

NOTE

## 피스톤식 자유낙하 주상시료 채취기

지상범 · 여영상 · 정희수 · 박동원 · 이근창  
한국해양연구소

### A Piston Type Free-fall Corer(KORDI-FFC)

SANG-BUM CHI, YOUNG-SANG EO, HOI-SOO JUNG, DONG-WON PARK AND GUN-CHANG LEE  
Korea Ocean Research and Development Institute, Ansan, P.O. Box 29, Seoul 425-600 Korea

해양 퇴적물의 주상시료 채취를 위하여 사용되는 자유낙하 코어러(free-fall corer, FFC)는 조사선의 원치와 케이블이 필요 없고 소형 조사선에서도 사용이 가능한 장비이다. 심해저 광물자원 탐사시 탐사효율을 높이고자 새로 개발된 피스톤형 자유낙하 코어러는 KORDI-FFC라 명명되었다. 이 장비는 피스톤 코어러(piston corer)와 자유낙하 코어러의 장점이 조합된 채취기로, 열린 배럴의 중력 코어러(open barrel gravity corer)를 변조하여 만든 기존의 자유낙하 코어러의 단점이 보강되었고 양질의 시료가 채취되도록 설계되었다.

본 장비를 진해만과 제주부근 해역에서 4회에 걸쳐 투하한 결과 교란이 적은 표층 퇴적물 시료가 성공적으로 채취되었다. 시험 결과 본 장비는 심해저 및 천해저에서 원치와 케이블, 갑판의 A-frame, 또는 해상 크레인 없는 소형 선박에서도 사용이 가능하고, 또한 최단 시간에 퇴적물 시료를 채취하며, 본 장비의 사용과 동시에 선상에서 자유롭게 다른 작업을 할 수 있고, 제작 및 소모 비용이 저렴하며, 표층퇴적물의 교란이 적은 양질의 시료를 채취할 수 있는 장점이 있다.

A new piston-type Free-fall corer (FFC) was developed for the sampling of core sediments in aquatic environments. The corer, named "KORDI-FFC", is the modified sampler of the existing FFC with an open barrel gravity corer. It was tested successfully on the muddy bottom in the Chinhae Bay and on the sandy bottom ( $M_z=3\phi$ ) in nearshore areas around the Cheju Island. Several merits found in the instrument are; ① operation on a small vessel without winch and cable, ② low cost of construction, ③ little disturbance of surface sediments during the sampling, ④ short round-trip time of sampling, and ⑤ simultaneous performance of other research works during the lowering of FFC.

## 서 언

해양학 연구에서 가장 기초적이고 중요한 시료채취 기법 중 하나는 해저면에서 퇴적물 주상시료를 채취하는 것이다. 채취된 시료는 지질학적, 지질공학적, 지구화학적, 그리고 저서생물학적 연구 등 광범위한 연구의 기초 자료를 제공한다. 지난 40년간 많은 학자들은 효율적인 주상시료 채취를 위해 여러 종류의 주상시료 채취장비를 고안·보고하였다(Bouma, 1964, 1969; Moore, 1961; Moore and Heath, 1978; Weaver and Schultheiss, 1990).

대부분의 주상시료 채취장비의 운영에는 조사선의 원치와 케이블, 비교적 많은 시간, 그리고 대형 조사선이 요구된다. 특히 평균 수심 5,000 m인 심해저에서 주상시료를 채취하는 것은 천해저에서와는 달리 장비의 이동 거리가 왕복 10,000 m로 매우 길다. 약 60 m/min의 속도를 가진 원치를 이용해 장비를 투하·회수할지라도 약 3시간 이상 소요되며, 채취장비의 해저면 착지를 확인하기 위하여 핑거 시스템(pinger system)을 사용해야하고, 윈치미터(winch meter)의 케이블 장력(tension)변화도 관찰해야하므로 많은 장비와 시간, 기술과 노력이 요구된다.

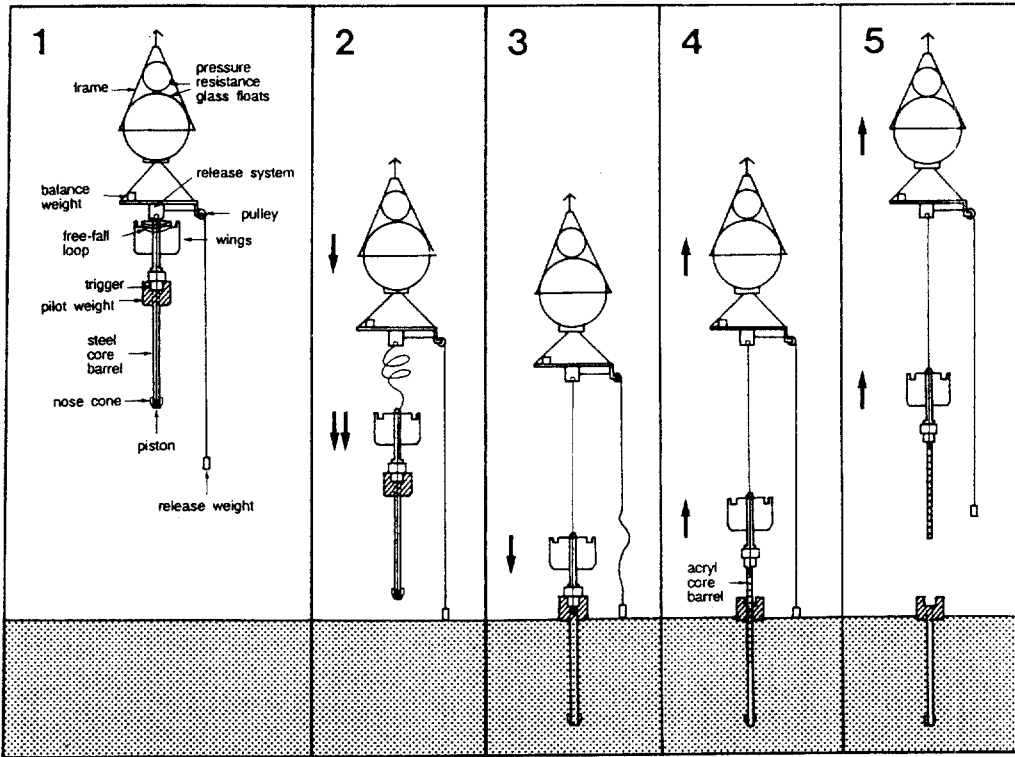


Fig. 1. Five operation sequence of KORDI free-fall corer.

- (1) The assembled unit is thrown overboard.
- (2) The release weight hits bottom and releases the sampling section with ballast.
- (3) Full penetration.
- (4) The trigger separates the ballast section from the corer.
- (5) The corer floats back up to the surface with the sample, leaving the ballast section behind.

이러한 문제점이 보완된 자유낙하식 코어러(free-fall corer)는 조사선과의 연결없이 해수로 자유낙하되어 해저면의 퇴적물을 채취하므로 조사선의 크기와 무관하게 원치 및 케이블 없이 사용이 가능한 저렴한 장비이다(Moore, 1961). Moore(1961)는 시간 지연 이탈장치(release-delay timer)를 이용하여 원형의 자유낙하 코어러(Moore free corer model 880)를 개발하였으며, 그후 Bowen and Sachs(1964) 그리고 Sachs and Raymond(1965)는 현재 Benthos사에서 생산 판매되는 변형된 형태의 자유낙하 코어러(Benthos model, 1890)를 발표하였다.

연성 퇴적물의 주상시료를 획득하기 위한 가장 간단한 방법은 자체의 무거운 중력을 이용하여 채취관을 해저면으로 삽입·채취하는 것이다(Halbach, 1988). 피스톤 코어러(piston corer)는 중력 코어러(gravity corer)의 단점을 보완하여 중력 코어러가 퇴

적물 내로 삽입시 코어러 퇴적물의 수축작용(Parker and Sills, 1990; Ross and Riedel, 1967; Weaver and Schultheiss, 1983)을 방지하고, 보다 깊고 양질의 시료를 채취하도록 고안되었다(McCoy, 1971; Moore and Heath, 1978).

기존의 자유낙하 코어러(boomerang corer, Benthos model 1890)는 열린 배럴의 중력 코어(open barrel gravity corer)를 변조하여 만든 것으로(Moore, 1961; Weaver and Schultheiss, 1990) 자유낙하에 따른 장점은 지니고 있으나 중력 코어러가 지닌 문제점을 그대로 안고 있다. 본 연구에서는 자유낙하식 코어러가 지닌 장점과 중력 코어러의 단점이 보완되고 피스톤 코어러의 장점이 접목된 새로운 형태의 피스톤식 자유낙하 코어러를 개발하였다.

본 연구의 목적은 새로 개발된 자유낙하 코어러의 특성 및 작동원리를 파악하고 장단점을 비교·검토

Table 1. Specifications of the piston type free-fall corer

Items	Specification		
	Model 2040-10V	Model 2040-17V	
Float section	Hard hat weight in air	0.74 kg	2.95 kg
	Weight in air	4.1 kg	17.7 kg
	Net buoyance	4.5 kg	25.4 kg
	Depth rating	6,700 m	6,700 m
	Outside diameter	25.4 cm	43.2 cm
	Inside diameter	23.6 cm	40.4 cm
	Frame material	Stainless steel construction	
Release section	Balance weight	Lead construction, 5.0 kg	
	Release weight	Stainless steel construction, 3.0 kg	
	Release system	Stainless steel construction	
Sampling section	Trigger	Stainless steel construction	
	Acryl core barrel	Length: 110(cm)×48.4(O.D. mm)	
	Piston	Stainless steel piston with rubber valve	
Ballast section	Dimension	110(cm)×55(O.D. mm)	
	Weight in air	37 kg	
	Materials	Mild steel core barrel, nose cone, and ballast: iron pilot weight	
Complete assembly	Weight in air	68.0 kg	
	Weight in water	20.0 kg	
	Length	2 m	

하여 천해저 및 심해저의 퇴적물 연구에 보다 유용하게 적용토록 정보를 제공하는데 그 목적이 있다.

### 장비 구성

자유낙하 코어러는 소모되는 밸러스트 부분(ballast section)과 회수되는 부분으로 나누어진다. 퇴적물 채취 후 해저면에 버려지는 밸러스트 부분은 파일럿 추(pilot weight)가 상부에 부착된 강철 코어 배럴(steel core barrel)로 구성되며 하부에는 퇴적물 침투가 용이하도록 원추형 두부(nose cone)가 부착되어 있다(Table 1, Fig. 1).

회수되는 부분은 (1) 부력부(float section), (2) 이탈부(release section), (3) 취부(sampling section)로 구분된다.

(1) 부력부는 중력에 의하여 해저면으로 투하된 채취기가 퇴적물을 채취한 후 해수면으로 상승하도록 부력을 제공하는 부분으로, Benthos사에서 제작한 2개의 심해용 유리 부이를 사용하였으며, 2개의 부이를 효과적으로 연결하기 위하여 틀(frame)을 제작·연결하였다.

(2) 이탈부는 ① 균형추(balance weight), ② 이탈부(release weight), ③ 이탈계(release system)로 구성된

다. ① 코어 배럴이 해저에 수직낙하 하도록 이탈추와 무게 균형을 위해 균형추를 부착하였으며, ② 이탈추는 채취기보다 해저면에 먼저 착지하여 이탈계의 작동에 의해 1-2 m를 코어러가 자유낙하하도록 한다. ③ 이탈계는 이탈추의 해저면 착지와 동시에 부력부에서 이탈되도록 고안되어 있다.

(3) 채취부는 퇴적물을 채취하는 부분으로 ① 분리장치(trigger), ② 아크릴 코어 배럴(acryl core barrel), ③ 피스톤(piston), 그리고 ④ 코어 캐처(core catcher)로 구성된다. ① 분리장치는 아크릴 코어 배럴과 밸러스트 부분을 분리시키는 것으로, 퇴적물 내에 삽입된 후 유리부이의 부력에 의하여 본체가 상승하면 밸러스트 부분이 분리되도록 고안되었다. ② 아크릴 코어 배럴은 퇴적물 시료를 담는 부분이다. ③ 피스톤은 채취기가 퇴적물 내에 삽입되는 동안 퇴적물과 해수와의 경계 부근에 위치하고 상부로 이동하면서 흡입작용을 하여 퇴적물 주상시료를 잡아당긴다. ④ 코어 캐처는 아크릴 코어배럴 내의 하부에 위치하며 채취된 시료가 빠져나가지 않도록 한다.

### 작동 원리

조사선상에서 조립된 채취기는 조사선과의 케이

Table 2. Results of free-fall corer tests

Times	Location	Water depth (m)	Travel time (min)	Core length (cm)	Sediment type
1	Jinhae Bay	27	<1	40	mud
2	Jinhae Bay	15	<1	60	mud
3	33° 34.147' N 127° 19.700' E	110	≐4	45	sand
4	34° 01.700' N 127° 19.700' E	35	≐1	40	muddy san

Table 3. The unit price of KORDI free-fall corer in 1994

	Water depth 0-50 m (1,000 won)	Water depth 500-6,700 m (1,000 won)
Ballast section	70(30)	70(30)
Acryl core barrel	10	10
Float section	200	700
Corer body	1,200	1,200
Total	1,480(14,40)	19,80(19,40)

블 연결 없이 해수로 투하되며, 수층을 자유낙하하여 해저면으로 내려진다. 채취기의 이탈추가 먼저 해저면에 닿음과 동시에 이탈계의 작동에 의해 채취부는 1-2 m를 수직 자유낙하하여 퇴적물 내로 수직 삽입된다(Fig. 1).

아크릴 코어 바렐 내의 피스톤은 채취기가 퇴적물 내에 삽입되는 동안 퇴적물과 해수와의 경계 부근에서 상부로 이동하면서 흡입작용을 발생시켜 퇴적물 주상시료를 잡아당긴다. 이러한 흡입작용은 코어 배럴 내부의 저항력에 의한 퇴적물 수축작용을 최소화시켜 채취되는 퇴적물의 교란을 최소화하고, 퇴적물의 채취깊이를 증가시킨다(Kennett, 1982; Bouma, 1969; McCoy and Herzen, 1971; Moore and Heath, 1978).

밸러스트 부분이 부력부에서 이탈되면 부력이 작용하고 채취부에 연결된 와이어를 당겨 채취기가 상승하게 된다. 이때 부이가 상승함으로써 아크릴 코어 배럴과 밸러스트 부분을 연결하는 고리(trigger)가 풀어지며 밸러스트 내에 위치하였던 퇴적물 시료를 포함한 아크릴 코어 배럴은 해수면으로 상승·회수된다(Fig. 1). 퇴적물 채취 후 선상으로 회수되는 동안의 퇴적물 시료의 분실 방지를 위하여 아크릴 코어 배럴 내의 하부에 코어 캐처(core catcher)를 부착하였다.

### 현장 실험

1차 시험은 1995년 2월 진해만에서 한국해양연구소 조사선 올림픽 5호를 이용하여 수행되었으며, 2회 투하·회수하여 평균 50 cm의 점토 퇴적물 시료를 채취하였다(Table 3). 1차 실험에서 발견된 문제점은 채취기가 퇴적물 내로 삽입되는 동안 코어 배럴 내의 해수 분출이 용이하지 않아 채취시료의 길이가 짧은 점이었으며, 채취기 몸체에서 이탈되어 자유낙하되는 케이블(free-fall loop)의 길이 그리고 이탈추와 몸체를 연결한 케이블의 길이간 자유낙하거리의 조정에 어려움이 있었다.

이러한 문제점을 보완된 2차 실험은 1995년 4월 제주도 부근해역에서 한국해양연구소 조사선 온누리호를 이용·수행하였으며, 2회 투하·회수하여 평균 43 cm의 점토질 모래 및 평균입도가 약 3φ인 모래 퇴적물 시료가 채취되었다(Table 3). 채취된 시료의 길이는 증가되지 않았지만, 채취된 시료가 조립질 퇴적물인 점을 감안하면 많은 향상이 있었던 것으로 판단된다.

### 장비의 경제성

본 장비는 조사선에서 케이블을 연결·사용하는 장비들과 비교해 정점작업에 따른 시간 소모없이 해저에서 퇴적물 코어 시료를 채취하므로, 본 장비 투하 후 선상에서는 자유롭게 다른 작업을 할 수 있다. 또한 대형 조사선의 윈치시스템, 케이블, A-frame, 그리고 선상 크레인 없이 소형 선박에서도 쉽게 사용이 가능하므로 매우 경제적이다.

본 장비의 제작에 소모된 비용은 먼저 퇴적물 채취 후 해저면에 버리고 올라와 매회 소모되는 밸러스트 부분의 제작에 약 7만원이 소요되었다. 부이는 심해용(최대 작동 수심 6,700 m)이 국내에서 생산되지 않으므로 2개 1세트의 수입 구입비 약 70만원, 퇴적물을 채취하는 채취기 부분 제작비가 120만원, 그

리고 아크릴 코어 배럴 구입비 1만원으로 실 제작 비용은 약 200만원이 소요되었다(Table 3). 그러나 상품·실용화되면 매회 소모되는 벨러스트의 단가는 대량(100개 이상) 제작시 약 3만원 정도로 낮아지며, 수심 500 m 이하의 낮은 수심에서는 가격이 저렴한 플라스틱 부이(약 20만원)의 사용이 가능하다. 따라서 연근해에서 사용 가능한 본 장비의 제작원가는 대당 150만원 정도가 소요될 것으로 예상되며, 매회 사용자 소모비용(벨러스트와 아크릴 코어 배럴)은 약 4만원이 될 것이다.

### 토의 및 결론

본 채취기는 피스톤 코어를 변형하여 개발한(한국해양연구소, 1995) 채취기이다. 따라서 본 장비는 기존 중력 코어에서 발생하는 단점, 즉 퇴적물 내로 삽입시 코어의 눌림에 의한 내부시료의 수축작용을 방지하고 보다 양질의 시료를 채취하도록 고안되었다.

지금까지 보고된 자유낙하식 코어러는 빠른 투하 속도(descent velocity: 219.5 m/min, Bouma, 1969; 425 m/min, Bowen and Sachs, 1964; round trip time: 1,000 m/15 min, Sachs and Raymond, 1965; Weaver, 1990)를 가지는데, 이로 인해 케이블을 연결하여 코어러가 작동되는 동안 수면하 해류(subsurface current)와 조사선의 표류에 의해 발생할 수 있는 투하지점과 채취지점간 오차가 감소되며, 따라서 조사정점 위치를 정확하게 할 수 있다(Weaver, 1990). 또한 빠른 투하속도로 인해 퇴적물 내로 코어러가 수직으로 삽입될 가능성이 커진다. 수면에서 투하된 후 해수면으로 상승까지의 소요시간 또한 매우 짧다.

본 장비의 빠른 해저면 착지 속도(3.6 m/sec, Bouma, 1969; 7 m/sec, Weaver, 1990)는 원치를 이용한 코어러로 채취된 퇴적물 시료 보다 기계적 교란 작용을 적게 받도록 한다. 특히 본 장비는 이탈추가 먼저 해저면에 닿음과 동시에 이탈계의 작동에 의해 1-2 m를 수직 자유낙하 함으로 기존의 자유낙하식 퇴적물 채취기에 비하여 더욱 빠른 해저면 착지속도(impact velocity)가 예상된다. 지금까지의 실험역 실험결과 본 장비는 점도질 퇴적물뿐만 아니라 평균입도 3 $\phi$  이상의 조립질 퇴적물 주상시료 채취에도 유용하다.

본 장비는 조사선의 정지시간 없이 지구물리탐사

또는 다른 시료 및 자료획득 장비를 운영하면서 투하 및 회수가 가능하며, 조사선이 이동하면서 거의 동시에 한 조사측선 상에 여러 개의 코어러를 투하 및 회수하므로 조사선 사용시간을 절약할 수 있다.

또한 기존의 자유낙하식 퇴적물 채취기는 전체 무게 82 kg(대기중 무게) 중 회수되는 부분이 11 kg이고 매회 소모되는 부분이 71 kg으로 1회 투하시 마다 많은 양의 소모성 장비가 요구되지만(Sachs and Raymond, 1965), 본 장비는 전체 무게 68 kg 중 37 kg만을 소모하여 보다 경제적이다.

그러나 본 장비는 1.2 m 이하의 짧은 채취깊이와 코어러의 직경이 4 cm로 제한되어 있어 보다 많은 양의 시료를 채취하도록 개량되어야 한다. 또한 야간 작업시에는 분실을 방지하도록 높은 압력에 견딜 수 있는 섬광장치(visible-light beacon)를 부착하는 것이 바람직하다.

본 장비는 심해저에서 뿐만 아니라 연근해에서도 원치 및 케이블이 없는 소형 선박에서도 사용 가능한 시료채취 기구로서, 비교적 저렴한 비용으로 짧은 시간 내에 교란되지 않은 퇴적물을 채취하므로 앞으로 그 활용성은 높을 것으로 사료된다.

### 감사의 글

본 연구는 한국해양연구소 심해저 탐사사업단원, 특히 기기실원의 노력에 의해 이루어 졌음을 밝힙니다. 또한 본 장비의 실험을 도와주신 은누리호 승조원 여러분과 지질부원, 그리고 심사를 해주신 부산대학교 이유대 교수님과 또 다른 한분의 심사위원께 감사드립니다.

### 참고 문헌

- 한국해양연구소, 1995. 자유낙하식 망간단괴 및 퇴적물 채취기 제작 연구. BSPEK 0010-793-7, 34pp.
- Bouma, A. H. and N. F. Marshall, 1964. A method for obtaining and analyzing undisturbed oceanic sediment samples. *Marine Geology*, 2: 81-99.
- Bouma, A. H., 1969. Methods for the study of sedimentary structures. J. Wiley & Sons, New York, 301-378.
- Bowen, V. T. and P. L. Sachs, 1964. The free corer. *Oceanus*, 11(2): 2-6.
- Halbach, P., G. Friedrich, and U. von Stackelberg, 1988. The Manganese Nodule Belt of the Pacific Ocean. Ferdinand Enke Verlag Stuttgart, 170-179.
- Isaacs, J. D. and G. B. Schick, 1960. Deep-sea free in-

- strument vehicle. *Deep-sea research*, 7: 61-67.
- Kennett, J. P., 1982. *Marine geology*. Prentice-hall, Inc., 93-103.
- McCoy, F. W. and R. P. Von Herzen, 1971. Deep-sea corehead camera photography and piston coring. *Deep-sea Research*, 18: 361-373.
- Moore, D. G., 1961. The free-corer: sediment sampling without wire and winch. *J. Sedim. Petrol.*, 31: 627-630.
- Moore, T. C., Jr., and G. R. Heath, 1978. Seafloor sampling techniques. *Chemical Oceanography*, 7: 75-126.
- Parker, W. R. and G. C. Sills, 1990. Observation of corer penetration and sample Entry during gravity coring. *Marine Geophysical Research*, 12: 101-107.
- Ross, D. A. and W. R. Riedel, 1967. Comparison of upper parts of some piston cores with simultaneously collected open-barrel cores. *Deep-sea Research*, 14: 285-294.
- Sachs, P. L. and S. O. Raymond, 1965. A new unattached sediment sampler. *J. Mar. Res.*, 23: 44-53.
- Weaver, P. P. E. and P. J. Schultheiss, 1983. Detection of repenetration and sediment disturbance in open-barrel gravity cores. *J. Sedim. Petrol.*, 53(2): 649-678.
- Weaver, P. P. E. and P. J. Schultheiss, 1990. Current methods for obtaining, logging and splitting marine sediment cores. *Marine Geophysical Research*, 12: 85-100.

---

Accepted July 28, 1995