 서부 및 하부에 많고, 층의 상부와 동쪽 방향으로 감소하는 경향을 보인다 (Fig. 9). 저탁류 역암층으로 구성된 구성요소 중에서 판상층리 퇴적체가 가장 우세하며, 판상층리 퇴적체, 황경사층리 퇴적체, 곡층진 퇴적체 등은 서로 횡적으로 전이하는 특성을 보인다. 황경사층리 퇴적체에서 동

쪽으로 기운 경사층이 절대적으로 우세하다.

라고 소피아 심해저 하도계

라고 소피아 역암이 퇴적된 백악기 후기 동안 마젤란 분지에는 남-북 방향의 축을 갖는 용기대전면곡분 (foredeep trough)이 분지 서부에 치우쳐 형성되어 있었다 (Fig. 1b). 라고 소피아 역암은 이 심해 골짜기를 따라 발달한 하도계를 나타낸다. 남-북 방향으로 120 km 이상 연장되나 동서 방향의 폭이 수 km에 지나지 않는 것으로 보아, 라고 소피아 하도계의 발달은 심해 골짜기 지형에 잘 제한되었고, 지형은 궁극적으로 지구구조적 요인의 규제를 받았다. 이러한 구조적 지형에 의한 하도계 발달의 규제는 현생 심해 환경에서도 관찰된다. 동해의 토야마 (Toyama) 심해 하도는 마이오세에 열개한 토야마 열개지 (Toyama rift)를 따라 750 km 이상 연장되며, 하도의 위치와 모양은 기반암 구조에 의해 규제된다 (Nakajima *et al.*, 1998). 라고 소피아 하도계를 따라 자갈들이 100 km 이상 운반될 수 있었던 것은 하도계가 골짜기에 제한되어 있어 먼 거리동안 저탁류의 세기가 유지될 수 있었기 때문으로 해석된다.

북부지역에 분포하는 역암체는 남부지역에 비해 상대적으로 규모가 작고 이암층에 협재되어 여러 매로 산출한다 (Figs. 2, 3). 층리 역암에서 측정된 고수류 방향은 동북동 내지 동향이 우세하고, 남남서향 또는 남향도 보인다. 이러한 특징들로부터 북부지역 역암체는 심해 하도계의 지류에서 형성된 것으로 해석된다. 전체적인 고수류 방향 분포 (Fig. 2)를 보아 지류들은 남-북 방향의 주하도로 수렴하는 형태 (converging system)이었을 것으로 추정되며, 심해저 골짜기 주변의 해저 사면으로 연장되었을 것이다. 서쪽 내지 북서쪽의 안데스 산맥으로부터 공급된 퇴적물은 해저 사면에 발달한 지류를 통해 심해저 하도계의 주하도로 운반되었을 것이다. 또한 라고 소피아 심해저 하도 퇴적층이 거의 역암으로 구성되어 있는 점은 마젤란 분지의 서부에 발달한 대륙붕이 매우 좁았거나 미미하여 조립질의 육상 퇴적물이 쉽게 해저 사면을 지나 심해로 운반되었음을 시사한다.

라고 소피아 역암은 심해선상지 (deep-sea fan) 모델로 설명되어 왔다 (Winn and Dott, 1979). 즉, 역암은 선상지 상부의 하도에서 퇴적되었고, 주변의 이암/사암 호층은 제방 (levee) 및 제방 측면 (levee flank) 퇴적층으로 해석되었다. 그러나 방사상의 선상지 모양은 확인되지 않았다. 또한 라고 소피아 하도계가 심해 골짜기에 제한되어 있었다면 선상지를 형성하기 어려웠을 것이다. 이암/사암 호층이 제방 퇴적층이라면 고수류 방향이 하도 퇴적층의 고수류 방향에 대해 직각 또는 고각도이어야 한다. 그러나 사암층의 바닥자국 (sole mark)에서 측정된 고수류 방향은 하도 역암층에서 측정된 방향과 평행하다. 이러한 퇴적학적 정황 및 증거로 볼 때, 라고 소피아 역암에 대한 해저 선상지 모델은 재고되어야 한다.

라고 소피아 역암의 가장 뚜렷한 특징 중 하나는 육상 하천 퇴적층과 유사하다는 것이다 (Winn and Dott, 1977, 1979). 밀집 운반으로 퇴적된 층리역암은 육상 역질하천의 주 퇴적상과 거의 동일하다 (cf. Boothroyd and Ashley, 1975; Hein and Walker,

1977). 형태구성 측면에서도 판상층리 퇴적체, 횡경사층리 퇴적체, 전면층 퇴적체, 곡층진 퇴적체 등은 육상의 역질 망상하천 퇴적층에서 흔히 관찰된다 (cf. Boothroyd and Ashley, 1975; Karpeta, 1993; Nemec and Postma, 1993; Jo *et al.*, 1997). 따라서 라고 소피아 심해저 하도계는 육상의 망상하천과 유사한 지형적 요소를 지녔을 것으로 생각된다. 이러한 해석은 최근 밝혀지고 있는 심해저 하도계와 육상 하천계의 지형적 유사성과도 잘 부합한다 (Klaucke and Hesse, 1996; Ercilla *et al.*, 1998).

라고 소피아 노두에 대한 형태구성 분석 결과, 심해저 하도 역암체는 여러 개의 하도 복합체로 구성되며, 누적된 복합체들은 동쪽으로는 편심축적 (offset stacking) 양상을 보인다. 또한 유심선 (thalweg)의 위치가 동쪽으로 이동하는 경향을 보인다. 이러한 형태구성 특성은 라고 소피아 심해저 하도계가 점차 동쪽으로 이동하였음을 시사한다. 하도계의 편향된 이동은 동쪽으로 기울어진 횡경사층리가 우세한 점에 의해서도 뒷받침된다. 만약 하도계의 이동이 무질서하게 일어난다면, 하도 방향에 대해 양측방으로 기울어진 경사층리가 고르게 보존될 것이다. 그러나 하도의 이동이 한 방향으로 우세하게 일어난다면, 그 방향으로 기울어진 경사층리는 보존가능성이 높은 반면, 반대 방향의 경사층리는 침식되어 보존될 가능성이 낮다. 따라서 지층으로 보존된 경사층리의 경사 방향이 편향되어 나타난다 (Todd and Went, 1991). 하도의 편향된 이동은 지구조적 요인에 기인한다. 즉, 지구조적 편향 (tilting) 또는 차별 침강에 의해 하도의 횡방향으로 분지 침강속도가 다르다면, 한쪽 방향으로 지형구배가 지속적으로 유지되고 하도는 주로 그 방향으로 이동하게 된다 (Todd and Went, 1991). 라고 소피아 역암이 형성된 후기 백악기 동안 마젤란 분지의 서쪽에 지각이 융기하여 원시 안데스 산맥이 형성되었고, 라고 소피아 역암을 구성하는 자갈 퇴적물은 융기한 산맥으로부터 공급되었다 (Scott, 1966; Winn and Dott, 1979). 마젤란 분지 서편의 지각 융기로 인해 분지 서부가 동쪽으로 구조적 편향 (tilting)을 겪었을 것으로 추정되며, 이러한 편향이 라고 소피아 심해저 하도계의 편향된 이동을 야기하였을 것으로 사료된다.

저탁류에 의한 다양한 형태의 자갈톱 형성과 침식곡 충전은 라고 소피아 심해저 하도계를 채운 주 퇴적기구이었다. 판상층리 퇴적체, 횡경사층리 퇴적체, 전면층 퇴적체, 곡층진 퇴적체 등은 심해저 하도계의 다양한 지형요소를 나타낸다. 자갈들은 한 번의 저탁류에 의해 하류까지 운반되었기보다는, 오랜 기간 동안 여러 번의 저탁류에 의해 하류로 운반되어 왔을 것이다. 니질 역암층을 형성한 쇄설류 또한 심해저 하도를 채운 주 퇴적기구이었다. 하도 퇴적물은 거의 자갈들로 이루어져 있었을 것이므로, 쇄설류의 기질을 구성하는 니토는 세립질 퇴적물이 풍부한 하도의 제방 또는 하도계 주변의 사면으로부터 공급되었을 것이다. 즉, 하도계의 제방 또는 주변의 사면이 붕괴하여 형성된 사태가 하도 바닥의 자갈을 흡수하여 쇄설류로 발전하였을 것이다. 니질 역암층에서 측정된 고수류 방향은 주하도 방향에 대해 다양한 편차를 보이는데, 이는 하도계로 진입한 쇄설류가 지형기복의 영향을 받으며 흘렀음을, 즉 낮은 지형을 따라 흘렀음을 시사한다. 한편, 라고 소피아 노두에서 쇄설류 퇴적층은 역암체의 하부 및 서부에 더 많이 분포한다. 심해저 하도계의 발달 초기에 제방 및 사면 붕괴에

의한 쇄설류 형성이 빈번하였으며, 하도계의 동편보다는 서편에서 사태발생이 빈번하였을 것으로 사료된다.

결론

칠레 남부에 분포하는 라고 소피아 역암은 심해 퇴적층 내에 렌즈상으로 산출하며, 융기대전면곡분의 골짜기를 따라 발달한 심해저 하도계에서 퇴적되었다. 라고 소피아 심해저 하도계는 골짜기 지형에 제한되어 있었으므로, 저탁류가 먼 거리 동안 세기를 유지하며 자갈 퇴적물을 운반할 수 있었다. 북부지역의 소규모 역암체들은 심해저 하도계의 지류에서 형성되었다. 지류들은 수렴하여 남북 방향의 주하도로 연결되었으며, 남부지역에 분포하는 두꺼운 역암체는 주하도에서 퇴적되었다. 퇴적물은 주로 저탁류에 의해 운반되었다. 저탁류의 바닥에 밀집으로 운반되던 자갈 퇴적물은 다양한 형태의 자갈톱 (gravel bar)을 형성하거나, 침식곡 또는 하도 유심선 (thalweg)을 충전하였다. 형태구성요소 (architectural element)들과 이들로부터 해석된 지형요소 (geomorphic element)들은 라고 소피아 심해저 하도계가 육상의 역질 망상하천과 유사한 지형적 특성을 지녔음을 시사한다. 니질 쇄설류 또한 심해저 하도를 충전한 주요 퇴적기구이었다. 니질 퇴적물이 우세한 하도의 제방 또는 주변의 사면이 붕괴하여 형성된 사태가 쇄설류로 발전하였다. 하도 역암체의 하부에 쇄설류 퇴적층이 풍부한 것으로 보아, 쇄설류는 하도 발달 초기에 상대적으로 빈번하였던 것으로 추정된다. 또한 역암체 내부의 층구조는 동쪽으로는 편향축적양상 (offset stacking pattern)을 보이고 있어, 주하도가 지구조적 요인에 의해 점차 동쪽으로 이동하였을 것으로 사료된다.

사사

본 연구는 한국해양연구원 기본 사업인 “남극 지구조 진화 및 지질 환경 특성 연구 (PP03103, PP04103)” 결과의 일부이다. 현장 조사와 자료 분석에 도움을 준 한국해양연구원 극지연구소 참여자분들에게 감사드린다.

참고문헌

- Allen, J.R.L., 1983, Studies in fluvial sedimentation: bars, bar-complexes and sandstone sheets (low-sinuosity braided streams) in the Brownstones (L. Devonian), Welsh Borders. *Sedimentary Geology*, 33, 237-293.
- Belderson, R.H., Kenyon, N.H., Stride, A.H., and Pelton, C.D., 1984, A 'braided' distributary system on the Orinoco deep-sea fan. *Marine Geology*, 56, 195-206.
- Biddle, K.T., Uliana, M.A., Mitchum, R.M. Jr, Fitzgerald, M.G., and Wright, R.C., 1986, The stratigraphic and structural evolution of the central and eastern Magallanes Basin, southern South America. In: P.A. Allen and P. Homewood (Editors), *Foreland Basins*, International Association of Sedimentologists Special Publication, 8, 41-61.
- Boothroyd, J.C., and Ashley, G.M., 1975, Process, bar morphology and sedimentary structures on braided outwash fans, North-eastern Gulf of Alaska. In: A.V. Jopling and B.C. McDonald (Editors),

- Glaciofluvial and Glaciolacustrine Sedimentation, Society of Economic Paleontologists and Mineralogists Special Publication, 23, 193-222.
- Bridge, J.S., 1993, The interaction between channel geometry, water flow, sediment transport and deposition in braided rivers. In: J.L. Best and C.S. Bristow (Editors), Braided Rivers, Geological Society of London Special Publication, 75, 13-71.
- Clark, J.D., and Pickering, K.T., 1996a, Submarine Channels: Processes and Architecture. Vallis Press, London, 231p.
- Clark, J.D., and Pickering, K.T., 1996b, Architectural elements and growth patterns of submarine channels: application to hydrocarbon exploration, *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 80, 194-221.
- Collinson, J.D. and Thompson, D.B., 1989, Sedimentary Structures (2nd edn.). Unwin Hyman, London, 207p.
- Dalziel, I.W.D. and Brown, R.L., 1989, Tectonic denudation of the Darwin metamorphic core complexes in the Andes of Tierra del Fuego, southernmost Chile: implications for Cordilleran orogenesis. *Geology*, 17, 699-703.
- Dalziel, I.W.D., Storey, B.C., Garrett, S.W., Grunow, A.M., Herrod, L.D.B., and Pankhurst, R.J., 1987, Extensional tectonics and the fragmentation of Gondwanaland. In: M.P. Coward, J.F. Dewey and P.L. Hancock (Editors), Continental Extensional Tectonics, *Geological Society of London Special Publication* 28, 433-44.
- Ercilla, G., Alonso, B., Baraza, J., Casas, D., Chiocci, F.L., Estrada, F., Farran, M., Gonthier, E., Perez-Beluz, F., Pirmez, C., Reeder, M., Torres, J., and Urgeles, R., 1998, New high-resolution acoustic data from the 'braided system' of the Orinoco deep-sea fan. *Marine Geology*, 146, 243-250.
- Hathway, B., 2000, Continental rift of back-arc basin: Jurassic-Cretaceous stratigraphical and structural evolution of the Larsen Basin, Antarctic Peninsula. *Journal of Geological Society, London*, 157, 417-432.
- Hein, F.J., and Walker, R.G., 1977, Bar evolution and development of stratification in the gravelly, braided Kicking Horse River, British Columbia. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 14, 562-570.
- Jo, H.R., Rhee, C.W., and Chough, S.K., 1997, Distinctive characteristics of a streamflow-dominated alluvial fan deposit: Sanghori area, Kyongsang Basin (Early Cretaceous), southeastern Korea. *Sedimentary Geology*, 110, 51-79.
- Karpeta, W.P., 1993, Sedimentology and gravel bar morphology in an Archean braided river sequence: the Witpan Conglomerate Member (Witwatersrand Supergroup) in the Welkom Goldfield, South Africa. In: J.L. Best and C.S. Bristow (Editors), Braided Rivers, Geological Society of London Special Publication, 75, 369-388.
- Klaucke, I., and Hesse, R., 1996, Fluvial features in the deep-sea: new insights from the glaciogenic submarine drainage system of the Northwest Atlantic Mid-Ocean Channel in the Labrador Sea. *Sedimentary Geology*, 106, 223-234.
- Lowe, D.R., 1982, sediment gravity flows: II. Depositional models with special reference to the deposits of high-density turbidity currents. *Journal of Sedimentary Petrology*, 52, 279-297.
- Maizels, J., 1993, Lithofacies variations within sandur deposits: the role of runoff regime, flow dynamics and sediment supply characteristics. *Sedimentary Geology*, 85, 299-325.
- Miall, A.D., 1985, Architectural-element analysis: a new method of facies analysis applied to fluvial deposits. *Earth-Science Review*, 22, 261-308.
- Nakajima, T., Satoh, M., and Okamura, Y., 1998, Channel-levee complexes, terminal deep-sea fan and sediment wave fields associated with the Toyama Deep-Sea Channel system in the Japan Sea. *Marine Geology*, 147, 25-41.
- Nemec, W. and Postma, G., 1993, Quaternary alluvial fans in southwestern Crete: sedimentation processes and geomorphic evolution. In: M. Marzo and C. Puigdefabregas (Editors), Alluvial Sedimentation, International Association of Sedimentologists Special Publication, 17, 235-276.
- Scott, K.M., 1966, Sedimentology and dispersal pattern of a Cretaceous flysch sequence, Patagonian Andes, southern Chile. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 50, 72-107.
- Stow, D.A.V., and Mayall, M., 2000, Deep-water sedimentary systems: new models for the 21st century. *Marine Petroleum Geology*, 17, 125-135.
- Todd, S.P., 1989, Stream-driven, high-density gravelly traction carpets: possible deposits in the Trabeg Conglomerate Formation, SW Ireland and theoretical considerations of their origin. *Sedimentology*, 36, 513-530.
- Todd, S.P., and Went, D.J., 1991, Lateral migration of sand-bed river: examples from the Devonian Glashabeg Formation, SW Ireland and the Cambrian Alderney Sandstone Formation, Channel Islands. *Sedimentology*, 38, 997-1020.
- Wilson, T.J., 1991, Transition from back-arc to foreland basin development in the southernmost Andes: stratigraphic record from the Ultima Esperanza District, Chile. *Geological Society of America Bulletin*, 103, 98-111.
- Winn, R.D. Jr., and Dott, R.H. Jr., 1977, Large-scale traction-produced structures in deep-water fan-channel conglomerates in southern Chile. *Geology*, 5, 41-44.
- Winn, R.D. Jr., and Dott, R.H. Jr., 1979, Deep-water fan-channel conglomerates of Late Cretaceous age, southern Chile. *Sedimentology*, 26, 203-228.

(2004. 6. 2 원고 접수)

(2004. 10. 1 수정본 채택)