

서북극 척치해 해저퇴적물의 퇴적작용 및
퇴적환경 복원연구

Reconstruction of sedimentary processes and
environment of Late Quaternary sediments in the
Chukchi Sea, West Arctic



제주대학교 산학협력단

제 출 문

극지연구소장 귀하

본 보고서를 “서북극해 고해양 환경 복원 연구” 과제의 위탁연구 “서북극 척치해 해저퇴적물의 퇴적작용 및 퇴적환경 복원연구”과제의 최종보고서로 제출합니다.



2013. 1.

총괄연구책임자	: 남 승 일
위탁연구기관명	: 제주대학교산학협력단
위탁연구책임자	: 윤 석 훈
위탁참여연구원	: 조 영 진 윤 우 석 고 창 성

요 약 문

I. 제 목

서북극 척치해 해저퇴적물의 퇴적작용 및 퇴적환경 복원연구

II. 연구개발의 목적

- 서북극 척치해 천부퇴적층의 퇴적작용 및 퇴적환경 규명
- 서북극해 고해양환경 연구를 위한 해저퇴적물의 퇴적학적 프록시 도출

III. 연구개발의 내용 및 범위

- 해저퇴적물의 퇴적상(조직 및 퇴적구조) 분석
- 해저퇴적물의 천부층서 및 공간적 분포 분석
- 해저퇴적물의 퇴적환경 해석 및 고해양환경 변화와의 비교 분석

IV. 연구개발결과

1) 해저퇴적물의 퇴적상 분석

- 척치대륙붕 및 대륙사면에서 취득된 5개의 중력시추코아에서 입도, 분급도, 전단력 및 퇴적구조를 분석
- X-선 사진에 나타나는 퇴적구조를 line drawing하고 주상도를 작성
- 조직특성과 퇴적구조 분석 결과를 결합하여 퇴적상을 구분하고 분류표 작성하였는데, 생물교란니, 균질니가 우세하게 나타나며, 국부적으로 박층리니, IRD가 관찰됨

2) 해저퇴적층의 탄성파상 분석

- 척치 Perched Rise는 평탄한 심해저로서 평행한 반사면이 해저면하 심층부까지 우세하게 나타나며, 이는 반원양성 퇴적물의 조직 및 지화학적 변화를 반영하는 것
- 멘델레프 Ridge 지역은 회절형의 곡선형 반사파가 겹쳐 나타나며, 사면에는 국지적으로 투명한 반사상을 보이는 질량류 퇴적체가 인지됨
- 탄성파상 분석을 통하여 광역해역의 전반적인 퇴적작용에 대한 정보

를 제공

3) 퇴적작용 및 퇴적환경 해석

- 심해저에서 채취된 코어퇴적물의 특성은 주로 반원양성의 퇴적을 반영하며, 간헐적인 박층리니와 조립입자(IRD)의 존재는 빙하기의 유빙과 저탁류의 영향이 있었음을 지시
- 대륙과 인접한 척치해 대륙붕과 일부 대륙주변부 지역은 빙하의 유동에 의한 침식지형과 저탁류나 밀도류에 의한 퇴적물 재동이 일어났음을 지시

V. 연구개발결과의 활용계획

- 플라이스토세 말기 및 홀로세 동안의 북극해의 고해양 환경의 변화를 규명함으로써 향후 지구 기후계의 변동 양상을 가늠하는 데 중요한 자료로 활용
- 기존 북극해 및 인접 지역에 나타난 고기후 변화 기록과 비교를 통해 퇴적학적 프록시를 개발함으로써 고해양환경 연구에 편의성과 정확성을 높이는데 기여
- 빙하기원 퇴적체에 대한 퇴적모델을 제시함으로써 북극해 다른 지역 해저퇴적층의 해석에 활용
- 향후 북극해 가스하이드레이트 등 해저자원탐사 및 북극항로탐사에 기본 자료로 활용

목 차

제 1 장 서 론	5
제 2 장 지역 개관	7
제1절 해저지형	7
제2절 판구조적 진화	8
1. 유라시아 분지	10
2. 아메라시아 분지	10
제 3 장 연구개발 수행 내용 및 결과	12
제1절 고해상 탄성파탐사 자료 분석	12
1. 연구자료 및 탐사장비	12
2. 연구방법	14
3. 연구결과	14
제2절 코어 퇴적물 분석	24
1. 연구자료	24
2. 연구방법	25
3. 연구결과	26
4. 퇴적상 분석	34
제 5 장 연구개발 목표 달성도	39
제1절 연구 개발목표 및 달성도	39
제2절 연구수행 세부 내용 및 결과 요약	39
제 6 장 연구개발결과의 활용계획	41
제 7 장 참고 문헌	42
부록	46

제 1 장 서 론

최근 북극해는 범세계적인 기후변동과 관련하여 자연환경이 가장 급변하는 지역 중에 하나로 관심을 모으고 있다. 북극해는 다음과 같은 특징들로 인해 세계의 다른 대양들과는 큰 차이를 보이며, 이와 같은 특징들은 북극해 자체의 환경, 전 지구적인 시스템, 그리고 기후 변화에 큰 영향을 미친다(Stein, 2008).

- (1) 세계에서 가장 넓은 대륙과 대륙붕으로 둘러싸여 일종의 ‘지중해’로서, Bering Strait와 Fram Strait를 통하여 태평양 및 대서양과 제한적으로 연결되어 있다.
- (2) 상당한 부분의 해역이 영구적 혹은 계절적으로 해빙에 덮여있다.
- (3) 전세계 하천 유출량의 10%를 차지하는 막대한 양의 하천수가 유입되며, 유입량은 계절적으로 심한 변화가 나타난다.
- (4) 주변 육지는 대부분 영구동토대이다.

아울러 이러한 독특한 특성 때문에 북극해에서의 퇴적작용은 남극대륙 주변의 고위도 일부 해역을 제외한 다른 해양에서와 매우 다른 양상으로 일어나며, 표층 퇴적물의 독특한 특성과 분포는 바로 이러한 차이를 반영한다. 특히, 극지성(polar) 및 아극지성(subpolar) 기후변화와 함께 극빙상(polar ice sheet)의 직접적인 영향을 받는 지역이기 때문에 일반 저위도의 해역에서와는 다른 독특한 해양환경 변화가 일어났으며, 따라서 남극대륙 주변부와 함께 플라이스토세-홀로세 고해양 변화와 기후 변화를 연구할 수 있는 최적의 장소라 할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 ‘서북극해 고해양 환경 복원 연구’의 위탁과제로서, 서북극척치해 천부퇴적층의 퇴적작용 및 퇴적환경을 규명하고, 이 지역 고해양환경 변화 복원에 필요한 해저퇴적물의 퇴적학적 특징들을 제시하고자 한다. 이를 위해 2011년 제2차 북극해 탐사(Fig. 1) 동안에 척치해 대륙붕, 척치대지 및 척치 Perched Rise에서 취득된 고해상탄성과탐사(SBP) 단면자료로부터 해저퇴적물의 천부층서와 탄성과상을 분석하고, 중력시추 해저퇴적물의 퇴적상(조직 및 퇴적구조) 분석을 실시하였다.

이와 같은 연구결과는 학술적으로 플라이스토세 말기 및 홀로세 동안의 북극해의 고해양 환경의 변화를 규명함으로써 향후 지구 기후계의 변동 양상을 가늠하는 데 중요한 자료로 활용할 수 있으며, 기존 북극해 및 인접 지역에 나타난 고기후 변화 기록과 비교를 통해 퇴적학적 프록시를 개발함으로써 고해양환경 연구에 편의성과 정확성을 높이는데 기여할 수 있다. 아울러 빙하기원 퇴적체에 대한 퇴적모델을 제시함으로써 북극해 다른 지역 해저퇴적층의 해석에 활용할 수도 있을 것이다. 한편

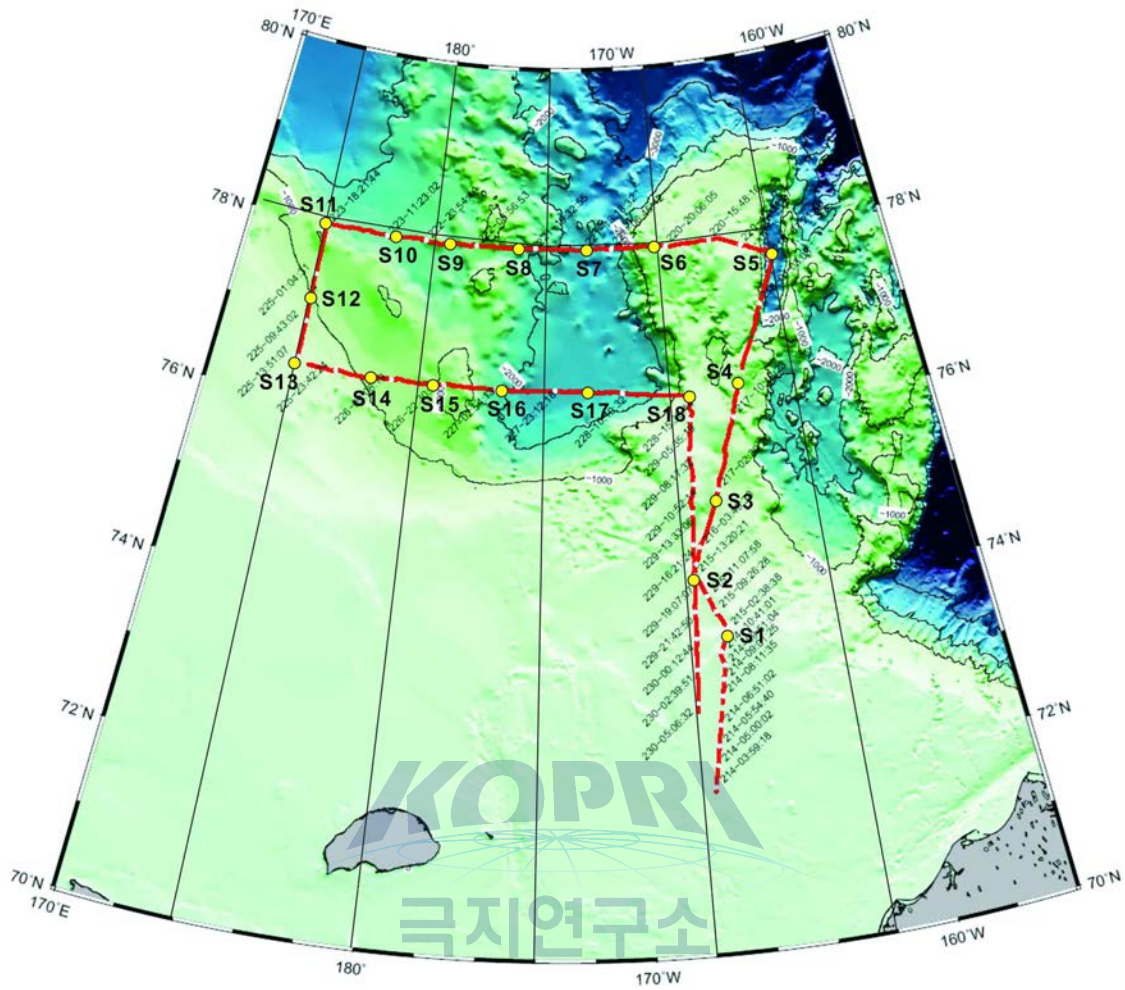


Fig. 1. Location map of the coring sites (dots) and high-resolution seismic profiling (lines) during the expedition of ARA02B in 2011.

으로는 향후 북극해 가스하이드레이트 등 해저자원탐사 및 북극항로탐사에 기본 자료로 활용하는 등 경제적인 효과도 기대할 수 있다.

제 2 장 지역 개관

제 1 절 해저지형

IBCAO(International Bathymetric Chart of the Arctic Ocean) 맵(Fig. 2)에 따르면 심해저분지로 이루어진 북극해의 중앙부는 대륙지괴와 천해의 대륙붕으로 둘러싸여 있다. 유일한 대륙의 단절부는 북동 Greenland와 북서 Svalbard 사이의 Fram 해협으로서, 이를 통해 북극해의 심층수는 대서양과 교류되고 있다. 태평양쪽으로는 대륙지각 위의 바다인 Bering 해협을 통해 연결된다. 북극해의 전체 면적은 약 $9.5 \times 10^6 \text{km}^2$ 으로서, 전세계 대양 면적의 약 2.6%, 부피(약 $13 \times 10^6 \text{km}^3$)로는 1% 미만을 차지한다.(Tables 1, 2) 면적비율에 비해 상대적으로 작은 부피비율은 넓은 면적의 대륙붕 때문이며, 북극해 전체의 평균 수심은 1,361m로 추정된다(Jakobsson et al., 2004).

북극해 자체는 Lomonosov Ridge를 가운데 두고 유라시아쪽의 Eurasian Basin과 북미대륙과 동시베리아쪽의 Amerasian Basin 등 두 개의 해저분지로 구분된다(Fig. 2). Eurasian Basin은 Lomonosov Ridge와 Barents해, Kara해, Laptev해의 대륙붕에 의해 구획되며, Amerasian Basin은 Lomonosov Ridge와 동시베리아해, Chukchi해, Beaufort해 및 캐나다 북극다도해(Arctic Archipelago)의 대륙붕으로 둘러싸여 있다. Eurasian Basin은 다시 Gakkel Ridge에 의해 Amundsen Basin과 Nansen Basin으로 구분되며, Amerasian Basin은 Alpha-Mendelev Ridge 복합체를 경계로 Canadian Basin과 Makarov Basin으로 분리된다(Fig. 2).

한편, 주연구지역인 Chukci해는 북극해에서 네번째로 넓은 주변해로서, 면적이 $620 \times 10^3 \text{km}^2$ 에 달한다. 해양학적으로는 아시아와 미주 대륙의 경계를 이루는 베링해협을 통해 북태평양과 연결되며, 동시에 동시베리아대륙으로부터 유입되는 하천의 영향을 받는 것으로 알려져 있다. Chukci해의 대부분을 차지하는 대륙붕은 평균수심이 약 80m이며, 대륙붕의 북쪽으로는 대륙사면이 인접하여 발달하는데, 심해저평원의 해저보다 수백 내지 1,000m 정도 얇은 대륙사면 말단부에 퇴적물담(sediment dam)이 형성되어 있어서 상대적으로 매우 좁은 대륙대가 발달하기도 한다. 이러한 지형을 대륙대 퇴적체프리즘(continental-rise sedimentary prism)이라 부르는데, 서부 Chukchi 대륙붕과 동시베리아 대륙붕의 외해역에 특징적으로 형성되어 있으며, Northwind Ridge, Chukchi Spur, Chukchi Plateau, Mendelev Ridge, Lomonosov Ridge 등에 의해 Canada 및 Fletcher 심해저 평원과 분리되어 있다. 이렇게 심해저

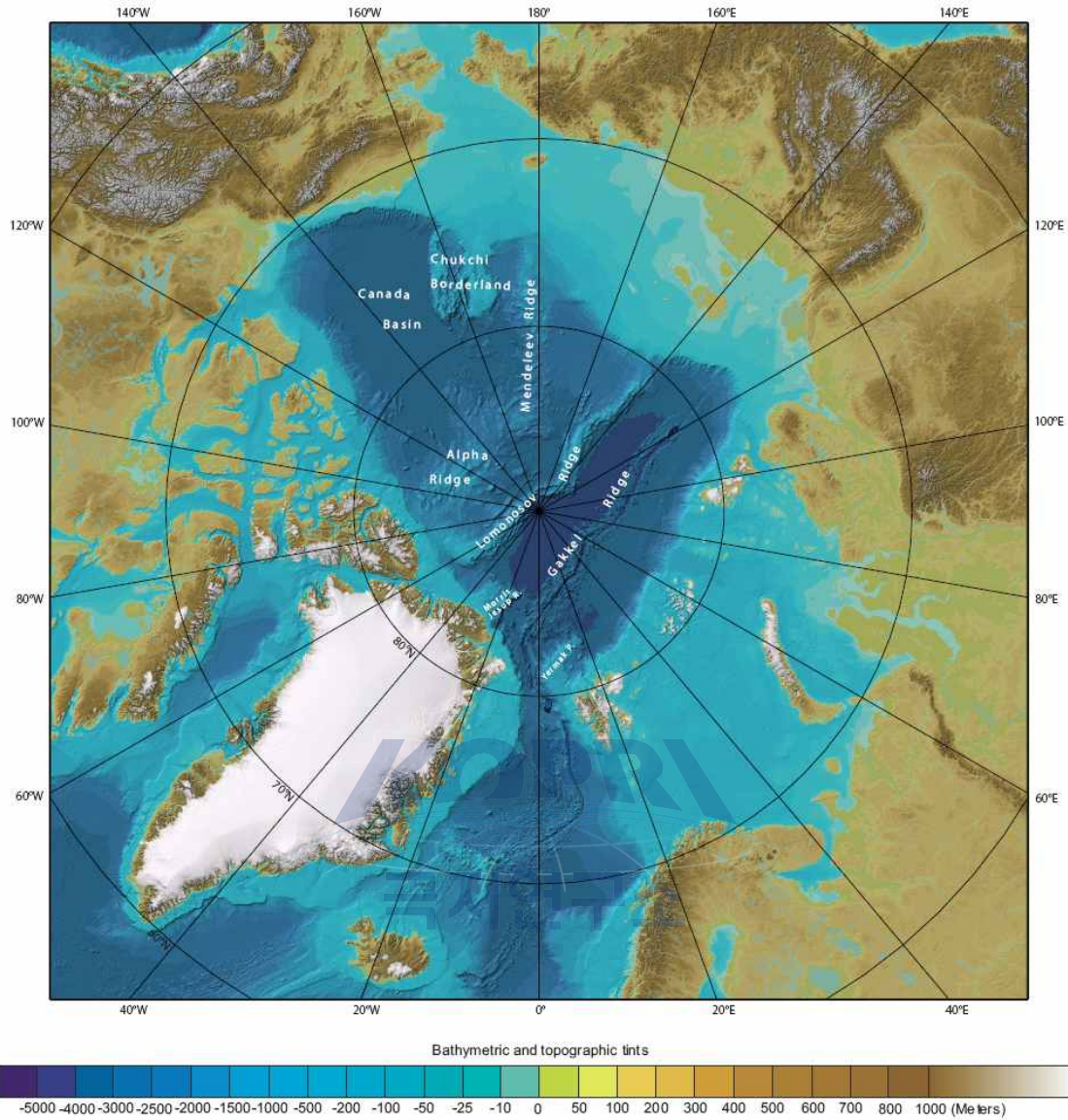


Fig. 2. International Bathymetric Chart of the Arctic Ocean (v.2.23). From <http://www.ibcao.org> (data compiled from Jacobsson et al. (2008)).

평원보다 100m에서 1,000m 이상 얇은 해저에 위치한 대륙대를 ‘perched 대륙대’라 부른다. 한편, 척치대륙사면으로부터 시작되는 Alpha-Mendeleev Ridge는 북극해에서 가장 큰 규모의 해령으로서 수많은 해저협곡과 돌출지형들이 수심 740~>2,000m 범위에 발달하면서 매우 복잡한 지형특성을 보인다.

제 2 절 판구조적 진화

북극해는 매우 다른 특성과 진화과정을 거친 수많은 복잡한 지형과 구조들로 둘

러싸여 있다. 일반적으로, 지질구조들은 세가지 유형들로 구분될 수 있다: (1) 중생대 후기와 신생대 기간 동안에 형성된 젊은 해양 분지; (2) 고생대 후기 이래로 침강하여 형성된 깊은 퇴적분지들이 분포하는 대륙붕과 대륙 저지대; (3) 고기의 대륙순상지들과 그 사이의 습곡대로 구성된 대륙 기반암(Fig. 3). 한편, 북극해는 연대와 지구조적 진화에 따라 크게 Amerasian Basin과 Eurasian Basin으로 구분된다. 이들 분지들의 판구조적 진화를 정리해보면 다음과 같다.

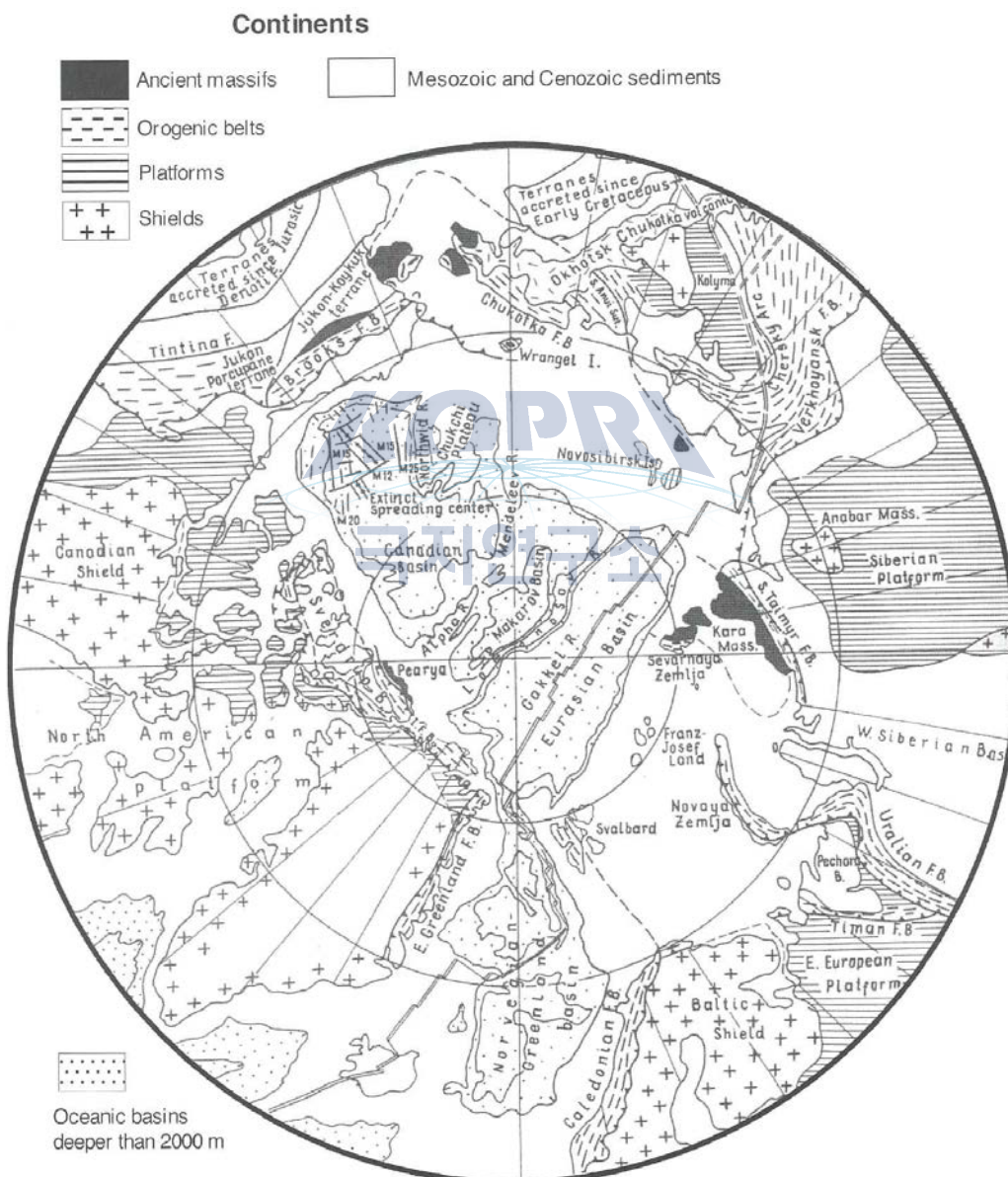


Fig. 3. Main geological structures of the Arctic Ocean and surrounding continents. After Stein (2008).

1. 유라시아 분지(Eurasian Basin)

유라시아 분지의 기원과 진화는 비교적 잘 알려져 있다. Heezen and Ewing(1961)이 대서양중양해령 시스템이 북대서양에서 북극해로 연장된다는 것을 밝힌 이후에, 1,800km 이상의 연장성을 보이는 Lomonosov Ridge가 기원적으로 유라시아 대륙주변부로부터 떨어져 나온 대륙조각이었으며 해저 확장에 의하여 분리된 것으로 추정되어 왔다. 광역 항공지자기 자료에 의하면, Gakkel Ridge의 남쪽과 북쪽의 분지에 해저확장에 의한 지자기 이상이 존재하며, 해저확장의 실질적 중심은 유라시아 분지의 중심부에 위치한다. 아울러, 해저확장 관점에서의 지자기 이상 해석과 지자기 연대 대비를 통하여, 유라시아 분지의 지구조적 진화가 노르웨이-그린란드 해의 형성과 밀접한 관계가 있는 것으로 제안되고 있다. 이러한 대비에 따르면, 해저 확장은 팔레오세 후기의 chron 24~25 사이에 유라시아 분지에서 시작되었을 것으로 추정되며, 평균 확장 속도는 1~2cm/yr로 매우 느렸던 것으로 보인다.

Nansen 분지와 Amundsen 분지를 가로지르는 다중채널 탄성과 단면의 해석에 따르면 이들 분지에 집적되어 있는 두꺼운 퇴적층들은 모두 팔레오세 이후에 퇴적된 것이다. Nansen 분지에서는 4.5km의 최대두께를 갖는 퇴적층이 Barents해 대륙주변부 부근에서 발견되며, Gakkel 해령으로 갈수록 점차 두께가 감소한다. 반면, Amundsen 분지에 집적되어 있는 퇴적층의 두께는 1.7~2.0km로 상대적으로 얇게 나타난다. 이처럼 Nansen 분지에 훨씬 더 두꺼운 퇴적층이 분포하는 이유는 유라시아 대륙으로부터 하천을 통하여 막대한 양의 퇴적물이 공급되기 때문이다.

2. 아메라시아 분지(Amerasian Basin)

아메라시아 분지는 유라시아 분지에 비해 자료의 부족으로 분지의 기원과 진화에 대해 거의 알려진 없고 추측에 근거한 내용이 많다. 특히, 아메라시아 분지와 그 subbasin(Canada and Makarov basin) 및 해령(Alpha and Mendeleev ridges)의 연대와 특성에 대한 상세한 정보는 지질학적 및 지구물리학적 자료가 부족하여 거의 알려져 있지 않다. 다만 알려진 범위에서, 가장 오래된 북극 심해 분지인 Canada 분지는 백악기에 해저가 확장하면서 형성되었으며, Canada 분지의 형성 이후 혹은 형성기간 동안, Alpha-Mendeleev Ridge와 Makarov 분지가 형성되었다. 지루/지구(horst and graben)로 이루어진 화산암의 해령 위에는 0.5~2km 두께의 퇴적층이 집적되었다. 이 해령의 지자기 이상은 국지적으로 다소 불규칙하지만, 일반적으로 해령의 세부지형과 잘 부합된다.

Alpha-Mendeleev Ridge의 기원에 대한 가설로서는 (1) 대륙 기원; (2) 이전의 확장 중심; 혹은 (3) 열점기원 등이 제안되고 있다. Alpha-Mendeleev Ridge에 대한 자료로는 주로 미국의 유빙내 관측정점인 T-3과 Canadian CESAR 탐사에 의한 탄성과 반사법 탐사자료와 퇴적물 시료들이 있다(Jackson et al., 1985). 보다 최근(1998년)에, 러시아 핵 쇄빙선 Arktika호와 독일의 RV Polarstern호가 공동으로 Alpha Ridge의 중심부를 탐사하였다. 이 탐사를 통해 총 320km 길이의 다중채널탄성과 자료가 취득되었는데, 퇴적층의 속도는 1.6~2.7km/sec이며 두께는 500~1,200m 범위에서 변화를 보이는 것으로 밝혀졌다. 기반암 위에 정합적으로 집적되어 있는 퇴적층은 일반적으로 두 개의 층단위로 구분되는데, 하부 층단위는 백악기로, 상부 층단위는 신생대로 추정되고 있다. 한편, 기반암에서의 탄성과 속도는 4.3~6.7km/sec의 범위를 보이고 있어서 해양지각의 존재를 지시하는 것으로 해석되고 있다. 아울러 중력코어링에 의하여 얻어진 현무암 시료로 볼 때, 적어도 Alpha Ridge의 서부 지역은 해양 기원이라는 것에 대하여 거의 의심의 여지가 없다. 최근에는 채취된 현무암에 대한 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 연대측정 결과 약 82Ma로 후기 백악기를 지시한다.



제 3 장 연구개발 수행 내용 및 결과

제 1 절 고해상 탄성파탐사 자료 분석

고주파수(2~12 kHz)의 음파를 사용하는 고해상 천부탄성과 탐사는 천부지층의 퇴적물 특성, 내부구조, 층서 등을 거시적으로 알려주는 매우 유용한 방법이다(Damuth, 1975, 1978; Chough et al., 1985; Pratson and Laine, 1989). 이러한 탐사를 통하여 취득된 탄성과 단면에서는 퇴적물의 밀도와 음파속도 차이에서 비롯된 반사면을 퇴적학적 관점에서 분석하게 되는데, 이들은 퇴적물 입도, 물성, 조직 및 형성시기를 반영한다(Damuth and Hayes, 1977; Damuth, 1980; Chough et al., 2002; Lee et al., 2002). 특히, 해수와 퇴적층의 경계면인 해저면에서 반사되는 음파의 특성과 해저퇴적층 내부로 투과되는 음파의 투과깊이는 표층 및 저층 퇴적물 구성과 해저면의 지형에 대한 정보를 제공하며, 반사면의 형상으로부터 알 수 있는 지층의 형태(morphology)는 퇴적체의 거시적인 퇴적 작용에 대한 정보를 제공한다(Damuth, 1978; Chough et al., 1997; Shinn et al., 2007). 따라서 고해상 탄성과 탐사에서 얻어진 음향특성은 제4기 후기동안 형성된 천부(또는 최상부)지층의 퇴적물 특성, 형태 및 퇴적작용을 이해하는데 기초자료로 이용된다(Damuth, 1975, Pratson and Laine, 1989; Chough et al., 1997, 2002; Lee et al., 2002; Shinn et al., 2007).

1. 연구자료 및 탐사장비

가. 연구자료

천부퇴적층의 고해상탄성과 특성 분석에 사용된 자료는 2011년 8월에 실시된 제2차 북극해 탐사 동안에 척치해 대륙붕과 대륙사면, 그리고 척치대지 및 Chukchi Perched Rise(CPR)를 남북과 동서 방향으로 가로지르는 축선(Fig. 4)을 따라 취득되었다. 음향반사 신호는 대륙붕 지역에서는 해저면 하 최대 70m, CPR에서는 100m 정도까지 투과되어 나타난다. 취득된 SBP 자료는 부록에 수록하였다.

나. 탐사장비

고주파수 고해상 천부탄성과 탐사장비는 1960년대 후반에 개발되어 현생 해양환경의 지질학적 연구에 활발하게 이용되고 있다. 1960년대 후반에서 1980년대까지 활용된 초기의 고해상 천부탄성과 탐사 장비는 3.5 kHz의 음파를 사용하였다. 1980

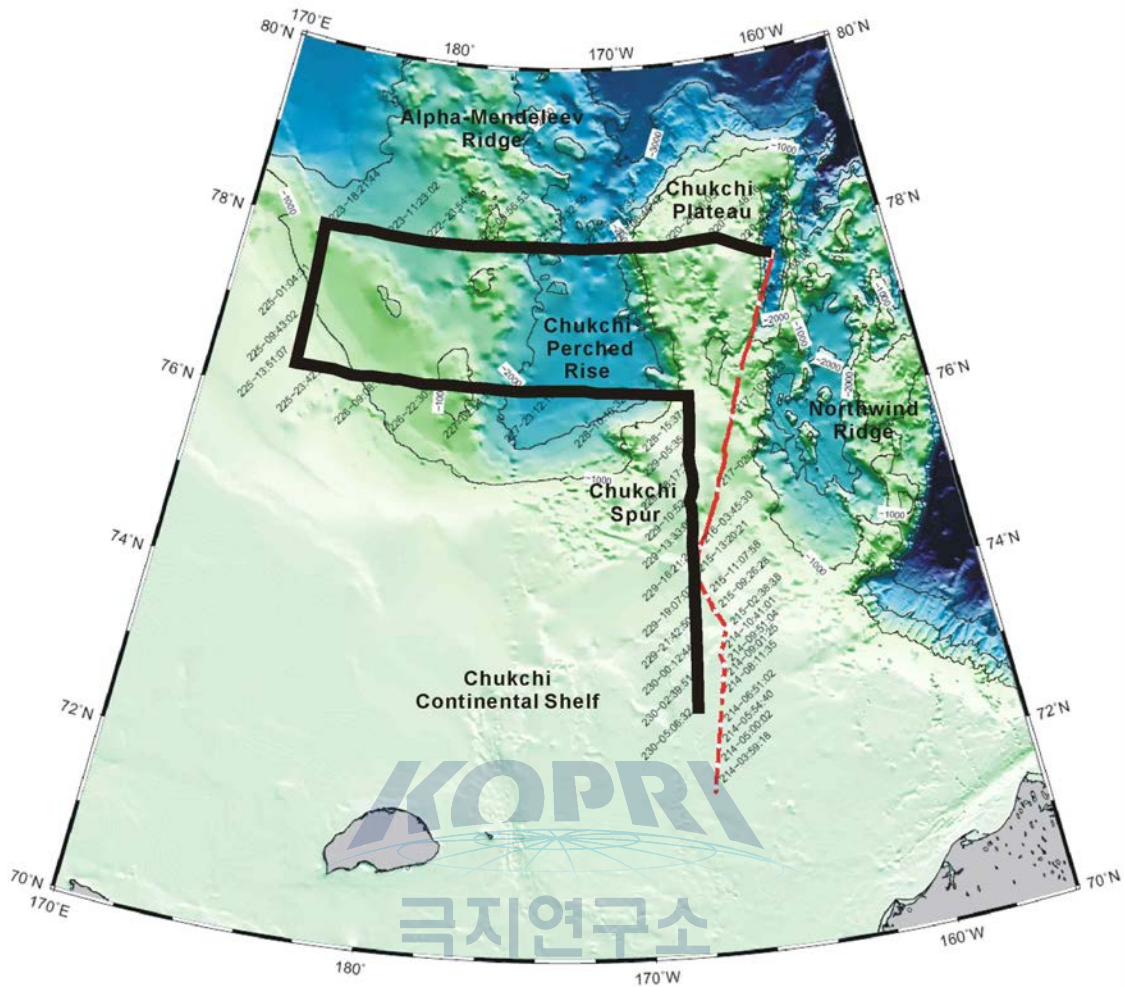


Fig. 4. Location map showing the trackline (a thick line) of SBP profiles analyzed in this study.

년대 후반~1990년대 초반에 초기의 장비를 개선하고자 2~10 kHz의 음파대역을 사용하는 Chirp 방식의 장비를 개발하였다(Schock et al., 1989; LeBlanc et al., 1992). 이 방식의 장비는 2~10 kHz의 음파대역을 동시에 내보내고 해저에서 반사된 음파 중에 2~10 kHz의 음파대역만을 필터링해서 수신한다. 이러한 방식은 기존의 3.5 kHz의 음파를 이용하는 장비보다 음파의 투과깊이를 증가시키고 해상도를 향상시켰다. 고해상 탄성파 탐사 장비는 장착 방식에 따라 마운트(mount) 형태와 토잉(towing) 형태로 나뉜다. 마운트 형태는 음파송·수신기를 조사선의 기저에 영구적인 형태로 장착하고, 토잉 형태는 음파송·수신기를 배의 뒤쪽에서 끌고 다닌다. 끌고 다니는 토잉 형태는 파도의 영향을 많이 받게 된다. 따라서 토잉 형태보다 배의 기저에 장착된 마운트 형태에서 획득되는 자료의 질이 훨씬 좋다.

2. 연구방법

고해상 탄성파탐사에 의해 기록되는 반사파의 음향학적 특성(echo character)은 일반적으로 해저 표층(bottom)과 그 하부의 심층(subbottom)에서 오는 반사파로 구분되는데, 이들 반사파들의 명확성(clarity) 또는 반사강도, 측면연속성, 형태, 그리고 해저지형 등을 기준으로 하여 탄성파상이 분류된다. 분류된 음향상의 자세한 음향특성과 형태를 기술하고 지리적인 분포를 확인한 후에 각 음향상에 대한 형성 작용에 관한 해석을 한다. 이 과정에서 시추퇴적물 자료가 있으면 이를 해석에 활용한다. 분류된 음향상의 경계 위치를 파악하여 지도에 음향상 분포도를 작성한다.

이미 1970년대 이후 표준화된 고해상 탄성파상의 특징들이 여러 연구자(예, Damuth and Hayes, 1977; Damuth, 1978, 1980; Chough et al., 1985)에 의해 발표되어 고해상 탄성파자료의 체계적 분석에 이용되어 왔다. 이렇게 분류된 각각의 탄성파상은 평면도에 그 분포범위가 도시되고, 기존 퇴적학적 연구결과와 현장에서 채취된 시추퇴적물 시료의 분석을 통해 얻어진 결과와 비교함으로써, 이러한 고해상 반사파 특성을 야기시키는 퇴적층의 기원(퇴적 메커니즘, 퇴적물 조직, 퇴적환경 등)이 해석된다.

3. 연구결과

가. 해저지형

베링해협 북쪽의 척치대륙붕은 세계적으로 가장 넓은 폭을 갖는 시베리아 대륙붕의 일부로서, 점차 북쪽으로 깊어지며 대륙붕단은 수심 150~300m 범위에 위치한다(Fig. 5). 대륙붕 해저의 표면은 비교적 평탄하고 매우 완만한 기울기를 갖으며, 국지적으로 성인 미상의 작은 기복이나 경계가 다소 불분명한 넓은 폭의 해저수로가 발달하기도 한다(Fig. 4).

조사지역에서 대륙붕단은 척치대지(Chukchi Plateau)로 연결되는데, 척치대지는 평균수심은 700m 내외이며, 북북서-남남동 방향의 장축은 약 470km, 단축은 약 180km이다. 척치대지의 서쪽은 Chukchi Perched Rise(CPR)와 Alpha-Mendelev Ridge system(AMRS)이 접하고 있어 다소 복잡하고 불규칙한 해저지형을 이룬다. CPR은 북쪽으로 열려있는 주머니 모양의 심해저 지형으로서, 평균수심은 2,000m 내외이다. 척치대지와 접한 동쪽 경계부와 척치대륙붕과 접한 남쪽 경계부는 비교적 급한 경사의 사면을 이루며, 반면에 서쪽 경계부에서는 척치대륙붕에서 계단형태를 보이면서 단계적으로 깊어진다. AMRS는 CPR의 서쪽 경계부에서 시작되어

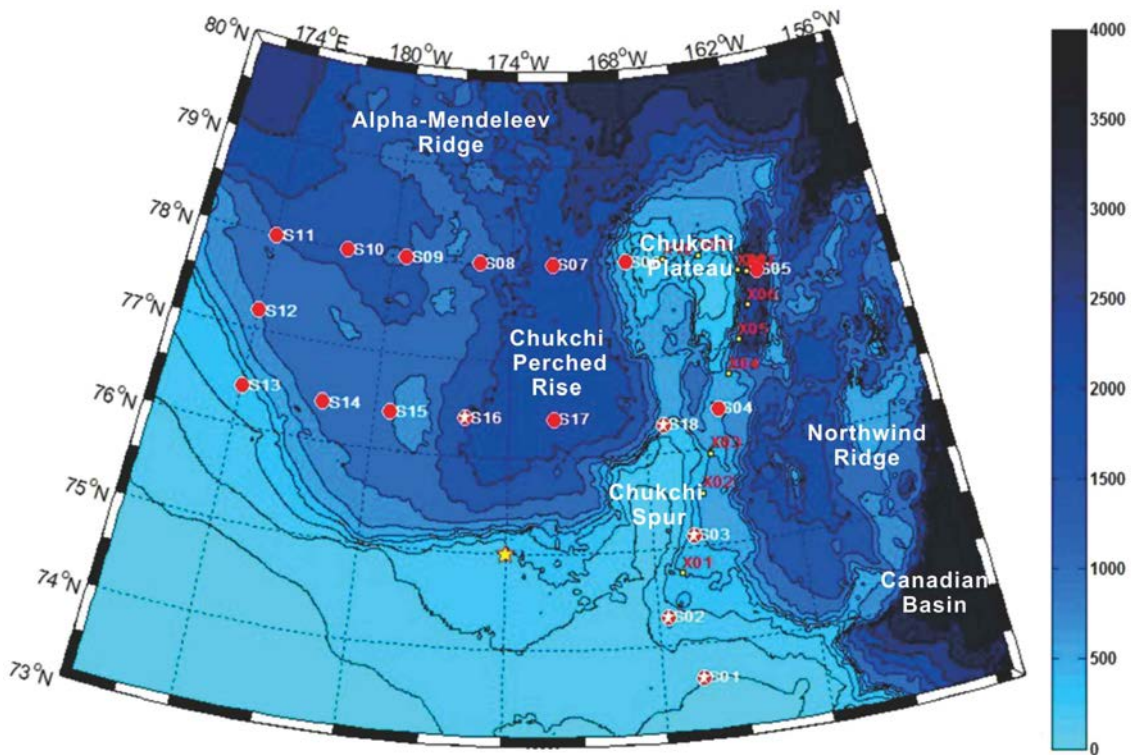


Fig. 5. Physiographic map of the study area.

북쪽으로 연장되어 발달하는데, 크고 작은 불규칙한 해저면 돌출부로 구성되어 있으며, 해저면 돌출지형들의 정상부는 수심 1,200~1,400m 범위를 보인다.

한편, 척치대지의 동쪽에는 거의 평행한 방향으로 노스윈드해령(Northwind Ridge)이 발달하고 있다. 노스윈드해령은 척치대지에 비해 폭이 2/3 정도로 좁고 표면지형이 더 불규칙한 특징을 보인다. 노스윈드해령은 동쪽으로 캐나다분지(Canadian Basin)와 접하고 있는데 최대수심은 약 3,800m에 이르며, 비교적 평탄한 심해저의 특성을 보인다. 그러나 캐나다쪽 대륙붕과 인접한 대륙사면에는 수많은 협곡들이 발달하고 있다.

나. 천부 층서

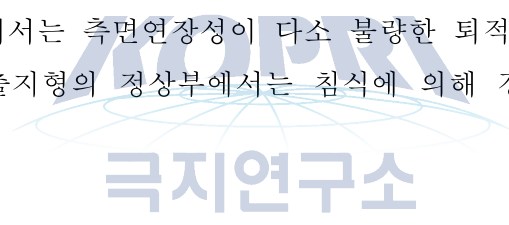
최대 약 100m의 투과깊이를 보이는 SBP 자료에서 극히 일부 지역을 제외한 대부분의 지역에서 뚜렷한 층내 반사면을 기준으로 얇은 수심의 내대륙붕에서는 3개(하부로부터 층단위 I, II, III), 수심이 깊은 외대륙붕과 사면에서는 2개의 층단위(하부로부터 층단위 II, III)가 구분된다. 수심이 얇은 내대륙붕에서 주로 인지되는 하부의 층경계면은 음향반사강도와 형태가 지역에 따라 비교적 심한 변화를 보이는데, 전반적으로 다양한 규모의 침식에 의한 기복들이 잘 나타난다. 특히 10m 이상의 깊이를 갖는 수로단면 형태의 침식지형이 4-5개소에서 발견되기도 한다. 상부 층경계

Table 1. Codes of echo facies

Type of seafloor topography		Type of subbottom echoes	
I	Flat or smoothly (widely) undulating	A	Several discrete and parallel reflectors (laterally continuous or discontinuous)
II	Highly dissected or sharply protruded, intense hummocks	B	Random or fuzzy without discrete reflectors
III	Hummocky, tightly undulating or overlapping hyperbolae		
IV	Single or overlapping hyperbolae with highly-varying vertex elevations	C	Acoustically transparent (no reflectors) above a distinct basal boundary reflector; lens or wedge shaped sediment masses with abrupt or gradual lateral termination

면은 대륙붕 지역에서 비교적 기록이 작고 평탄하며 다소 확산되어(prolonged) 나타나는 음향반사특성을 보이지만, 점차 수심이 깊어지면서 반사면의 기록이 점차 증가하여 크고 작은 낙타등(hummock) 모양의 기록들이 중첩되어 나타나는 특성을 보인다.

한편, CPR의 사면에서는 측면연장성이 다소 불량한 퇴적체가 3~4개의 층단위로 구분되기도 하며, 돌출지형의 정상부에서는 침식에 의해 경사부정합면이 나타나기도 한다.



다. 탄성파상(seismic facies)

고해상 탄성파탐사에 의해 기록되는 반사파의 음향학적 특성(echo character)은 일반적으로 해저 표층(bottom)과 그 하부의 심층(subbottom)에서 오는 반사파로 구분되는데, 이들 반사파들의 명확성(clarity) 또는 반사강도, 측면연속성, 형태, 그리고 해저지형 등을 기준으로 하여 탄성파상이 분류된다. 이미 1970년대 이후 표준화된 고해상 탄성파상의 특징들이 여러 연구자(예, Damuth and Hayes, 1977; Damuth, 1978, 1980; Chough et al., 1985)에 의해 발표되어 고해상 탄성파자료의 체계적 분석에 이용되어 왔다. 그러나 이번 북극해 탐사자료의 탄성파상 분석에서는 고위도 지역의 퇴적환경 특성을 효과적으로 반영하기 위하여 Table 1에서와 같이 기존과는 다른 분류방식을 고안하여 적용하였다. 새로운 분류방식은 기본적으로 (1) 해저면의 지형(로마자 I, II, III, IV)과 (2) 해저면 하의 반사신호의 음향학 및 형태학적 특성(영문 알파벳 A, B, C) 등 두 가지 요소를 조합하여 제안되었다. 이론적으로 12개의 탄성파상이 가능하지만, 현실적인 조건을 감안하여 Table 2와 같이 총 6개의 탄성파상을 분류하고 그 기원을 퇴적학적 관점에서 해석할 수 있었다. 그 특

Table 2. Classification scheme of echo facies. References for interpretation cited in the text.

Echo type	Characteristics on profiles	Interpretation	Occurrence	
I	A	Flat or smoothly (widely) undulating bottom echoes with discrete, parallel reflectors (laterally continuous or discontinuous)	Composite deposits consisting of several units of hemipelagites intercalated with turbidites or muds from turbid meltwater plumes	Deep seafloor
	B	Flat or smoothly (widely) undulating bottom echoes with random or fuzzy subbottom reflectors	Glacial till	Chukchi continental shelf
	C	Flat or smoothly (widely) undulating bottom echoes with no subbottom reflectors (acoustically transparent) above distinct basal boundary; lens or wedge shaped sediment masses with abrupt or gradual lateral termination	Contourite abundant with IRD; glacial till deposits winnowed by bottom currents	Chukchi Plateau
II	B	Highly dissected; sharply protruded bottom echoes with random or fuzzy subbottom reflectors	Glacial till; IB eroded by iceberg scouring or currents	Chukchi Spur
III	B	Hummocky, tightly undulating or overlapping hyperbolae with random or fuzzy subbottom reflectors	Glacial till	Chukchi Plateau
	C	Hummocky, tightly undulating or overlapping hyperbolae with no subbottom reflectors (acoustically transparent) above distinct basal boundary; lens or wedge shaped sediment masses with abrupt or gradual lateral termination	Debrites	Kucherov Terrace (continental slope)

성은 다음과 같다.

1) 탄성파상 IA

탄성파상 IA는 비교적 뚜렷하거나 약간 확산(semi-prolonged)되어 두껍게 나타나는 측면연속성이 양호한 해저표층 반사파와 그 하부 수 십 m에 걸쳐 나타나는 다수의 평행한 내부 반사파를 특징적으로 보인다(Fig.6). 내부 반사파의 측면 연속성은 다소 불량하여 불연속적으로 나타나는 부분도 있다. 이와 같은 탄성파상은 심해저 환경을 이루고 있는 CPR의 중심부와 서쪽 사면에서 우세하게 나타나며, 국지적으로 대륙사면 지역의 최상부 층단위에서도 발견된다(Fig. 7).

서로 평행한 표층 및 내부 반사파는 퇴적물이 해저면을 따라 침전하면서 해저지형을 피복(draping)하였음을 의미하며, 내부 반사면의 발달은 입도, 밀도, 굳기 등 물리적 특성이 서로 다른 퇴적층이 교호하고 있음을 반영한다. 일반적으로 이러한

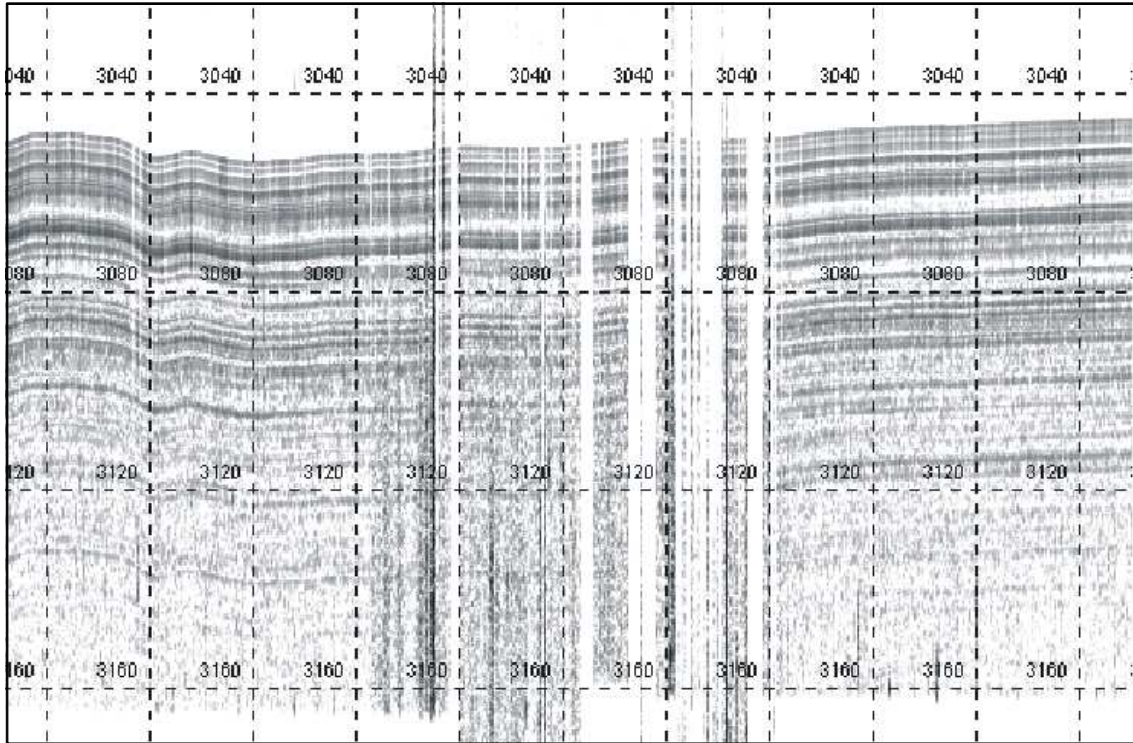


Fig. 6. Part of SBP profile showing echo facies IA.

탄성파상은 해저지형을 종합적으로 피복하는 (반)원양성 퇴적과 함께 간헐적인 저밀도 세립질 저탁류 또는 밀도류의 퇴적작용의 결과로 알려져 있다(Damuth, 1978, 1980; Mullins et al., 1979; Yoon et al., 1991).

2) 탄성파상 IB

탄성파상 IB는 확산되어 두껍게 나타나는 측면연속성이 양호한 해저표층 반사파를 특징적으로 보인다(Fig. 8). 표층 반사파는 대체로 매끈하고 평탄하며, 국부적으로 약간의 굴곡(undulation)을 보이기도 한다. 반면에, 내부 음향특성은 반사면이 뚜렷하게 구분되지 않고 확산되어 있거나 무작위(random)로 나타난다. 이러한 탄성파상은 대부분 척치대륙붕에서 관찰된다(Fig. 7).

심해저 환경에서는 대륙사면의 해저수로나 대륙대, 심해저평원 등에서 이와 같은 확산 반사파가 보고되고 있는데, 주로 저탁류나 해저류에 의해 집적된 퇴적체를 지시한다(Pratson and Laine, 1989; Kenyon, 1986; Yoon et al., 1991). 특히 노르웨이 해에서는 실트나 모래 층이 두껍고 자주 협재될 때 반사파의 확산 정도가 심해지는 것으로 분석되었다(Damuth, 1978). 그러나 척치해에서와 같이 수심이 얕고 경사가 매우 완만한 대륙붕에 폭넓게 분포하는 경우에는 빙하기 대륙붕 지역까지 전진해 있었던 빙상의 기저에서 집적된 빙퇴석층을 나타내는 것으로 해석된다. 표층반사파

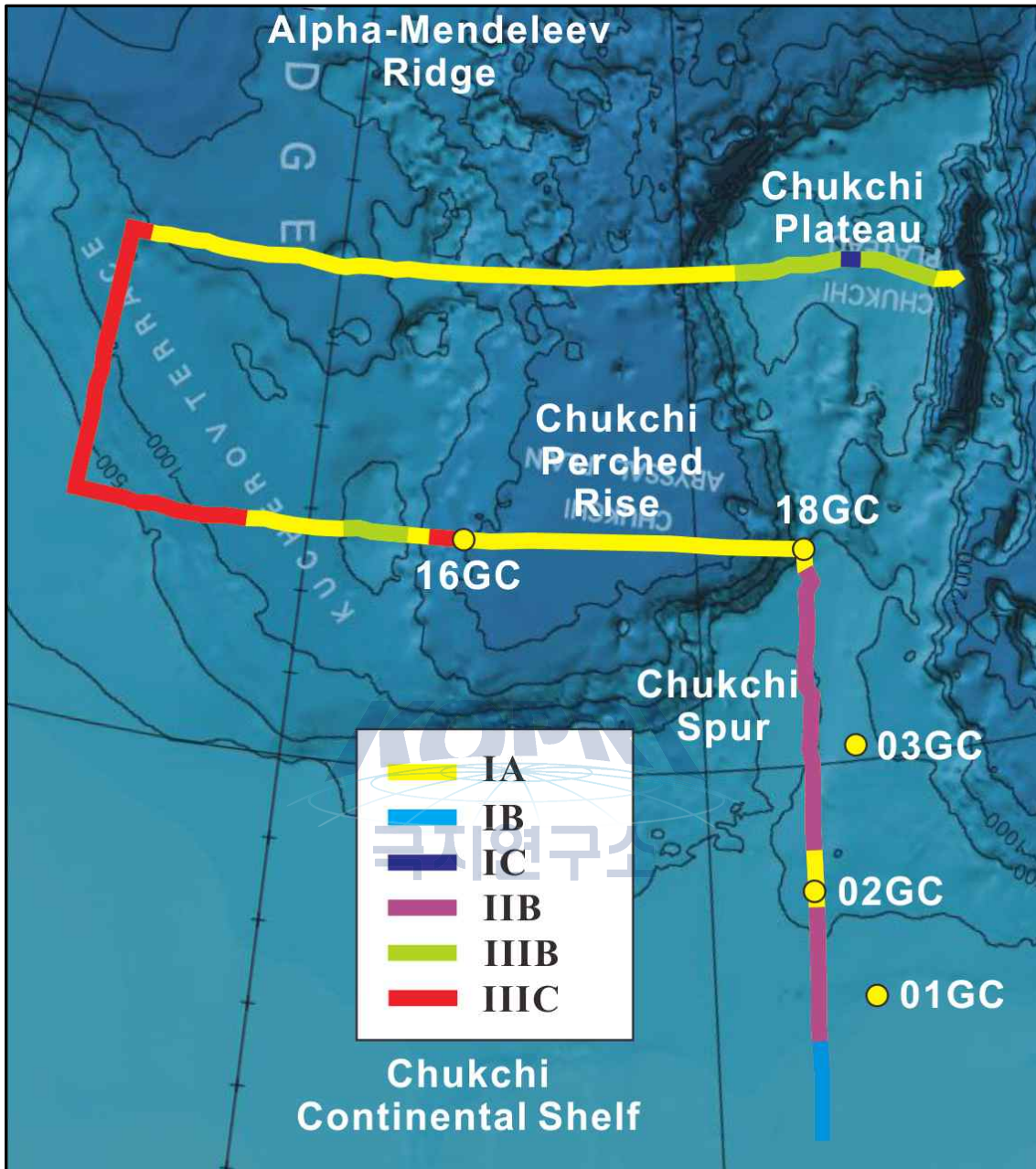


Fig. 7. Distribution of echo facies. Refer to Table 2 for details of each echo facies.

의 확산 정도는 다르지만 유사한 표면형태를 보이는 탄성파상이 남극 브랜스필드 해협 주변의 대륙붕과 킹조지섬의 맥스웰만에서 보고되어 빙퇴석층으로 해석된 바 있다(윤호일 외, 2001). 일반적으로 확산된 반사파는 해저 표면에 소규모 불규칙한 기복이 우세하게 분포하는 지역에 흔히 나타나는데, 이들 불규칙한 기복들은 탄성파 탐사 시 음파를 산란시켜 매우 확산된 표층 반사파를 기록하는 주원인이 된다 (Ewing et al., 1973; Damuth, 1980). 특히 빙퇴석층의 경우, 표면의 불규칙한 빙식 구조나 노출된 조립질 암설의 작은 기복들이 음파의 확산을 야기할 것으로 추정된

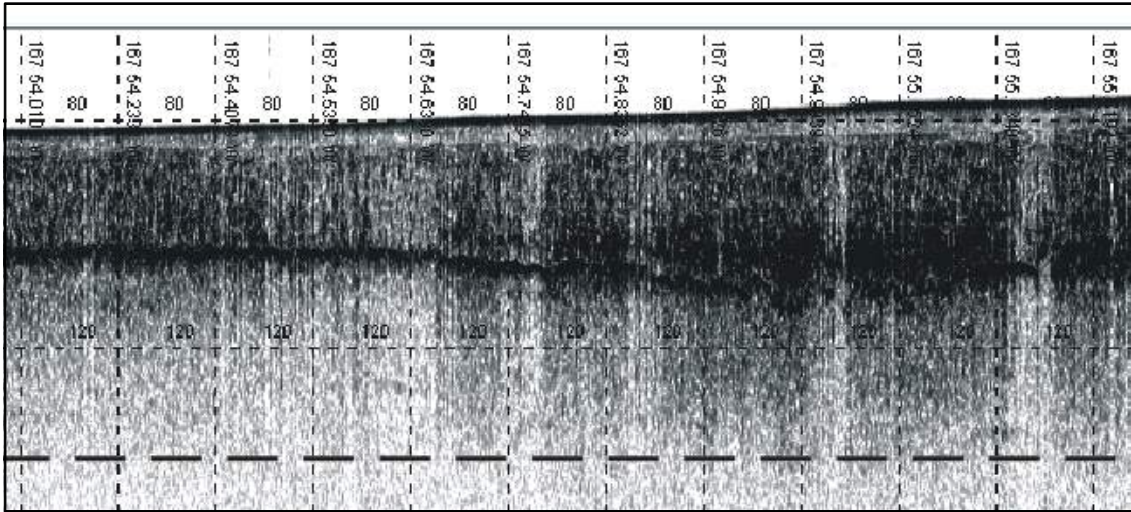


Fig. 8. Part of SBP profile showing echo facies IB

다.

3) 탄성파상 IC

탄성파상 IC는 내부 반사파의 특성은 탄성파상 IIIC와 거의 동일하나, 표면반사파가 측면 연속성이 양호하고 확산되지 않고 뚜렷하게 나타나는 특징을 갖고 있으며, 표면의 지형은 평탄하거나 다소 굴곡이 있지만 전체적으로 매우 매끈하게 나타난다(Fig. 9). 이러한 특성을 갖는 퇴적체가 누적되어 있는 경우, 침식에 의한 절단이 자주 나타나며, 표층에 불규칙한 침식의 흔적이 발견되기도 한다. 이 탄성파상은 주로 척치대지에서 국지적으로 나타난다(Fig. 7).

탄성파상 IC는 암설류 퇴적체로 해석되는 탄성파상 IIIC와 탄성파적으로 투명하다는 점에서는 동일하지만, 표면 지형이 비교적 매끄럽고, 분포지역이 급경사의 사면이나 사면 말단부에 국한되지 않고 다소의 굴곡이 있는 해저대지에 분포한다는 점이 다르다. 따라서 본 퇴적상은 주로 해저사면 경사지에 발달하는 암설류 퇴적체는 아닌 것으로 추정되며, 대신 내부 층리의 발달이 미약하면서 넓은 지역에 걸쳐 분포할 수 있는 퇴적체를 반영하는 것으로 해석된다. 북극해와 같은 극지역에서 이러한 퇴적체로 가능성이 있는 것은 빙산으로부터 집적된 Ice-Rafted Debris(IRD) 층을 생각해볼 수 있다. 시추 코어 퇴적물에서도 이러한 퇴적층과 암설류 퇴적층과는 매우 유사한 조직과 구조를 나타낸다(Yoon et al., 1991). 한편, 빙하로부터 직접 퇴적된 빙퇴석층(till)의 경우에도 유사한 구조를 보이지만, 이들 대부분은 조립질 퇴적물로 구성되기 때문에 내부가 탄성파적으로 투명하게 나타나기 보다는, 탄성파상 IB나 IIIB에서처럼 대부분의 음파가 표면에서 산란되어 저층의 반사파가 구분되지 않을 것이다. 그러나 해저환경에서 빙퇴석층이 장기간 해저류에 의해 강한 재동

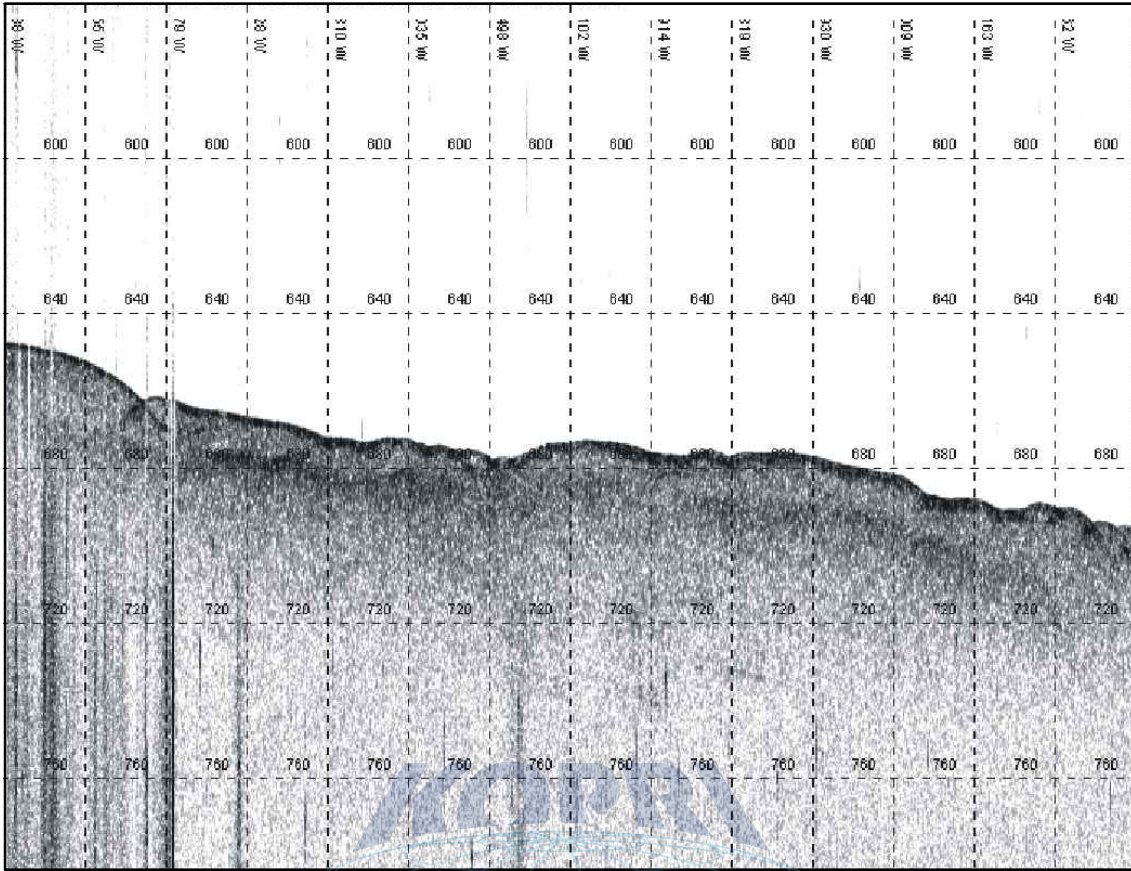


Fig. 9. Part of SBP profile showing echo facies IC.

을 받아 표면 지형이 매끄럽게 침식되는 경우에도 탄성파상 IC와 같이 나타날 것으로 해석된다.

4) 탄성파상 IIB

탄성파상 IIB는 탄성파상 IB와 유사하게 전체적으로 확산되어 두껍게 나타나는 해저표층 반사파를 보이지만, 해저표면은 평탄하거나 매끈하지 않고 높이 수 m 이하의 작은 기복이나 소규모의 침식 흔적이 광범위하게 관찰된다(Fig. 10). 이러한 탄성파상은 척치대륙붕과 척치대지를 연결하는 척치돌출대(Chukchi Spur)에서 우세하게 관찰된다(Fig. 7).

탄성파상 IIB를 보이는 퇴적체는 탄성파상 IB 퇴적체와 같이 기본적으로 빙하기 북극해 중심부 지역까지 전진해 있었던 빙상의 기저에서 집적된 빙퇴석층을 나타내는 것으로 해석된다. 다만, 표면에 나타나는 불규칙한 기복들은 이동하는 빙산에 의해 삭박된 침식흔적으로 보인다. 실제로 이 지역에서 취득된 멀티빔 해저면 자료에서는 유빙의 기저부 일부가 해저면 닿아 형성된 흔적들이 다수 보고되어 있다.

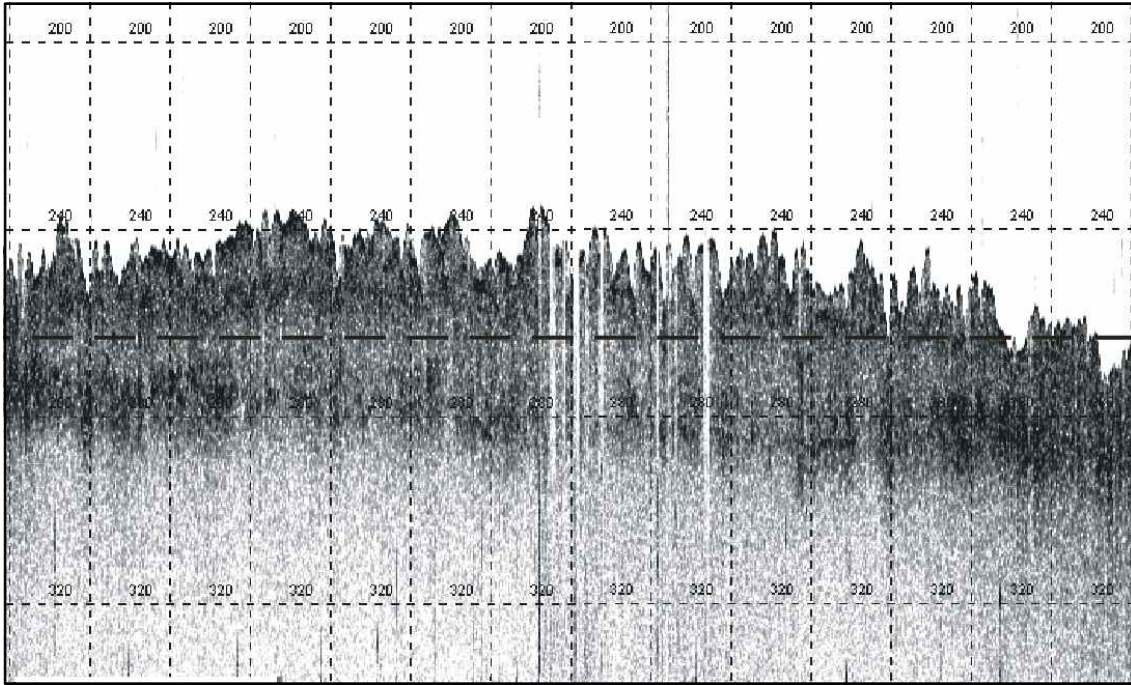


Fig. 10. Part of SBP profile showing echo facies IIB.

5) 탄성파상 IIIB

탄성파상 IIIB는 전체적으로 확산되어 두껍게 나타나는 해저표층 반사파를 보이지만, 해저표면에 높이 수 m 이하의 작은 기복이나 낙타등 모양(hummocks)의 돌출부가 나타나며, 국부적으로 약간의 불규칙한 굴곡을 보이기도 한다(Fig. 11). 이러한 탄성파상은 척치대지와 CPR의 서쪽 대륙사면의 일부 돌출지형의 정상부에서 국지적으로 나타난다(Fig. 7).

대륙붕을 제외하고는 비교적 수심이 얇은 해저로 이루어진 척치대지에 나타나는 탄성파상 IIIB는 빙하기에 이 지역까지 전진해 있었던 빙상의 기저에서 집적된 빙퇴석층을 지시하는 것으로 해석된다. Damuth(1978)는 노르웨이해에서 이와 유사한 탄성파상을 보고하였으며, 시추퇴적물을 분석하여 빙하에 의해 퇴적된 빙퇴석층으로 해석한 바 있다. 일반적으로 확산된 반사파는 해저 표면에 소규모 불규칙한 기복, 예를 들면 연흔이나 모래파와 같은 퇴적구조, 해류나 빙하에 의한 다양한 침식 흔적 심층 등이 우세하게 분포하는 지역에 흔히 나타나는데, 이들 불규칙한 기복들은 탄성파 탐사 시 음파를 산란시켜 매우 확산된 표층 반사파를 기록하는 주원인이 된다. 특히 빙하의 영향을 받는 지역의 경우, 이러한 조립 퇴적물은 주로 빙하로부터 직접 퇴적된 빙퇴석이나 빙산으로부터 침전된 암설인 경우가 우세할 것이다. 특히, 조립질 빙퇴석의 발달 지역에서는 높이 수 미터 이하의 작은 기복들이 불규칙하게 발달하면서 낙타등 모양의 작은 기복이 해저표면 반사파의 형태에 특징적으로

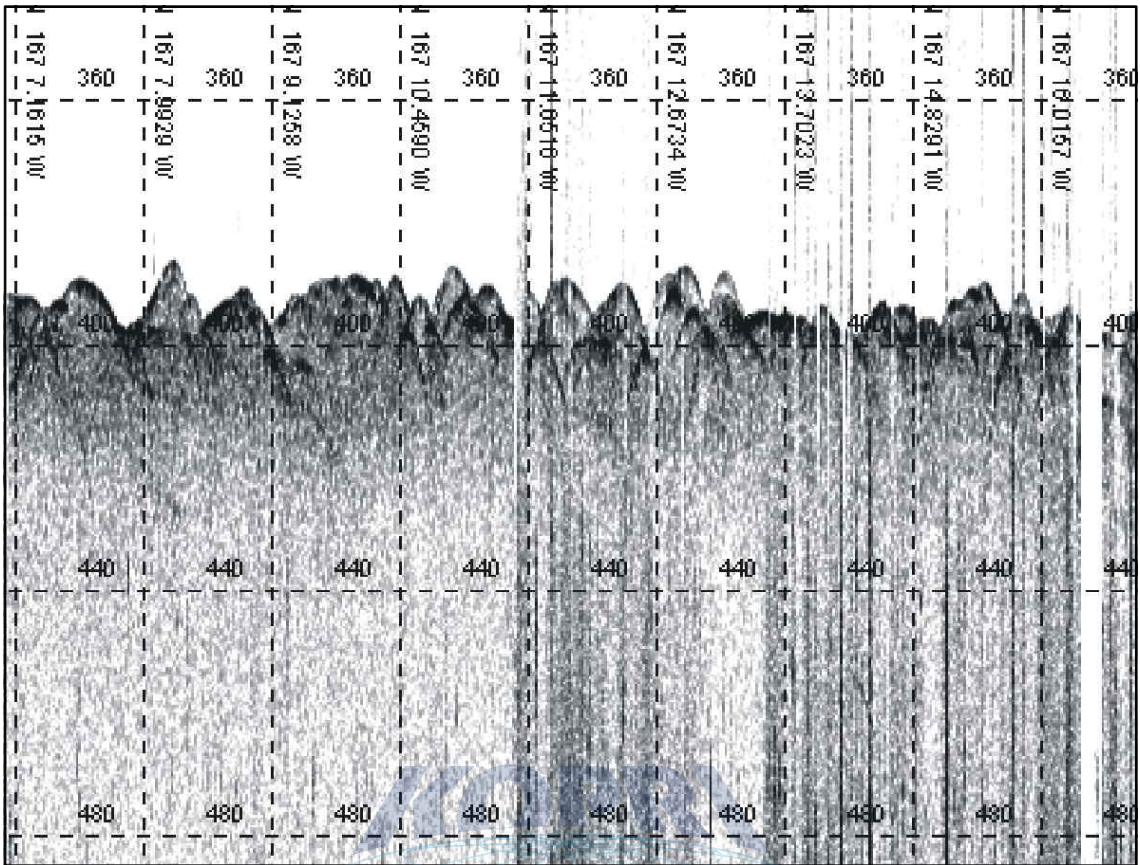


Fig. 11. Part of SBP profile showing echo facies III B.

반영된다(Damuth, 1978).

6) 탄성과상 IIIC

탄성과상 IIIC는 내부 반사파가 없는 음향학적으로 투명한 퇴적체의 특징을 반영한다(Fig. 12). 그러나 표층반사파는 명확도나 형태에 있어서 비교적 다양한 특성을 보이는데, 일반적으로는 수 m에서 십 수 m의 높이를 갖는, 비교적 규칙적으로 중첩하는 쌍곡선 형태의 반사파나 다소 확산된 특성의 반사파들을 포함한다. 탄성과상 IIIC는 주로 CPR의 서쪽 대륙사면에 광범위하게 나타난다(Fig. 7).

탄성과상 IIIC에서와 같이 내부반사면이 없이 음향학적으로 투명하고 표면에 소규모 불규칙한 돌출지형이 발달하는 경우는 일반적으로 암설류(debris flow)에 의해 집적된 퇴적층으로 해석된다(Embley, 1976; Damuth and Embley, 1981; Piper et al., 1985). 탄성과 투명성은 내부에 층리가 발달됨이 없이 균질하게 퇴적물이 분포하고 있음을 반영하며, 이는 암설류가 발달하는 동안 전단변형(shear deformation)과 주변 해수와의 혼합으로 인하여 암설류로서 재동되는 퇴적층의 내부 층리가 소멸된 결과이다(Middleton and Hampton, 1973; Embley and Jacobi, 1977; Nardin et

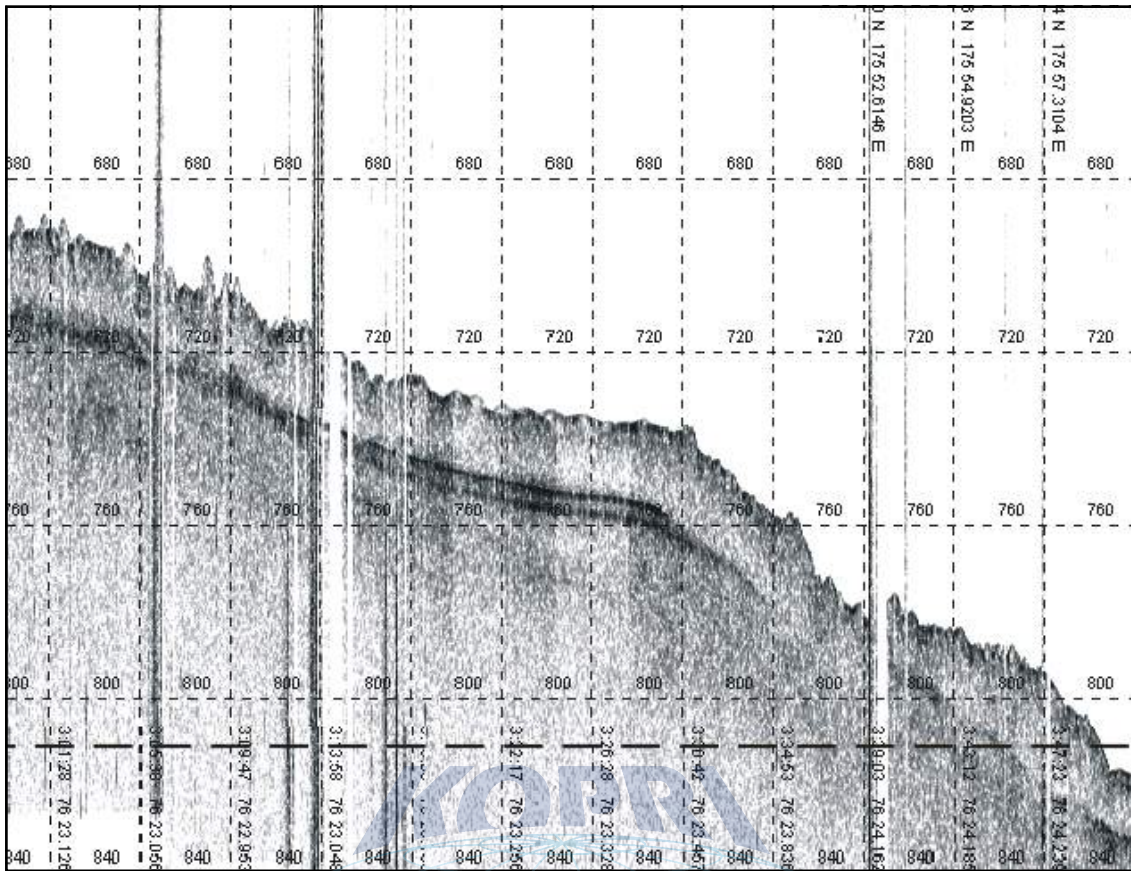


Fig. 12. Part of SBP profile showing echo facies IIC.

al., 1979). 또한 퇴적체의 표면에 나타나는 소규모 쌍곡선형태의 표층반사파와 확산 반사파(diffused echo)는 암설류가 집적되는 동안 퇴적체의 표면에 발달한 다양한 퇴적구조에 의한 것으로 추정된다(Embley, 1976; Damuth, 1980; Yoon et al., 1991).

제 2 절 코어 퇴적물 분석

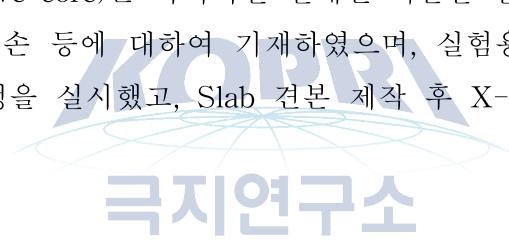
1. 연구자료

시료 채취는 총 5개의 정점에서 중력 코어를 이용하여 시료 채취를 실시하였다 (Table 3). 중력 코어는 약 1~1.5ton의 무게 추와 3m 장경의 바렐(barrel)을 최대 3개까지 결합하여 총 9m 길이의 코어 퇴적물을 획득할 수 있도록 제작되었다 (경험상 최대 6~7m 정도의 코어 퇴적물이 채취됨). 코어 시추 실행 시, 바렐 내에 동일한 크기(3m)의 플라스틱 재질의 라이너를 넣어 라이너에 퇴적물을 획득할 수 있

Table 3. Core locations.

Date	Station	Corer type	Location		Water depth (m)
			Latitude	Longitude	
02. 08. 2011	01A	Gravity	73°37.8939'N	166°30.9838'W	111
	01B	Gravity	73°38.0560'N	166°30.3982'W	111
03. 08. 2011	02	Gravity	74°17.9645'N	167°39.0330'W	320
04. 08. 2011	03A	Gravity	75°06.4621'N	166°20.3337'W	423
	03B	Gravity	75°07.0293'N	166°20.3360'W	455
08. 15. 2011	16A	Gravity	76°24.1810'N	176°01.7276'W	1815
	16B	Gravity	76°24.4804'N	175°57.9817'W	1821
08. 16. 2011	18A	Gravity	76°17.3045'N	167°09.6639'W	435
	18B	Gravity	76°17.2266'N	167°05.9684'W	409

도록 했으며, 완전히 시추가 끝날 경우, 최하부를 기준으로 1.5m씩 절단하여 퇴적물을 보관하였고, 이렇게 준비된 코어 퇴적물은 실험실로 반입하여 반으로 절개한 이후, 저장용 코어(archive core)는 가시적인 절개면 기술을 실시하여 색의 변화, 퇴적 구조, 인위적 시료 훼손 등에 대하여 기재하였으며, 실험용 코어(working core)는 입도분석, 전단력 측정을 실시했고, Slab 견본 제작 후 X-선 이미지화를 실시하였다.



2. 연구방법

가. 입도분석 및 전단력 측정

입도분석과 전단력 측정은 각각의 코어에 10cm 간격을 기준으로 실시하였으며, 입도분석의 경우, 10cm 간격으로 대략 5g를 채취하여 실시하였다. 채취된 입도분석용 시료들은 유기물 제거를 위해 36%의 과산화수소를 이용하여 3일에 걸쳐 전 처리 과정을 실시 하였다. 전 처리가 완료된 시료는 염분 제거를 위해 증류수 희석을 3회 실시하였고, 모든 과정이 완료되면 습식 체질을 통해 시료를 사질퇴적물과 니질퇴적물로 구분(구분 경계값=4Φ)하였다. 니질 시료는 Sedigraph 5000D를 이용하여 입도를 분석하였으며, 사질 시료들은 자연건조 후에 표준 망체를 이용하여 건식 체질 법으로 분석하였다. 각 코아별 입도분석 결과자료는 부록에 수록하였다.

나. 코어 X-선 사진 관찰

X-선 이미지화의 포괄적인 기술(description)은 Bouma(1969)에 의해 제공되었다. 일반적으로 코어자료의 X-선 이미지화는 X-선에 민감한 사진 필름 안에서, 동일기

원 매체를 따라 서로 다른 X-선 복사이동통로에 근거하며, 조밀한, 암석기원의 엽리들은 밝은 네거티브 이미지를 형성하며 보다 투과가 잘 될 것이다. 반대로 생물기원의 엽리들은 보다 어두운 네거티브 이미지를 형성한다. 필름으로부터 이미지화를 실시하면 암석기원의 입자나 구조들은 흑백 색상의 이미지에서 상대적으로 어두운 색상을 보이며 생물기원의 입자나 구조들은 밝은 이미지를 보여준다. 따라서 이러한 X-선 이미지화의 특징으로 볼 때, X-radiography는 퇴적물의 전체적인 구조에 대한 유용한 정보를 제공한다(Soutar & Crill 1977).

X-선 이미지화는 각각의 퇴적물 코어에서 슬랩으로 샘플링을 한 이후, 슬랩 샘플을 이용하여 시행하였다. 슬랩 샘플링은 아크릴 재질의 직사각형 박스에 퇴적물을 채우는 방식이며, 박스의 크기는 장축 30cm, 중축 8.5cm, 단축 1.5cm이며, 퇴적물을 채취할 때, 슬랩을 절개된 표면에 위에 찍어 누른 뒤, 낚시줄 혹은 가는 기타줄과 같은 커터를 사용하여 코어내의 퇴적물과 슬랩 속에 채워진 퇴적물을 분리시켜준다. 적절히 분리된 슬랩 퇴적물은 동일한 재질의 아크릴판으로 덮어주고 테이핑과 랩핑으로 내부 건조를 방지하고 보관한다.

다. 퇴적상 분석

퇴적상(sedimentary facies)은 입도와 퇴적구조에 의해 구분되어지는 퇴적물의 특징으로서, 퇴적시의 수리역학적인 상태를 반영한다. 퇴적상 분석을 위해서는 먼저 시추퇴적물을 입도별로 구분하고 각 구간에서 나타나는 특징적인 1차 퇴적구조 및 2차 변형 및 생물교란 구조를 기술한다. 이 두 특성(퇴적물 조직 및 퇴적구조)을 조합하여 퇴적상 분류 기준표(facies classification scheme)를 작성한 후, 각 시추정점별로 주상도를 작성하고 타 정점과 대비시킨다. 한편 분류된 퇴적상은 기존 연구결과 및 타 분석결과와 비교하여 형성 메커니즘을 해석하며, 시추정점 간의 대비를 통해 형성메커니즘의 영향 범위를 파악하여 도시한다. 각 코어별 X-선 사진, 사진 linedrawing, 퇴적상 설명 등은 부록에 수록하였다.

3. 연구결과

가. 코어 01AGC

549cm 길이의 코어 01AGC는 북위 73°38', 서경 166°31' 지점의 수심 111m의 천해환경에서 채취한 코어이다(Fig. 13). 평균 입도는 9~10Φ이며, 분급도는 1.5Φ로 불량한 분급을 보인다(Fig. 14). 전반적으로 생물교란을 심하게 받은 분급이 양호한 점토질(clay)로 구성되어 있으며 5YG3/2(grayish olive green)의 색상을 보인다. 코

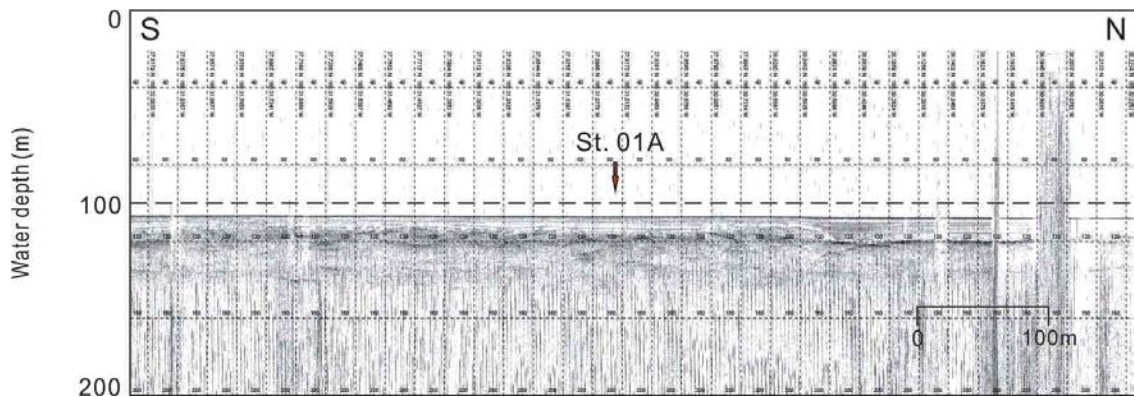


Fig. 13. SBP profile around coring site 01AGC. For core location, see Fig. 7.

어 최상부로부터 약 60cm 하부에서 조개껍질 파편들이 나타나기 시작한다. 생물교란 구조는 최상부(약 0~60cm)는 튜브(tubes)형태의 큰 구조의 생물교란 구조들과 burrow가 나타나며 하부로 갈수록 microburrow들이 우세하게 나타난다. 최하부(약 520~540cm)에선 물리적 힘에 의해 변형된 것처럼 보이는 구조들이 일부 나타나며 적은양으로 세립사 입자들이 특정한 방향성 없이 흩어져 나타난다.

정점 1A는 수심 약 111m의 대륙붕 지역에 위치하는데, 이 지역은 탄성파상 IIA

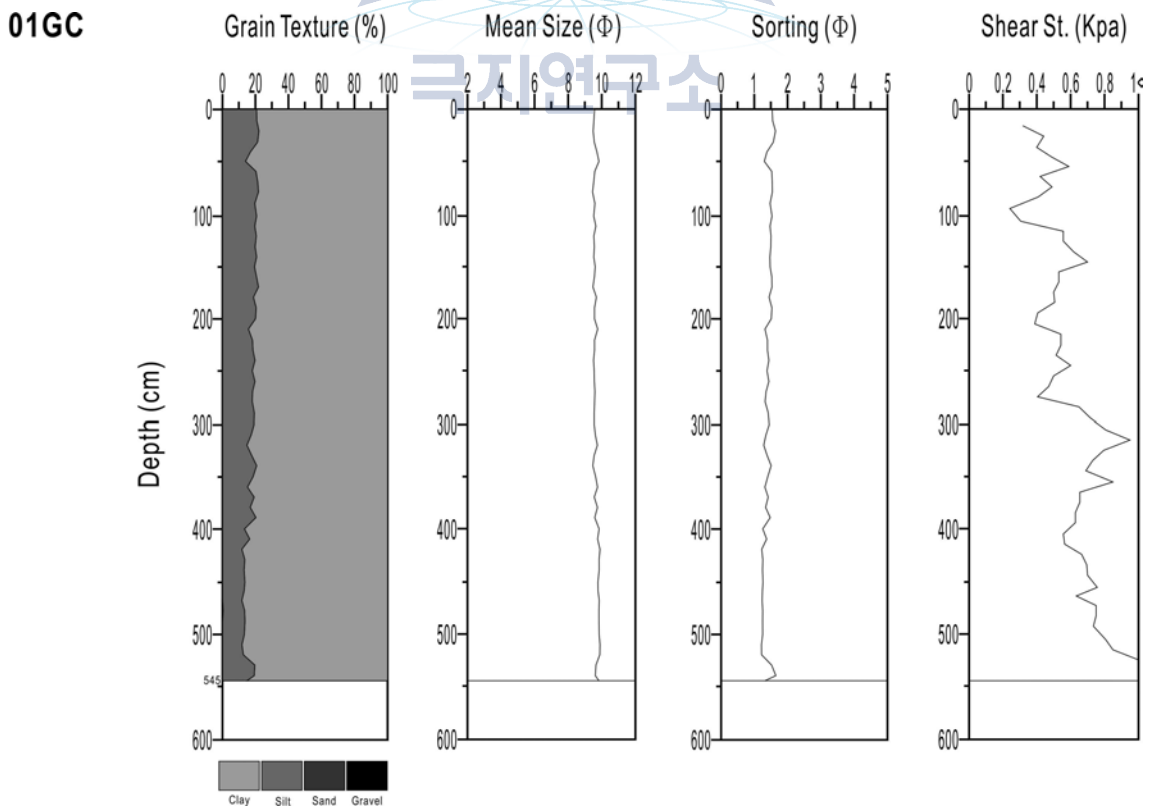


Fig. 14. Depth profile of sediment texture, mean grain size, sorting and shear strength in core 01AGC. For the core location, see Fig. 7.

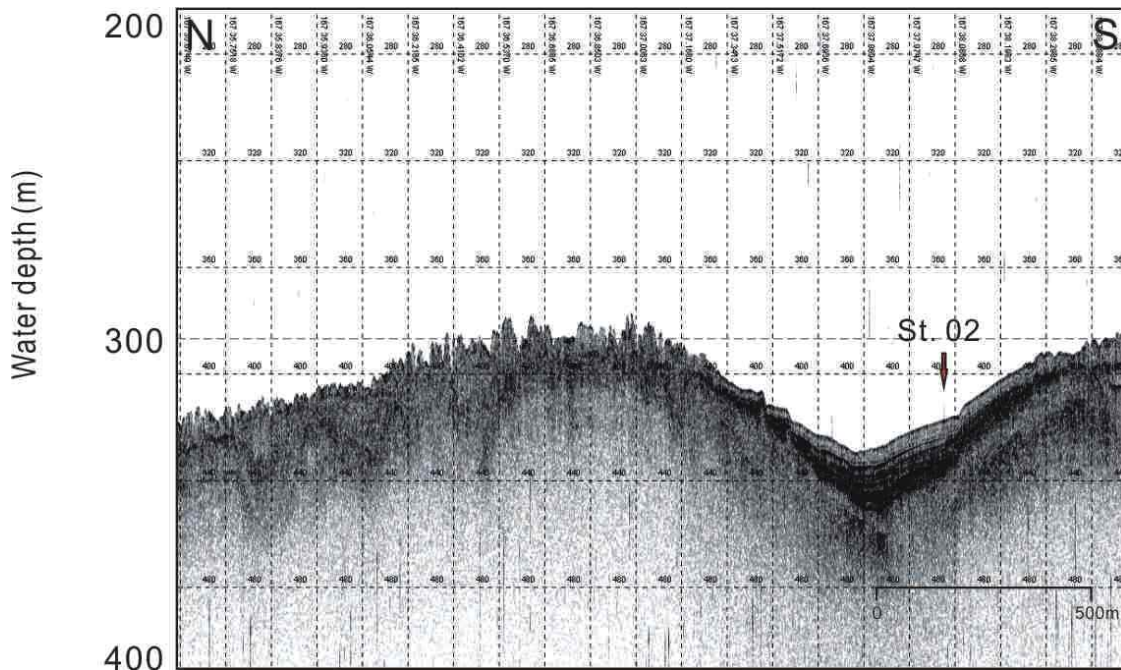


Fig. 15. SBP profile around coring site 02GC. For core location, see Fig. 7.

가 우세하게 나타난다. 시추기에 의해 회수된 퇴적물은 총 548cm로서, 층서적으로는 최상부 층단위 III 구간에 해당된다. 구성입자는 주로 니에 해당하는 세립질이며, 육안으로 관찰되는 조립입자는 거의 없다. 아울러 주목할만한 1차 퇴적구조도 육안 관찰로는 발견되지 않으며, 주로 생물활동에 의한 것으로 보이는 1cm 이하 크기의 작은 생교란구조와 유기물이 보존된 검은색 반점 등이 나타난다. 퇴적물의 색상은 5YG3/2로 거의 전 구간에 걸쳐 큰 변화가 없으며, 뚜렷한 침식면이나 퇴적상의 경계면도 육안으로는 관찰되지 않는다.

나. 코어 02GC

466cm 길이의 02GC는 북위 74°18', 서경 167°39' 지점의 수심 320m 해저에서 획득된 코어이며 코어지점은 지형적으로 척치해 대륙붕단 근처의 경사진 사면에 위치한다(Fig. 15). 02GC는 IRD(ice rafted debris)?들이 군집해 있는 층(336~342cm)을 기점으로 상부는 약 8~10Φ의 평균 입도를 보이며 하부는 7~9Φ의 평균 입도를 보인다(Fig. 16). 분급은 전반적으로 1~2Φ 이상으로 불량한 편이며, IRD들이 군집한 층을 기점으로 하부로 갈수록 불량-매우 불량을 반복하며 나타난다. 코어의 최상부(약 0~60cm)는 5G4/1(dark greenish gray)색상에 생물교란이 주로 나타나는 점토질로 구성되어 있으며, 60~70cm보다 하부로 내려감에 따라 생물교란 구조는 보이지 않고 변형된 혼재성(chaotic) 사질니, 뚜렷하지 않거나 흐릿하게 엮리구조들이 발달한 사질니로 구성된다. 전체적으로 크고 작은 암석기원의 암편들이 특정 방향

02GC

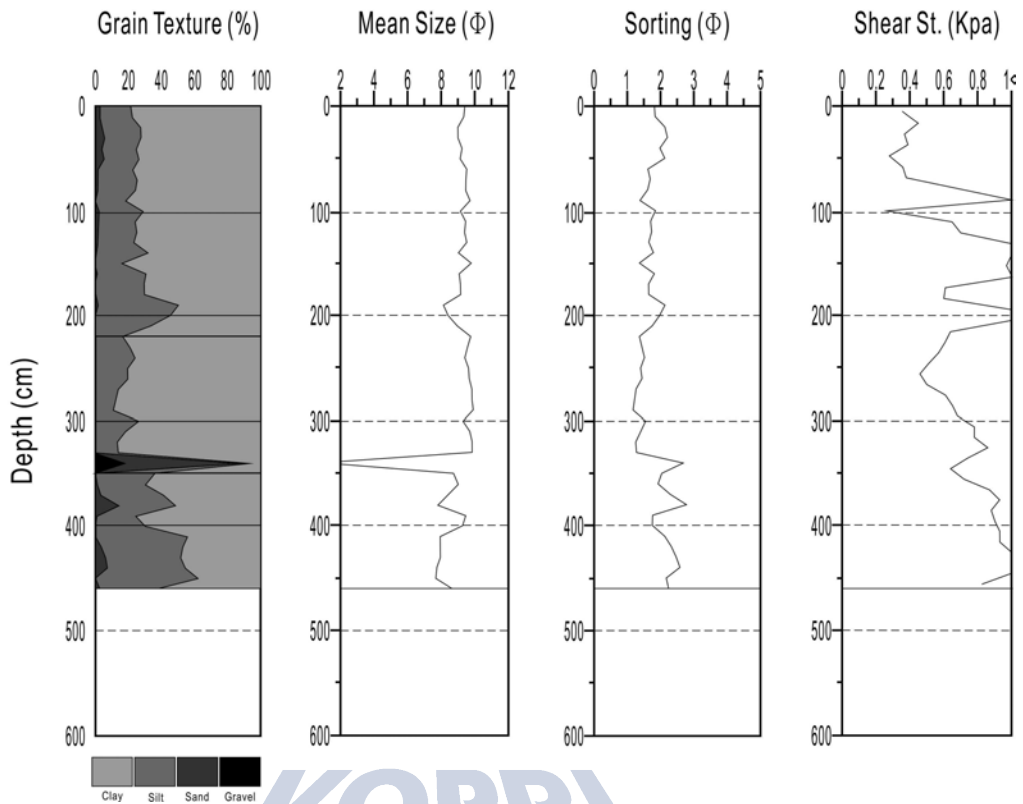


Fig. 16. Depth profile of sediment texture, mean grain size, sorting and shear strength in core 02GC. For the core location, see Fig. 7.

성을 보이지 않고 흩어져 있으며 189cm의 깊이에서 층 경계위에 수평적으로 놓인 쇄설성 입자들을 확인할 수 있다. 이러한 희미한 엽리구조들은 최하부까지 계속해서 나타나며, 336~342cm 구간에선 빙하에 의해 형성되는 것으로 생각되는 특정 퇴적구조가 없는 역니질사의 쇄설 암편들이 밀집되어 있으며, 이러한 밀집된 암편들의 하부는 엽리구조들이 전단력에 의해 완만한게 곡선형태를 띠는 것을 확인할 수 있다.

정점 2는 수심 320m의 외대륙붕 지역에 위치하는데, 정점 01A와 유사한 탄성파상 IA가 우세한 지역이다. 시추기에 의해 회수된 퇴적물은 총 466cm로서, 층서적으로는 정점 1에서와 마찬가지로 최상부 층단위 III 구간에 해당된다. 구성입자는 니질이 우세하며, 균질 혹은 생물교란된 퇴적구조가 퇴적물 전반에 걸쳐 나타난다. 그러나 정점 1에서와 달리 퇴적물의 다양한 색상변화와 뚜렷한 경계부가 관찰되기도 한다. 특히 시추퇴적물 구간 내에서 총 3개의 사질 입자층이 나타나는데, 각 층의 두께는 10cm 내외이며, 박층리 혹은 괴상의 구조가 육안으로 관찰된다. 아울러 체계적이지는 않지만 다양한 두께의 층리가 부분적으로 나타난다.

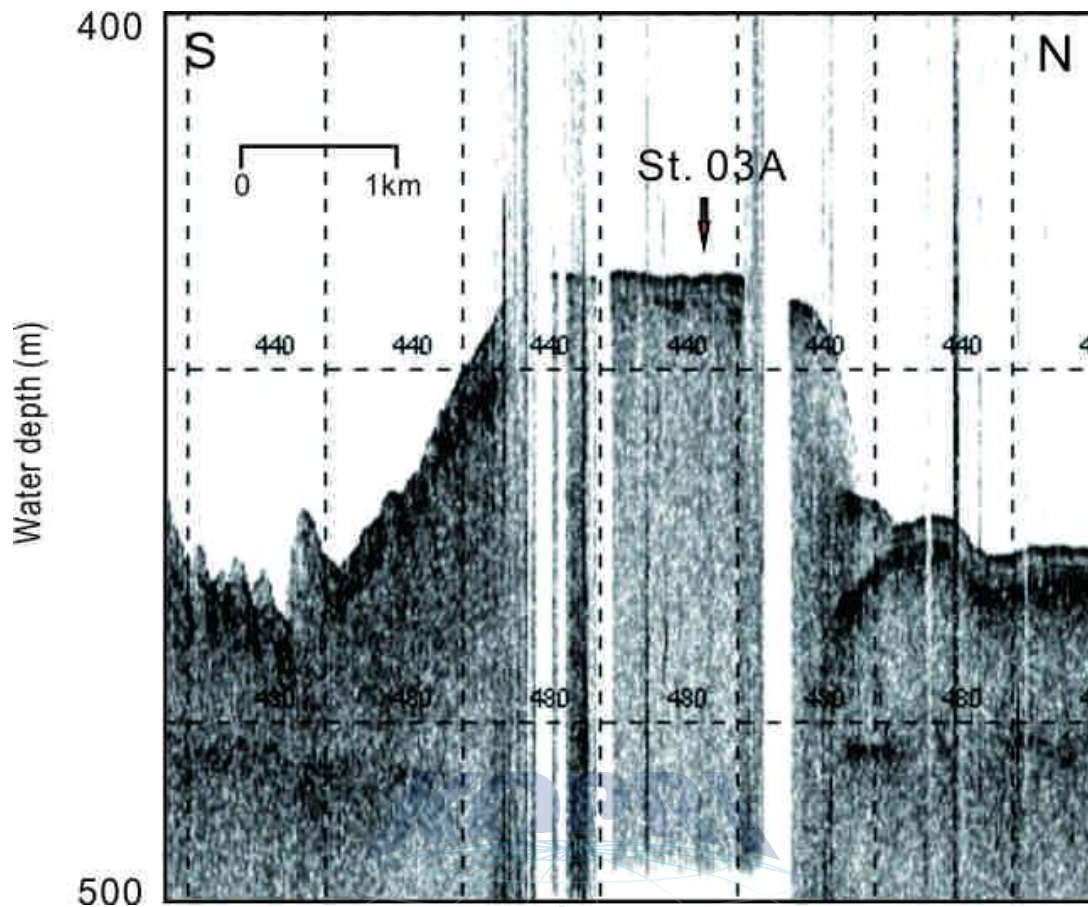


Fig. 17. SBP profile around coring site 03AGC. For core location, see Fig. 7.

다. 코어 03AGC

249cm 길이의 03AGC는 북위 75°06', 서경 166°20' 지점에서 수심 423m의 해저돌출부에서 시추되었다(Fig. 17). 전반적으로 7~10Φ의 일정하지 않은 평균입도를 가지며, 분급도의 변화도 매우 불규칙하다(Fig. 18). 최상부(약 0~30cm)에서 색상은 갈색계열(5YR3/4, 3/2, 10YR4/2)을 띠며, 생물들에 의해 교란된 형태를 보여주며, 약 44cm 깊이에서 뚜렷한 색상의 변화(회색 계열의 색상; 5G4/1, 5/2, 5B5/1 등)를 보이며, 층 경계의 위에서 큰 크기의 쇄설성 입자들이 놓여있다. 44cm를 기준으로 그의 하부는 뚜렷하지 않거나 희미한 층리들이 발달된 머드가 주를 이루며 생물교란의 구조는 나타나지 않고 소량의 작은 크기의 쇄설성 입자들이 불규칙적으로 흩어져 있다. 하부로 가면서 100cm 깊이를 기준으로 특정구조가 없는 역질사니가 주를 이루며 144~146cm의 깊이에선 썰기형의 형태로 쇄설성 입자들이 집중되어 나타난다.

정점 3A는 수심 약 420m의 대륙사면 지역에 위치하는데, 다소의 기복은 있지만 탄성과상은 정점 2와 유사한 IA 타입이 우세한 지역이다. 시추기에 의해 회수된 퇴

03GC

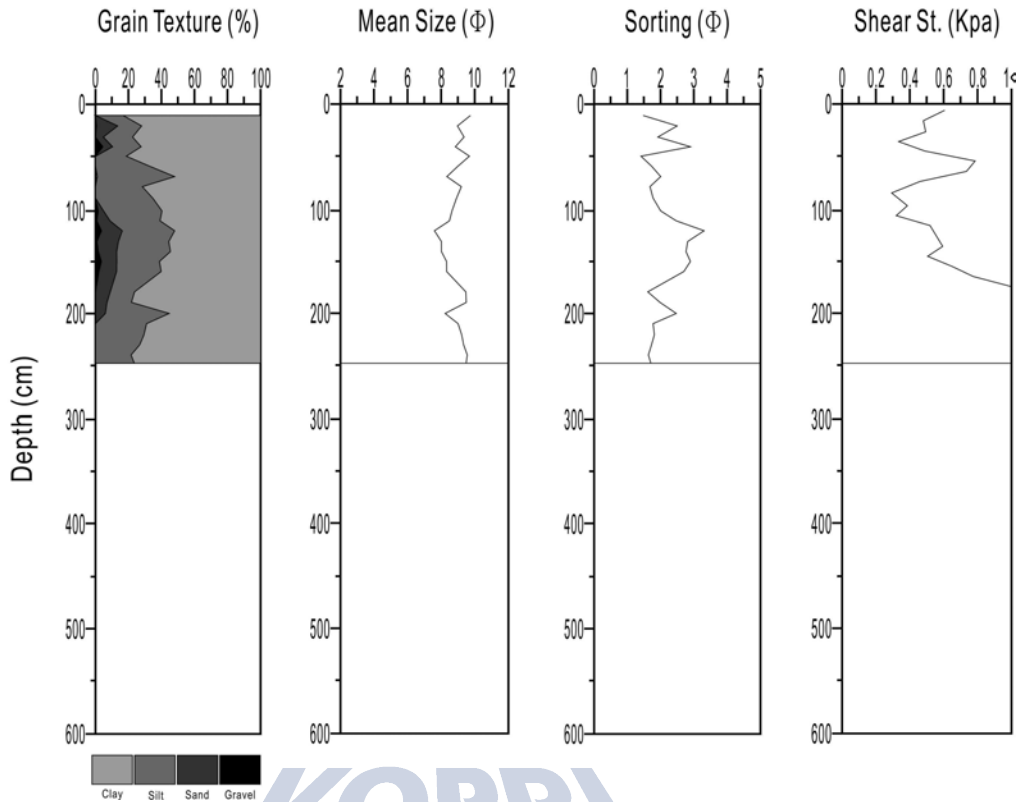


Fig. 18. Depth profile of sediment texture, mean grain size, sorting and shear strength in core 03AGC. For the core location, see Fig. 7.

적물은 총 248cm로서, 층서적으로는 최상부 층단위 III 구간 내에 해당된다. 구성입자는 니질이 우세하며, 균질한 무구조가 특징적으로 나타나며, 시추심도 145cm 근처에 약 5cm 두께의 사질입자 층이 관찰된다. 아울러 심도 110-140cm 구간에서는 빙산운반입자(ice-rafted debris)로 추정되는 다양한 크기의 조립입자들이 불규칙하게 산재하고 있다. 육안으로 뚜렷한 퇴적상 변화가 관찰되지는 않으나, 색상변화는 다양하며, 일부 뚜렷한 색상변화 경계면이 나타나기도 한다.

라. 코어 16BGC

약 378cm 길이의 16BGC는 북위 76°24', 서경 175°58' 지점의 수심 1821m 심해저에서 시추되었다(Fig. 19). 평균 입도는 전체적으로 8~10 Φ 정도이며 약 70cm와 290cm의 수심에서 5Φ 정도인 평균입도의 변화양상을 보인다(Fig. 20). 분급은 전체적으로 불량한 편이며 평균 입도와 반대되는 변화양상을 매우 불량한 분급도의 변화양상을 보인다. 최상부 (0~5cm)는 5YR3/4(moderate brown)의 색상을 띠며 생물교란의 구조를 띠며 소량의 세립질의 암설들이 흩어져 있다. 5cm보다 하부는 5Y 5/2(light olive gray)의 색상을 변하며 뚜렷하지 않거나 희미한 층리를 보이는 니질

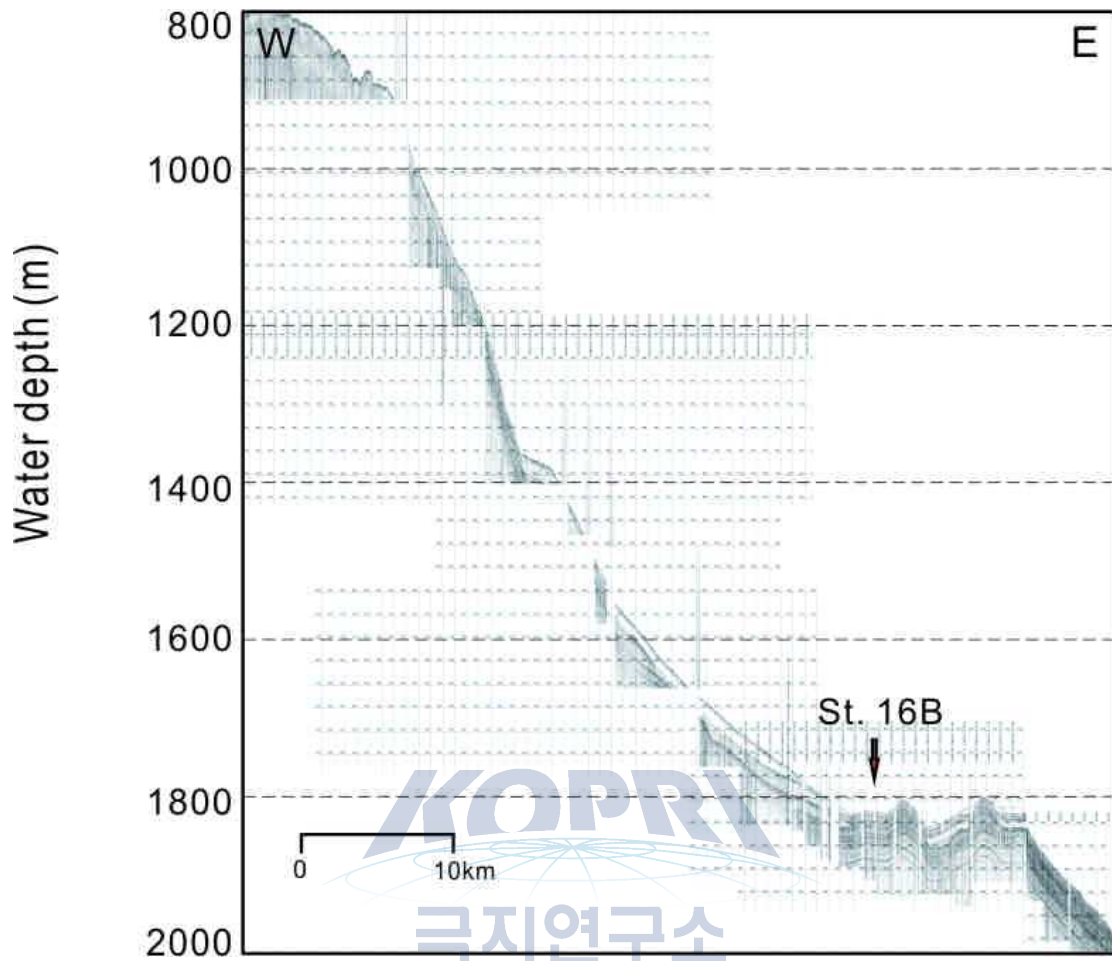


Fig. 19. SBP profile around coring site 16BGC. For core location, see Fig. 7.

퇴적물이 나타나며 이러한 층리들은 수직적으로 발달한 burrow에 의해 교란된 모습을 보인다. 약 25~28cm 깊이에선 조개껍질 파편들이 상대적으로 집중되어 있으며, 다시 하부로 가면서 동일한 양상을 보인다. 60~73cm 구간은 특정 퇴적구조를 보이지 않는 역사질 니로 구성이 되며 쇄설성 암편들은 일정한 방향성 없이 흩어져 있으며 약 82cm 깊이까지 생물교란이 다시 나타난다. 82~93cm의 깊이구간에선 뚜렷한 색상의 변화로 10YR4/2(dark yellowish brown)의 색상을 띠며 생물교란이 나타나는 역질사니로 구성되어 있다. 하부로 내려가면서 상대적으로 큰 burrow에 의해 교란된 니질 퇴적물이 나타나며 120cm를 기준으로 얇은 층리들이 발달된 니와 사질 니가 나타난다. 약 220cm에서부터 물리적 힘에 의해 변형된 층리 구조들이 나타나며 260cm정도의 깊이로 내려가면서 점점 더 강하게 변형되는 양상을 보인다. 270~280cm의 구간에선 상대적으로 많은 양의 쇄설성 입자들이 분포하고 있으며 290cm의 깊이에서 저탁암과 비슷한 특징의 사질층과 니질층이 couplet으로 나타나는 양상을 보인다. 다시 하부로 내려감에 따라 층리들이 변형된 니질 퇴적물이 나

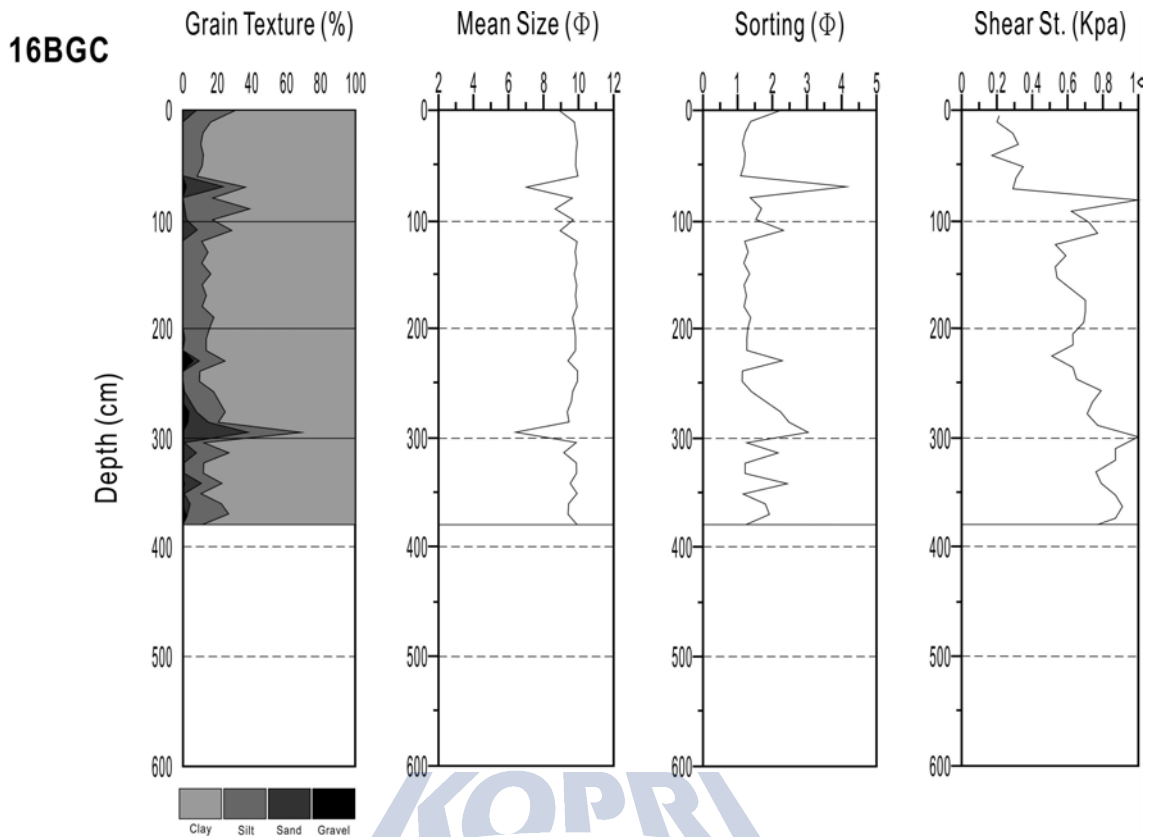


Fig. 20. Depth profile of sediment texture, mean grain size, sorting and shear strength in core 016BGC. For the core location, see Fig. 7.

타나며 세립한 쇄설성 입자들이 흩어져 나타난다.

마. 코어 18AGC

약 205cm 길이의 18AGC는 북위 76°17', 서경 167°10' 지점의 수심 435m 해저에서 시추되었다(Fig. 21). 전반적으로 평균입도는 9Φ이며 약 60cm 깊이에서 6Φ로 작아지는 평균입도 변화양상을 보인다. 분급도는 표층에서 매우 불량하게 나타나며 60cm 깊이를 기준으로 상하부는 1.5~2Φ로 불량한 분급도 변화양상을 보인다(Fig. 22). 최상부(0~20m)는 갈색계열(5YR3/4, 10YR4/2, 5/4)의 색상을 띠며 상대적으로 많은 양의 세립질 암편들이 분포하고 있다. 약 15cm 깊이에선 1.5cm 두께의 두꺼운 니질층이 존재한다. 20cm에서 하부로 내려가면서 점진적으로 회색계열로 색상의 변화가 나타나며 38~39cm 깊이에선 쇄설성 입자들이 하나의 두꺼운 층처럼 집중되어 있다. 40~50cm 깊이에서는 16BGC에서 나타난 구조와 유사한 사질층과 니질층이 couplet의 형태로 나타난다. 이러한 구조로부터 하부로 내려가면 인위적 교란인지 생물교란인지 정확히 알 수 없지만 couplet으로 나타나는 니질층과 실트층들이 교란된 양상을 보인다. 약 80cm의 깊이에서는 니질 퇴적물 내에 microburrow와

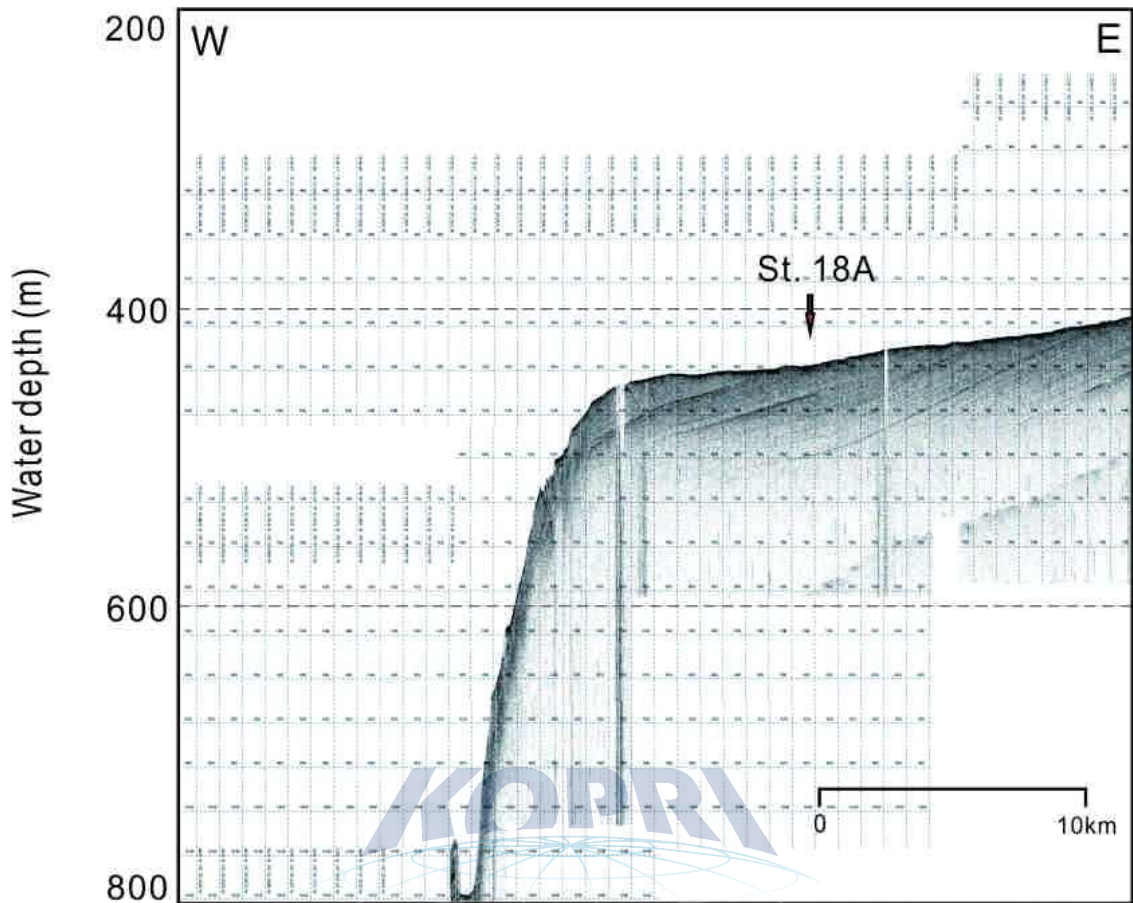


Fig. 21. SBP profile around coring site 18AGC. For core location, see Fig. 7.

조개껍질 파편들이 나타나며 점점 하부로 가면서 생물 교란구조들이 우세하게 나타나고 X-선 이미지에서 상대적으로 어두운 색상을 띠는 생물교란 구조들이 함께 나타난다. 110~135cm의 깊이에선 이러한 검은 색상의 생물교란 구조들이 매우 지배적이고 집중적으로 나타난다. 최하부(170~205cm)에선 이러한 생물교란구조가 두꺼운 띠의 형태로 아래로 구부러진 양상을 보인다.

4. 퇴적상 분석

각 코아에서 기술된 입도와 X-선 사진에서 관찰되는 퇴적구조를 기준으로 할 때, 조사지역에서 채취된 시추퇴적물은 6개의 퇴적상으로 구분할 수 있다(Table 4). 각 코아별 퇴적상 특징은 부록으로 수록하였다.

가. 생물교란 니

생물교란 니(bioturbated mud) 퇴적상은 부분적으로 희미한 층리가 인지되기도

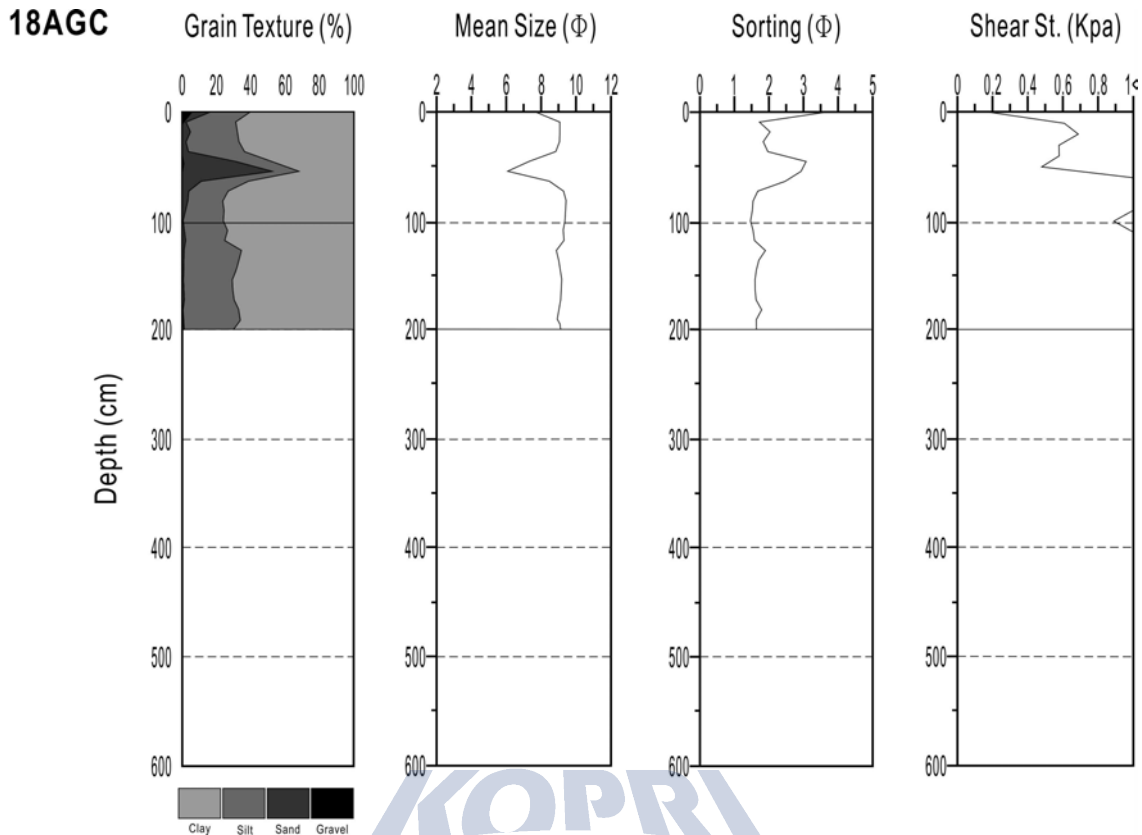


Fig. 22. Depth profile of sediment texture, mean grain size, sorting and shear strength in core 16AGC. For the core location, see Fig. 7.

하지만, 대부분 뚜렷한 1차 퇴적구조가 나타나지 않고 전반적으로 광범위한 생물교란 흔적을 포함하고 있다. 이 퇴적상을 구성하는 퇴적물은 대부분 분급이 중간 또는 불량한 점토 혹은 실트질 입자이며, 모래는 10% 이하로 나타난다. 층의 두께는 다양하며, 상경계면은 입도와 퇴적물 색깔 변화에 의해 구분되지만 대부분 점이적인 경계부를 이룬다. 생물교란 나 퇴적상은 조사지역 대부분의 코아에서 관찰되며, 가장 우세하게 나타난다.

광범위하고 심한 생물교란을 받은 세립질 퇴적상은 일반적으로 수층이나 대기 중을 통해 운반되거나 부유되어 있던 육성기원 퇴적물이나 자생적 퇴적물이 수층을 통해 수직적으로 침전되어 쌓인 반원양성 퇴적이나 약한 해저류(bottom current)에 의해 형성된 것으로 해석된다(Stanley and Maldonado, 1981; Chough et al., 1984; Chough and Hesse, 1985). 이러한 퇴적작용은 일반적으로 낮은 퇴적율을 보이기 때문에 생물의 활동에 의해 쉽게 교란되어 나타난다.

나. 희미한 층리 나

희미한 층리(indistinctly-layered)를 보이는 퇴적상은 두께가 보통 수 십 cm 이하

Table 4. Summary of sedimentary facies in sediment cores from Chukchi Sea.

Facies	Description	Depositional process
Bioturbated mud	Poorly sorted mud intensely disturbed by bioturbation; primary structure absent except for diffuse banding or layering; facies thickness variable; facies boundaries poorly defined and irregular	Hemipelagic sedimentation; contour current (Stanley and Maldonado, 1981; Chough and Hesse, 1985)
Wispy-laminated mud	Poorly sorted mud showing irregular and discontinuous wavy or cross lamination; bioturbation minimal	Downslope bottom current with high sediment fallout rate (Yoon et al., 1991; Yoon, 1995)
Indistinctly-layered mud	Poorly sorted mud exhibiting indistinct and discontinuous layering and discontinuous trains of horizontally oriented coarse grains; thickness variable; bioturbation common; facies boundaries sharp or gradational	Contour current, tail of turbidity current (Stow and Holbrook, 1984; Yoon and Chough, 1993) or meltwater heavily laden with fine-suspended sediments
Thinly-laminated mud/ homogeneous mud couplet	Mud couplet of a thin silt layer and the overlying clay layer; lower silt layer showing thin parallel to cross lamination, ranging in thickness from a few mm to more than a decimeters; lamination recognized by alternation of thin silt-rich and clay-rich mud laminae and occasionally normally graded by upward decrease in silt content; overlying homogeneous mud layer consisting of relatively well-sorted, clay-size particles, ranging in thickness less than 5 cm; common bioturbation especially in the upper homogeneous layer	Fine-grained turbidity current (Piper, 1978; Stow and Shanmugam, 1980; Chough, 1984; Hill, 1984)
Disorganized mud	Coarse-grained angular clasts randomly scattered in fine matrix without internal organization; bioturbation minimal	Hemipelagite abundant with IRD

이며, 조직은 세립질로 비교적 분급이 양호한 특성을 보인다. 층리는 대부분 점토질 켜와 실트질 켜가 교호하여 이루어지는데, 경계가 점이적이고 두께가 일정하지 않다. 퇴적상 전반에 걸쳐 심하지는 않지만 다양한 생물교란 흔적이 관찰된다. 퇴적상의 경계는 대부분 점이적이거나 불명확하게 나타난다.

불규칙적이고 불연속적인 층리, 생물교란 등은 비교적 장기간 동안 지속적으로 작용하는 해저류(bottom current)의 영향 하에서 형성된 퇴적층에서 대표적으로 나타나는 특징이다(Stow, 1979; Chough and Hesse, 1985; Stow and Holbrook, 1984; Yoon and Chough, 1993). 아울러 전반적인 생물교란에도 불구하고 층리가 보존되어 있는 것으로 보아 퇴적물이 반원양성 퇴적상(생물교란 니)에 비해 상대적으로 높았던 것으로 추정된다. 해저류로부터의 급격한 퇴적은 수층의 세립질 퇴적물 농도가 높을 경우 가능하며, 이는 장기간에 걸쳐 고농도의 세립질 퇴적물을 뜬짐으로

운반하는 저층 고탁도층(bottom nepheloid layer)와 관련될 수 있는데, 특히 고위도에서는 ice-edge bloom에 의한 규조류 쇄설물(diatom debris)이 이러한 고농도 수층을 형성하기도 한다(Stow and Holbrook, 1984, Gonthier et al., 1984). 퇴적물이 낮은 조건에서 약하고 속도가 느린 해저류에 의해 형성된 퇴적층은 층리가 생물교란에 의해 완전히 소멸되기 쉬우며, 이 경우에는 생물교란 퇴적상으로 보존될 수도 있다(Stow and Holbrook, 1984).

다. 박층리 니/사

박층리(thinly-laminated) 퇴적상에서는 수 mm 이하의 얇은 실트질(또는 사질) 켜와 점토질 켜로 분리되는 비교적 규칙적이고 선명한 평행 박층리 혹은 사층리가 관찰된다(Fig. 4b). 생물교란은 거의 나타나지 않거나 퇴적상의 상부에 집중되는 경향이 있고, 하부 경계면은 비교적 선명하며, 침식면을 보이기도 한다. 개별 퇴적상의 두께는 수 cm에서 수 십 cm 정도이며, 구성 퇴적물은 니 또는 니질 사로서, 여타 퇴적상에 비해 전반적으로 조립입자의 함량이 높다. 균질 니 퇴적상과 함께 couplet으로 나타나기도 한다.

얇고 규칙적이며 뚜렷한 층리, 생물교란이 없고, 명확한 상 경계면 등은 일반적으로 세립질 퇴적물로 구성된 저탁류 퇴적층에서 일반적으로 보고되고 있는 특징들이다(Piper, 1978; Chough, 1984; Hill, 1984). 저탁류 퇴적층에서 T_e (Bouma, 1962) 또는 E_1 division(Chough et al., 1984)으로 분류되는 박층리 니 퇴적상은 저탁류와 해저면 사이의 와류경계층(turbulent boundary layer)에서 일어나는 ‘숫구침과 휨쓸림(burst and sweep)’ 현상에 의해 실트와 점토가 분리되어, 수 mm 이하 두께의 박층으로 교호하면서 퇴적되어 형성되는 것으로 알려져 있다(Hesse and Chough, 1980).

라. 균질 니

균질 니(homogeneous mud)는 내부 퇴적구조와 생물교란 구조가 거의 관찰되지 않는 퇴적상으로서, X-선 사진 상에서도 비교적 밝고 균질한 명암도를 보이며 퇴적상 경계부는 특히 상부에서 점이적이거나 불분명하게 나타난다. 두께는 대부분 10cm 이하로 얇게 나타나며, 박층리 니와 쌍(couplet)을 이루는 경우가 많다.

균질 니 퇴적상은 뜬짐으로 이동되던 세립의 입자들이 저에너지 조건에서 침전되어 형성된 것으로 보인다. 특히, 생물교란이 전반적으로 나타나지 않는 것으로 보아, 세립질 저탁류(fine-grained turbidity current)에 의해 고농도 상태로 이동되다가 급격히 퇴적된 것으로 해석된다(Piper, 1978; Stow and Shanmugam, 1980;

Chough et al., 1984). 한편, 저탁류에 의한 것으로 해석되는 박층리 퇴적상의 협재 또는 이 퇴적상과의 교호 등은 이러한 해석을 강력히 뒷받침한다. 저탁류의 퇴적층에서 균질 니는 저탁류의 속도가 약화되어 와류(turbulence)가 소멸되는 단계에서 형성된다. 이 단계에서 저탁류의 꼬리부분에서 뜬짐으로 이동되던 세립질 퇴적물은 실트와 점토 박층리로 분급되지 않고 혼합된 상태에서 수직적으로 침전하게 된다. 이러한 경우, 점토는 일반적으로 점착력에 의한 뭉침현상(flocculation)이 있어서 침전속도는 실트와 큰 차이가 나지 않게 되며, 따라서 실트와 점토는 함께 침전되어 균질한 니를 형성하게 된다.

마. 비조직성 니

비조직성 니(disorganized mud) 퇴적상은 주로 기질지지(matrix-supported)의 자갈이 분산되어 포함되어 있는 니질 퇴적물로 구성된다. 역은 대부분 결정질암의 암편으로서 입도는 수 mm에서 수 cm까지 매우 다양하며, 원마도와 구형도는 불량한 편이다.

일반적인 대륙붕 퇴적물에 비해 자갈과 모래의 함량이 훨씬 높게 나타나는 본 퇴적상은 빙산에 의해 운반되다가 수층으로 침전된 ice-rafted debris 퇴적층으로 해석된다.



제 5 장 연구개발 목표 달성도

제 1 절 연구 개발목표 및 달성도

세부목표		달성 주요내용
1	해저퇴적물의 퇴적상 분석	- 척치대륙붕 및 대륙사면, 척치 Perched rise 해역의 해저퇴적물 중력시추코아 (2011년 탐사자료)의 조직 및 퇴적구조 분석
2	해저퇴적층의 탄성과상 분석	- 척치 Plateau 및 멘델레프 Ridge 지역 SBP자료의 탄성과상 분류 및 분포 분석
3	퇴적작용 및 퇴적환경 해석	- 척치 대륙붕 및 대륙사면 지역의 빙하 퇴적작용 해석 - 퇴적물 조직특성 변화의 원인 분석

제 2 절 연구수행 세부 내용 및 결과 요약

KOPRI
극지연구소

1. 세부목표 1:

연구 내용	연구 결과(우수성)
시추퇴적물의 조직 및 퇴적구조 분석	- 척치대륙붕 및 대륙사면에서 취득된 5개의 중력시추코아에서 입도, 분급도, 전단력 및 퇴적구조를 분석
전 시추퇴적물을 슬라이드로 제작하여 X-선 사진의 line drawing	- X-선 사진에 나타나는 퇴적구조를 line drawing하고 주상도를 작성
조직특성과 퇴적구조 분석 결과를 결합하여 퇴적상을 구분하고 분류표 작성	- 생물교란니, 균질니가 우세하게 나타나며, 국부적으로 박층리니, IRD가 나타남

2. 세부목표 2:

연구 내용	연구 결과(우수성)
SBP 자료 상에서 탄성파상 분석	<ul style="list-style-type: none"> - 척지 Perched Rise는 평탄한 심해저로서 평행한 반사면이 해저면하 심층부까지 우세하게 나타나며, 이는 반원양성 퇴적물의 조직 및 지화학적 변화를 반영하는 것 - 멘델레프 Ridge 지역은 회절형의 곡선형 반사파가 겹쳐 나타나며, 사면에는 국지적으로 투명한 반사상을 보이는 질량류 퇴적체가 인지됨 - 탄성파상 분석을 통하여 광역해역의 전반적인 퇴적작용에 대한 정보를 제공

3. 세부목표 3:

연구 내용	연구 결과(우수성)
해저퇴적물의 퇴적과정 및 영향 요인, 환경 등을 해석	<ul style="list-style-type: none"> - 심해저에서 채취된 코어퇴적물의 특성은 주로 반원양성의 퇴적을 반영하며, 간헐적인 박층리니와 조립입자(IRD)의 존재는 빙하기의 유빙과 저탁류의 영향이 있었음을 지시 - 대륙과 인접한 척지해 대륙붕과 일부 대륙주변부 지역은 빙하의 유동에 의한 침식지형과 저탁류나 밀도류에 의한 퇴적물 재동이 일어났음을 지시

제 6 장 연구개발결과의 활용계획

1. 학술적 파급효과

- 가. 플라이스토세 말기 및 홀로세 동안의 북극해의 고해양 환경의 변화를 규명함으로써 향후 지구 기후계의 변동 양상을 가늠하는 데 중요한 자료로 활용.
- 나. 기존 북극해 및 인접 지역에 나타난 고기후 변화 기록과 비교를 통해 퇴적학적 프록시를 개발함으로써 고해양환경 연구에 편의성과 정확성을 높이는데 기여.
- 다. 빙하기원 퇴적체에 대한 퇴적모형을 제시함으로써 북극해 다른 지역 해저퇴적층의 해석에 활용.

2.. 경제적 파급효과

- 향후 북극해 가스하이드레이트 등 해저자원탐사 및 북극항로탐사에 기본 자료로 활용



제 7 장 참고 문헌

- 윤호일, 박병권, 김부근, 김예동, 강천윤, 허순도, 유규철, 2001, 서 남극 벨링사우젠 해의 빙해양 퇴적작용. 대한지질학회지, 37: 217-234.
- Chough, S.K., 1984, Fine-grained turbidites and associated mass-flow deposits in the Ulleung (Tsushima) Back-arc Basin, East Sea (Sea of Japan). In: Stow, D.A.V, and Piper, D.J.W. (eds.), Fine-Grined Sediments: Deep-Water Processes and Products. Geol. Soc. London Spec. Publ., 15: 185-196.
- Chough, S.K. and Hesse, R., 1985, Contourites from Eirik Ridge, south of Greenland. In: Hesse, R. (ed.), Sedimentology of Siltstone and Mudstone. Sediment. Geol., 41: 185-199.
- Chough, S.K., Lee, G.H., Park, B.K. and Kim, S.W., 1984, Fine structures of turbidite and associated muds in the Ulleung (Tsushima) Basin, East Sea (Sea of Japan). J. Sediment. Petrol., 54: 1212-1220.
- Chough, S.K., Mosher, D.C. and Srivastava, S.P., 1985. Ocean Drilling Program (O D P) site survey (Hudson 84-30) in the Labrador Sea: 3.5 kHz profiles. Geological Survey of Canada, Paper, 85-1B: 33-41.
- Chough, S.K., S.H. Lee, J.W. Kim, S.C. Park, D.G. Yoo, H.S. Han, S.H. Yoon, S.B. Oh, Y.B. Kim, G.G. Back, 1997, Chirp (2 - 7 kHz) echo characters in the Ulleung Basin, Geosciences J., 1: 143 - 153.
- Chough, S.K., Kim, J.W., Lee, S.H., Shinn, Y.J., Jin, J.H., Suh, M.C., Lee, J.S., 2002, High-resolution acoustic characteristics of epicontinental sea deposits, central-eastern Yellow Sea. Mar. Geol. 188: 317 - 331.
- Damuth, J.E., 1975. Echo character of the western equatorial Atlantic floor and its relationship to dispersal and distribution of terrigenous sediments. Marine Geology, 18: 17-45.
- Damuth, J.E., 1978. Echo character of the Norwegian-Greenland Sea: relationship to Quaternary sedimentation. Mar. Geol., 28: 1-36.
- Damuth, J.E., 1980. Use of high-frequency (3.5-12 kHz) echograms in the study of near-bottom sedimentation processes in the deep-sea: a review. Mar. Geol., 38: 51-75.
- Damuth, J.E. and Embley, R.W., 1981. Mass-transport processes on Amazon Cone: western equatorial Atlantic. American Association of Petroleum Geologists, Bulletin, 65: 629-643.
- Damuth, J.E. and Hayes, D.E., 1977. Echo character of the east Brazilian continental margin and its relationship to sedimentary processes. Mar.

- Geol., 24: 73-95.
- Embley, R.W., 1976. New evidence for occurrence of debris flow deposits in the deep sea. *Geology*, 4: 371-374.
- Embley, R.W. and Jacobi, R.D., 1977. Distribution and morphology of large submarine sediment slides and slumps on Atlantic continental margins. *Marine Geotechnology*, 2: 205-228.
- Ewing, M., R.W. Embley and T.H. Shipley, 1973. Observations of shallow layering utilizing the pinger-probe echo sounding system. *Mar. Geol.*, 14: 55-63.
- Gonthier, E.G., Faugeres, J.-C. and Stow, D.A.V., 1984, Contourite facies of the Faro Drift, Gulf of Cadiz. In: Stow, D.A.V, and Piper, D.J.W. (eds.), *Fine-Grained Sediments: Deep-Water Processes and Products*. *Geol. Soc. London Spec. Publ.*, 15: 275-292.
- Heezen, B. C., & Ewing, M., 1961. The Mid-Oceanic Ridge and its extension through the Arctic Basin. In: G. O. Raasch (Ed.), *Geology of the Arctic* (pp. 622-642). Toronto: University of Toronto Press.
- Hesse, R. and Chough, S.K., 1980, The Northwest Atlantic Mid-Ocean Channel of the Labrador Sea: II. Deposition of parallel laminated levee-muds from the viscous sublayer of low density turbidity currents. *Sedimentology*, 27: 697-711.
- Hill, P.R., 1984, Sedimentary facies of the Nova Scotian upper and middle continental slope, offshore eastern Canada. *Sedimentology*, 31: 293-309.
- Jackson, H.R., Mudie, P.J. and Blasco, S.M., 1985. Initial geological report on CESAR - The Canadian expedition to study the Alpha Ridge. *Arctic Ocean Geological Survey, Canadian Paper*, 84-22, 177p.
- Jakobsson, M., Grantz, A., Kristoffersen, Y., & Macnab, R., 2004. Physiography and bathymetry of the Arctic Ocean. In: R. Stein & R. W. Macdonald (Eds), *The organic carbon cycle in the Arctic Ocean* (pp. 1-6). Heidelberg: Springer-Verlag.
- Jakobsson, M., Macnab, R., Mayer, L., Anderson, R., Edwards, M., Hatzky, J., Schenke, H.W., and Johnson, P., 2008. An improved bathymetric portrayal of the Arctic Ocean: Implications for ocean modeling and geological, geophysical and oceanographic analyses. *Geophysical Research Letters*, v.35, L07602, doi:10.1029/2008GL033520.
- Kenyon, N.H., 1986. Evidence from bedforms for a strong poleward current along the upper continental slope of north-west Europe. *Mar. Geol.*, 72:

187-198.

- LeBlanc, L.R., Mayer, L., Rufino, M., Schock S.G., King, J., 1992, Marine sediment classification using Chirp sonar. *J. Acoust. Soc. Am.*, 91, 107-115.
- Lee, S.H., S.K. Chough, G.G. Back and Y.B. Kim, 2002, Chirp (2 - 7 kHz) echo characters of the South Korea Plateau: styles of mass movement and sediment gravity flow, *Mar. Geol.*, 184: 227 - 247.
- Middleton, G.V. and Hampton, M.A., 1973. Mechanics of flow and deposition. In: Bouma, A.H. (ed.), *Turbidites and Deep Water Sedimentation*. Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Pacific Section, Short Course, p.1-38.
- Mullins, H.T., Bordman, M.R. and Newmann, A.C., 1979, Echo character of off-platform carbonates. *Mar. Geol.*, 32: 251-268.
- Nardin, T.R., Hein, F.J., Gorsline, D.S. and Edwards, B.D., 1979. A review of mass movement processes, sediment and acoustic characteristics in slope and base-of-slope systems versus canyon-fan-basin floor systems. In: Doyle, L.J. and Pilkey, O.H. (eds.), *Geology of Continental Slopes*. Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, Special Publication, 27: 61-73.
- Piper, D.J.W., 1978, Turbidite muds and silts in deep-sea fans and abyssal plains. In: Stanley, D.J. and Kelling, G. (eds.), *Sedimentation in Submarine Fans, Canyons, and Trenches*. Dowden Hutchinson and Ross, Stroudsburg, Penn., p.163-176.
- Piper, D.J.W., Farre, J.A. and Shor, A., 1985. Late Quaternary slumps and debris flows on the Scotian slope. *Geological Society of America Bulletin*, 96: 1508-1517.
- Pratson, L.F. and Laine, E.P., 1989. The relative importance of gravity-induced versus current-controlled sedimentation during the Quaternary along the mid-east United-States outer continental-margin revealed by 3.5 kHz echo character. *Mar. Geol.*, 89: 87-126.
- Schock, S.G., LeBlanc, L.R., Mayer, L.A., 1989, Chirp subbottom profiler for quantitative sediment analysis. *Geophysics*, 54: 445-450.
- Shinn, Y.J., Chough, S.K., Kim, J.W., Woo, J.S., 2007, Development of depositional systems in the southeastern Yellow Sea during the postglacial transgression. *Mar. Geol.* 239: 59 - 82.
- Soutar, A. and Crill, P.A., 1977. Sedimentation and climatic patterns in the Santa Barbara Basin during the 19th and 20th centuries. *Geological Society of*

- America Bulletin, 88: 1161-1172.
- Stanley, D.J. and Maldonado, A., 1981, Depositional models for fine-grained sediment in the western Hellenic Trench, Eastern Mediterranean. *Sedimentology*, 28: 273-290.
- Stein, R., 2008. Arctic Ocean Sediments: processes, proxies, and paleoenvironment. *Developments in Marine Geology 2*, Elsevier, 592p.
- Stow, D.A.V., 1979, Distinguishing between fine-grained turbidites and contourites on the Nova Scotian deep water margin. *Sedimentology*, 26: 371-387.
- Stow, D.A.V. and Holbrook, J.A., 1984, North Atlantic contourites: an overview. In: Stow D.A.V. and Piper, D.J.W. (eds.), *Fine-Grained Sediments: Deep-Water Processes and Products*. Geol. Soc. London Spec. Publ., 15: 245-256.
- Stow, D.A.V. and Shanmugam, G., 1980, Sequence of structures in fine-grained turbidites: Comparison of recent deep-sea and ancient flysch sediments. *Sediment. Geol.*, 25: 23-42.
- Yoon, S.H. and Chough, S.K., 1993, Sedimentary characteristics of Late Pleistocene bottom-current deposits, Barents Sea slope off northern Norway. *Sed. Geol.*, 82: 33-45.
- Yoon, S.H., Chough, S.K., Thiede, J. and Werner, F., 1991. Late Pleistocene sedimentation on the Norwegian continental slope between 67°N and 71°N. *Mar. Geol.*, 99: 187-207.

부록 1. 입도분석 결과



1) 코어 01AGC

DEPTH (cm)	NO.	GRAVEL	SAND	SILT	CLAY	MEAN	SORTING	SKEWNESS	KURTOSIS	TYPE
0	01AGC-0	0	0	20.89	79.11	9.586	1.542	-0.729	0.803	C
10	01AGC-1	0	0	21.07	78.93	9.545	1.561	-0.7	0.8	C
20	01AGC-2	0	0	22.38	77.62	9.49	1.647	-0.718	0.82	C
30	01AGC-3	0	0	21.53	78.47	9.564	1.588	-0.755	0.808	C
40	01AGC-4	0	0	17.29	82.71	9.72	1.393	-0.749	0.809	C
50	01AGC-5	0	0	14.37	85.63	9.831	1.314	-0.783	0.844	C
60	01AGC-6	0	0	20.54	79.46	9.591	1.529	-0.72	0.797	C
70	01AGC-7	0	0	21.65	78.35	9.524	1.542	-0.657	0.777	C
80	01AGC-8	0	0	22.08	77.92	9.458	1.548	-0.585	0.778	C
90	01AGC-9	0	0	19.94	80.06	9.599	1.486	-0.679	0.787	C
100	01AGC-10	0	0	20.95	79.05	9.525	1.539	-0.644	0.799	C
110	01AGC-11	0	0	19.97	80.03	9.653	1.481	-0.759	0.782	C
120	01AGC-12	0	0	20.83	79.17	9.532	1.506	-0.622	0.78	C
130	01AGC-13	0	0	20.15	79.85	9.577	1.5	-0.672	0.787	C
140	01AGC-14	0	0	20.98	79.02	9.528	1.474	-0.614	0.731	C
150	01AGC-15	0	0	19.79	80.21	9.616	1.48	-0.712	0.781	C
160	01AGC-16	0	0	20.9	79.1	9.574	1.524	-0.716	0.771	C
170	01AGC-17	0	0	22.04	77.96	9.482	1.534	-0.612	0.752	C
180	01AGC-18	0	0	19.12	80.88	9.69	1.448	-0.79	0.777	C
190	01AGC-19	0	0	20.77	79.23	9.579	1.531	-0.701	0.792	C
200	01AGC-20	0	0	20.3	79.7	9.578	1.51	-0.665	0.802	C
210	01AGC-21	0	0	16.12	83.88	9.777	1.323	-0.769	0.756	C
220	01AGC-22	0	0	18.55	81.45	9.58	1.405	-0.574	0.758	C
230	01AGC-23	0	0	18.85	81.15	9.578	1.406	-0.577	0.741	C
240	01AGC-24	0	0	20.06	79.94	9.515	1.442	-0.535	0.736	C
250	01AGC-25	0	0	18.44	81.56	9.556	1.39	-0.517	0.734	C
260	01AGC-26	0	0	19.99	80.01	9.573	1.443	-0.62	0.74	C
270	01AGC-27	0	0	18.63	81.37	9.599	1.374	-0.577	0.715	C
280	01AGC-28	0	0	18.43	81.57	9.581	1.354	-0.535	0.706	C
290	01AGC-29	0	0	19.6	80.4	9.568	1.424	-0.591	0.726	C
300	01AGC-30	0	0	19.44	80.56	9.568	1.45	-0.594	0.766	C
310	01AGC-31	0	0	17.74	82.26	9.628	1.361	-0.588	0.727	C
320	01AGC-32	0	0	15.22	84.78	9.743	1.292	-0.676	0.739	C
330	01AGC-33	0	0	18.07	81.93	9.566	1.397	-0.543	0.773	C
340	01AGC-34	0	0	20.99	79.01	9.486	1.51	-0.555	0.778	C
350	01AGC-35	0	0	18.81	81.19	9.643	1.414	-0.682	0.75	C
360	01AGC-36	0	0	15.52	84.48	9.758	1.325	-0.716	0.782	C
370	01AGC-37	0	0	19.61	80.39	9.574	1.422	-0.596	0.749	C
380	01AGC-38	0	0	17.21	82.79	9.755	1.349	-0.779	0.735	C
390	01AGC-39	0	0	20.55	79.45	9.59	1.481	-0.673	0.759	C
400	01AGC-40	0	0	13.66	86.34	9.842	1.269	-0.773	0.804	C

TABLE. MAJOR TEXTURAL CLASS.

G: gravel	gS: gravelly sand	(g)mS: slightly muddy
sG: sandy gravel	gmS: gravelly muddy sand	(g)M: slightly gravelly mud sand
msG: muddy sandy gravel	gM: gravelly mud	(g)sM: slightly gravelly sandy mud
mG: muddy gravel	(g)S: slightly gravelly sand	S: sand
mS: muddy sand	sM: sandy mud	
M: mud	Z: silt	

DEPTH (cm)	NO.	GRAVEL	SAND	SILT	CLAY	MEAN	SORTING	SKEWNESS	KURTOSIS	TYPE
410	01AGC-41	0	0	16.84	83.16	9.766	1.381	-0.788	0.805	C
420	01AGC-42	0	0	12.09	87.91	9.895	1.233	-0.78	0.886	C
430	01AGC-43	0	0	13.87	86.13	9.847	1.271	-0.776	0.84	C
440	01AGC-44	0	0	13.44	86.56	9.848	1.258	-0.77	0.818	C
450	01AGC-45	0	0	13.91	86.09	9.786	1.275	-0.698	0.798	C
460	01AGC-46	0	0	13.45	86.55	9.79	1.252	-0.68	0.793	C
470	01AGC-47	0	0	12.7	87.3	9.857	1.24	-0.76	0.827	C
480	01AGC-48	0	1.24	12.53	86.24	9.832	1.274	-0.761	0.826	C
490	01AGC-49	0	0	13.94	86.06	9.833	1.272	-0.767	0.808	C
500	01AGC-50	0	0	13.59	86.41	9.85	1.276	-0.777	0.856	C
510	01AGC-51	0	0	12.16	87.84	9.893	1.224	-0.774	0.856	C
520	01AGC-52	0	0	12.95	87.05	9.878	1.255	-0.785	0.866	C
530	01AGC-53	0	0	19.96	80.04	9.665	1.526	-0.804	0.82	C
540	01AGC-54	0	0	19.64	80.36	9.628	1.664	-0.845	0.993	C
545	01AGC-54.5	0	0	15.03	84.97	9.836	1.332	-0.801	0.91	C



2) 코어 02GC

DEPTH (cm)	NO.	GRAVEL	SAND	SILT	CLAY	MEAN	SORTING	SKREWNESS	KURTOSIS	TYPE
0	02GC-0	0	2.88	18.59	78.54	9.406	1.808	-0.691	0.999	C
10	02GC-1	0	2.87	19.79	77.34	9.356	1.833	-0.697	0.956	C
20	02GC-2	0	4.49	22.91	72.6	8.998	2.123	-0.618	0.899	C
30	02GC-3	0	5.79	21.99	72.22	9.009	2.195	-0.652	0.945	C
40	02GC-4	0	3.97	20.7	75.33	9.244	1.969	-0.697	0.965	C
50	02GC-5	0	5.43	20.76	73.82	9.129	2.123	-0.67	1.004	C
60	02GC-6	0	1.71	20.95	77.33	9.535	1.612	-0.721	0.803	C
70	02GC-7	0	1.63	23.7	74.67	9.489	1.678	-0.759	0.766	C
80	02GC-8	0	1.59	22.82	75.59	9.469	1.607	-0.668	0.748	C
90	02GC-9	0	0.08	18.3	81.62	9.729	1.373	-0.781	0.714	C
100	02GC-10	0	2.33	26.8	70.87	9.153	1.835	-0.525	0.766	C
110	02GC-11	0.12	1.99	22.1	75.78	9.46	1.689	-0.714	0.806	(g)sm
120	02GC-12	0	1.94	23.23	74.82	9.392	1.724	-0.692	0.789	C
130	02GC-13	0	1.46	21.9	76.64	9.527	1.634	-0.75	0.79	C
140	02GC-14	0	0.79	31.3	67.9	9.027	1.781	-0.386	0.653	C
150	02GC-15	0	0	15.99	84.01	9.797	1.352	-0.791	0.812	C
160	02GC-16	0	1	29.82	69.18	9.075	1.805	-0.456	0.684	C
170	02GC-17	0	0.29	29.42	70.29	9.173	1.631	-0.369	0.65	C
180	02GC-18	0	0.5	29.36	70.14	9.164	1.637	-0.365	0.651	C
190	02GC-19	0	1.66	48.87	49.47	8.15	2.126	0.071	0.536	M
200	02GC-20	0	0.1	45.55	54.34	8.419	1.964	0.008	0.56	M
210	02GC-21	0	0.06	33.48	66.46	8.966	1.741	-0.27	0.639	M
220	02GC-22	0	0.05	16.72	83.22	9.769	1.355	-0.785	0.75	C
230	02GC-23	0	0.03	20.74	79.24	9.587	1.432	-0.656	0.693	C
240	02GC-24	0	0.11	23.64	76.25	9.441	1.508	-0.541	0.69	C
250	02GC-25	0	0.31	18.93	80.76	9.652	1.397	-0.703	0.705	C
260	02GC-26	0	0.12	19.26	80.62	9.694	1.438	-0.789	0.738	C
270	02GC-27	0	0.36	13.2	86.44	9.845	1.264	-0.779	0.766	C
280	02GC-28	0	0.04	12.22	87.74	9.864	1.204	-0.764	0.733	C
290	02GC-29	0	0.07	10.53	89.41	9.933	1.159	-0.766	0.876	C
300	02GC-30	0	0.19	25.97	73.84	9.336	1.54	-0.46	0.656	C
310	02GC-31	0	0.14	17.75	82.11	9.739	1.393	-0.787	0.763	C
320	02GC-32	0	0.21	12.67	87.12	9.873	1.246	-0.778	0.86	C
330	02GC-33	0	0.35	13.22	86.44	9.864	1.271	-0.786	0.886	C
339	02GC-33.9	17.93	69.42	5.56	7.09	0.944	2.681	-0.124	4.373	gmS
350	02GC-35	0	0.93	34.58	64.49	8.77	2.02	-0.364	0.686	M
360	02GC-36	0.36	1.01	28.77	69.85	9.033	1.911	-0.461	0.777	(g)sm
370	02GC-37	0	3.41	37.74	58.85	8.423	2.282	-0.325	0.636	M
380	02GC-38	0	14.4	33.97	51.62	7.815	2.775	-0.238	0.658	sm
390	02GC-39	0	0.92	23.37	75.71	9.485	1.752	-0.799	0.841	C
400	02GC-40	0	0.29	29.91	69.8	9.28	1.735	-0.617	0.678	C
410	02GC-41	0.01	0.31	55.16	44.53	7.968	2.118	0.269	0.517	M
420	02GC-42	0	3.64	49.05	47.32	7.972	2.311	0.073	0.567	M
430	02GC-43	0	6.34	45.1	48.56	7.973	2.454	-0.036	0.625	M
440	02GC-44	0	7.45	46.88	45.67	7.762	2.57	0.011	0.6	M
450	02GC-45	0	0.21	61.85	37.93	7.701	2.167	0.44	0.512	M
460	02GC-46	0	2.73	34.41	62.86	8.644	2.231	-0.486	0.623	M

3) 코어 03AGC

DEPTH (cm)	NO.	GRAVEL	SAND	SILT	CLAY	MEAN	SORTING	SKEWNESS	KURTOSIS	TYPE
10	03AGC-1	0	0	16.85	83.15	9.675	1.479	-0.683	0.975	C
20	03AGC-2	0.59	9.76	17.73	71.92	8.908	2.502	-0.609	1.231	(g)sM
30	03AGC-3	0	4.77	17.75	77.48	9.374	1.926	-0.667	1.099	C
40	03AGC-4	4.51	5.53	17.72	72.24	8.851	2.908	-0.659	1.541	(g)sM
50	03AGC-5	0	0	18.73	81.27	9.692	1.421	-0.756	0.761	C
60	03AGC-6	0	0	32.72	67.28	9.047	1.745	-0.363	0.648	C
70	03AGC-7	0	1.12	46.97	51.92	8.336	2.005	0.051	0.583	M
80	03AGC-8	0	0	28.49	71.51	9.212	1.691	-0.475	0.701	C
90	03AGC-9	0	0	34.82	65.18	8.908	1.789	-0.269	0.641	M
100	03AGC-10	1.53	3.26	35.56	59.66	8.642	2.05	-0.206	0.7	(g)sM
110	03AGC-11	0.08	8.69	30.35	60.89	8.471	2.476	-0.361	0.896	(g)sM
120	03AGC-12	3.64	12.71	31.78	51.86	7.602	3.296	-0.363	0.917	(g)sM
130	03AGC-13	0.94	13.04	30.57	55.46	8.012	2.825	-0.322	0.841	(g)sM
140	03AGC-14	1.72	11.18	32.64	54.46	8.041	2.77	-0.301	0.835	(g)sM
150	03AGC-15	3.63	9.34	25.75	61.28	8.312	2.91	-0.543	0.911	(g)sM
160	03AGC-16	2.18	10.68	27.01	60.13	8.347	2.713	-0.499	0.776	(g)sM
180	03AGC-18	0	0	23.68	76.32	9.471	1.634	-0.697	0.776	C
190	03AGC-19	0	6.92	14.89	78.19	9.55	1.989	-0.852	1.195	C
200	03AGC-20	0	6.02	38.74	55.23	8.23	2.475	-0.323	0.595	M
210	03AGC-21	0	0	31.06	68.94	9.015	1.789	-0.346	0.706	C
220	03AGC-22	0	0	29.55	70.45	9.235	1.834	-0.67	0.7	C
230	03AGC-23	0	0	26.9	73.1	9.342	1.742	-0.675	0.745	C
240	03AGC-24	0	0	21.66	78.34	9.562	1.641	-0.821	0.842	C
248	03AGC-24.8	0	0	23.61	76.39	9.499	1.719	-0.819	0.827	C

4) 코어 16BGC

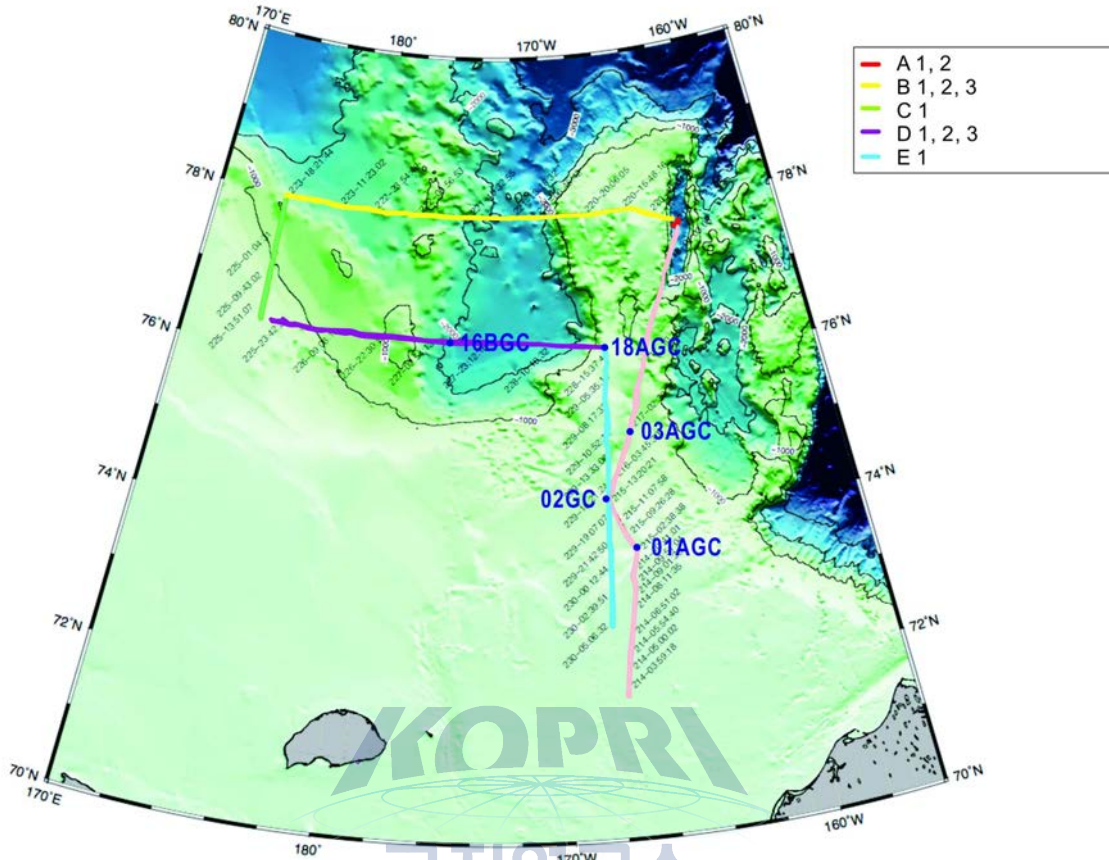
DEPTH (cm)	NO.	GRAVEL	SAND	SILT	CLAY	MEAN	SORTING	SKEWNESS	KURTOSIS	TYPE
0	16BGC-0	0	7.72	22.1	70.18	8.925	2.259	-0.523	1.006	C
10	16BGC-1	0	0.58	15.42	84	9.781	1.374	-0.778	0.828	C
20	16BGC-2	0	0.07	11.56	88.37	9.887	1.215	-0.771	0.805	C
30	16BGC-3	0	0	10.22	89.78	9.936	1.136	-0.755	0.85	C
40	16BGC-4	0	0	11.8	88.2	9.877	1.209	-0.76	0.801	C
50	16BGC-5	0	0.08	10.99	88.93	9.861	1.181	-0.71	0.783	C
60	16BGC-6	0	0	8.11	91.89	9.986	1.081	-0.752	0.856	C
70	16BGC-7	1.9	21.89	12.4	63.8	7.037	4.141	-0.714	0.861	(g)sM
80	16BGC-8	0	0.12	16.96	82.92	9.679	1.358	-0.655	0.756	C
90	16BGC-9	0.2	0.93	37.72	61.15	8.678	1.683	0.092	0.664	(g)sM
100	16BGC-10	0	2.17	14.9	82.93	9.729	1.514	-0.776	1.022	C
110	16BGC-11	0	8.34	19.87	71.8	8.963	2.326	-0.69	1.011	C
120	16BGC-12	0	0	10.68	89.32	9.93	1.195	-0.766	0.931	C
130	16BGC-13	0	0.42	13.93	85.64	9.83	1.295	-0.78	0.819	C
140	16BGC-14	0	0.05	10.65	89.3	9.92	1.17	-0.769	0.836	C
150	16BGC-15	0	0.29	15.78	83.93	9.783	1.338	-0.777	0.779	C
160	16BGC-16	0	0	10.97	89.03	9.915	1.178	-0.775	0.813	C
170	16BGC-17	0	0	13.4	86.6	9.859	1.246	-0.781	0.789	C
180	16BGC-18	0	0	11.02	88.98	9.933	1.179	-0.777	0.9	C
190	16BGC-19	0	0.12	17.67	82.21	9.68	1.372	-0.686	0.734	C
200	16BGC-20	0	0.47	14.76	84.78	9.809	1.287	-0.776	0.753	C
210	16BGC-21	0	0.97	12.36	86.66	9.855	1.258	-0.777	0.808	C
220	16BGC-22	0	0.12	13.32	86.56	9.835	1.259	-0.762	0.773	C
230	16BGC-23	0.31	8.96	15.12	75.61	9.401	2.285	-0.736	1.383	(g)sM
240	16BGC-24	0	0	9.73	90.27	9.957	1.13	-0.771	0.851	C
250	16BGC-25	0	0	9.37	90.63	9.954	1.121	-0.764	0.816	C
260	16BGC-26	0	0.59	17.1	82.31	9.677	1.385	-0.684	0.751	C
270	16BGC-27	0	3.83	17.47	78.7	9.602	1.791	-0.831	1.035	C
280	16BGC-28	0.18	7.44	16.79	75.59	9.366	2.239	-0.84	1.242	(g)sM
290	16BGC-29	0.15	14.48	5.84	79.53	9.468	2.475	-0.872	1.761	(g)sM
295	16BGC-29.5	0	37.7	31.12	31.18	6.391	3.034	0.446	0.575	sM
300	16BGC-30	0	0.36	11.46	88.18	9.884	1.244	-0.772	0.866	C
310	16BGC-31	0	7.6	18.95	73.46	9.169	2.163	-0.689	1.058	C
320	16BGC-32	0	0.19	11.88	87.93	9.891	1.207	-0.773	0.813	C
330	16BGC-33	0	0.19	11.55	88.25	9.909	1.2	-0.784	0.856	C
339	16BGC-34	0.05	10.32	12.28	77.35	9.528	2.433	-0.84	1.624	(g)sM
350	16BGC-35	0	0.37	10.07	89.56	9.925	1.146	-0.755	0.825	C
360	16BGC-36	0	3.65	18.6	77.75	9.457	1.798	-0.713	0.986	C
370	16BGC-37	0.17	2.24	24.02	73.57	9.404	1.904	-0.844	0.847	(g)sM
380	16BGC-38	0	0	11.84	88.16	9.898	1.225	-0.78	0.868	C

5)코어 18AGC

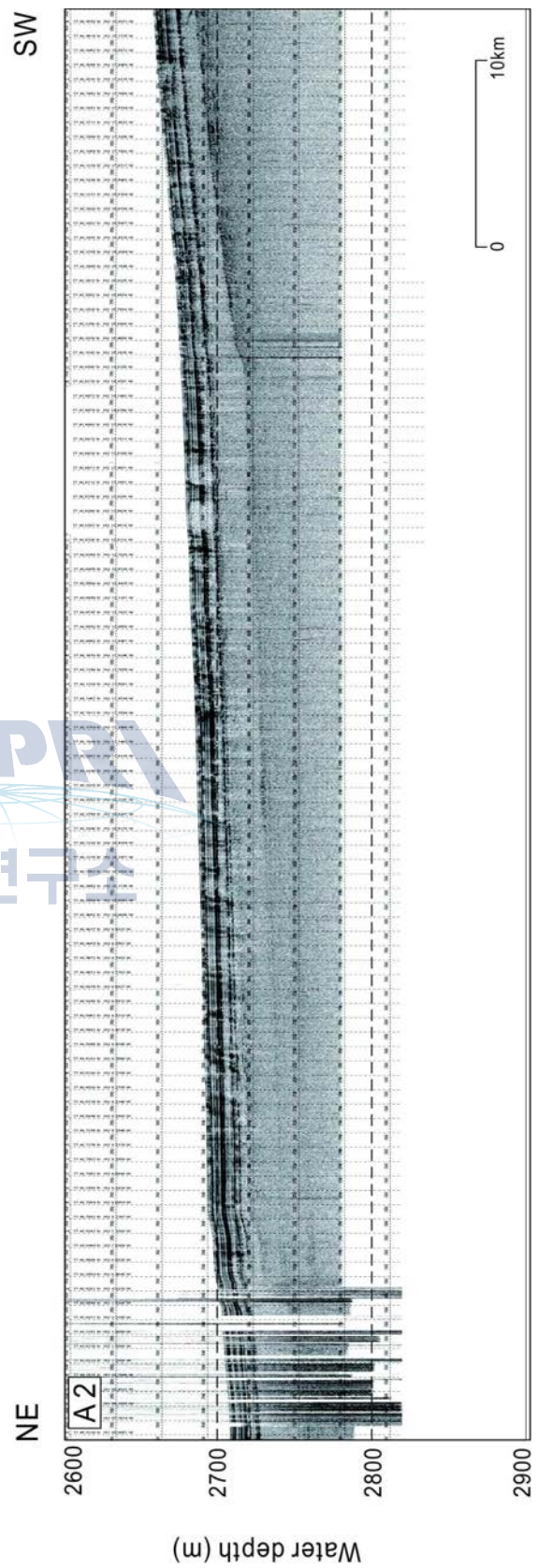
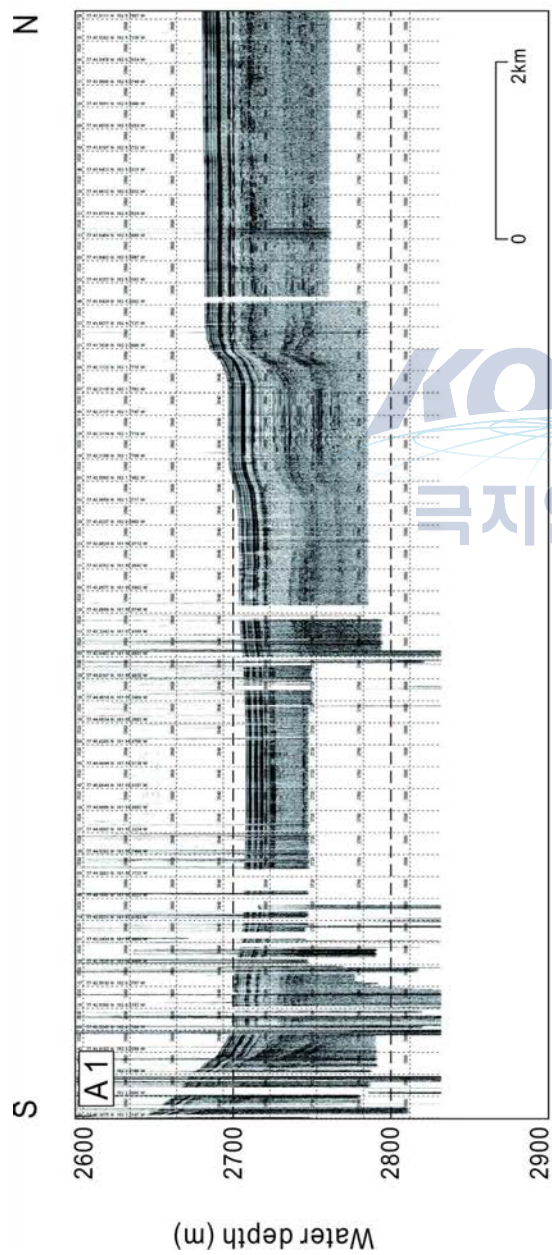
DEPTH (cm)	NO.	GRAVEL	SAND	SILT	CLAY	MEAN	SORTING	SKEWNESS	KURTOSIS	TYPE
0	18AGC-0	4.76	21.53	13.54	60.16	7.625	3.74	-0.644	0.716	(g)sM
10	18AGC-1	0.07	2.31	28.81	68.81	9.067	1.727	-0.34	0.683	(g)sM
15	18AGC-1.5	0	4.73	27.43	67.84	9.064	2.039	-0.529	0.862	C
20	18AGC-2	0.21	2.45	30.41	66.93	9.043	1.837	-0.446	0.681	(g)sM
30	18AGC-3	0	3.54	32.71	63.75	8.825	1.968	-0.324	0.696	M
40	18AGC-4	0.88	32.14	19.76	47.23	7.299	3.083	-0.193	0.501	(g)sM
46	18AGC-4.6	0.06	52.52	15.66	31.76	6.056	2.931	0.841	0.537	(g)mS
50	18AGC-5	0	11.1	27.45	61.45	8.459	2.48	-0.447	0.781	sC
60	18AGC-6	0	3.8	22.92	73.29	9.277	1.681	-0.472	0.762	C
70	18AGC-7	0	3.21	20.36	76.43	9.43	1.547	-0.516	0.753	C
80	18AGC-8	0	2.09	22.25	75.66	9.397	1.519	-0.472	0.699	C
90	18AGC-9	0	0.36	23.62	76.03	9.373	1.474	-0.404	0.672	C
100	18AGC-10	0	0.96	25.53	73.51	9.266	1.55	-0.368	0.672	C
110	18AGC-11	0	1.86	22.96	75.18	9.299	1.589	-0.409	0.746	C
120	18AGC-12	0.09	1.15	33.42	65.35	8.866	1.902	-0.298	0.716	(g)sM
130	18AGC-13	0	0.75	32.42	66.82	9.002	1.715	-0.262	0.657	C
140	18AGC-14	0	0.48	30.96	68.56	9.089	1.64	-0.272	0.649	C
150	18AGC-15	0	0.29	28.9	70.81	9.177	1.594	-0.311	0.659	C
160	18AGC-16	0	0.55	29.07	70.39	9.156	1.604	-0.3	0.657	C
170	18AGC-17	0	1.18	29.12	69.7	9.119	1.628	-0.292	0.661	C
180	18AGC-18	0.19	3.27	30.2	66.34	8.949	1.785	-0.263	0.689	(g)sM
190	18AGC-19	0	0	31.2	68.8	9.086	1.628	-0.262	0.645	C
200	18AGC-20	0	1.05	28.99	69.96	9.133	1.629	-0.303	0.664	C

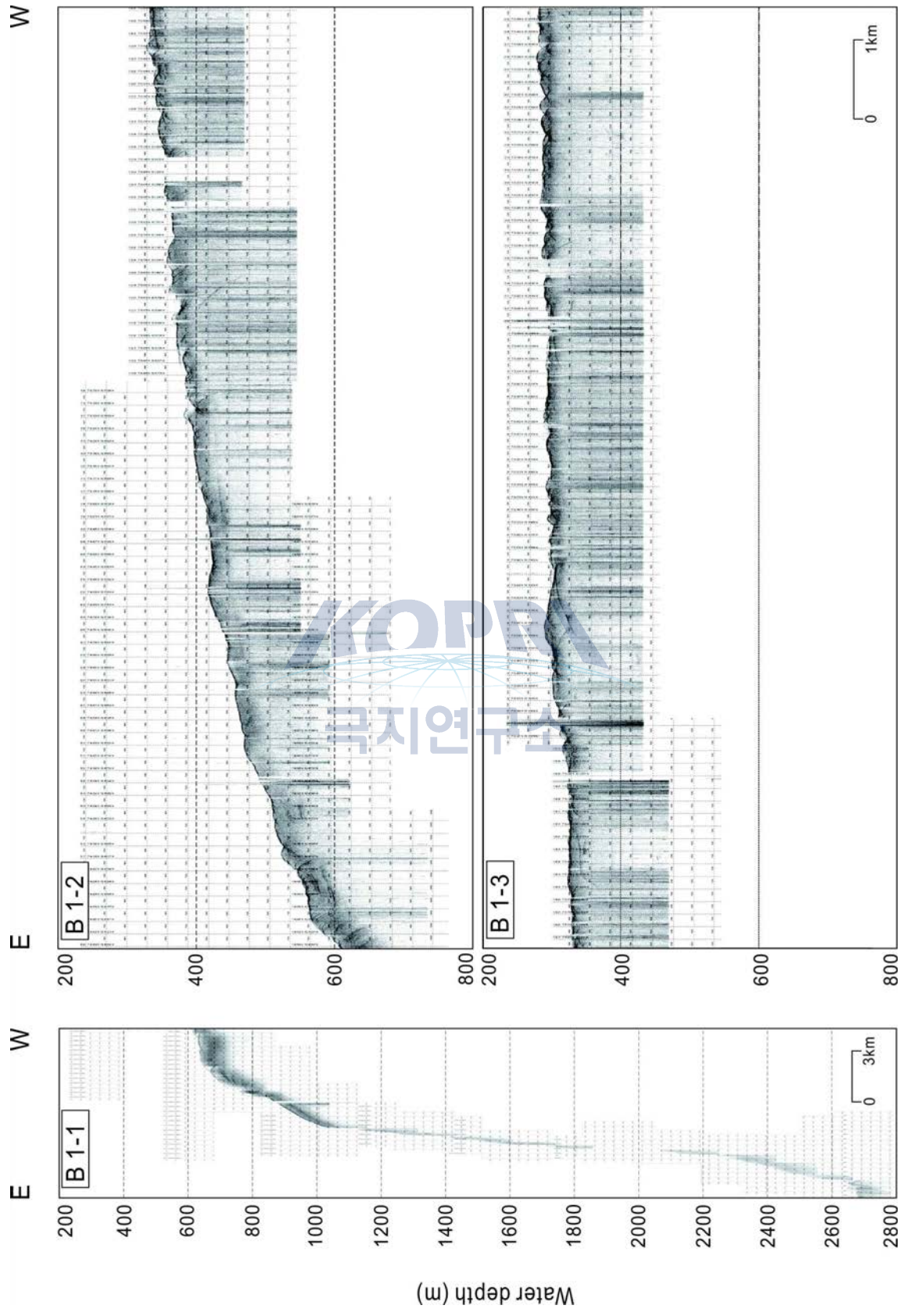
부록 2. SBP자료

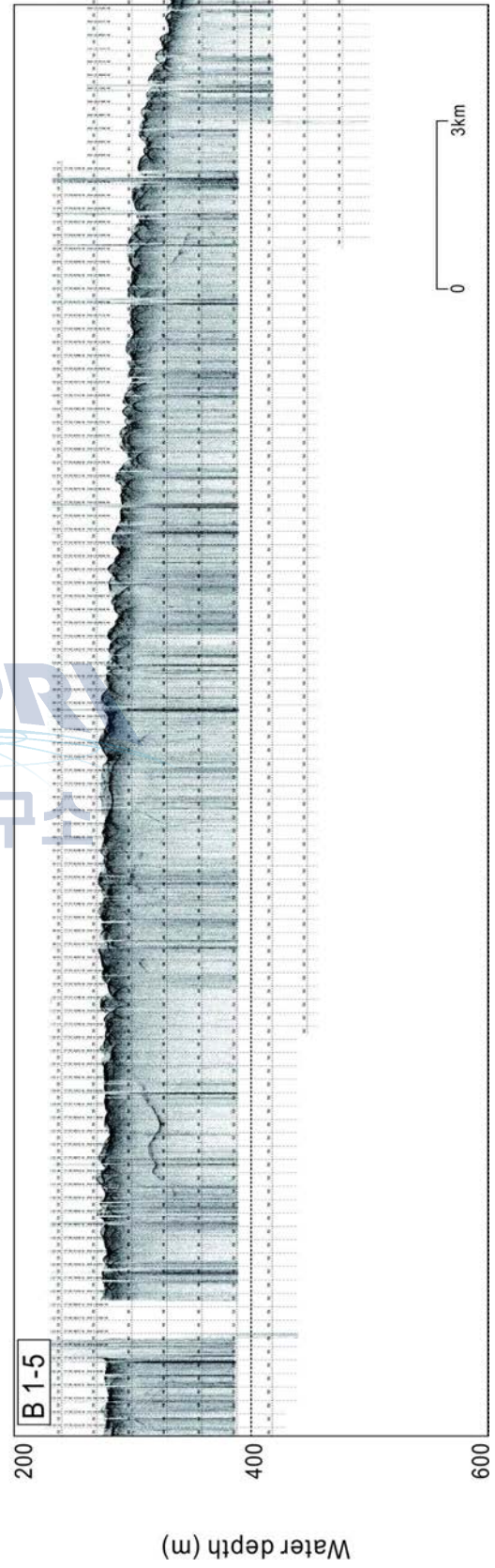
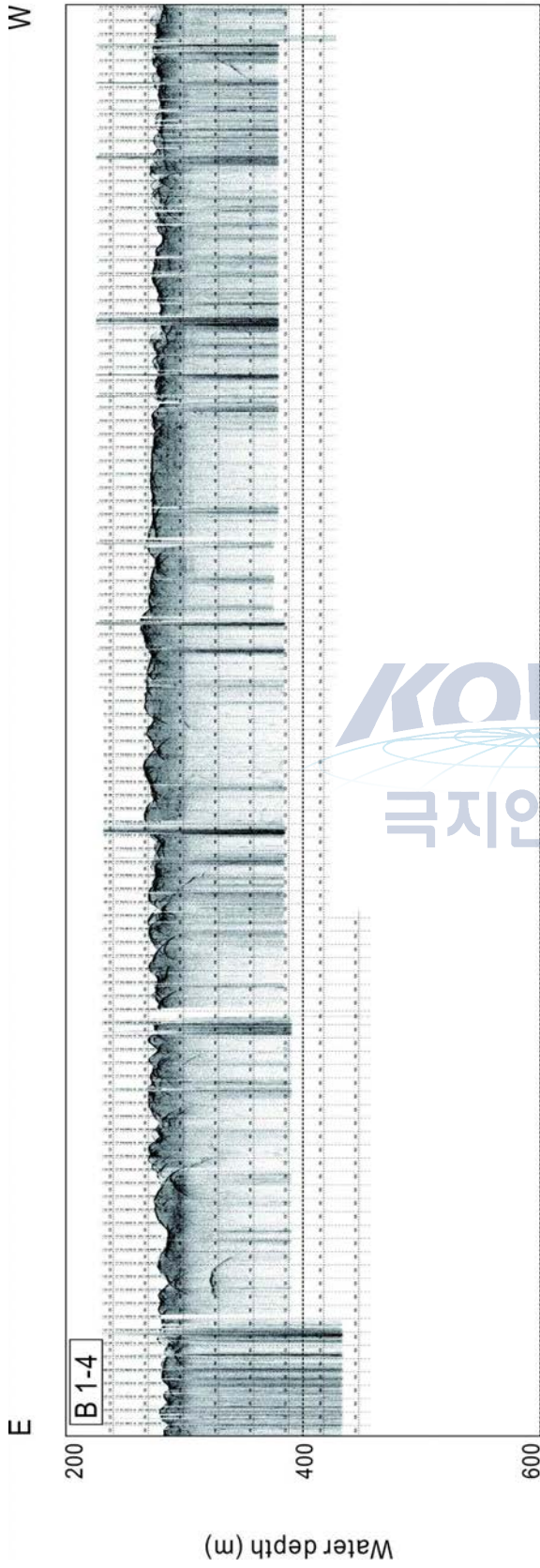




[2011년 척치해 SBP 탐사측선도]



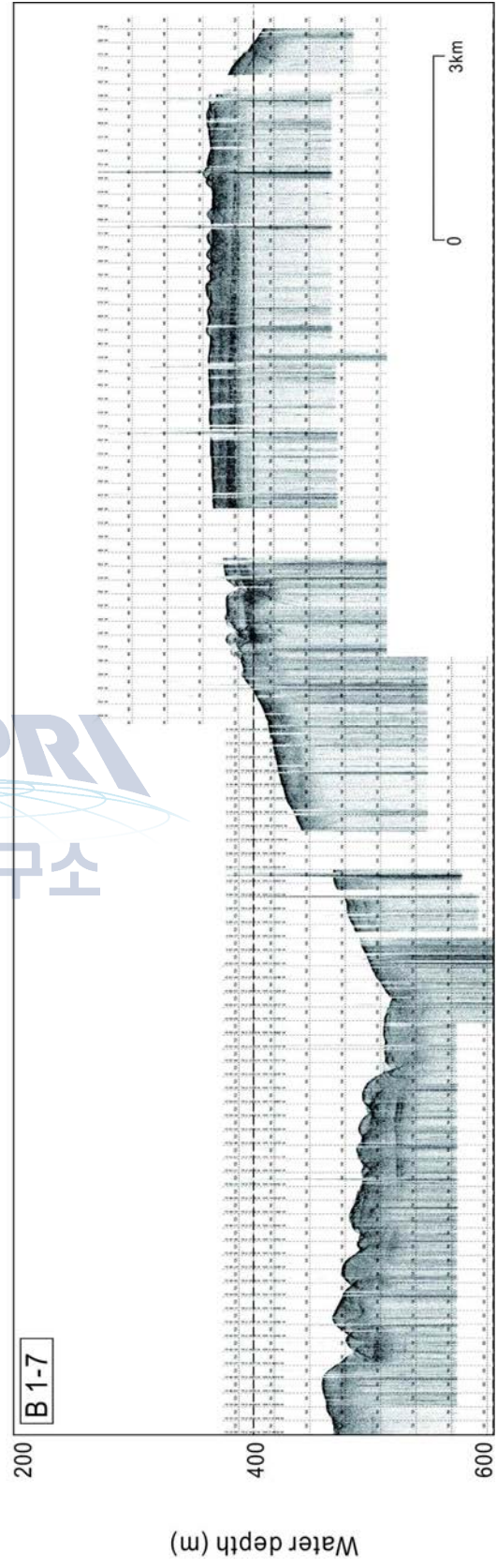
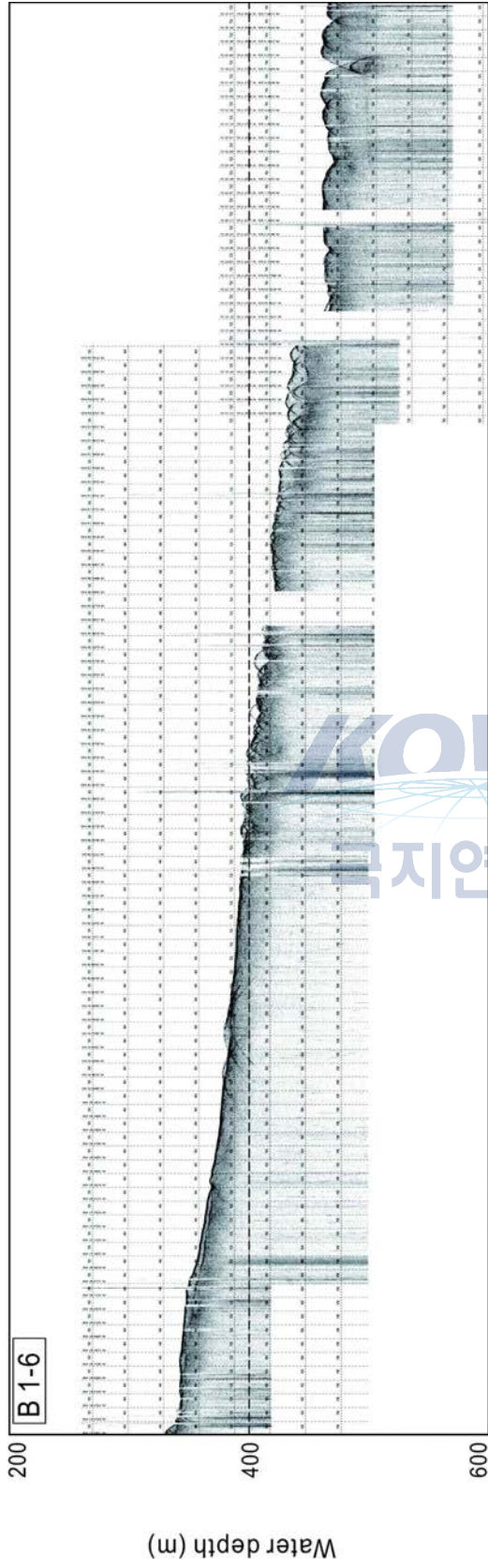


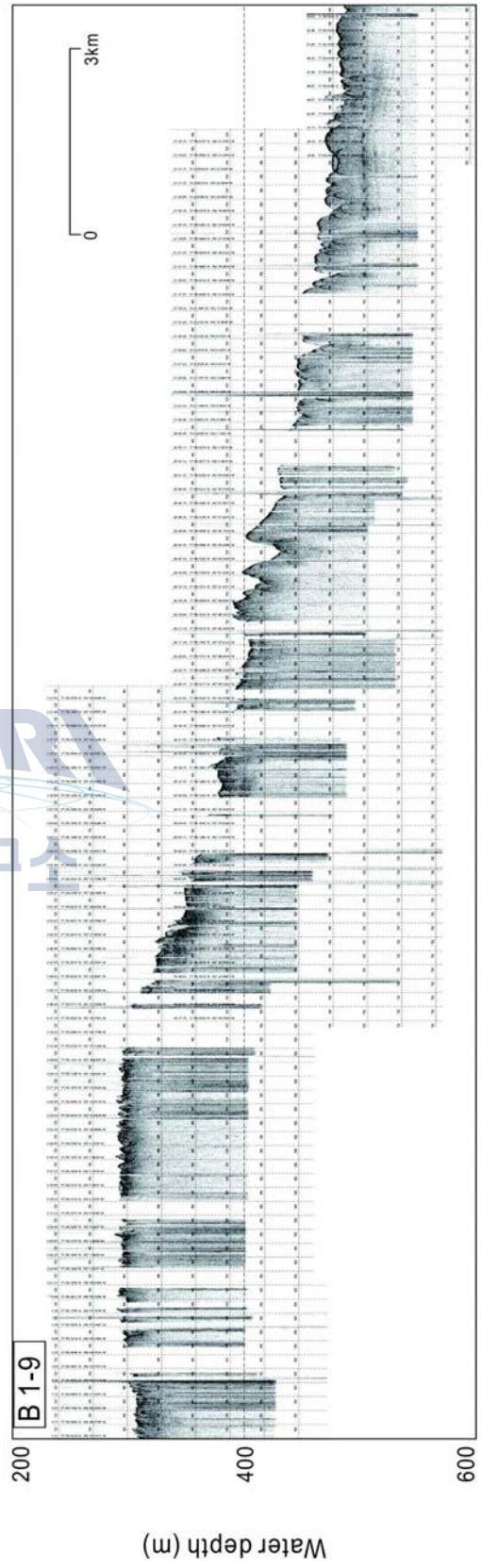
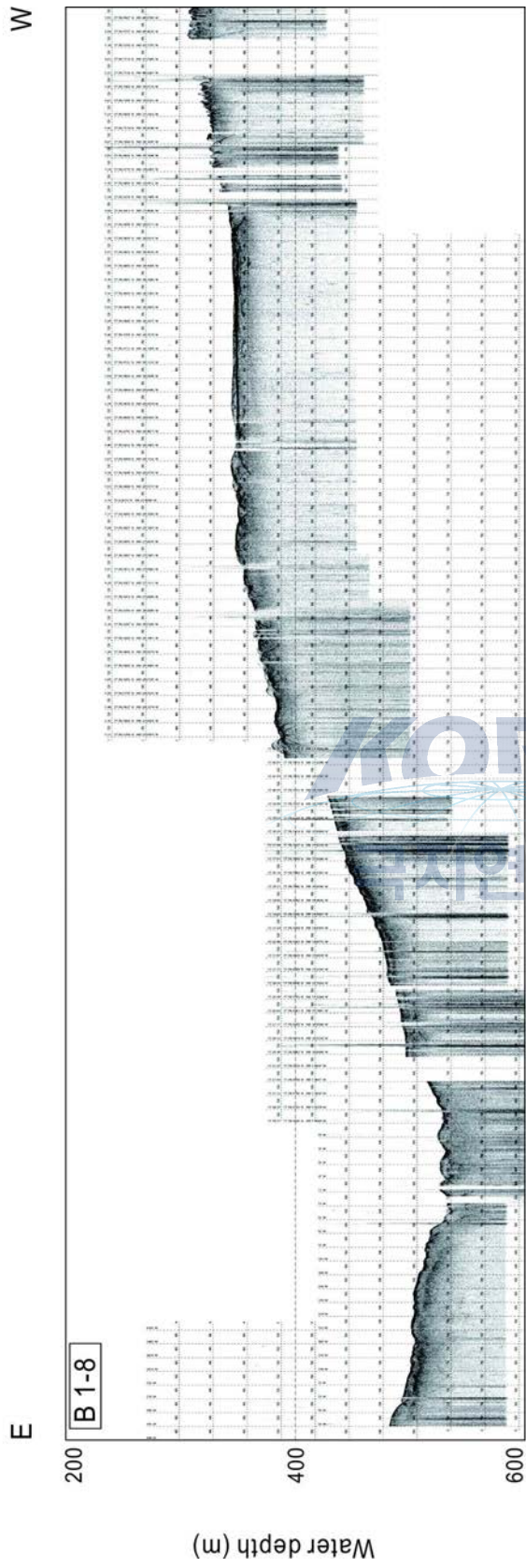


KOPRI
극지연구소

W

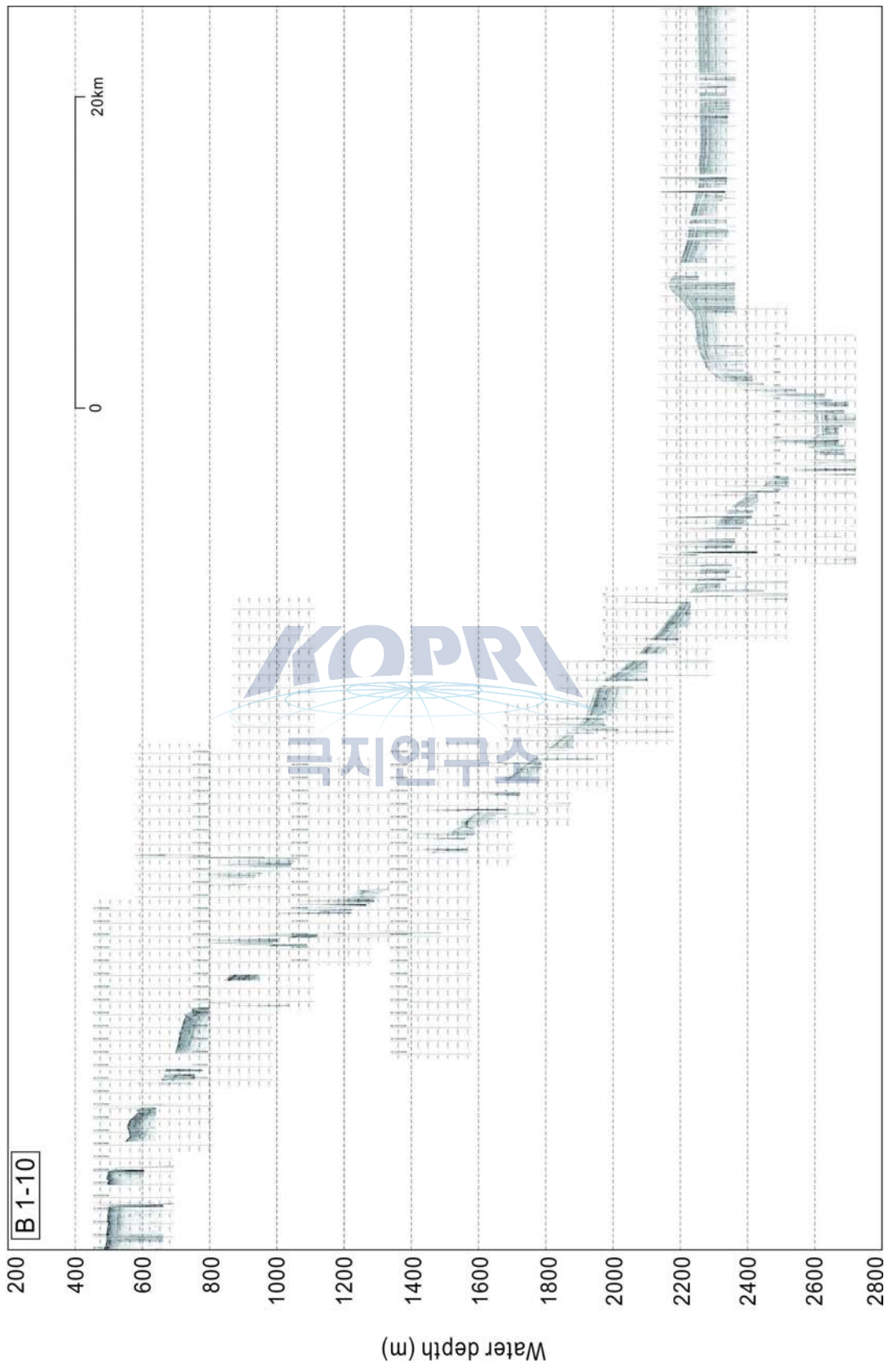
E

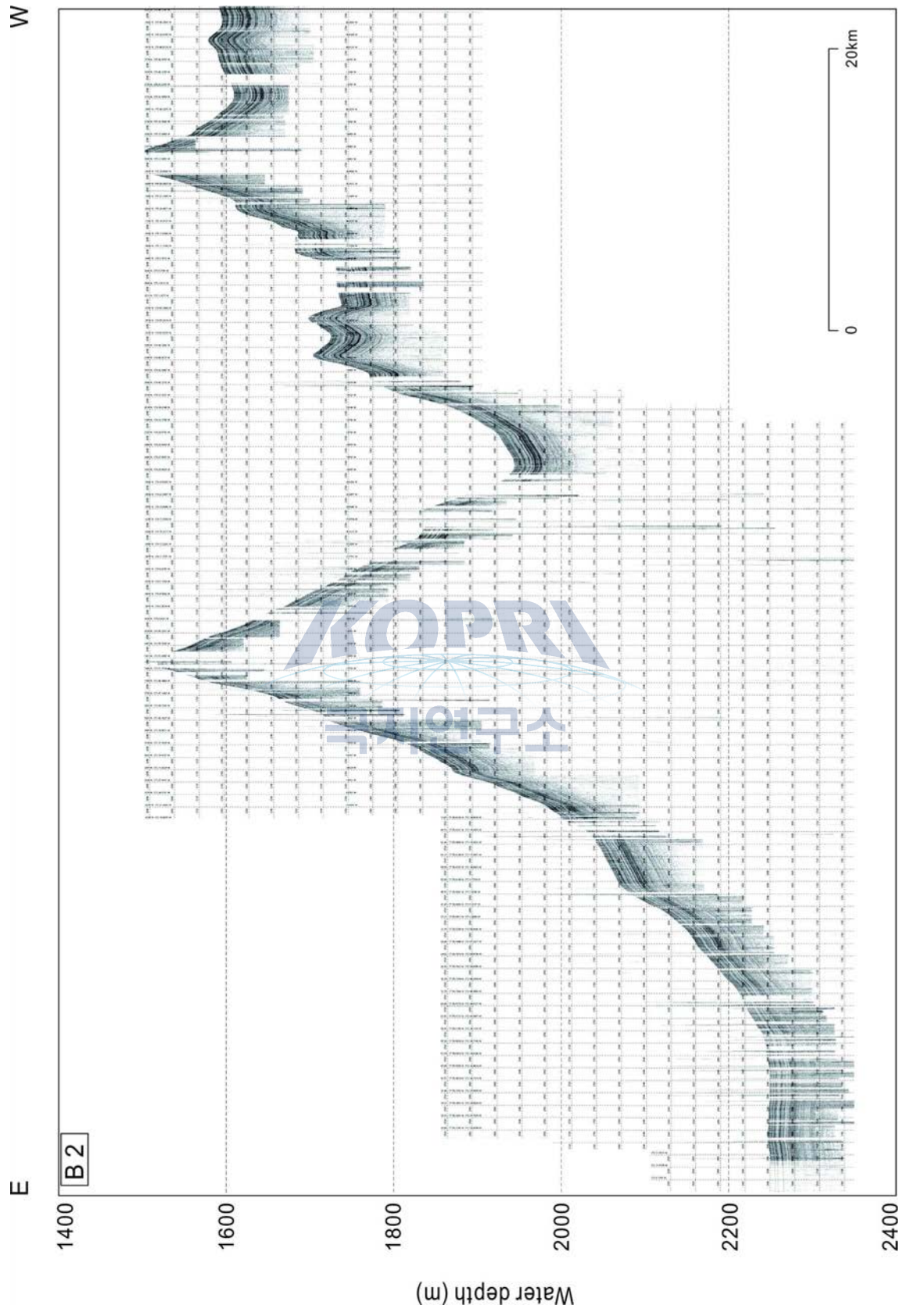


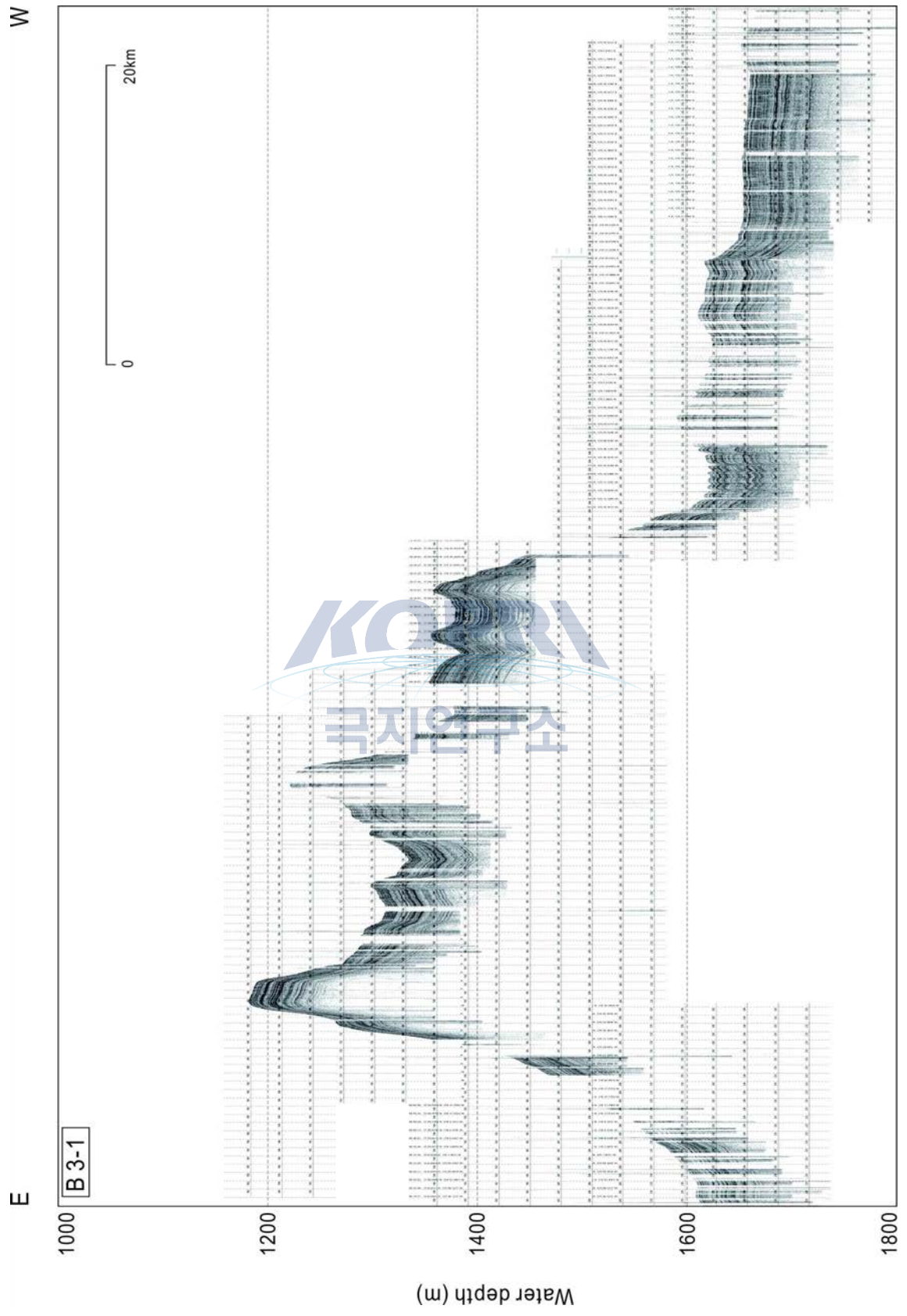


W

E

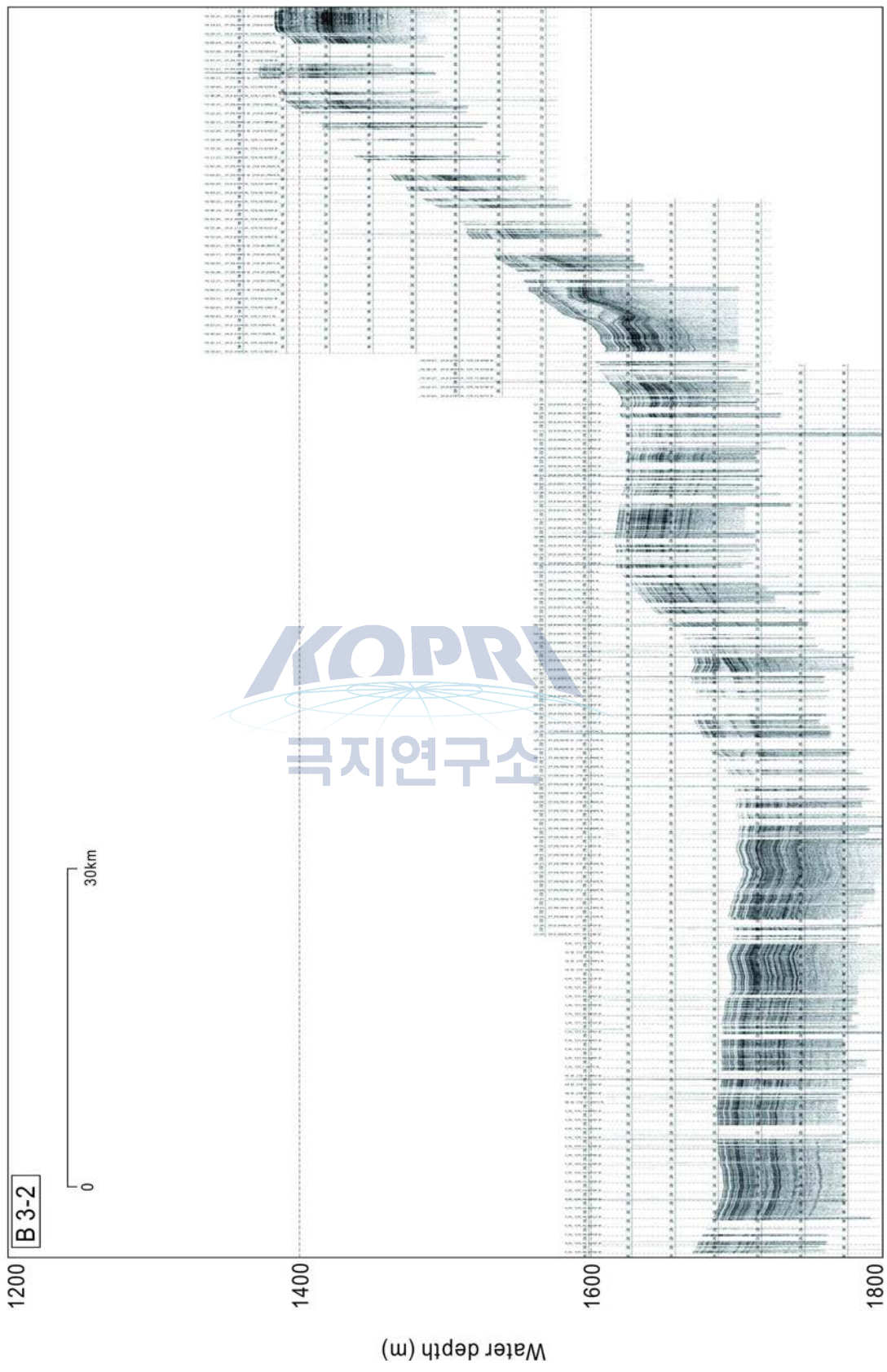


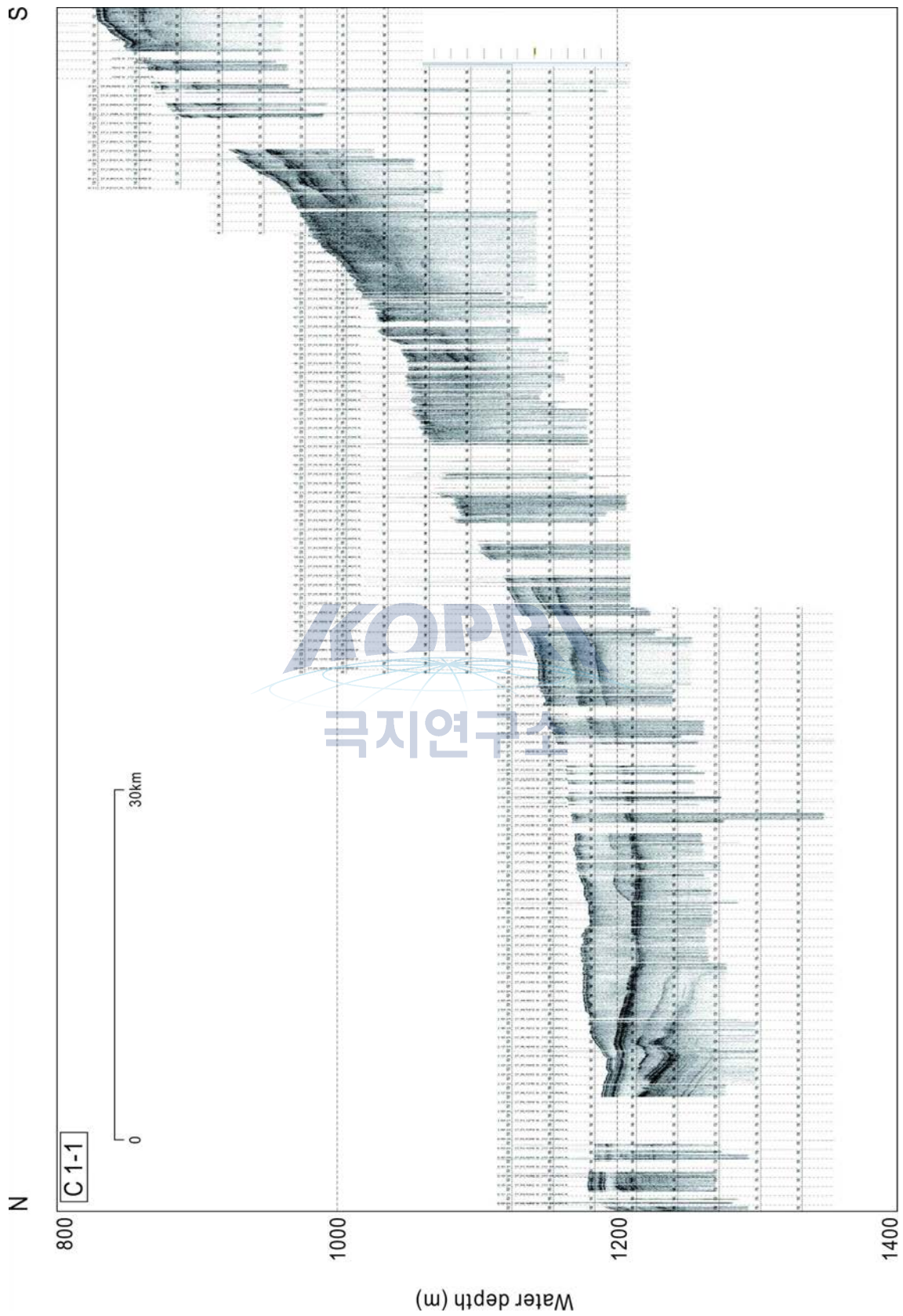




W

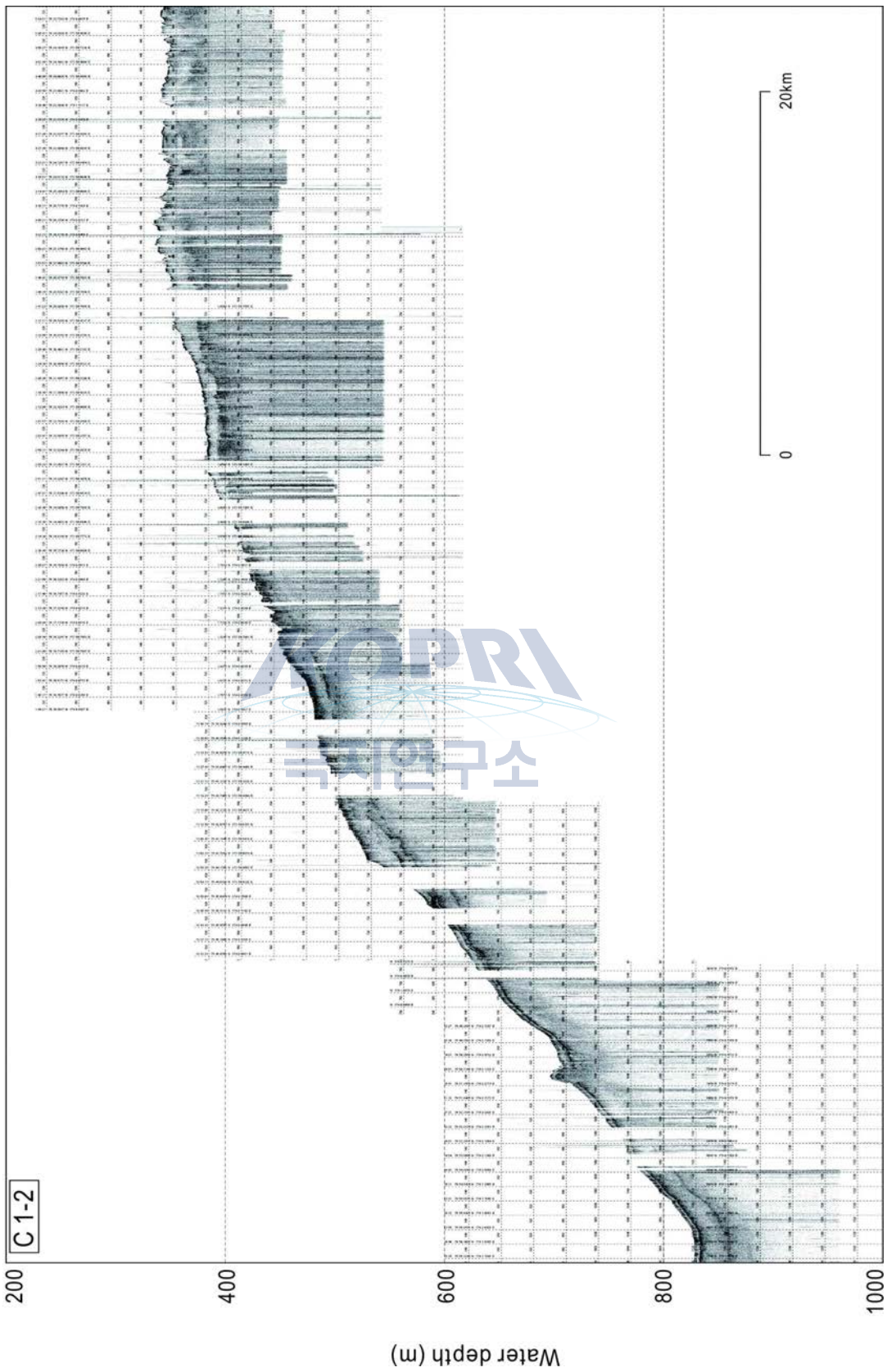
E



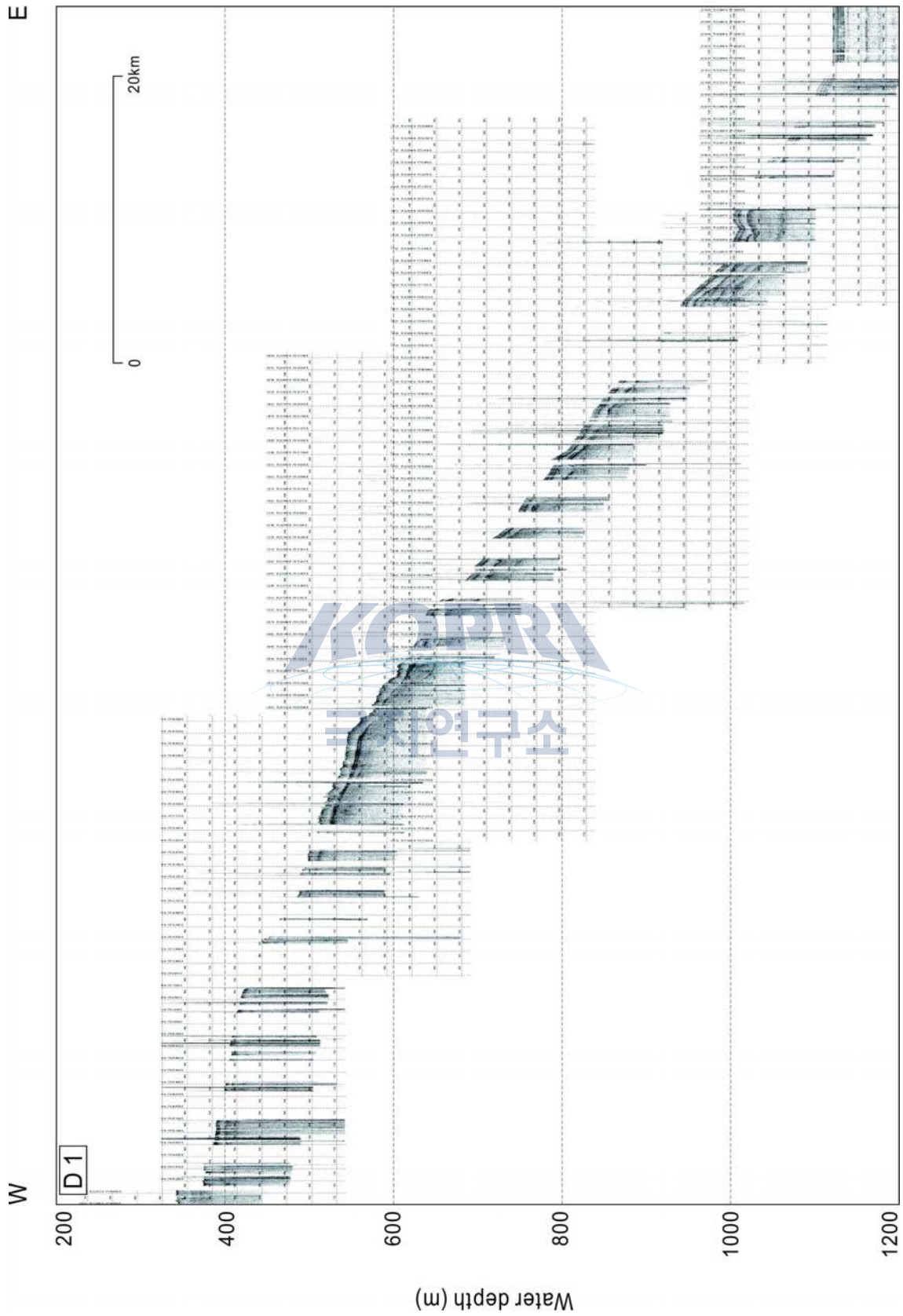


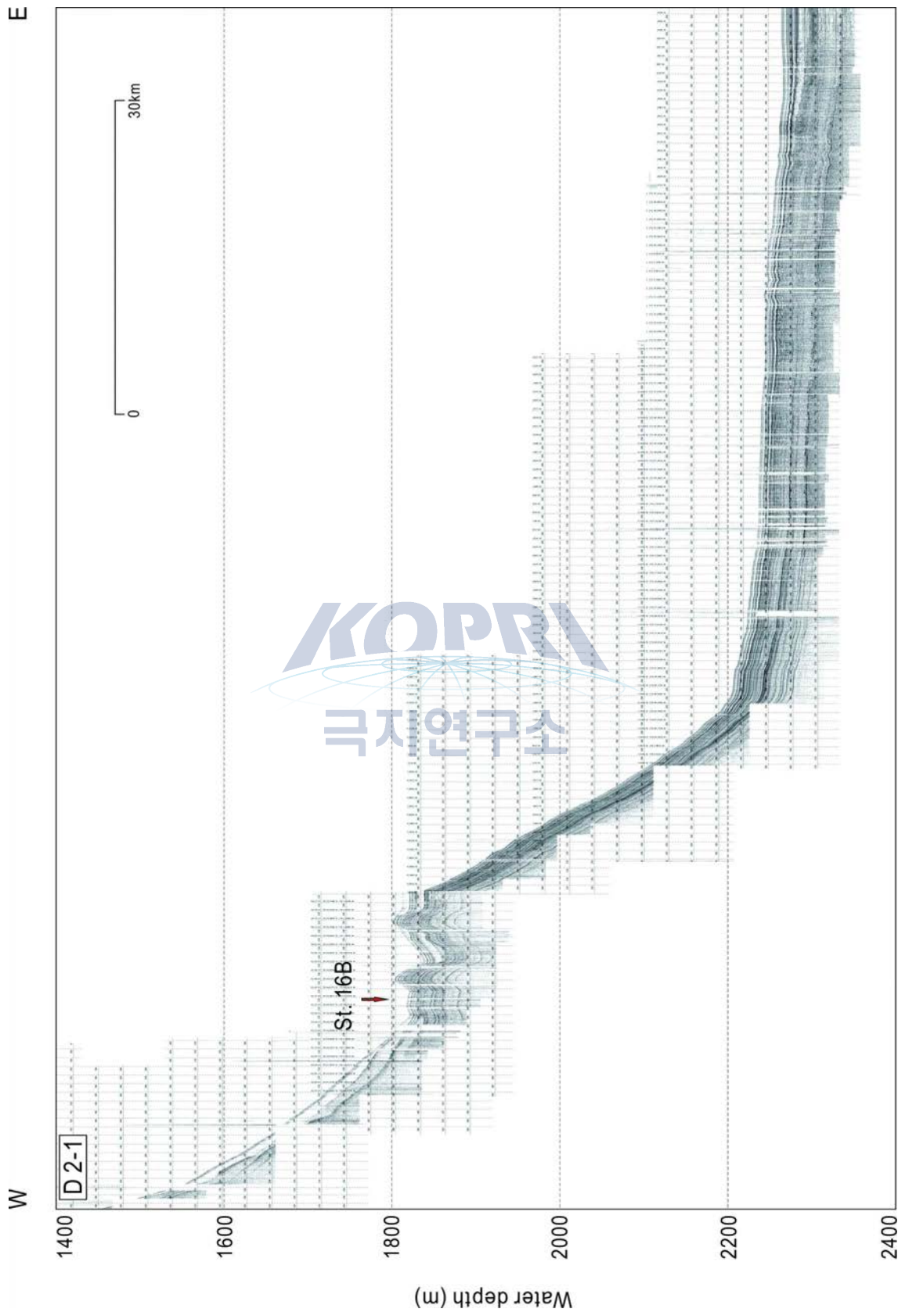
S

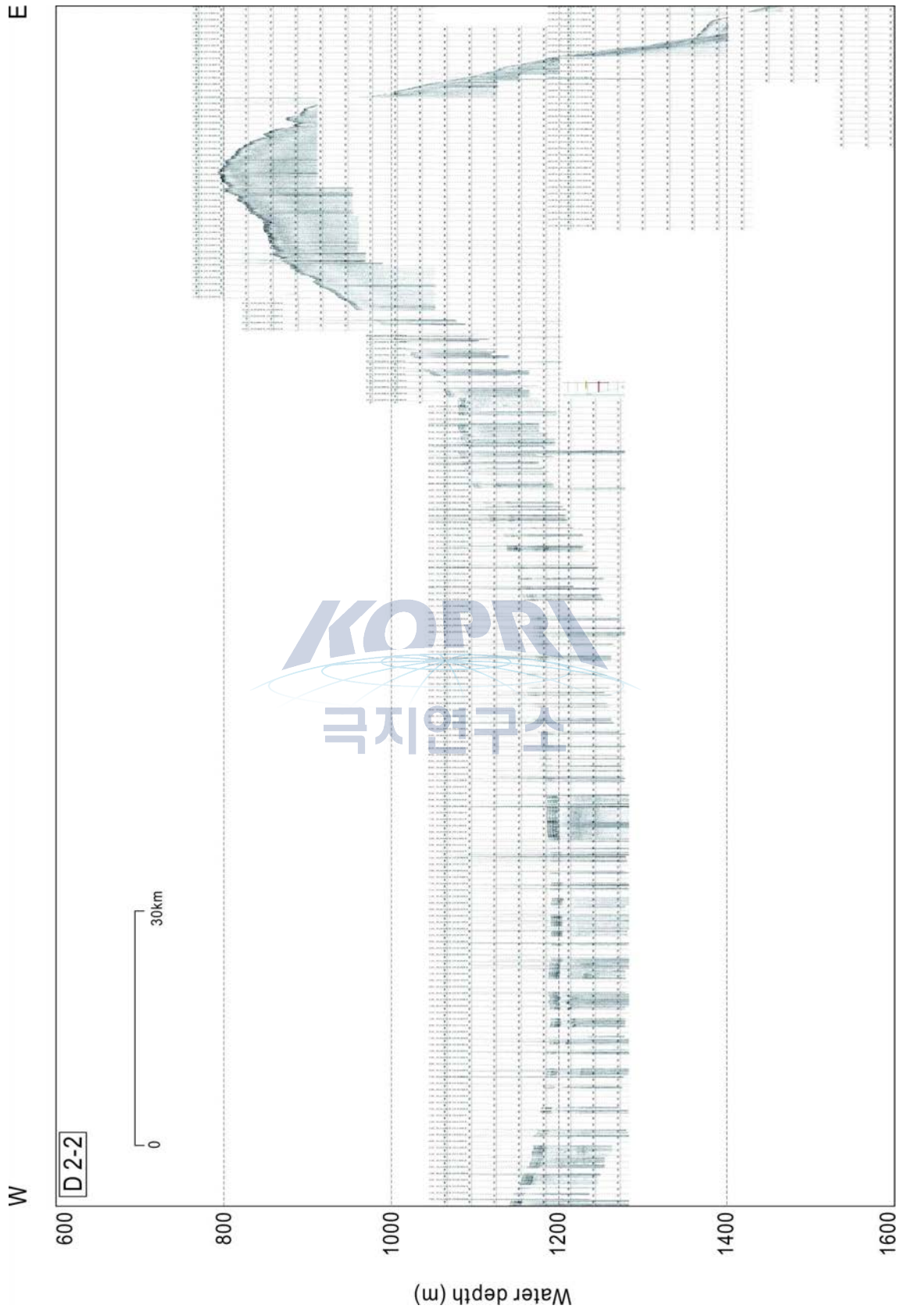
N

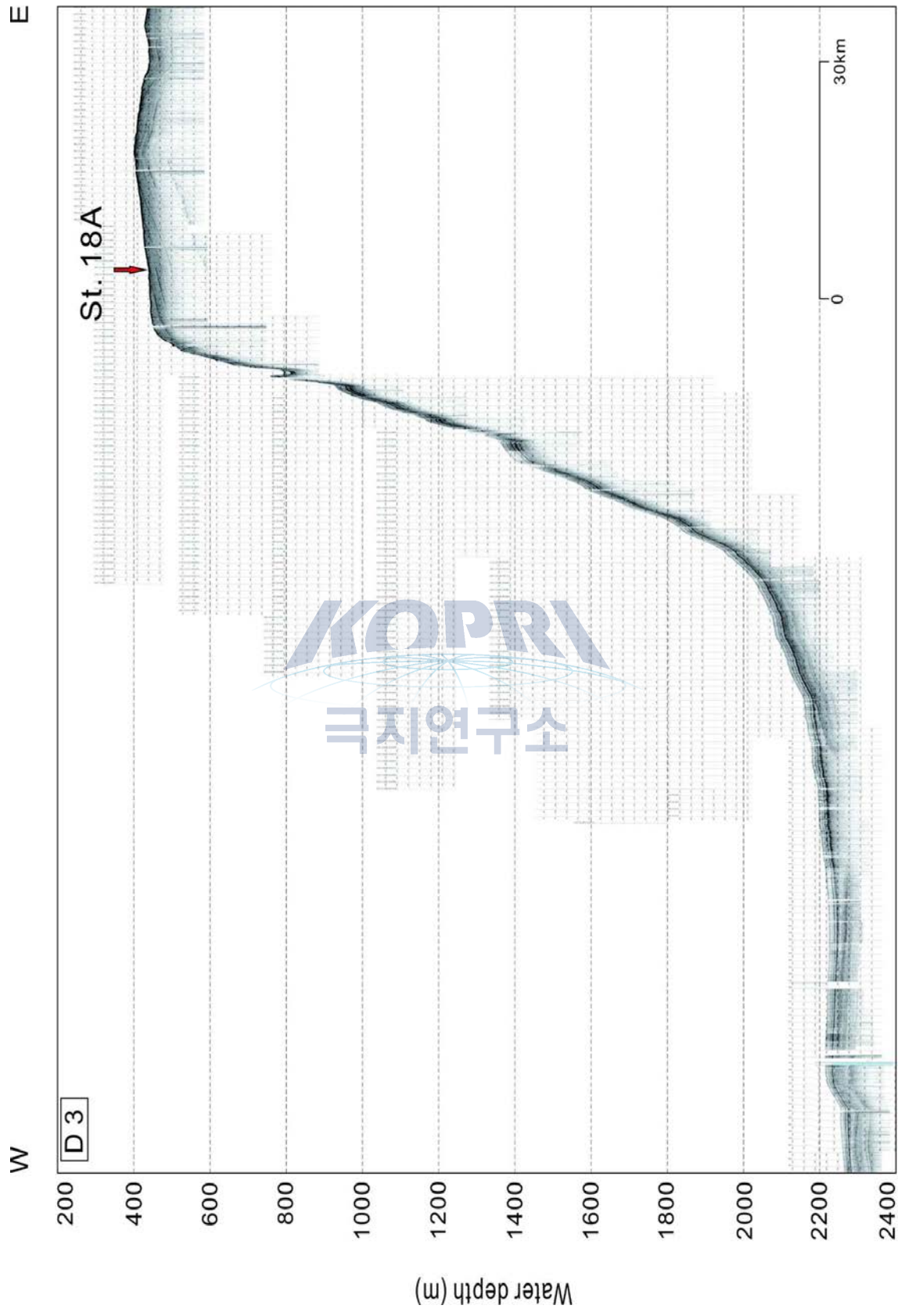


E



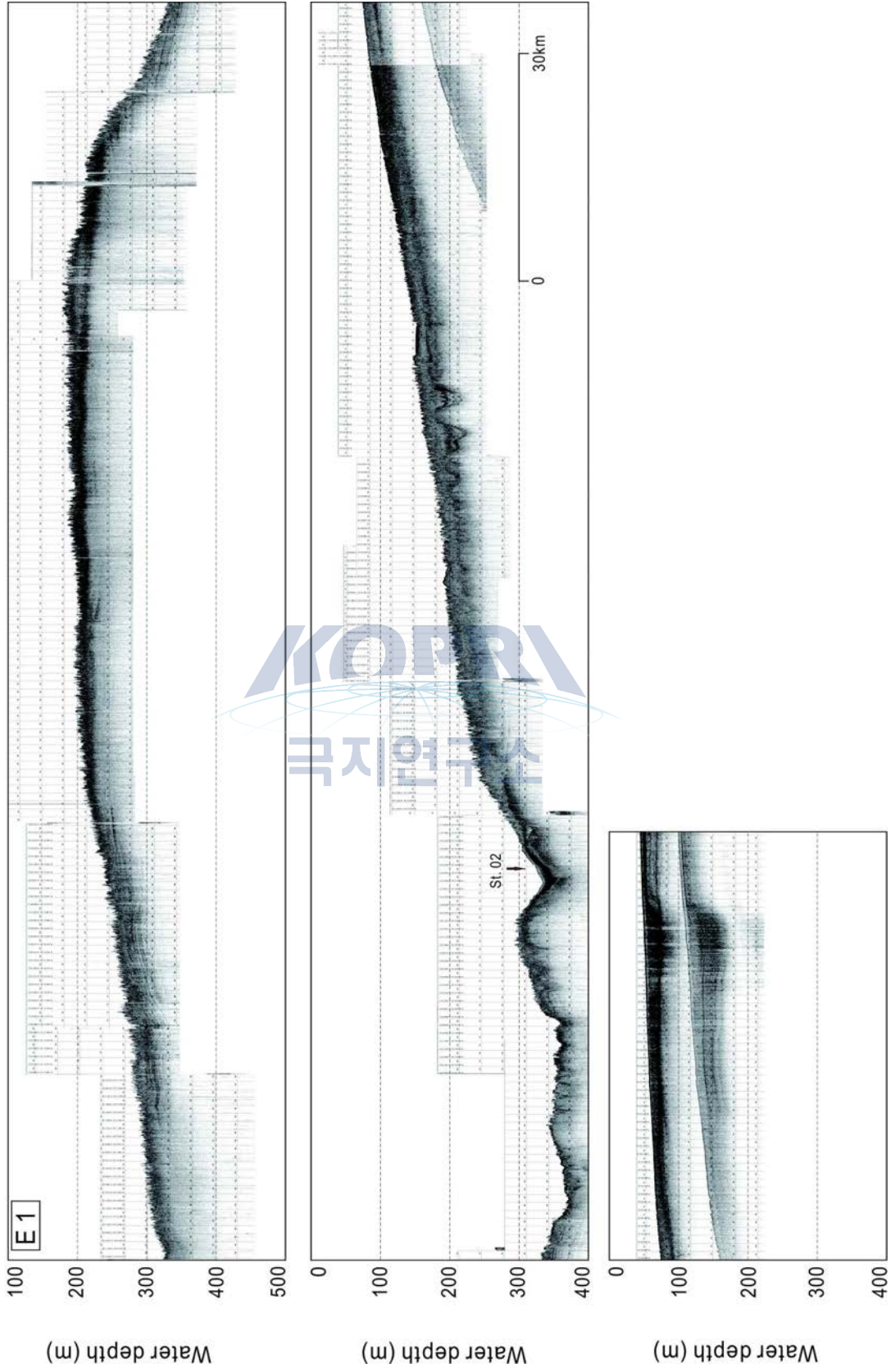






S

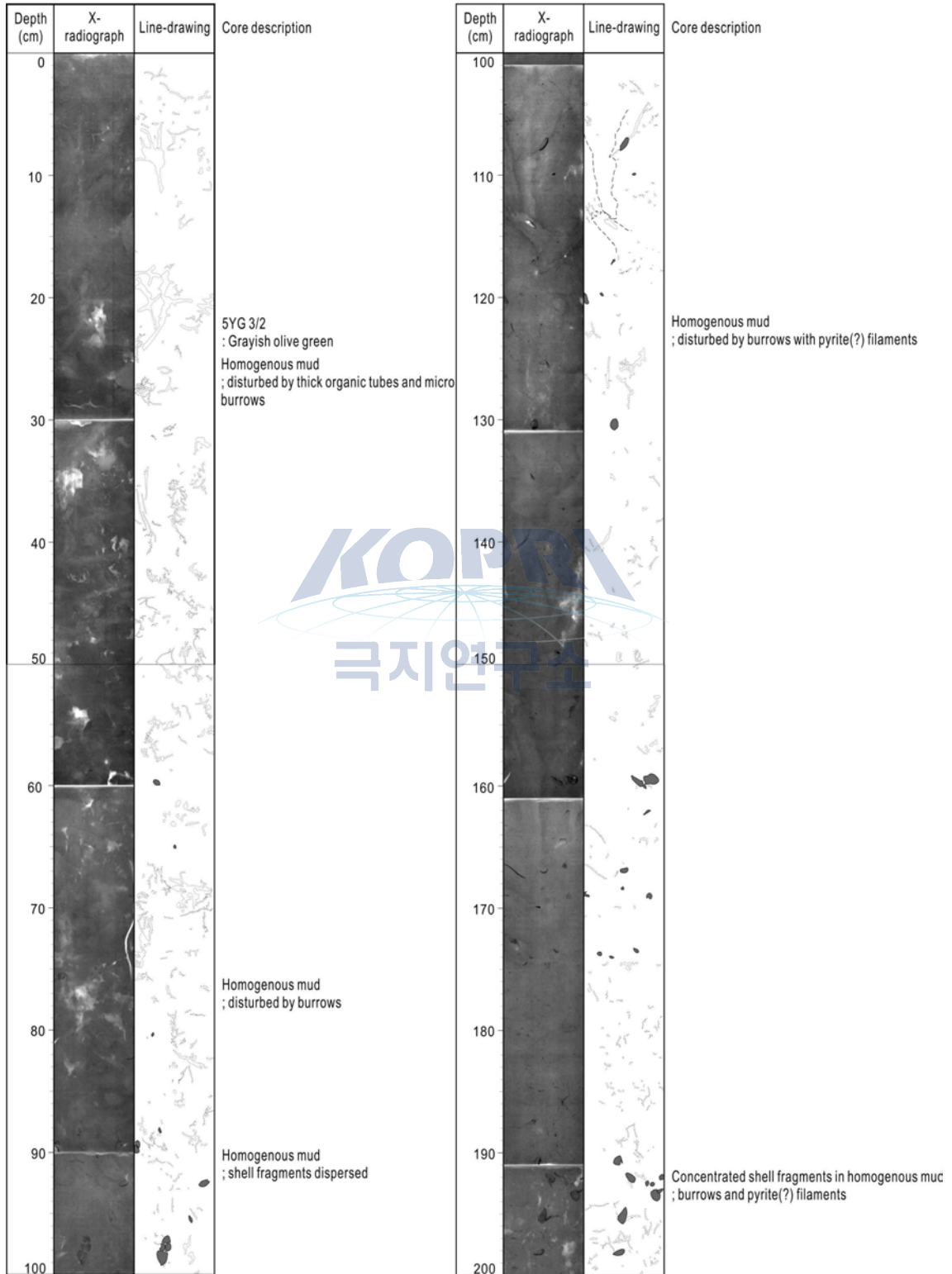
N



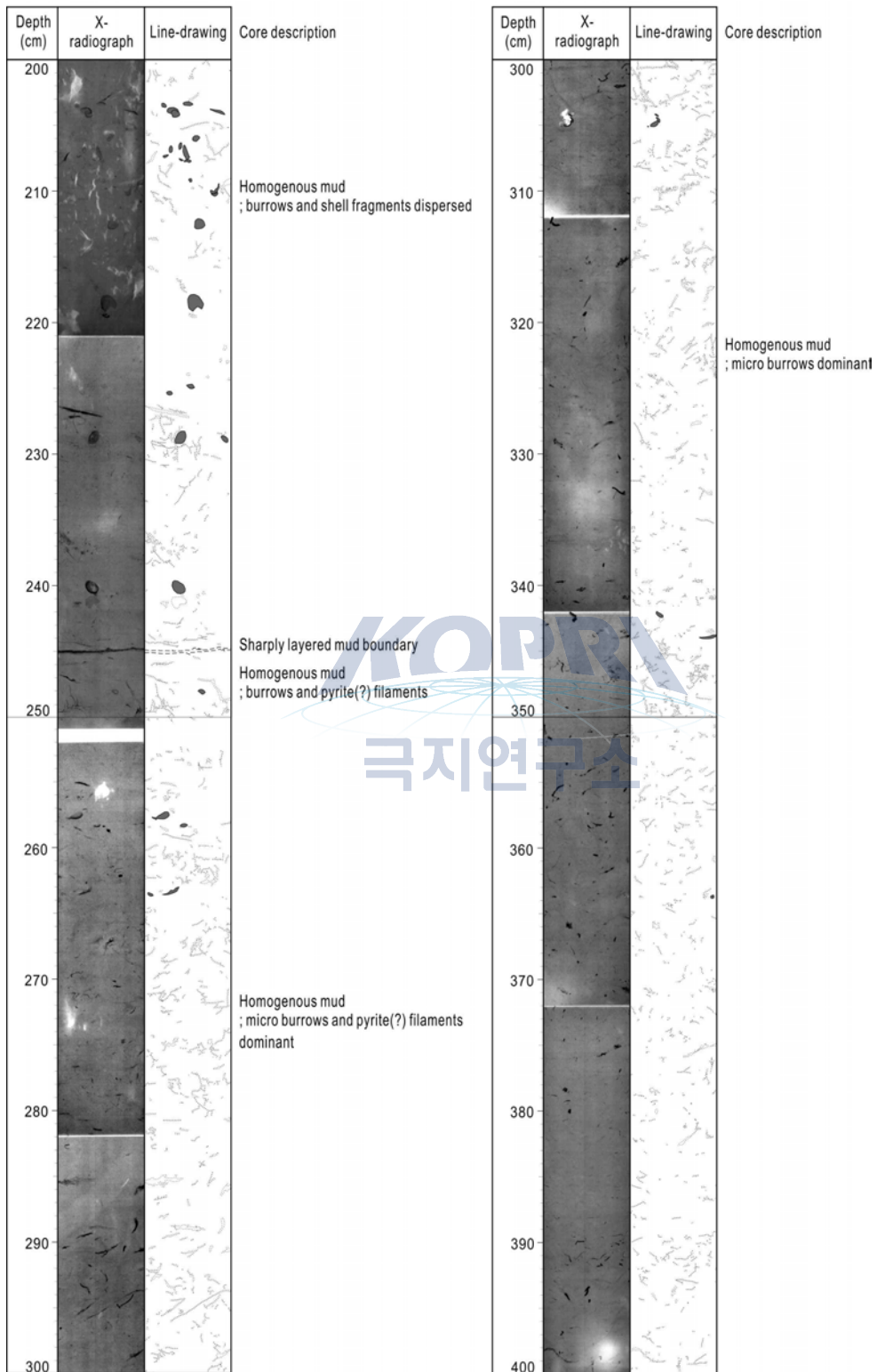
부록 3. 코아 주상도



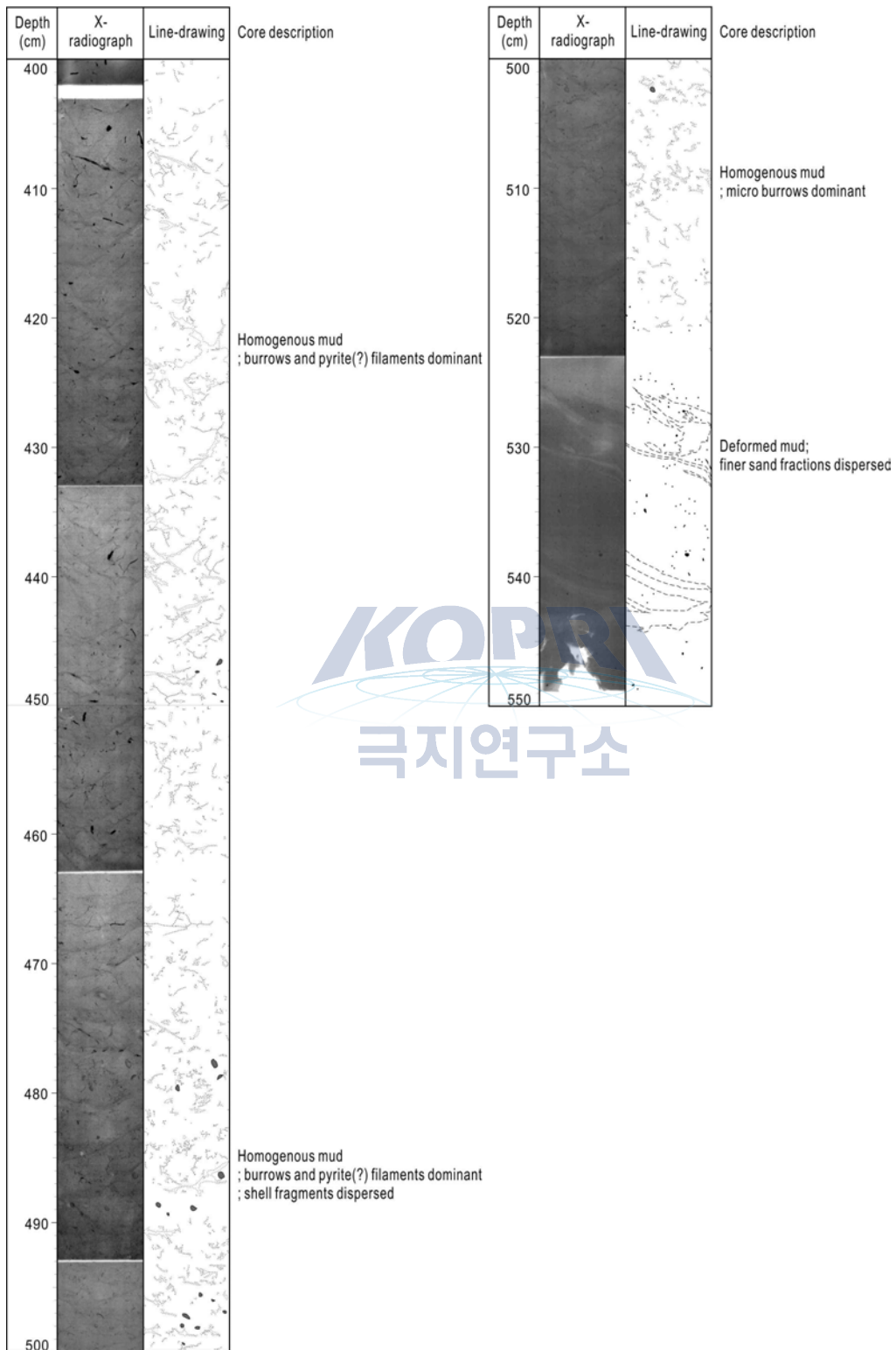
01AGC (0-200cm)



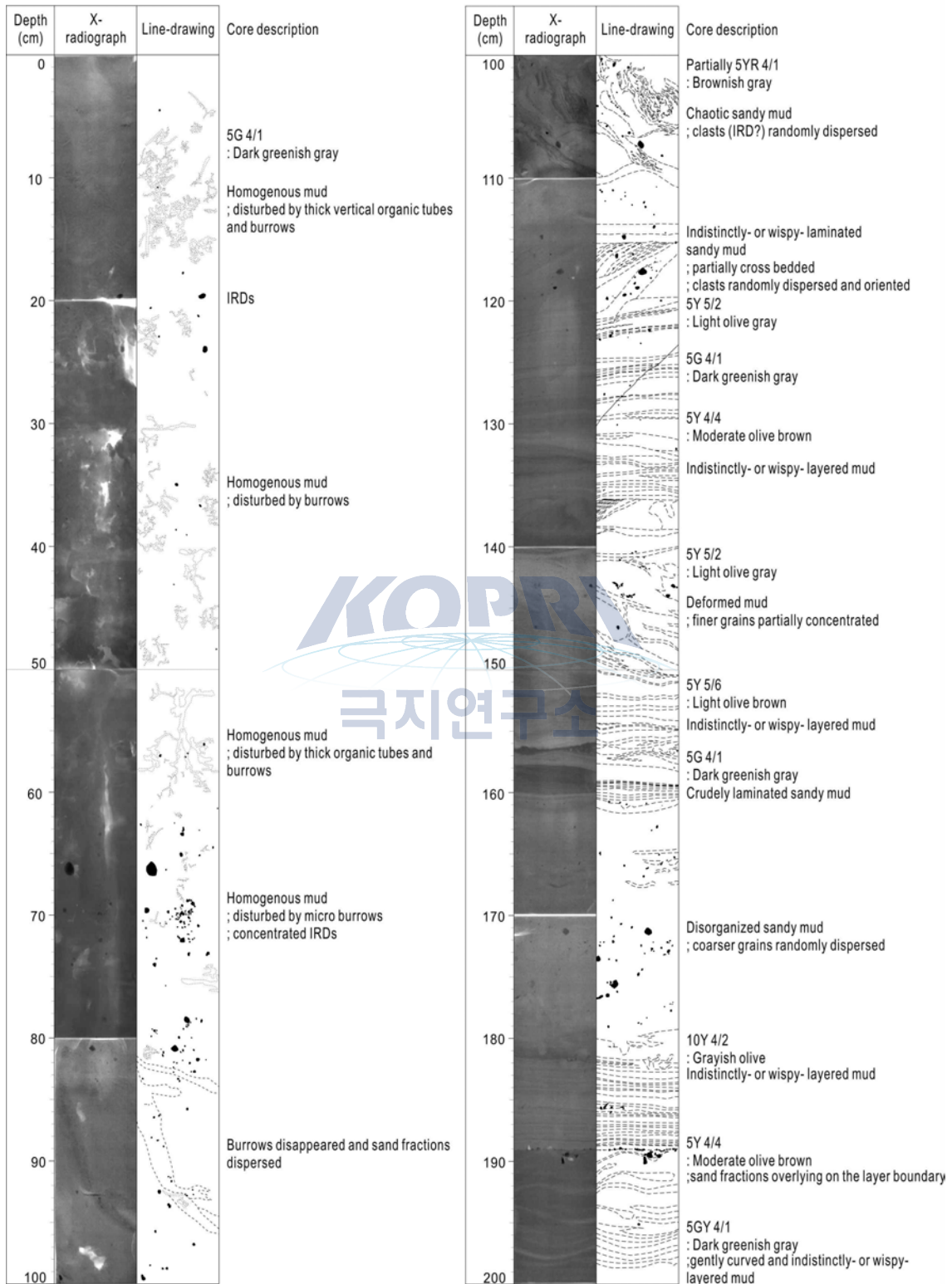
01AGC (200-400cm)



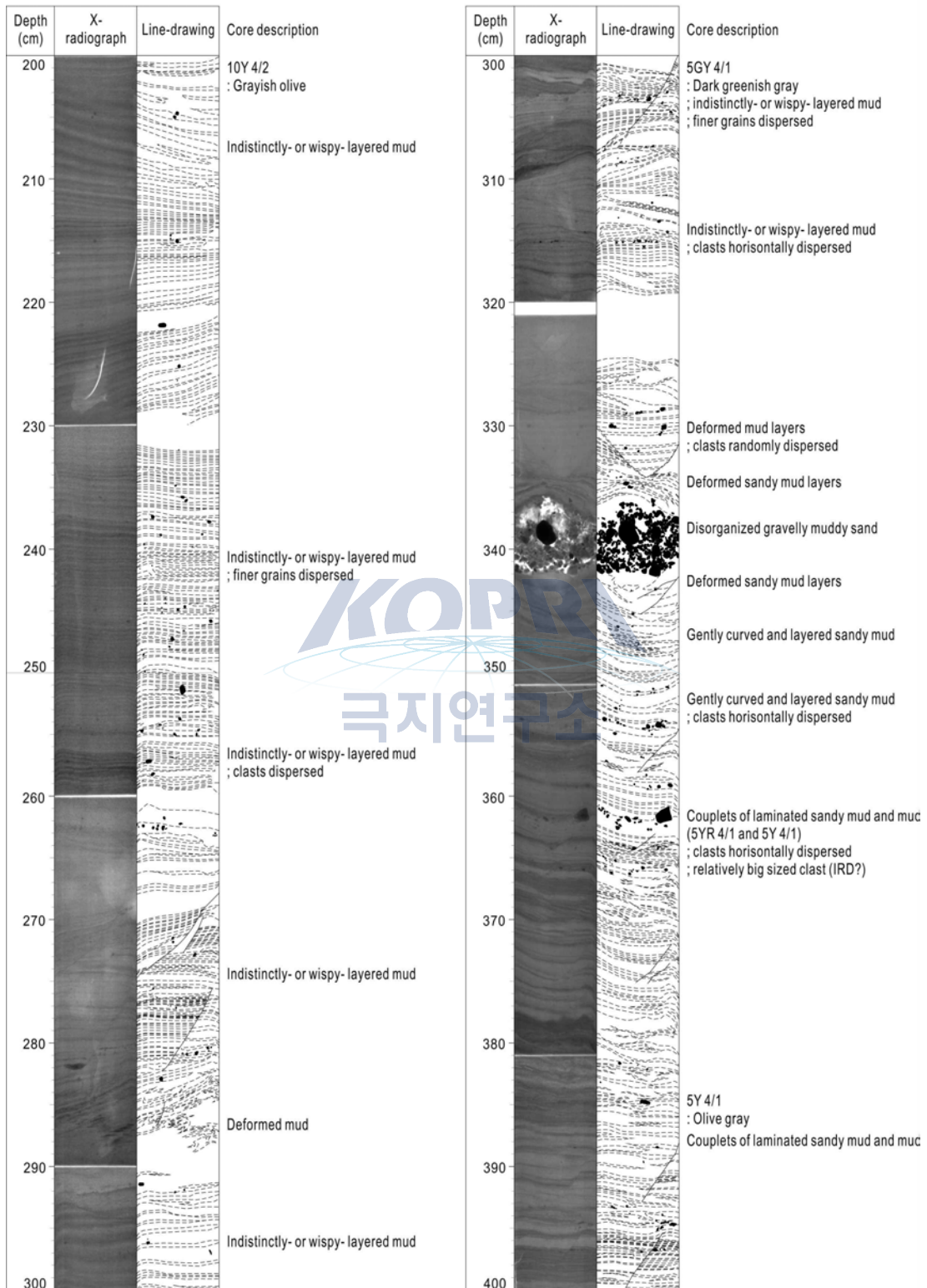
01AGC (400-550cm)



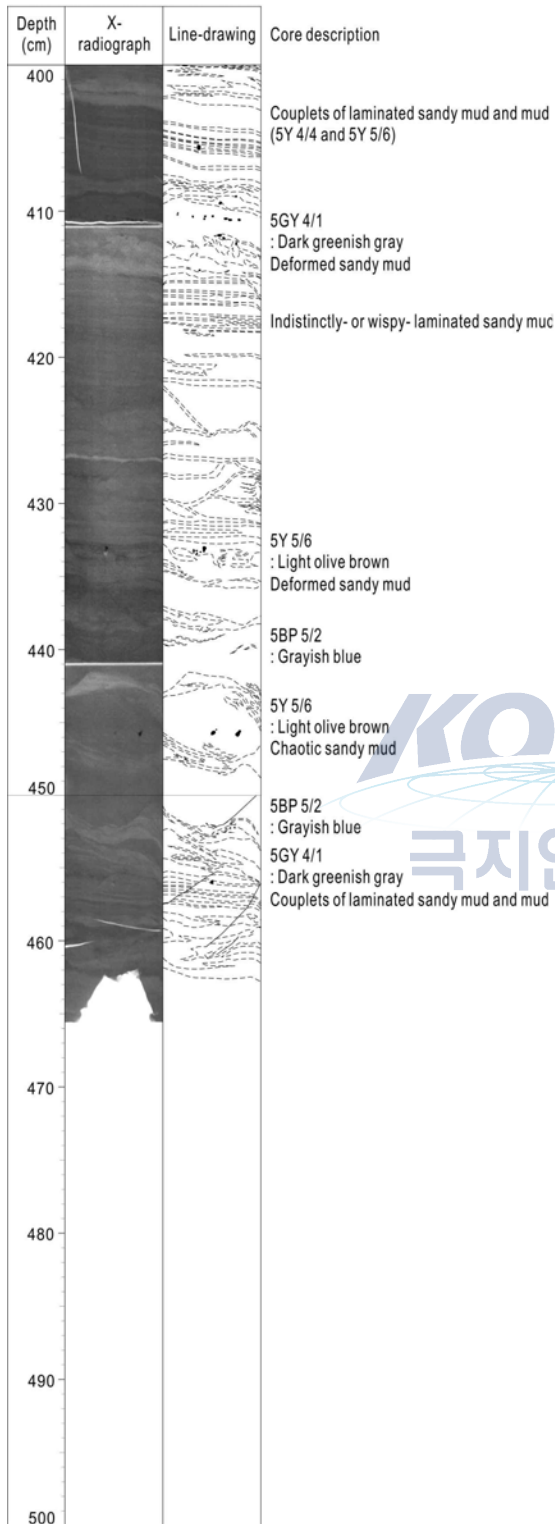
02GC (0-200cm)



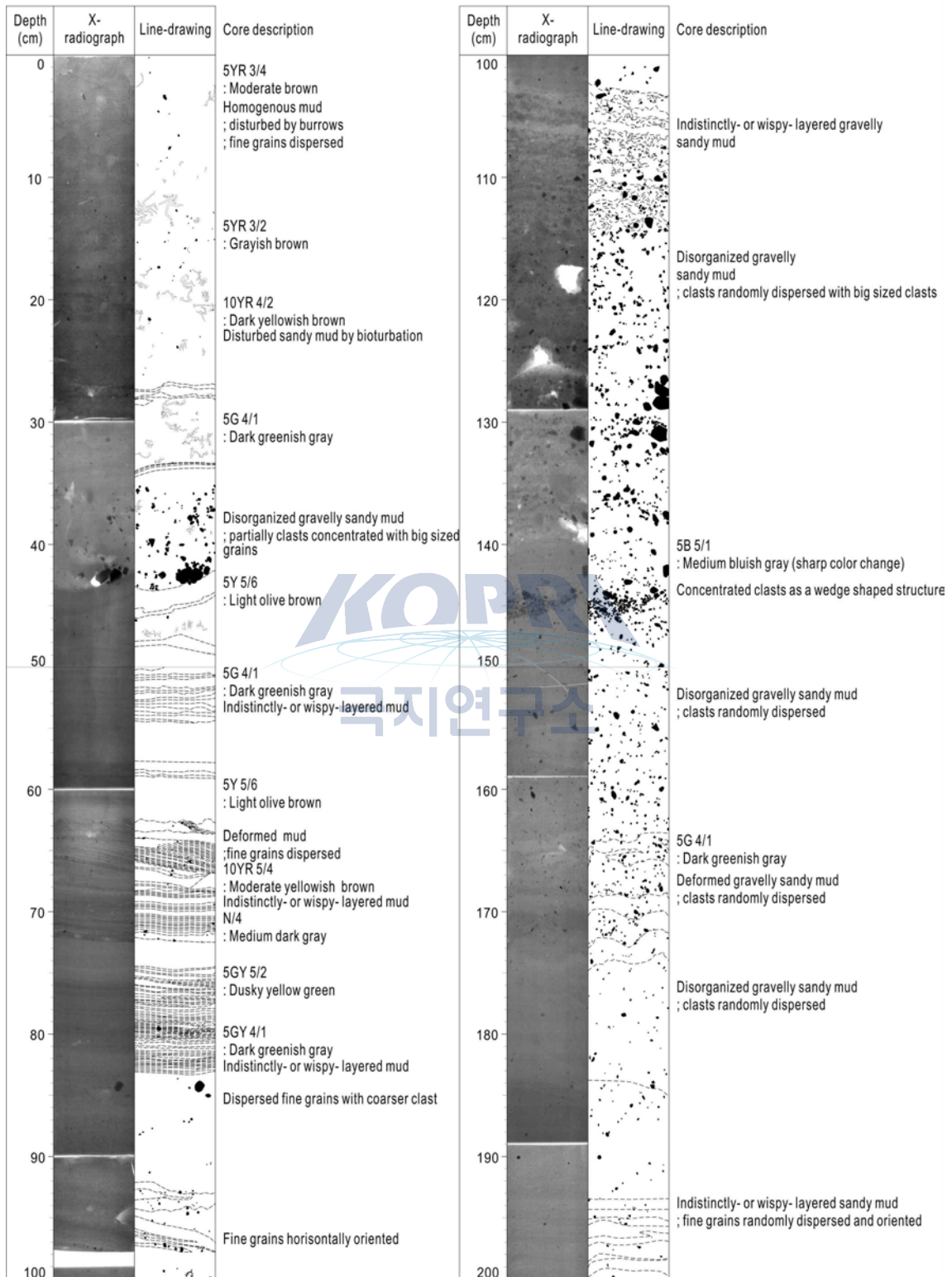
02GC (200-400cm)



02GC (400-500cm)



03AGC (0-200cm)

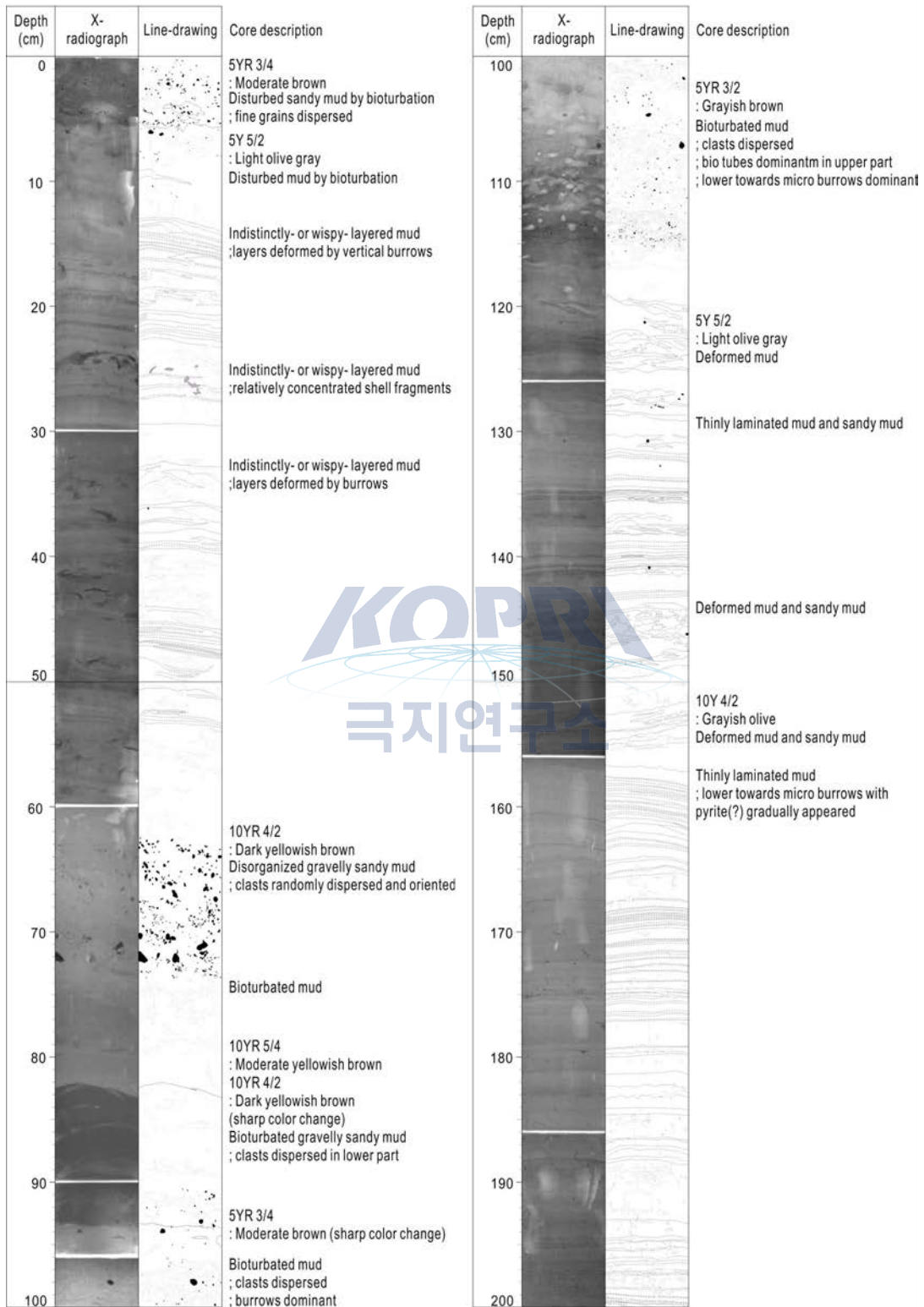


03AGC (200-250cm)

Depth (cm)	X-radiograph	Line-drawing	Core description
200			5B 5/1 : Medium bluish gray Disorganized gravelly sandy mud : clasts randomly dispersed
210			
220			5G 4/1 : Dark greenish gray Disorganized gravelly sandy mud : clasts randomly dispersed
230			
240			
250			



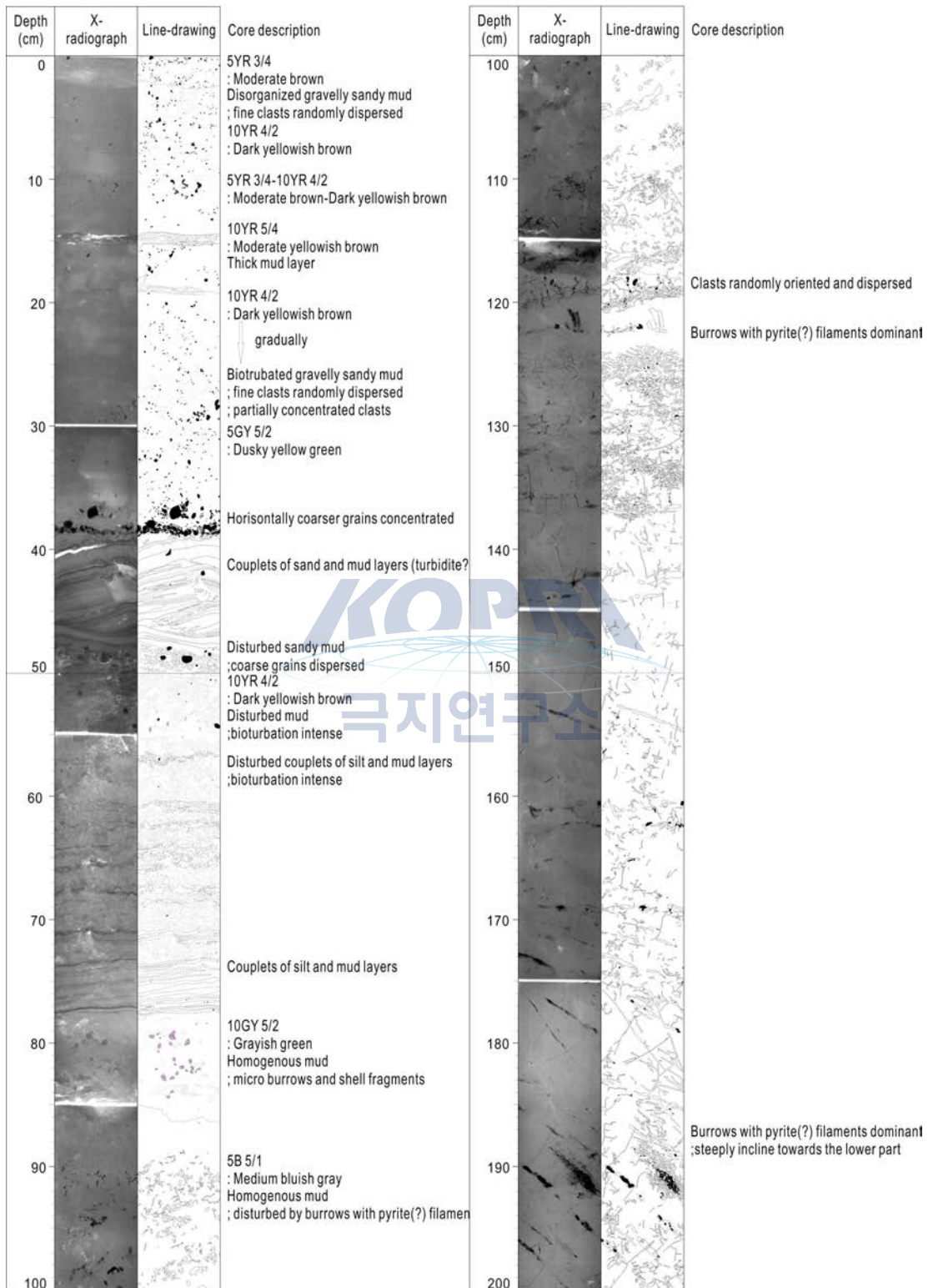
16BGC (0-200cm)





16BGC (200-400cm)

Depth (cm)	X-radiograph	Line-drawing	Core description	Depth (cm)	X-radiograph	Line-drawing	Core description
200			5Y 3/2 : Olive gray Deformed mud and sandy mud	300			Deformed mud ; clasts randomly dispersed
210			Indistinctly- or wispy- layered mud ; lower towards mud layers represent as deformed structure	310			5YR 3/4 : Light olive brown Disturbed mud by biotubes and burrows ; finer clasts randomly dispersed
220				320			5Y 5/6 : Light olive brown Deformed mud layers
230			10Y 4/2 : grayish olive	330			Indistinctly- or wispy-layered mud 5Y 5/2 : Light olive brown
240				340			Discontinuous sandy mud layers ; lower towards bioturbation appear ; fine clasts randomly dispersed
250			5GY 5/2 : Dusky yellow green Deformed silt and mud ; lower towards clasts dispersed	350			Deformed mud ; lower towards clasts randomly disperse
260			5Y 4/4 : Moderate olive brown 5Y 5/6 : Light olive brown 10YR 4/2 : Dark yellowish brown	360			5YR 3/4 : Moderate brown Deformed sandy mud ; finer clasts randomly dispersed
270			5Y 5/6 : Light olive brown Deformed silt and mud ; relatively coarser grains concentrated	370			5Y 5/6 : Light olive brown Deformed mud
280			Deformed sandy mud ; fine grains concentrated 5Y 5/6-N/6 : Light olive brown - medium light gray	380			
290			5G 6/1-5Y 5/6 : Greenish gray - Light olive brown Couples of sand and mud layers (turbidite?) 5Y 5/6-N/6 : Light olive brown - medium light gray	390			
300				400			

18AGC (0-200cm)



18AGC (200-250cm)

Depth (cm)	X-radiograph	Line-drawing	Core description
200			
210			
220			
230			
240			
250			





1. 이 보고서는 극지연구소 위탁연구기관에서 수행한 연구결과보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표할 때에는 반드시 극지연구소에서 수행한 위탁연구의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안됩니다.