

韓日間 水準測地基準의 連結方法  
—海底通信電線의 電壓測定結果의 利用—  
Transfer of Geodetic Datum between Korea and Japan  
—use of cable voltage measurement—

崔 秉 昊\*    金    坵\*\*    川 建 和 雄\*\*\*  
Choi Byung-Ho    Kim Kuh    Kazuo Kawatate

1. 序    言

Faraday 가 1832 年<sup>1)</sup> 電磁場의 誘導에 관한 發見을 한 直後 그는 海峽을 通過하여 흐르는 海水는 移動電導體(moving conductor)로서 地球의 磁場力의 海峽의 橫斷方向 성분에 直交되며 電磁氣力을 誘發시킬 것이라고 豫見하였다. Faraday 는 Dover 海峽을 例로 들어 海峽을 흐르는 潮流의 方向이 바뀌면 電磁氣力의 方向亦是 變化될 것이라고 하였는데 2次大戰後 1946 年 英國과 歐洲大陸間의 海底電話線 復舊過程에서 潮流에 의한 電磁氣力의 變化가 Cherry 와 Stovold<sup>2)</sup>에 의해 報告되었다. Longuet-Higgins<sup>3)</sup>는 이러한 觀測記錄을 綜合하였으며 海峽을 通過하는 海水의 e. m. f. (electromotive force)에 의한 電氣의 포텐셜 分布에 대한 理論의 背景을 樹立하였다. 이 電氣的 포텐셜의 變化를 長期的으로 觀測하고 또한 實際 流速計 또는 流速의 垂直分布를 관측하는 音波도플러 流速관측기(Acoustic Doppler Current Profiler) 資料를 相關시키면 海底電線을 海峽의 流量을 連續적으로 觀測하는데 利用할 수 있다. Dover 海峽의 境遇 英國의 St. Margarets 灣의 陸揚局은 歐洲大陸側의 3개 所(Audresselles, Sangatte, La Panne)와 연결되어 3斷面의 流量을 관측하는 데 특히 Sangatte 와 連結된 斷面은 1956 年以後 長期的인 관측<sup>4)</sup>이 수행되고 있으며 美國은 Miami 海城의 Florida 海流를 관측하기 위한 長期的 電壓測定

을 한 바 있다. Teramoto<sup>5)</sup>는 GEK 流速計의 活用을 위한 有效電導率을 測定하는 過程에서 日本의 Izu 半島 및 Tsugaru 海峽의 電壓測定을 長期間 遂行하였다.

이제 우리 의 觀心은 1980 年 11 月에 開通된 釜山市 松亭과 日本 하마다(濱田)간의 同軸海底케이블의 電壓測定에 있다. 이 韓日間 케이블의 總延長은 281 km 이며 最大水深은 190 m(平均 131 m), 淺海部는 外裝된 25 mm 同軸케이블(coaxial cable), 深海部는 無外裝인 38 mm 同軸케이블, 50 台의 中繼器(repeater), 1 台의 等化器가 包含되는데 電源供給은 韓日間이 半分하여 580 V(156 mA)씩 總 1160 V 와 312 mA 의 電壓과 電流가 供給된다. 海底電線에 誘導되는 電壓과 電流는 상기供給電源으로부터 微細하게 變動하게 되며 이를 觀測하는 첫 努力이 重要하다. 이 初期試圖는 國際共同研究를 念頭에 두고 着手되었는데 九州大學 應用力學研究所의 川建和雄教授의 主導 아래 兩國의 通信會社인 日本國際電信電話(株) (KDD)와 韓國電氣通信公社(KTA)의 協調로 干先 日本側 濱田에서 1987 年 8 月 4 日부터 1988 年 2 月 16 日까지 觀測을 遂行하였다. 1990 年에 들어와서는 2 月 下旬부터 松亭과 日本 濱田의 兩側 陸揚局에서는 觀測을 成均館大, 서울大 및 九州大의 共同調査事業으로 시작하였다. 本 稿에서는 初期結果를 簡略하게 提示하므로서 이러한 일련의 觀測活動이 韓日間의 測地學의 基準面을 連結하는데 必須의인 沿岸測地學의 課業이며 또한 大韓海峽의 海水輸送을 長期計測할 수 있어 大韓海峽力學 및 東海의 海洋循環의 糾明에 큰 寄與를 할 수 있음을 敘述코져 한다.

\* 成均館大學 工大教授·土木工學科  
\*\* 서울大學校 自然大教授·海洋學科  
\*\*\*九州大學 應用力學研究所 教授

## 2. 海底電線

釜山(松亭)과 日本 하마다(濱田) 간에는 國際 通信用 海底케이블이 80年初에 設置되어 運用 되어 오고 있다. 이 海底케이블은 同軸(coaxial cable) 케이블로서 길이는 281 km에 達하는 日帝時代의 大韓海峽을 直接 橫斷했던 루트는 海底地殼의 安定을 考慮하여 現在의 루트로 變更되었다(그림 1). 海底電線體系가 異常狀況에서는 舞龍山과 濱田間의 스키타(Scatter)通信이 運用되는 日 日本側의 海底電線 中繼局은 無人 運用되고 있다. 兩國의 中繼局에서의 給電裝置 (Power Feed Equipment)에는 給電電壓과 電流를 常時 analogue chart의 形態로 記錄하고 있으며 出力端子가 設置되어 있으나 精密計測體系는 아니다. 따라서 KDD는 本 調査를 위해 <그림 2>와 같은 Hewlett-Packard 機器를 出力 端子에 連結하여 精密計測을 遂行하였으며 九州 大定에서는 海流를 同時에 觀測하여 相關關係를 1次的으로 調査하였다. <그림 3>은 觀測電壓의 變動例로서 日變動과 더불어 보름週期變動의 一

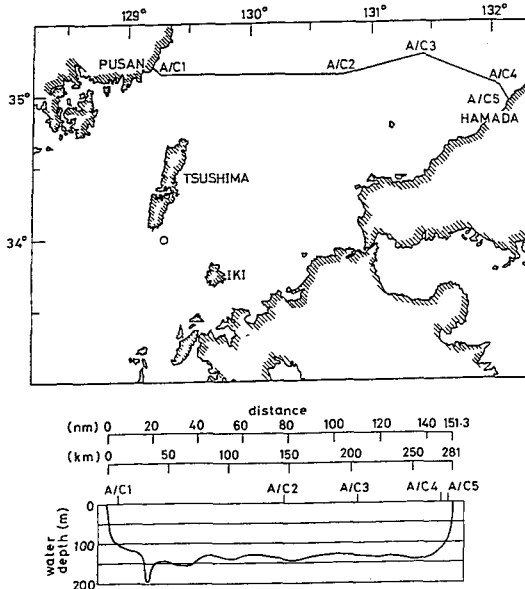


그림 1. 海底케이블의 配置圖(對馬島 南端의 ○표 位置는 九州大의 流速計 設置場所)

部가 提示된다. <그림 4>는 流速計에 의한 海流 觀測結果를 提示하고 있다. 이 첫시도의 結果는

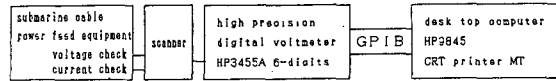


그림 2. 海底電線 電流, 電壓 精密計測體系

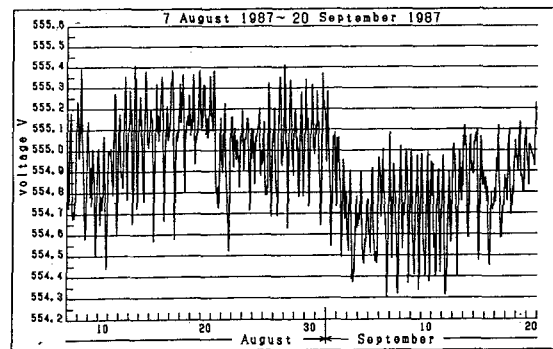
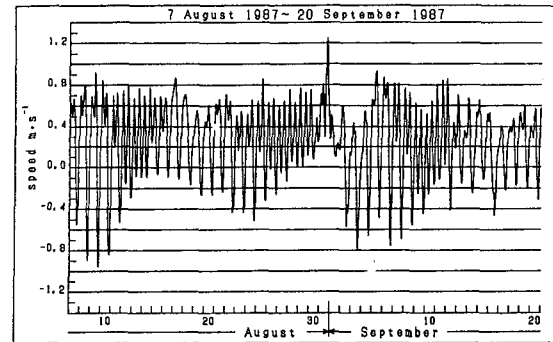
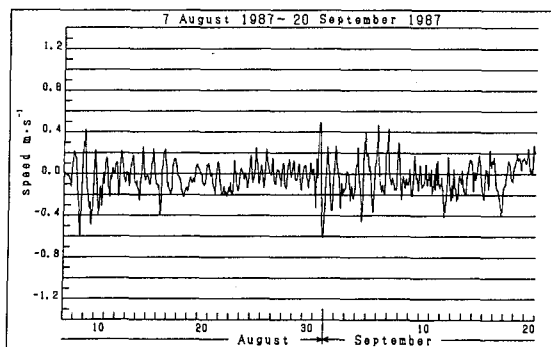


그림 3. 觀測된 電壓의 變化例



(가)



(나)

그림 4. 海流觀測 結果例(가)는 東向流速成分, 나)는 北向流速成分)

報告書<sup>6)7)</sup>로서 出刊되었는데 鼓舞의인 結果였다. 따라서 概念確認(proof of concept)을 더 徹底하게 하기 위한 2次觀測이 90年 2月未부터 兩側의 中繼局에서 시작되고 있는데 이 調査는 10餘年에 걸쳐 遂行될 豫定이다. 韓國側의 計測體系는 現代의인 data logger를 設計, 製作하여 長期資料가 logger內의 記憶素子에 저장되도록 하였으며 現場에서 Lap-top PC로 運用狀態를 수시 확인할 수 있으며 서울에서는 通信모뎀에 의해 일정기간마다 資料를 回收, 分析한 수 있게 하였다.

### 3. 韓·日間의 測地學的 基準面連結

大韓海峽을 사이에 두고 있는 韓日間의 測地學的 基準面 靜水力學的 方法(平均海面은 同一等포텐셜面에 있다는 假定)으로 구하는 것은 不正確한 데 이유로서는 潮流와 海流力學 때문에 海峽兩側에 平均海面差가 있기 때문이다. 再述하면 大韓海峽을 通過하는 潮流와 對馬暖流에 대한 地球의 自轉效果에 의한 콜리오리應力 때문에 海峽을 가로지르는 水面傾斜가 발생한다. 大韓海峽 兩側의 水準標高 零點을 連結하는 調査는 測地學的인 觀點에서만이 아니라 海峽의 海水輸送量을 包含한 海峽力學(Strait Dynamics)의 側面에서 重要한 事項이다. 長距離 測量에 의해 相對的인 基準面을 評價하는 方法은 大氣의 屈折 때문에 誤差가 크며 Pipeline levelling은 現實的이지 못하므로 Proudman(1953)<sup>8)</sup>이 提示하였으며 Cartwright와 Crease(1963)<sup>9)</sup>가 적용한 도버해협을 사이에 둔 英佛間의 動水力學的인 方法에 의한 測地基準의 比較方法이 大韓海峽에 適用할 수 있는 가장 適合한 方法일 것이다. 이 動水力學的의 levelling의 基本式은 仔細한 誘導過程은 생략하면 최종적으로 韓日間의 水位差는 다음과 같이 提示된다.

$$\begin{aligned} \Delta H &= \xi_P - \xi_J = \int_J^P \frac{\partial \xi}{\partial y} \partial y \\ &= \frac{L}{g} \left[ \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + fu \right] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & - \frac{v_P^2 - v_J^2}{2g} - \frac{P_{aP} + P_{aJ}}{\rho g} \\ & - \frac{\bar{h} + \bar{\xi}}{2} \ln \left( \frac{\rho_P}{\rho_J} \right) \\ & + \frac{\bar{G}h - \bar{G} - \bar{\xi}}{\rho g} \int_J^P \frac{dy}{(h + \bar{\xi})} \end{aligned} \quad (1)$$

상기 식에서  $P$ 는 釜山,  $J$ 는 日本을 나타내며  $u, v$ 는 各己 海峽의 縱측(흐름方向) 및 횡측 방향의 流速으로 overbar는 全體的인 순간平均 值인데 提示된 바와 같이 流速과 加速度, 兩側 端部效果 및 海面, 海底摩擦에 관련된 項의 구름으로 形成되어 있다.  $\frac{\partial v}{\partial t}$ 는 長期에 걸쳐 平均하면 無視할 수 있고  $u \frac{\partial v}{\partial x}$ 는 對馬海流와 같은 恒流의 성격을 띄우면

$$u \frac{\partial v}{\partial x} = v \frac{\partial u}{\partial x} + (u^2 + v^2) \frac{\partial \theta}{\partial x} \quad (2)$$

로 표시될 수 있는데  $v = u \tan \theta$ 의 관계가 包含된 것이다.  $fu$ 는 코리오리 加速項이며  $\frac{v^2}{2g}$ 은 베르누이 定理에서 알려진 에너지平衡에 相關된 項이다.

上記式을 適用하여 實際的인 韓日間의 基準面 差를 算定하기 위해 必要한 事項들은 다음과 같다.

가)  $\Delta H$ 는 每瞬間마다 算定될 수 있으나 潮汐의 影響을 除去하기 위해 充分히 긴 期間의 時間平均을 取한다.

나)  $\Delta P_a$ 는 長期 기상자료로부터 구하는데 海峽을 횡단한 海面氣壓差이다.

다) 海峽兩側 檢潮所位置에서 海潮流가 크지 않을 경우  $\Delta(v^2)$ 는 무시될 수 있다.

라) 바람에 의한 海面摩擦 및 海, 潮流에 의한 海面摩擦力을 觀測值에 의해 直接評價하여 長期平均한다는 일은 어려울 것이며 1次的으로 값이 적을 것으로 假定한다.

마) 따라서 式(1)에서  $fu$ 項이  $\Delta H$ 를 決定하는 데 가장 重要한 要素인 데  $\bar{u} = 10 \text{ cm/s}$ 이면 50 km 거리에 5.8 cm의 水面傾斜가 發生한다(Dover 海峽의 경우). 여기서 海底電線電壓의 變動은  $\int \bar{u} dy$ 와 密接한 相關性이 있다. 電壓 시그날은 海峽을 통한 海水의 總 flux를 아래와 같

이 觀測할 수 있다.

$$\phi(t) = \iint u \, dy \, dz \quad (3)$$

그러나  $\phi$ 는  $\bar{h} \int \bar{u} \, dy$ 와는  $\bar{u}(y)$ ,  $h(y)$ 가 斷面을 通해 均一치 不因此로 서로 相異하며 그 比率은 아래와 같다.

$$\beta = \int_0^L h(y) \bar{u} \, dy / \bar{h} \int_0^L \bar{u} \, dy$$

$\beta$ 는 通常의인 半日週潮의 境遇 1보다 크며 恒流의 境遇는 훨씬 큰 데 電壓資料와 實際 現場 海流觀測에 의해 評價한다.

바)  $\partial v / \partial t$ 는 實際海流觀測에 의해 크기의 程度를 評價해야 하며  $u \frac{\partial v}{\partial x}$ 는 海峽의 觀測潮流의 調和常數로부터 評價한다.

上記 過程에서 가)의 境遇 潮汐의 影響을 除去하기 위해서는 Doodson의  $X_0$  filter를 적용할 수 있으며 氣壓 및 바람 자료는 24時間 平均値를 다음과 같이 정리한다.

$$\bar{X}_0 = \frac{1}{4} \left( -\frac{1}{2} X_{-12} + X_{-6} + X_0 + X_6 + \frac{1}{2} X_{12} \right) \quad (4)$$

#### 4. 測定電壓의 檢證

海底電線에서 觀測되는 電磁氣力  $E$ 는 다음과 같은 形態로 提示된다.

$$E = E_0 + E_1(t) + K\phi(t) \quad (5)$$

여기서  $E_0$ 는 地球電流(permanent earth current)의 恒流成分 또는 海底電線과 海流間의 電氣化學的影響을 나타내는 常數이며  $E_1(t)$ 는 地球電流의 變動成分에 따른 電壓變動으로 比較的 規則的인 日變化와 磁氣폭풍을 包含하는 경우도 있다. 마지막項인  $K\phi(t)$ 가  $E$ 의 主要部分으로 海峽을 通한 海水輸送率  $\phi$ 에 의한 것인데 電導度의 季節的 變化에 따라 變하지만 常數値에서  $\pm 10\%$  以內의 範圍에 있다.  $K$ 값은 海底岩盤의 電導率을 알면 理論的으로도 算出이 可能하지만  $E_0$ 의 境遇와 같이 實際觀測이 必要하다. 이 檢證節次가 信賴性있게 이루어져야만 海底電線을 海洋學的인 流量計(oceanographic flowmeter)로서 利用할 수 있어 前述된 韓日間의 基準面移轉

이 可能的한 後 10餘年에 걸칠 韓日協力研究가 비로소 시작되었다.

#### 5. 大韓海峽의 數值模型

그림 5에 提示된 繫度上 1/8度, 經度上 1/10度 格子間隔을 갖는 球面有限格子體系의 模型이 樹立中에 있다. 이 模型에 의해서는 潮汐外力, 바람外力, 海水密度勾配 및 海面勾配外力을 賦與하므로써 各外力에 따른 恒流 및 總恒流를 算定하여 海底電壓測定에 의한 海峽間의 海水輸送과를 比較評價하는 데 徹底하게 利用될 것이다. 數值模型과 더불어 觀測結果를 根據로 算定된 月別恒流, 特히 海峽을 通한 輸送量의 變化는 東海循環過程과의 關聯性을 調査하는 데 重要한 事項이다. 이러한 過程을 通해 相互檢證된 數值模型과 電壓資料들은 海峽의 輸送量을 豫報할 수 있는 段階까지도 可能한 것이다.

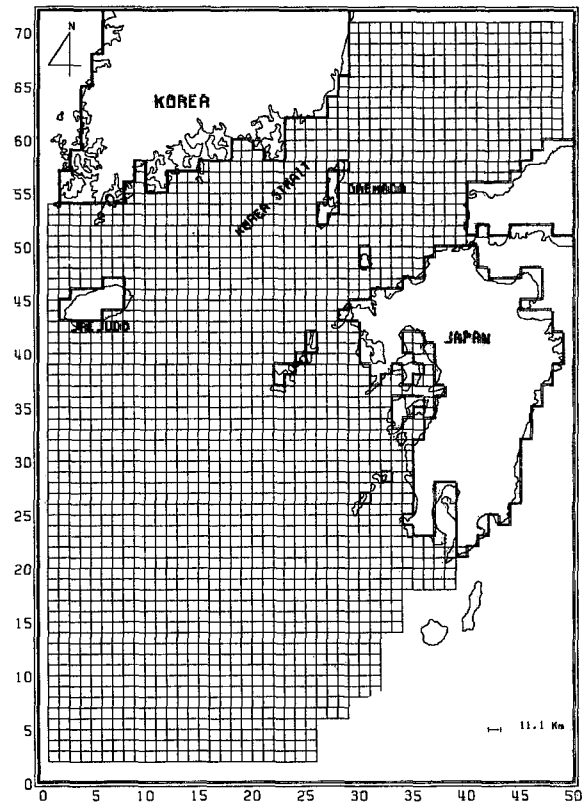


그림 5. 大韓海峽의 數值模型 有限格子體系

## 6. 結 言

韓日間の水準測地基準面を動水力學的인 方法에 依據하여 連結시키는 方案에 對해 敘述하였으며 海底通信電線의 海洋學的 流量計로서의 役割에 對해 說明하였다. 1987/88年 期間의 初期電壓測定을 契機로 하여 90年부터는 長期間 觀測을 시작하여 우리나라 測地基準에 關連된 基礎研究와 더불어 海峽力學研究를 韓日 共同努力으로 수행하고 있다. 初期의 諮問은 英佛海峽의 海底電線 電壓測定에 經驗을 保有한 英國海洋研究所 Proudman Oceanographic Laboratory의 D. Prandle 博士와 A. J. Harrison 氏로부터 協調받았다.

### 參 考 文 獻

1. Faraday, M., 1932, Experimental researches in electricity-second series. *Philosophical Transactions of the Royal Society*, 122, pp.163-194.
2. Cherry, D.W. and A.T. Stovold, 1946, Earth currents in short submarine cables. *Nature*, London, 157,766.
3. Longuet-Higgins, M.S., 1949, The electrical and magnetic effects of tidal streams. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Geophysical Supplement, 5,8, pp.285-307.
4. 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 Zeitschrift*, Band 28, Heft 5.
5. Teramoto, T., 1971, Estimation of sea-bed conductivity and its influence upon velocity measurements with towed electrodes. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, 27(1), pp.7-18.
6. 水野信二郎外, 1988, 對馬東水道와 周邊海域에서의 海洋觀測, 九州大學 應用力學研究所 所報 第60號.
7. 川建和雄外, 1989, 濱田釜山間海底케블에서 誘起되는 微小電壓 變動과 對馬暖流流速變動의 cross spectral 解析. 九州大學 應用力學研究所 所報 第68號.
8. Proudman, J., 1953, *Dynamical oceanography*. London, Methuen, 40.
9. Cartwright, D.E. and J. Crease., 1963, A comparison of the geodetic reference levels of England and France by means of the sea surface. *Proceedings of the Royal Society. A.* 273 pp.558-580.