

한반도 주변의 해저 케이블 전압측정을 통한 해수수송량 관측

김운배 · 김영호 · 유상진¹ · 김 구 · 최병호²
서울대학교 지구환경과학부 해양순환계연구실/해양연구소
¹MIT 지구대기환경과학과
²성균관대학교 도시공학과

Review on Monitoring Volume Transport through Measurement of Submarine Cable Voltages around Korea

YUN BAE KIM, YOUNG HO KIM, SANG JIN LYU¹, KUH KIM, BYUNG HO CHOI²

OCEAN Laboratory/RIO, School of Earth and Environmental Sciences, Seoul National University, Seoul, Korea
¹Department of Earth, Atmospheric and Planetary Sciences, Massachusetts Institute of Technology, Massachusetts, USA
²Department of Civil Engineering, Sung Kyun Kwan University, Suwon, Korea

대한해협 수송량의 시간변동성을 추정하기 위해 폐기된 대한해협 해저통신케이블을 사용한 해저케이블 전압측정이 1998년 3월 이래 진행되어 왔다. 해저케이블 측정 전압은 이 해협에 설치된 바닥계류형 ADCP 유속자료에서 계산한 수송량과 큰 선형 상관관계를 보였다. 이 논문에서는 국내 해저케이블 전압측정 연구를 간략히 정리하였다. 대한해협 해저케이블 전압측정 사례를 중심으로 해저케이블 전압측정 방법, 현재까지의 주요 관측 결과들을 소개하고, 향후 한반도 주변의 해저케이블 전압측정 연구 전망을 언급하였다.

Voltage induced by the Tsushima Current on an abandoned submarine telephone cable has been measured since March 1998 in order to monitor the volume transport through the Korea Strait. Voltage has a good linear relationship with the transport measured by bottom-mounted Acoustic Doppler Current Profilers (ADCPs) along a section spanning the Korea Strait. This paper reviews researches using submarine cables briefly; we introduce the method to measure voltage on submarine cables, present some results focusing on the example of the Korea Strait, and mention the future prospect to use other submarine cables around Korea.

Key words: Submarine cable voltage, Korea Strait, Transport

서 론

해협을 통해 유출입되는 해수 수송량의 변동은 해수순환 및 해수물성을 결정하는 중요한 요소이기 때문에 장기간 연속적인 관측이 필요하다(Kim *et al.*, 2004). 그러나, 기존의 해류계, 음향유속측정기 등을 이용한 방법은 경제적, 인적 자원의 문제 때문에 수송량을 연속적으로 관측하는 데는 현실적으로 어려움이 있다. 이에 반해, 자기장 내에서 도체가 운동할 때 기전력이 유도된다는 Faraday의 법칙과 해저에 통신 목적으로 설치된 케이블을 이용하면 손쉽게 수송량을 추정할 수 있다. 즉, 지구 자기장내에서 도체인 해수가 유동할 때 기전력이 발생하고 해협의 양안에 전위차가 발생한다. 이러한 전위차는 기본적으로 수송량에 비례하며 해저통신케이블을 이용하여 측정가능한 것으로 연구되어 왔다(Longuet-Higgins, 1949; Bowden, 1956; Cartwright and Crease, 1963; Sandford,

1971; Prandle and Harrison, 1975; Sandford and Flick, 1975; Prandle, 1980; Kawatate *et al.*, 1991; Larsen, 1992; Choi *et al.*, 1992, 1997).

Faraday는 1832년 자기장의 유도에 관한 발견 직후, 영국 도버 해협을 예로 들어 해협을 흐르는 조류의 방향이 바뀌면 전자기력의 방향 또한 변할 것이라고 예측하였다(Choi *et al.*, 1992). 그후, 1946년 영국과 미국간의 해저전화선 복구과정에서 조류 변화에 따른 전자기력의 변화가 보고되면서 해저통신케이블을 이용한 연구가 시작되었다. Longuet-Higgins(1949)은 이 관측보고를 토대로 해협을 통과하는 해수의 전기적 포텐셜 분포에 대한 이론적 배경을 수립하였다. Bowden(1956)은 도버해협에서 1953년 2월부터 1954년 6월의 해저전화케이블 측정 전압에서 조석주기의 변동이 있음을 확인하였으며 측정전압이 지자기 수평성분의 변동과 관계가 있음을 보고하였다. 도버해협 이외에 Irish sea, British Isles 등에서 해저케이블 전압측정 연구가 진행되었다. 특히, 미국 해양대기청(NOAA)의 Larsen(1985)은 북대서양의 주요 해류인 플로리다

Corresponding author: tokdo@ocean.snu.ac.kr

해류의 수송량을 정량적으로 밝히기 위해 지난 1981년부터 플로리다 해협을 가로지르는 해저케이블의 전압을 측정하고 있다. 플로리다 해협 해저케이블 관측 사례는 인터넷 홈페이지(<http://www.pmel.noaa.gov/wbcurrents/cabletransport.html>)에 소개되어있다.

이 논문에서는 국내 해저케이블 전압측정의 역사를 간략히 정리하고, 대한해협 해저케이블 사례를 중심으로 해저케이블 전압측정 방법, 측정전압에 영향을 주는 요인, 그리고 현재까지의 주요 관측결과를 기존 연구결과를 바탕으로 정리하였다. 마지막으로 향후 한반도 주변해역에서 해저케이블 연구 전망을 소개하였다.

국내 해저케이블 전압측정의 역사

우리나라 주변해역의 해저케이블 전압측정 연구는 1980년 11월 개통된 부산 송정과 일본 하마다를 잇는 대한해협 해저케이블(JKC)을 사용하여 대한해협을 통과하는 해수수송량을 추정하려는 연구에서 시작되었다. 통신목적으로 사용중인 대한해협 해저케이블을 이용하여 서울대학교 김구 교수, 성균관대학교 최병호 교수와 일본 구주대학교 Kawatate 교수를 주축으로 한일간 국제공동연구로 1987년 8월부터 일본 하마다에서 관측이 시작되었다. 일본쪽의 관측은 이후1993년까지 지속되었으며(Kawatate *et al.*, 1991), 한국쪽은 KT 부산해저중계국에서 1990년 3월부터 1996년까지 관측이 진행되었다(Bahk, 1991; Choi *et al.*, 1990, 1992, 1994, 1997). 이어 신규 광통신케이블 설치에 따라 기존 해저케이블이 용도 폐기되어 1997년 12월에 한국통신과 일본 KDD(Kokusai Denshin Denwa)로부터 각각 서울대학교 해양연구소와 동경대학교 해양연구소에 GOOS/NEAR GOOS의 핵심과제의 일환으로 대한해협 해저케이블이 양도되었다. 이에 따라 서울대학교 해양연구소에서는 대한해협 수송량 관측을 목적으로 해저케이블 전압측정

시스템을 송정과 서울에 설치하여 1998년 3월 1일부터 현재까지 실시간으로 해저케이블 전압을 측정하고 있다. 측정된 전압자료와 전압자료에서 계산한 수송량 자료는 서울대학교 해양순환계 연구실 홈페이지(<http://eastsea.snu.ac.kr>)를 통해 준실시간으로 공개되고 있다(Fig. 1).

대한해협 해저케이블 전압측정 연구에 이어 지난 2000년에는 1993년 12월 개통되어 통신목적으로 운용중이던 강원 호산 - 울릉도간 해저광케이블을 사용한 전압측정 연구가 서울대학교 해양연구소에 의해 시도되었다. 총 연장 159 km의 호산 - 울릉도간 구간은 동한난류 및 북한한류에 의한 수송량의 변동이 예측되는 구간으로 운용중인 케이블을 이용하여 전압을 측정한 대한해협 해저케이블 연구의 초창기 사례를 바탕으로 호산 - 울릉도간 해저케이블 전압측정이 시도되었다. 2000년 4월 7일 케이블 운용관계자와 서울대학교 해양연구소간에 전압측정 계획에 따른 시스템 검토 결과, 통신 시스템의 정상 운용에 전압측정이 큰 영향을 주지 않는 것으로 파악되었다. 하지만 예비 전압측정의 결과, 운용중인 해저광케이블 시스템을 사용하는 데 따른 연구의 제한성과 9.8 km(호산쪽 2.8 km, 울릉도쪽 7 km)의 비교적 긴 케이블 육상구간에서 유도되는 오차전압 문제 등으로 2001년 11월에 전압측정이 잠정 중단되었다.

이에 앞서 2000년 10월 31일에는 본래의 통신목적 활용이 중단된 제주 - 고흥간 해저케이블을 사용한 전압측정이 시작되었다. 1990년 4월 개통된 제주 성산포와 전남 고흥간을 잇는 총 연장 169 km의 제주 - 고흥간 제1해저 케이블은 대체 해저케이블 설치에 따라 용도 폐기되어 KT로부터 서울대학교 해양연구소에 2000년 9월 1일부로 양도되어 전압측정이 시작되었다. 하지만, 제주 - 고흥간 해저케이블 전압측정은 케이블 훼손 문제로 2001년 9월 관측이 중단된 상태이며, 현재 이 케이블의 복구를 위한 대책을 마련중이다.

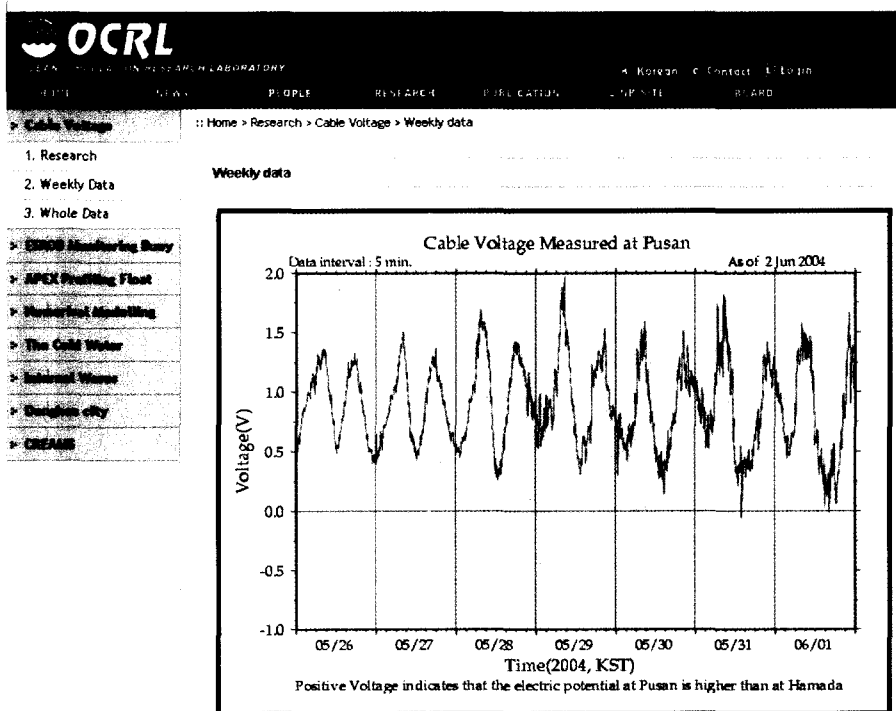


Fig. 1. Cable voltage measured at Pusan is available real-time through the internet homepage (<http://eastsea.snu.ac.kr>) of Ocean Circulation Research Laboratory, Seoul National University.

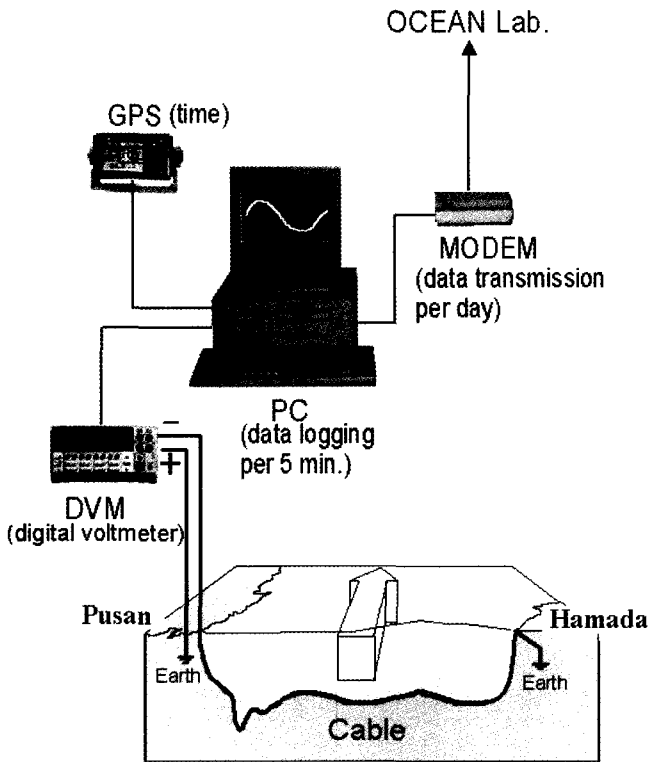


Fig. 2. Schematic diagram of the voltage-derived transport monitoring system through the Korea Strait using submarine cable between Pusan, Korea and Hamada, Japan.

케이블 전압 측정시스템

Fig. 2는 대한해협 해저케이블 전압측정과 자료전송의 개념도이다. 케이블은 부산 송정(129.2295°E, 35.1608°N)에서 시작되어 대한해협을 가로질러 일본의 하마다(132.1295°E, 34.9720°N)까지 이어진다. 케이블이 설치된 구간의 평균수심은 약 130 m이고, 최종 수심은 해협의 서쪽에서 160 m이다.

총연장 285.637 km인 대한해협 해저케이블은 모두 6종류의 케이블로 구성되어 있다. 이중 199.081 km 구간에 걸쳐 사용된 KC-383형 CS-36M 무외장 케이블의 경우, 가장 안쪽의 중심강선을 구리로 된 동축이 감싸고 있으며, 그 밖에 polyethylene으로 된 절연체가 있으며, 그 외부를 외부도체와 방수섬유가 감싸고 있다. 다른 유형 또한 가장 안쪽에 구리로 된 동축이 감싸고 있다(Fig. 3). 접지에 사용된 것은 가장 안쪽의 동축이다.

부산 송정에서 전압을 측정하기 위해 사용한 전압측정기는 Keithley DVM(Digital Voltmeter) 2000으로 해상도는 1.0×10^{-6} volt이며, 정확도는 $\pm 8.0 \times 10^{-5}$ volt로 1000 volt까지 측정가능하다.

케이블은 송정에서 지표면에 접지된 부분을 양(+)으로 하고, 하마다에서 접지된 부분을 음(-)으로 하여 DVM전압측정기에 연결하였다. DVM전압측정기가 송정에 위치하고 있어 해협을 가로지르지 않고 케이블이 바로 지표면에 접지되는 송정쪽에서는 전위가 0이 되므로 해협을 가로지르는 하마다 쪽의 전위를 측정하게 된다.

송정에서 측정된 전압을 서울에 위치한 서울대학교 해양연구소로 전송하기 위하여 PC와 GPS, 그리고 모뎀을 추가로 송정에 설

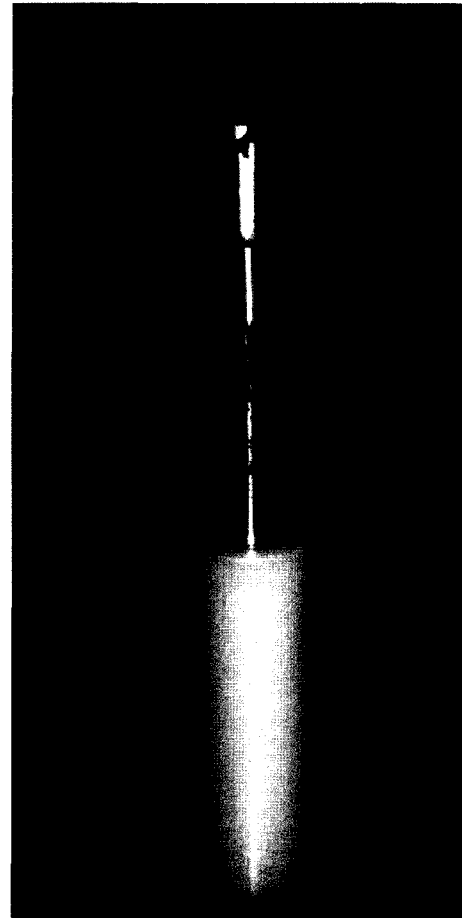


Fig. 3. Sample of submarine cable between Pusan, Korea and Hamada, Japan.

치하였다. 송정 시스템을 제어하는 베이직 기반의 CDT(Cable Data Transmission) 프로그램은 측정간격, 자료 전송속도 등에 대한 명령을 내린다. 현재 DVM 전압측정기는 0.5초에 3번 전압을 측정하며, 측정된 전압차를 평균하여 하나의 전압자료로 생산하므로 1초에 2개의 전압자료를 산출한다. 이 자료는 1초에 1개씩 추출되어 통신포트를 통해 PC로 전송된다. 컴퓨터에서는 5분에 1번씩 처음 50초 동안 50개의 자료를 전송받아 평균하므로 최종적으로 5분간격의 전압측정 자료를 얻게 된다. 또한 정밀한 측정시간을 위해 송정에 설치된 컴퓨터 시간을 GPS 시간과 일치시켜 전압을 측정하고 있다.

측정전압에 영향을 주는 요인들

해저케이블에서 측정된 해협 양단의 전위차에는 해수운동에 의해 유도된 전압 뿐만 아니라 여러 다른 요인들에 의한 전압이 포함될 수 있다는 것이 기존 연구에 의해 밝혀졌다(Bowden, 1956; Sanford and Flick, 1975; Larsen, 1992).

측정전압에 영향을 주는 주요 요인들은 다음과 같다.

$$\Delta\phi(t) = \Delta\phi_M(t) + \Delta\phi_N(t) + \Delta\phi_G(t)$$

$\Delta\phi$: 측정된 전압

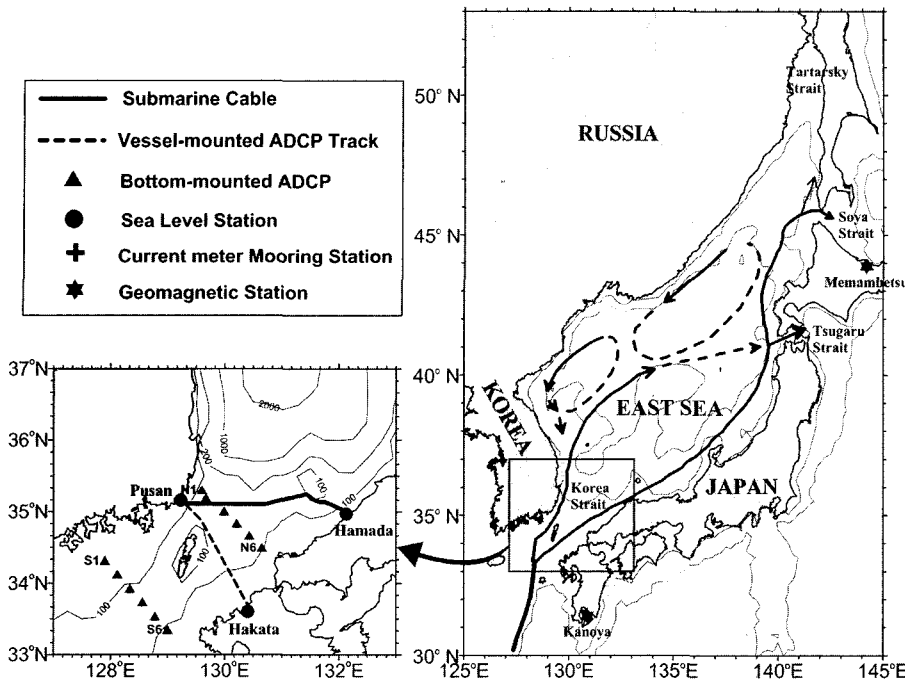


Fig. 4. Arrangement of the submarine cable between Pusan, Korea and Hamada, Japan, bottom-mounted ADCP mooring stations, vessel-mounted ADCP track, and geomagnetic stations. Bold arrows in the right panel denote surface currents in the East Sea suggested by Uda (1934). Light lines are depths in meters.

- $\Delta\phi_M$: 해수운동에 의해 유도된 전압
- $\Delta\phi_N$: 접지부분에서 발생한 전압
- $\Delta\phi_G$: 지자기장의 수평성분의 변화에 의해 유도된 전압

현재까지의 주요관측결과

각각의 요인들의 설명은 Lyu(1999)의 논문에 자세히 언급되어 있다. 해수운동에 의해 유도되는 기전력은 해협 밑의 전도성이 있는 상층지각을 흐르는 전류에 의해 그 크기가 감소되지만, 이러한 감소효과는 전도도가 일정할 때 시간에 따라 일정하므로 특별한 보정이 필요하지 않다. 지자기 수직성분의 변동도 측정전압에 영향을 줄 수 있지만 측정전압에 대한 영향이 약 0.1% 정도로 미약하다. 반면에 측정전압에 약 10%의 영향을 미치는 해수 전도도 변동과 지자기장 수평성분 변동은 변동폭이 크며 시간에 따라 변동폭이 달라지므로 보정이 필요하다(Lyu,1999).

해저케이블을 해협 양안의 지각에 접지하는데 사용한 접지봉의 종류에 따라 오차가 발생할 수 있다. Larsen(1992)은 해협 양안의 접지봉의 종류가 다를 때 해수운동이 아닌 접지봉에 의한 전압차가 발생한다고 하였다. Larsen(1992)에 의하면 해협 양안에 각각 Ag-AgCl, Cu를 접지봉으로 사용했을 때는 모두 Ag-AgCl을 사용했을 때 보다 221.9 mV 만큼 전압이 높게 측정되었다. 대한해협 해저케이블의 경우 해협 양안에 모두Cu 접지봉이 사용되었다.

한편, 전압측정에 영향을 준 예로 지난 2003년 10월 29일 무렵에 발생한 태양 자기폭풍을 들 수 있다. 미국 하버드 스미소니언 센터에 따르면 태양표면에서 발생한 자기폭풍의 고에너지 입자들이 29일 16시경 지구에 도달한데 이어, 두번째 폭풍이 31일 1시경 지구에 도달하였다. 이 무렵 대한해협 해저케이블 측정 전압은 29일 15시 무렵 6 volt, 31일 5시 무렵 7 volt 이상이 관측되었다. 케이블 전압측정 자료가 1998년 3월부터 2002년 4월 기간동안 1.5 volt의 변동범위를 보이며 평균 0.781 volt 가 관측되었음을 고려할 때, 태양 자기폭풍의 영향이 케이블 전압측정에 영향을 미친 것으로 판단된다.

해저케이블 측정전압에서 해수수송량을 계산하기 위해서는 적절한 환산식을 구해야 하며, 이에 앞서 측정전압 변동이 유속자료의 변동과 잘 일치하는지 검증할 필요가 있다. 검증을 위하여 대한해협의 경우, Lyu and Kim(2003)과 Kim et al. (2004)은 미국 해군 연구소(NRL: Naval Research Laboratory)에서 1999년 5월부터 2000년 3월에 대한해협 2개 단면에 설치하여 얻은 12개의 해저계류형 ADCP 유속 자료(Teague et al., 2002) 와 부산 - 일본 하카다를 왕복하는 여객선의 바닥에 장착한 ADCP 유속계에서 관측한 유속자료를 사용하였다(Takikawa et al., 1999)(Fig. 4).

Fig. 5는 조석에 의해 유도된 전압을 제거한 후 지자기 효과를 보정한 전압과 대한해협 남쪽단면에서(Fig. 4) 해저계류형 ADCP 유속자료로부터 계산한 수송량 간의 선형회귀이다. 측정전압과 관측 유속에서 계산한 수송량은 상관계수 0.85로 매우 큰 상관성을 보여 대한해협 해수 수송량을 추정하는데 케이블 전압측정이 매우 신뢰할만한 방법임을 보여준다. 측정전압과 부산 - 하카다간 왕복여객선 ADCP 유속자료에서 계산한 수송량과의 비교에서도 큰 상관성을 보였다(Kim et al., 2004). 또한 Lyu and Kim(2003)은 케이블 측정전압이 대한해협 양안에 해당하는 부산과 일본 모지의 해수면차 자료와도 약 0.8의 큰 상관성이 있음을 보였다.

Fig. 6은 케이블 전압에서 계산한 수송량과 바닥계류 ADCP 유속자료에서 계산한 수송량(Teague et al., 2002)의 시계열 자료이다. Fig. 6에 따르면, 3~7일 혹은 약 1개월의 시간규모에서 2~3 Sv(1 Sv: 10⁶ m³ s⁻¹) 보다 큰 수송량 변동을 확인할 수 있다. 이러한 변동폭은 대한해협에서 이전에 알려진 계절변동보다 큰 변동폭이다. 이전의 연구에서 거의 보고되지 않았던 다양한 주기의 변동을 정량적으로 보인 것은 대한해협 해저케이블 전압측정의 매우 주목할만한 연구 결과이다(Kim et al., 2004). 한편, Lyu et al.

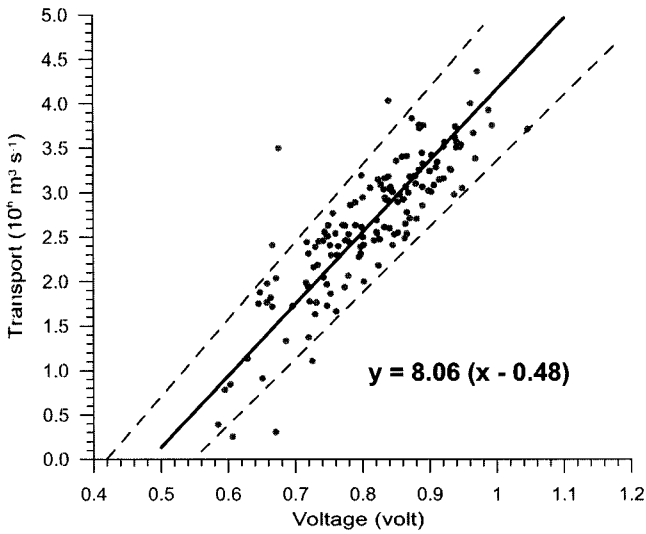


Fig. 5. Linear regression between transport observed by the bottom-mounted ADCPs (Teague *et al.*, 2002) and voltage data measured on submarine cable through the Korea Strait. 144 data in each data set are used after low-pass filtering with a half-power period of 36 hours and subsampling every 2 days. The thick solid line is the linear regression line and dashed lines are standard error bounds. (from Kim *et al.*, 2004)

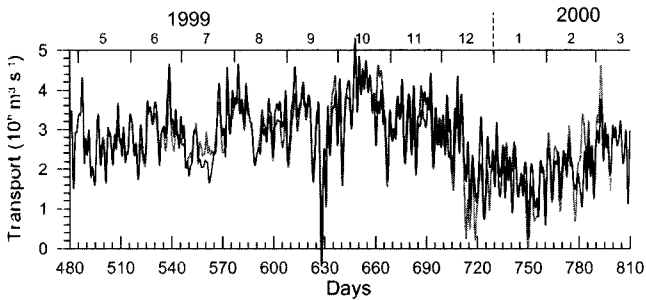


Fig. 6. Time-series of voltage-derived transport (dark line) and observed transport (light line) by the bottom-mounted ADCP, after low-pass filtering with a half-power period of 36 hours. (from Kim *et al.*, 2004)

(2002a)은 2~3 Sv의 변동폭을 갖는 3~7일 주기의 대한해협 수송량의 변동이 대기압 변동에 따른 동해의 비정상적인 반응을 보였다.

Fig. 7은 케이블 전압에서 계산한 수송량을 90일 저주파 필터한 시계열 자료이다. 관측기간 동안 1999년 10월에 3.4 Sv으로 최대,

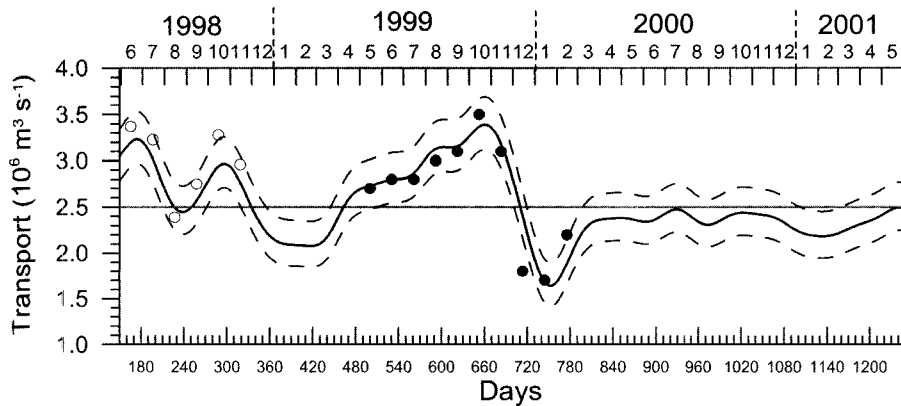


Fig. 7. Seasonal variations of voltage-derived transport (solid dark line) after low-pass filtering with a half-power period of 90 days, where dashed lines are 95% confidence intervals. Open and closed circles designate monthly mean transport observed by the vessel-mounted ADCP and the bottom-mounted ADCP, respectively. The solid light line is the mean transport of voltage-derived transport. (from Kim *et al.*, 2004).

2000년 1월에 1.6 Sv으로 최소를 보인다. 비록 여름, 가을철에 크고 겨울, 봄철에 작은 경향을 보이지만, 격년 변동성 또한 주목된다. 2000년 여름철부터 2001년 봄철에 계절 변동성이 매우 적었으며, 연평균 수송량의 경우 1999년에 비해 2000년에 0.4 Sv 만큼 감소하였음을 알 수 있다. 특히, 2000년 가을철에 대한해협을 통해 동해로 유입되는 해수수송량이 관측기간의 평균 2.5 Sv 보다 적은 값을 보여주고 있는데, 이러한 관측결과는 Mitchell *et al.* (2003)의 연구에서 보고된 2000년 6월~11월 기간동안 동한난류가 한국연안을 따라 북상하지 않는 것에 대한 역학적 해석에 도움을 줄 수 있을 것으로 기대된다.

이처럼 대한해협 해저케이블 전압측정 자료는 유속자료에서 계산한 수송량과 큰 상관관계를 가지고 있으며, 이전의 연구에서 전혀 보고되지 않았던 대한해협 해수수송량의 3~7일, 1개월 규모, 격년규모 등 다양한 주기의 변동을 장기간 연속적인 관측을 통해 처음으로 밝힐 수 있었다. 이는 대한해협 해저케이블 연구의 매우 의미있는 성과라 할 수 있다. 이러한 연구성과들은 대한해협 뿐만 아니라 해저케이블 전압측정 연구가 검토중인 다른 해역에서도 나타날 것으로 기대된다.

대한해협 외의 해저케이블 전압측정 연구 예로 제주-고흥간 케이블 측정전압 자료를 대한해협 케이블 측정전압 자료와 비교하였다(Fig. 8). 대한해협 케이블 측정전압에서 나타난 반일주기 조류에 따른 변동이 제주 - 고흥간 케이블 관측자료에서도 나타났으며, 2000년 11월 3일 무렵에 비해 11월 10일 무렵에 전압이 크게 관측되는 등 관측기간 동안 두 시계열이 유사한 변동 경향을 보인다. 제주 - 고흥간 해저 케이블 훼손 문제로 2001년 9월 이후 관측을 중단하였지만, 관측을 재개하는 경우에 대한해협 케이블 전압측정 연구처럼 매우 의미있는 결과가 나올것으로 기대된다.

향후 연구계획

해저케이블을 활용한 연구가 다른 방법에 비해 매우 경제적이며, 비교적 정확하게 장기간 해양상태를 추정할 수 있다는 이점 때문에 1990년대 들어 전세계적으로 해저케이블 전압측정 연구가 증가하고 있다. NOAA 태평양 해양환경연구소(PMEL)에서는 동해의 쓰가루해협, 미국 동부의 플로리다해협 등에서 연구를 진행하였으며, 미국 우즈홀 해양연구소에서는 1997년부터 하와이와 피지를 연결하는 길이 1만 5천여 km의 COMPAC 케이블을 이용한 연구를 진행하고 있다. 이를 포함해 현재 동태평양 지역 7곳, 카

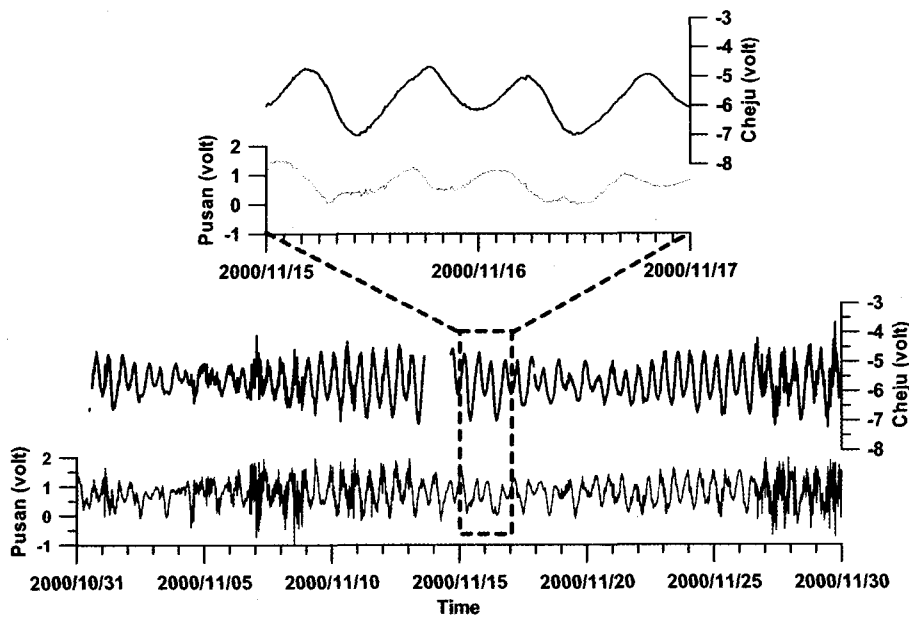


Fig. 8. Time-series of submarine cable voltage between Cheju and Kohung (upper), and between Pusan and Hamada (lower).

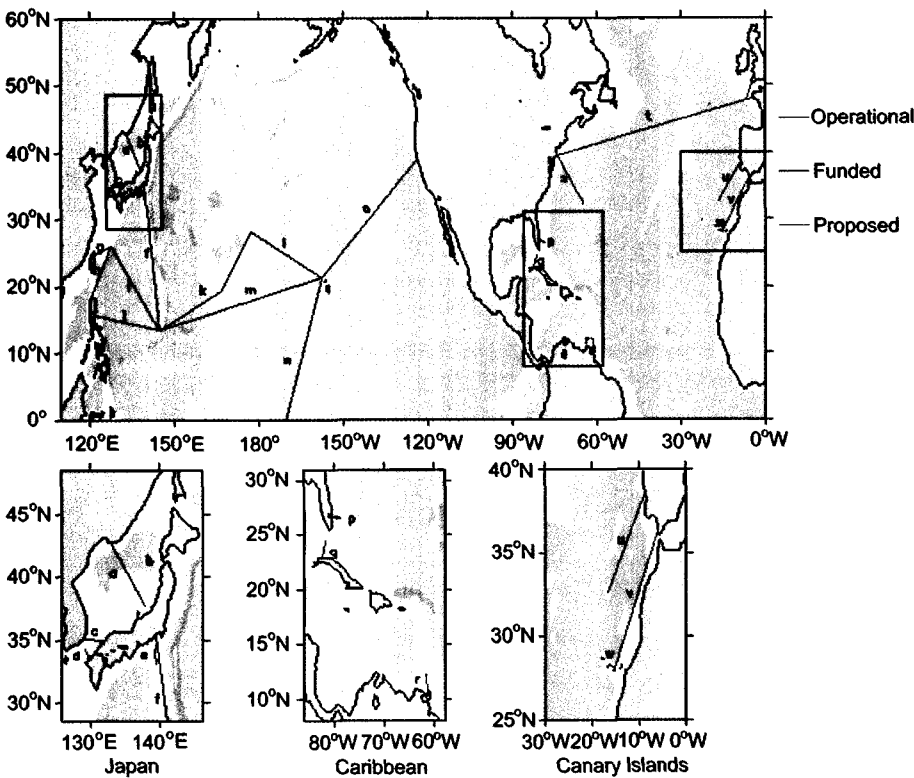


Fig. 9. Cable voltage measurement systems in progress or planning. This map was prepared October 1998. See the internet website (<http://www.pmel.noaa.gov/wbcurren/cabletable.html>) for the table of cable locations and principal investigators.

리브해 지역 2곳, 대서양 지역 1곳, 서태평양 및 극동지역 11곳 등 약 20여개 지역에서 해저케이블 전압측정 연구가 진행중이거나 계획중에 있다(Fig. 9). 일본의 경우, 대한해협을 포함해 약 10여개 구간에서 해저케이블 전압을 측정하고 있다. Table 1은 일본의 케이블 전압측정 연구 사례이다. 전 세계 케이블 전압측정 현황은 인터넷 홈페이지(<http://www.iscpc.org/cabledb/cabledb.htm>)에 상세히 소개되어 있다.

Fig. 10은 한반도 주변해역의 해저 케이블 중 현재 전압측정이

진행되거나 검토중인 해저 케이블 위치도이며, Table 2는 한반도 주변해역에 설치된 해저 케이블 시스템 현황이다. 현재 서울대학교 해양연구소는 일본 동경대학교와 국제공동연구의 일환으로 1997년 12월에 한국통신과 일본 KDD로부터 각각 양도받은 대한해협 해저 케이블(JKC) 전압측정 연구외에 앞서 언급한 2000년 9월 1일 KT로부터 양도받은 제주 - 고흥간 제1해저 광케이블 전압측정을 계획중이다. 현재 케이블 관련 문제로 연구를 중단한 상태이지만 제주 - 고흥간 해저케이블 전압측정은 황해의 해수순환과 남해

Table 1. Cable voltage measurement systems of Japan.

Interval	Cable length (km)	Scientific Use	Reference
Pusan - Hamada (Korea Strait)	285.637	Jul., 1987	Kim <i>et al.</i> (2004)
Okinawa - Taiwan	650	Mar., 1993	-
Fukushima - Imabetsu (Tsugrau Strait)	-	Feb. 1994 (interrupted)	Rikiishi <i>et al.</i> (1997)
Naoetsu - Nakhodka (Japan-Russia)	884	Jan., 1996	Palshin <i>et al.</i> (2001)
Nogita - Iki (Eastern channel of Korea Strait)	52.709	Nov. 1, 1996	Hashimoto <i>et al.</i> (2002)
Okinawa - Luzon (Japan - Philippines)	1,387	After 1997	-
Iki - Tsushima (Eastern channel of Korea Strait)	82.046	Nov. 10, 1998	Hashimoto <i>et al.</i> (2002)
Nagayoshima - Yakushima (Tokara Strait)	204.564	Jan. 21, 1999	Hashimoto <i>et al.</i> (2002)
Nagayoshima - Naze (Tokara Strait)	470.352	Jan. 21, 1999	Hashimoto <i>et al.</i> (2002)

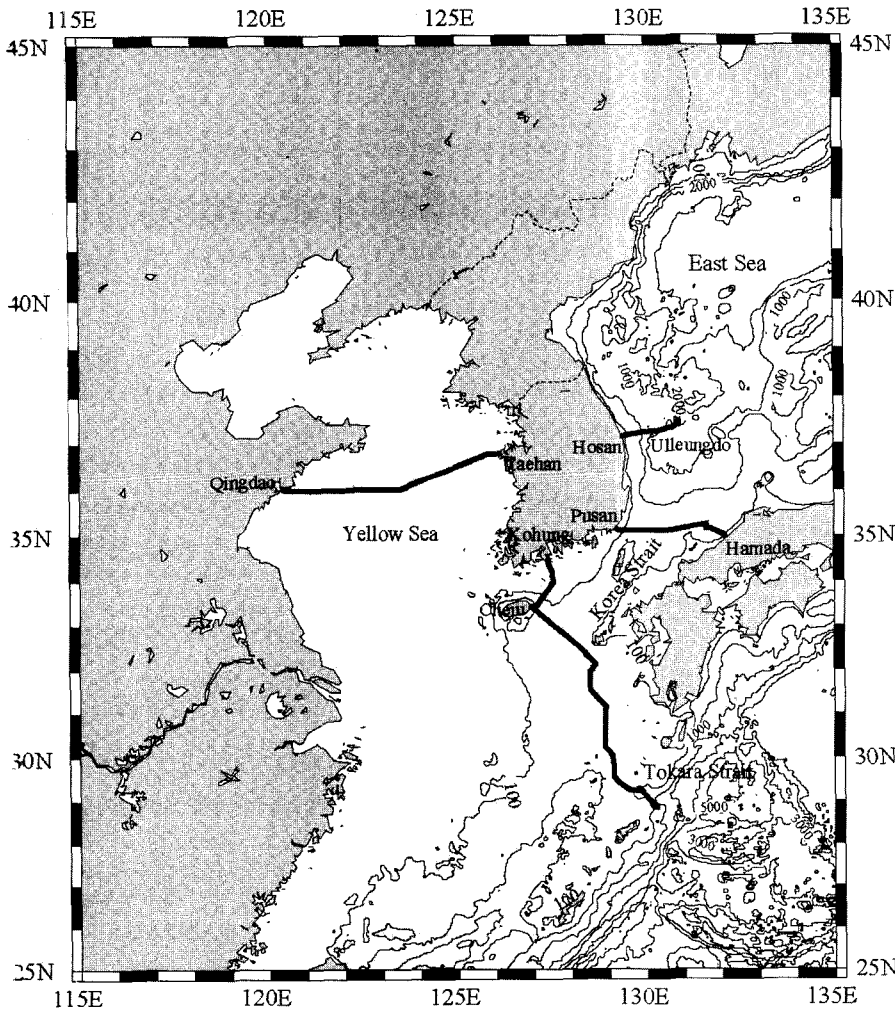


Fig. 10. Locations of submarine cables around Korea.

의 해황 및 대한해협 의 수송량을 이해하는데 매우 귀중한 자료를 제공할 것으로 기대되므로 이 케이블의 복구를 기대하고 있다. 케이블 복구를 위한 KT 및 국가기관의 적극적인 지원이 필수적이다.

이와 함께, 호산 - 울릉도간 해저광케이블을 이용한 전압측정 연구를 계획하고 있다. 현재 통신목적으로 운용중인 호산 - 울릉도간 해저광케이블 구간은 동한난류 및 북한한류에 의한 수송량의 변동을 추정할 수 있어 동해의 해수순환을 이해하는데 유익한 자료를 제공할 것이다.

또한, 서울대 해양연구소는 최근에 제주 성산포와 일본 본토의

남단을 잇는 한-일-홍콩 국제해저케이블(HJK케이블) 전압측정을 추진하고 있다. 지난 1990년 5월 1일 국제통신용으로 개통된 HJK 케이블은 국가 기간망으로서 임무를 다하고 2004년 6월 30일에 통신목적 용도 폐기될 예정이다. KT로부터 양도 예정인 HJK케이블의 제주 성산포 - 도까라 해협 구간은(Fig. 10) 동해 뿐만 아니라, 황해와 남해 등 한반도 주변의 해양 순환에 지대한 영향을 미치는 쿠로시오 해류의 일부가 북상하는 통로에 위치하고 있어 쿠로시오 해류의 변동을 연구하기에 적절한 구간이라 할 수 있다. 따라서 HJK케이블 측정전압은 대마난류의 성격규명 및 해양예보

Table 2. The present condition of Submarine cable around Korea.

Name	Cable length (km)	Interval	Service on (Scientific Use)
JKC	285.637	Korea - Japan (Pusan - Hamada)	Nov. , 1980 (July, 1987)
HJK	4,587	Korea - Japan - Hongkong	May, 1990 (July, 2004 in Scheduled)
RJK	1,761	Korea - Japan - Russia	Jan., 1995
CKC	549	Korea - China (Taehan - Qingdao)	Dec., 1995 (2005 in Scheduled)
APCN	12,179	Korea, Austrailia etc.	Dec., 1996
FLAG	27,069	Korea, U.K. etc	Sept., 1997
SMW-3	39,000	Korea, U.K. etc	Dec., 1999
CUCN	30,044	Korea, U.S.A. etc	Jan., 2000
APCN-2	19,000	Korea, Hongkong etc	Dec., 2001
제 1 제주 - 육지	169	Cheju - Kohung	Apr., 1990 (Sept.,2000)
울릉 - 육지	159	Ulleung - Hosan	Dec., 1993 (in preparation)
제 2 제주 - 육지	191	Cheju - Kohung	Dec., 1996
제 3 제주 - 육지	236	Cheju - Namhae	June, 2000

시스템의 검증자료, 기후변화 연구를 위한 해양자료 등으로 다양하게 활용될 수 있다. 즉, 쿠로시오 해류는 적도 지방의 따뜻한 물을 고위도로 공급하고 있고, 해양과 대기의 열교환에 중요한 부분을 차지하여 기후변화에 직간접적으로 영향을 주기 때문에 HJK 케이블 전압측정은 장기적인 관측을 통해 대기와 해양의 관계성을 밝히는데 활용될 수 있다. 또한, 해양수치모델을 이용한 해양 예보시스템의 기초자료 혹은 검증자료로서 그 활용이 가능하다. 일부 구간이 일본 EEZ 및 영해를 통과하고 있어 일본과의 국제 공동연구로 진행될 예정인 HJK 케이블 전압측정은 한국 해양학이 태평양을 향하여 한발 더 나아가는 견인차 역할을 할 수 있을 것이다. 서울대학교 해양연구소는 HJK 케이블 전압측정 연구의 성공적 수행을 위하여 제주대학교 및 해저케이블의 유지 관리 기술을 보유하고 있는 (주)한국해양기술과 산학 협력체계를 구축하여 2004년 7월 부터 측정을 시작할 예정이다.

이러한 대한해협, 제주 - 고흥, 호산 - 울릉도 및 HJK 케이블 외에 장차 한국 태안 - 중국 칭타오를 잇는 1995년 12월 개통된 총연장 549km의 CKC 국제 해저 케이블이 전압측정 연구에 활용되기를 기대하고 있다(Fig. 10). 향후 통신목적 운용 중단 예정인 황해를 횡단하는 CKC 국제 해저 케이블을 사용한 전압측정 연구는 HJK 케이블 전압측정 연구와 접목함으로써 황해의 해수순환에 관한 유익한 자료를 얻을 수 있을 것으로 기대된다.

국가기간망이라는 그 원래의 임무를 다한 해저케이블을 활용한 연구는 케이블 철거비용 절감 측면에서 국가적으로 매우 경제적인 연구라 할 수 있다. 제주 - 고흥간 제1육지 해저케이블의 경우 건설당시 총 210억원의 국가예산이 투자된 국가 주요 시설로, 수송량 관측을 위한 케이블 전압측정을 위해 재활용함으로써 추가적인 케이블 철거비용 예산 절감 효과 외에 연구예산 절감 효과를 얻을 수 있다. 또한, 경제적으로, 인적으로, 시간적으로 크게 제약 받는 현재의 해양연구 여건을 감안할 때 해저케이블 활용 연구는 매우 유익한 정보를 제공할 수 있음이 대한해협 해저케이블 연구사례를 통해 밝혀졌다. 하지만, 이러한 장점을 지속적으로 유지하기 위해서는 무엇보다 제주 - 고흥간 제1육지 해저 케이블 연구 사례처럼 케이블의 유지관리가 중요하다. 해저케이블을 사용하여 얻어진 연구결과는 학술적인 부분에 한정되지 않고 어족자원 관리, 국지적인 기상예보, 전지구 규모의 기후변화 예측, 해양의

시·공간적 변동성 연구자료 등 사회, 경제적인 기여도가 지대하므로, 지속적인 연구를 뒷받침 할 수 있는 산업체 및 국가기관의 관심과 지원이 무엇보다 요청된다.

감사의 글

대한해협 해저케이블 전압측정을 비롯하여 한반도 주변의 해저 케이블 전압측정을 위해 협조해주신 KT 관계자분들께 감사를 드립니다. 특히, HJK 케이블의 연구목적 활용을 후원해 주신 KT 국제위성부 윤태호 부장님과 국제해저부 윤준호 과장님, 그리고 과 대한해협 해저케이블 전압측정을 협조해 주신 KT 부산해저통신국에 감사를 드립니다. 이 연구는 국가지정 연구실 사업과 두뇌한국 21(BK21) 사업지원에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

- Bahk, K.S., 1991. Devolpment of a Voltage Measuring System for the Pusan-Hamada Submarine Cable. *J. Kor. Soc. Coastal and Ocean Engineers*, 3(4): 255-260.
- Bowden, K.F., 1956. The flow of water through the Strait of Dover related to wind and differences in sea level. *Philos. Trans. Roy. Soc. London*, A248: 517-551.
- Cartwright, D.E. and J. Crease, 1963. A comparison of the geodetic reference levels of England and France by means of the sea surface, *Proc. Roy. Soc., A*, 273: 558-580.
- Choi, B.-H., K. Kim, and K. Kawatate, 1990. Transfer of Geodetic Datum between Korea and Japan use of cable voltage measurement (in Korean). *Journal of Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry, and Cartography*, 8(1): 57-61.
- Choi, B.-H., K. Kim, Y.-G. Kim, K.S. Bahk, J.O. Choi, and K. Kawatate, 1992: Submarine cable measurements between Pusan and Hamada. *La mer*, 30: 157-167.
- Choi, B.-H., I.K. Bang, and K.H. Kim, 1994: Vertical distribution of tidal current in the Korea Strait. *J. Korean Soc. of Coastal and Ocean Engineers*, 6: 421-438.
- Choi, B.-H., K. Kim, Y.-G. Kim, and K. Kawatate, 1997. Submarine cable voltage measurement between Pusan and Hamada for the

- years 1987-1996. *Acta Oceanogr. Taiwanica*, **36**: 33-46.
- Hashimoto, Y., A. Tashiro, T. Shinozaki, H. Ishii, and K. Kawatate, 2002. Submarine cable Measurements of Voltage for Current Monitoring in the Tsushima and in the Tokara Straits. *J. Korean Soc. of Oceanography*, **37**(3): 160-168.
- Kawatate, K. and Co authors, 1991. A cross-spectral analysis of small voltage variation in a submarine cable between Hamada and Pusan with speed variation of the Tsushima Warm Current. in *Oceanography of Asian Marginal Seas*, K. Takano, Ed., Elsevier Oceanography Series **54**: 207-222.
- Kim, K., S.J. Lyu, Y.G. Kim, B.H. Choi, K. Taira, H.T. Perkins, W.J. Teague, and J.W. Book, 2004. Monitoring Volume Transport through Measurement of Cable Voltage across the Korea Strait. *J. Atmos. and Oceanic Tech.*, **21**: 671-682.
- Larsen, J.C., 1992. Transport and heat flux of the Florida Current at 27N derived from cross-stream voltages and profiling data: theory and observations. *Philos. Trans. R. Soc. London*, **A338**: 169-236.
- Louquet-Higgins, M.S., 1949. The electrical and magnetic effect of tidal streams. *Mon. Not. R. Astr. Soc.*, **16**: 285-307.
- Lyu, S.J., 1999. Geomagnetic Effect on the Submarine Cable Volume and Estimation of the Volume Transport in the Korea Strait (in Korean). *M.S. thesis, Seoul National University*, 137p.
- Lyu, S.J., K. Kim, and H.T. Perkins, 2002a. Atmospheric pressure-forced subinertial variations in the transport through the Korea Strait. *Geophys. Res. Lett.*, in print.
- Lyu, S.J., Y.-G. Kim, K. Kim, J.W. Book, and B.H. Choi, 2002b. Tidal variations in the cable voltage across the Korea Strait. *J. Korean Soc. Oceanogr.*, **37**: 1-9.
- Lyu, S.J., 2003. Temporal Variations of the Transport from Cable Voltage across the Korea Strait and Its Mechanism. *Ph.D. thesis, Seoul National University*, 136p.
- Mitchell, D.A., D.R. Watts, M. Wimbush, K.L. Tracey, W.J. Teague., J.W. Book, K.I. Chang, M.S. Suk, and J.-H. Yoon, 2003. Observed Upper circulation patterns in the southwestern Ulleung Basin. *Deep-Sea Research*, submitted.
- Palshin, N.A., L.L. Vanyan, R.D. Medzhitov, M.A. Evdoshenko, and H. Utada, 2001. Studies of water transport variability using submarine cable voltage measurements in the Sea of Japan. *Abstract of OHP/ION Joint Symposium, Long-Term Observations in the Oceans*, 228-231.
- Prandle, D. and A.J. Harrison, 1975. Relating the potential difference measured on a submarine cable to the flow of water through the Strait of Dover. *Sonderdruck aus der Deutschen Hydrographischen Zeit*, **28**: 208-226.
- Prandle, D., 1980. Recordings of flow through the Pentland Firth using submarine telephone cables. *Meteo Forsch-Ergebnisse, Reihe A*, **22**: 33-42.
- Rikiishi, K., Y. Hashimoto, and M. Michigami, 1998: Monitoring of ocean current in the Tsushima and the Tsugrau Strait by using submarine cable (in Japanese). *Kaiyo Monthly*, **30**(8): 467-472.
- Sanford, T.B., 1971. Motionally Induced Electric and Magnetic Fields in the Sea. *J. Geophys. Res.*, **76**: 3476-3492.
- Sanford, T.B. and R.E. Flick, 1975. On the relationship between transport and motional electric potentials in broad, shallow currents. *J. Mar. Res.*, **33**: 123-139.
- Teague, W.J., G.A. Jacobs, H.T. Perkins, J.W. Book, K.-I. Chang, and M.-S. Suk, 2002. Low-Frequency Current Observations in the Korea/Tsushima Strait. *J. Phys. Ocean.*, **32**: 1621-1641.
- Takikawa, T., J.-H. Yoon, H. Hase, and K.-D. Cho, 1999. Monitoring of the Tsushima Current at the Tsushima/Korea Straits. in *Proceedings of the 3rd CREAMS International Symposium*, Fukuoka, Japan, 15-18.
- Uda, M., 1934. The results of simultaneous oceanographical investigations in the Japan Sea and its adjacent waters in May and June, 1932. *J. Imp. Fish. Exp. St.*, **5**: 57-190.

2004년 5월 17일 원고접수

2004년 5월 25일 수정본 채택

담당편집위원: 김경렬