東支那海의 海面變位算定

Computation of the Sea Surface Topography over the East China Sea

崔 秉 昊*
Choi Byung-Ho

要 旨

SEASAT 衛星 高度計 資料의 세 地上軌道資料에 대한 仔細한 檢討로서 東支那海의 等포텐셜面을 구하기 위한 初期努力이 敍述되었다. 參照楕圓上 海水位로 提示된 高度計資料의 總更正은 海洋潮汐, 海溢, body tide 및 顚倒海面氣壓의 影響更正의 和로서 構成된다. 遂行된 更正 結果는 GEM 10B 重力지오이드모델과 SS3 平均海水面모델과 定性的인 一致를 보이고 있어 高度計 資料의 廣範圍하고도 徹底한 分析이 이 海域의 等포텐셜面의 決定에 크게 奇與할 것으로 推定된다.

ABSTRACT

An attempt to obtain equipotential surface over the East China Sea along the three SEASAT ground tracks are described.

Total correction of sea surface heights above the reference ellipsoid provided by SEASAT GDR Altimeter data consists of ocean tides and surges, body tides, sea level pressure inverse barometer effect corrections for the present study.

It was shown that three equipotential surface derived from the corrections were qualitatively in agreement with GEM 10B Model and SS3 Mean Sea Surface Model.

1. 序 論

本 研究는 近年에 시작된 SEASAT 衛星 高度計 資料의 東支那海 海域에서의 徹底한 應用을 위한 初期研究段階의 成果를 敍述한 것으로 前回의 報告[1)2)]에 이어 SEASAT運用期間中의 3回의 地上軌道에 대한 東支那海의 海面變位를 算定하였다.

제트推進研究所가 提供하는 SEASAT 高度計 dataset은 參照(準據)楕圓上 海面高와 潮汐(位)更正値를 비롯한 餘他更正値들을 收錄하고 있는데 誤差範圍가 10~20cm 또는 局地的으로 그 이상인 것으로 알려져 있으나 廣域의 研究에는 充分히 適合한 것으로 評價되었다.[3)4)]

反面에 海洋變數의 時間的, 空間的 變化度가 심한 淺海, 陸棚域에서의 高度計 資料는 淺水效果, 沿岸地形 및 非線形過程때문에 그 活用範圍가 制限되고 또한 更正作業에 있어 各別한 努力

*成均館大學校 工科大學 敎授

이 필요하나 Le Provost[5]는 英佛海峽의 局地的 海面變位의 硏究에, Alcock과 Cartwright[6]는 北海陸棚의 海面變位의 算定에 있어서도 SEASAT衛星의 高度計 資料가 역시 有用함을 立證한 바 있다.

本 稿에서는 SEASAT Mission期間中 東支那海를 通過한 3回의 衛星地上軌道를 選定하여 觀測된 高度計에 의한 瞬間海水位를 海洋學的인 方法에 의하여 更正하여 等포텐셜面을 算定한 바 이를 重力지오이드 및 SEASAT衛星 自體에서 구한 平均海水位와의 定性的인 比較를 遂行하였다.

現在 東支那 陸棚海의 力學이 正確하게 모델되지 못한 狀況이며, 陸上의 測地學的 水準網이 統合되지 않아 檢潮所의 基準面의 相互比較가 이루어 질 수 없는 點등이 定量的 評價를 어렵게 하고는 있으나 追後의 TOPEX/POSEIDON計劃에 의한 더 正確한 高度計 資料가 利用可能할 때를 對備하여 단기간의 SEASAT資料의 充分한 活用에 의한 東支那海 海面變位의 糾明에 關聯된 制約範圍를 明白히 判別할 必要가 있다.

2. 資料處理 및 更正

本 硏究에 이용된 衛星資料는 SEASAT資料要約 磁氣테이프의 Geophysical Data Record[7] (GDR)인 바 編輯過程에서 初期更正이 이미 遂行되어 있으며 이에 관한 廣範圍한 討議는 Tapley, Born 및 Parke (1982)[8]의 論文에 收錄되어 있는 바 敍述치 않는다. 이 GDR테이프에서 東支那海의 地上軌道를 따른 高度計 資料를 抽出, 更正하는 一連의 過程은 前回의 報告[1) 2)]에서 詳述되었으나 追加的인 更正事項을 包含하여 간단히 再述키로 한다.

衛星에 의한 高度計 資料는 下記式으로 提示된다.[9]

$$Z(x, y, t) = Z_o - Z_a - Z_r \qquad (1)$$

여기서 $Z(x, y, t)$는 衛星資料 (satellite-derived data), Z_o는 軌道半徑, Z_a는 機器誤差 및 傳播誤差 更正後의 高度計資料, Z_r은 採擇된 參照楕圓 (reference-ellipsoid, $r=6378140m$, flattening $= 1/298.257$)이다. (1)式에 의한 $Z(x, y, t)$로부터 다음式에 의해 殘留高 (residual height)인 $R(x, y, t)$가 提示된다.

$$R(x, y, t) = Z(x, y, t) - Z_B - Z_L - Z_T - Z_S - Z_A - Z_I - Z_W \qquad (2)$$

여기서 Z_B는 body tide, Z_L은 海洋에 의한 loading tide, Z_T은 海洋潮汐, Z_S는 長期檢潮記錄을 分析하여 決定할 수 있는 低周波帶의 海面變化, Z_A는 氣象影響에 의한 海面變化, Z_I는 海面氣壓 (sea level pressure, SLP)에 따른 海面變化, Z_W는 有意波高 (significant wave height)에 대한 更正이다. 이들 成分이 更正된 後의 殘留高, $R(x, y, t)$은 지오이드와 恒流成分에 의한 時間에 無關한 海面을 意味한다.

東支那海의 SEASAT高度計 資料處理에 관한 前回의 硏究[2]에서도 Z_T과 Z_A의 更正이 이海域의 硏究에서 가장 重要한 部分으로 指摘된 바이 更正은 東支那海의 海洋潮汐 및 海溢모델에 의한 hindcast過程[10) 11)]을 통해 遂行되었다. 이 모델에 의한 算定潮汐은 沿岸潮位資料 및 近年의 美·中共共同海洋觀測에 의해 比較評價된 바[12] 좋은 一致를 보이고 있으며 海溢에 관한 算定結果는 86年 冬季, 夏節의 韓·美共同海流觀測및 中國의 沿岸資料에 의해 현재에도 比較評價를 통한 改善中에 있어 推定모델로서의 精密度 要求充足은 불원간 가능하리라 본다. Z_B와 Z_L은 통칭하여 地球潮汐이라하는 데 平衡潮汐 및 瞬間海洋潮汐의 百分率로 提示되며 Schwiderski[13]의 格子化된 dataset으로부터 구할 수 있다. Z_B는 love number와 重力포텐셜을 곱함으로서도 구해질 수 있는데 이 경우 Cartwright와 Tayler[14]의 포텐셜 또는 Doodson의 포텐셜[15]이 이용될 수 있다. Z_L을 상기方法에 의해 간단히 구하는 것에 대해서는 論難[16]이 있어 現在에도 계속 硏究들이 進行中인 바 Z_L의 更正은 除外되었다. 일차적으로 Hosoyama[17]의 結果 역시 東支那海의 Z_L은 充分히 작은 값이었으나 局地的으로는 반드시 그렇지는 않을 것이다. Z_S는 低周波帶의 海面變化로서 潮汐 및 地域的인 風系로부터 기원되는 것이 아니므로 前述된 力學모

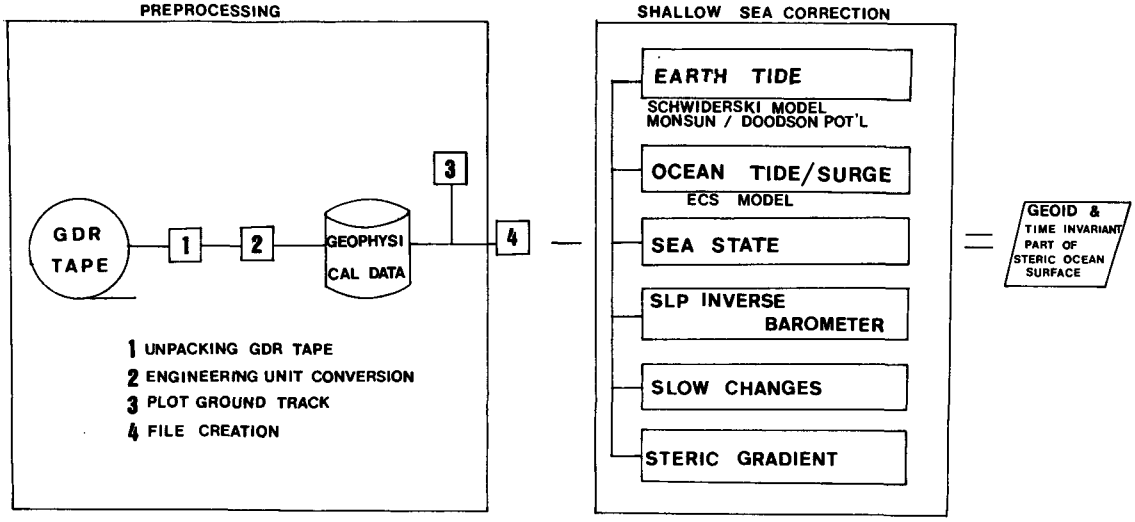

그림 1. 東支那海의 高度計資料處理體系의 概略圖

델로서는 구해지지 않는다. 이 變化는 外洋의 氣壓 및 密度分布에 의해 惹起되는 것으로 그 變化度는 緩慢하며 振幅은 크지 않은 것으로 알려져 있어 본 更正에서 除外하였다. 實際에 있어서도 이 海面勾配를 適確하게 評價하기 위해서는 共通基準面에 대한 海水位 觀測値로부터 潮汐과 高周波帶의 海面變化를 除去시키고(low-frequency filtering) 또한 氣象學的 要素에 의한 海面變化를 除去시킴으로서 구할 수 있으나 現時점에서 共通基準面에 대한 資料가 없어 現實的으로 算定할 수 없다. Z_I는 $1mb$의 海面氣壓이 平均海面을 約 1 cm 下降시키는 顚倒氣壓影響(inverse barometer effect)에 대한 更正이며 本 硏究에 채택된 3回의 軌道의 通過期間이 颱風時期이었으므로 軌道를 따라 海面氣壓更正(SLP correction)을 包含하였다. 高度計 資料에 의한 海面高는 海洋短週期波의 波谷方向으로 偏倚되어 있으며 이 때문에 생기는 誤差를 EM bias라 稱하며 이에 대한 更平 Z_W는 有意波高의 百分率로 表示되는데 Douglas와 Agreen (1983)[18]은 6.4%를 提示하였다. 이 更正에 대한 實際效果에 대해서는 아직 論難이 있어[19] 本 硏究의 對象更正에서는 留保하였다.

그림 1은 東支那海의 SEASAT 高度計 資料處理를 위해 樹立된 一貫的인 體系의 槪略圖를 提示하고 있다.

(4)項에서는 豫備處理過程을 거친 화일이 作成되는 바 地上軌道의 7km에 該當하는 1秒간격의 平均觀測値等이 수록된다.

이 화일들은 更正作業을 遂行하여야 할 參照楕圓上 海面高(Sea Surface Height), 重力지오이드, 平均海水面, 有意波高, 海面氣壓 및 風速으로 構成된다.

3. 海面變位의 세 境遇

颱風웬디 및 칼멘이 東支那海를 通過한 1978年 7, 8月期間의 SEASAT地域軌道가 그림 2에 提示되어 있다.

이 中 2回의 上向軌道(ascending track) 인 公轉番號 456, 499 및 1回의 下向軌道(descending track)인 公轉番號 751에 대한 更正을 前述된 過程에 의해 수행하였는 바 그 結果가 그림 3~그림 5에 提示되어 있다.

그림에서 下端에서 上向으로 東支那海의 2次元數値모델에 의한 海洋潮汐과 氣象影響에 의한 潮汐과 海溢의 非線形 相互作用이 考慮된 海溢高, 海面氣壓에 따른 顚倒氣壓影響에 대한 更正, 地球潮汐(body tide)과 이들의 和인 總更正量이 提示되어 있다. 每 境遇 海洋潮汐이 가장 큰 更正要素이며 颱風期間이라 氣象學的인 海溢高의 更正이 다음으로 큰 更正量으로 提示된다. 颱風

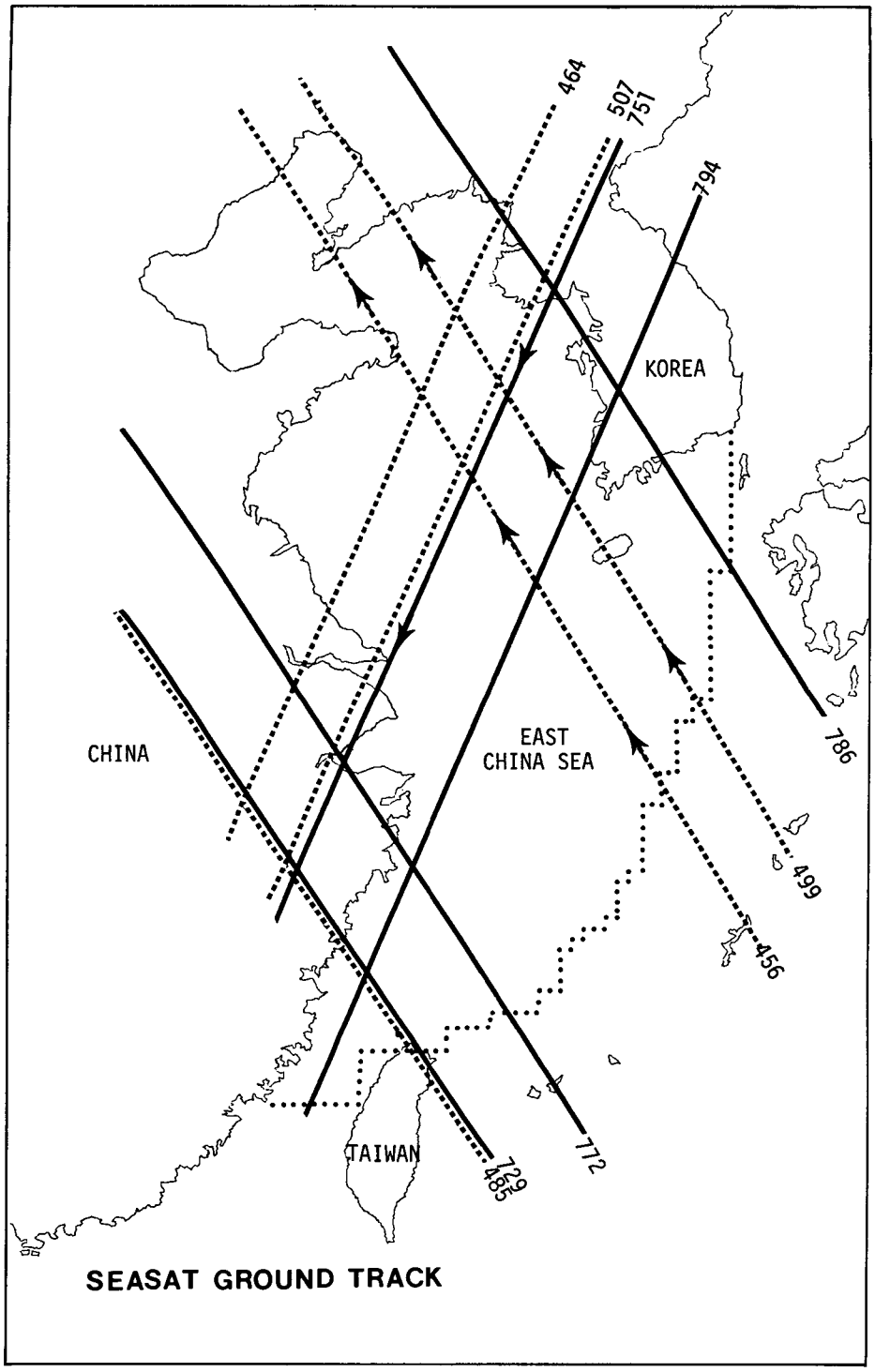

그림 2. SEASAT衛星 地上軌道(海面變位를 구하기 위한 3回의 軌道는 화살표가 제시되었음.)

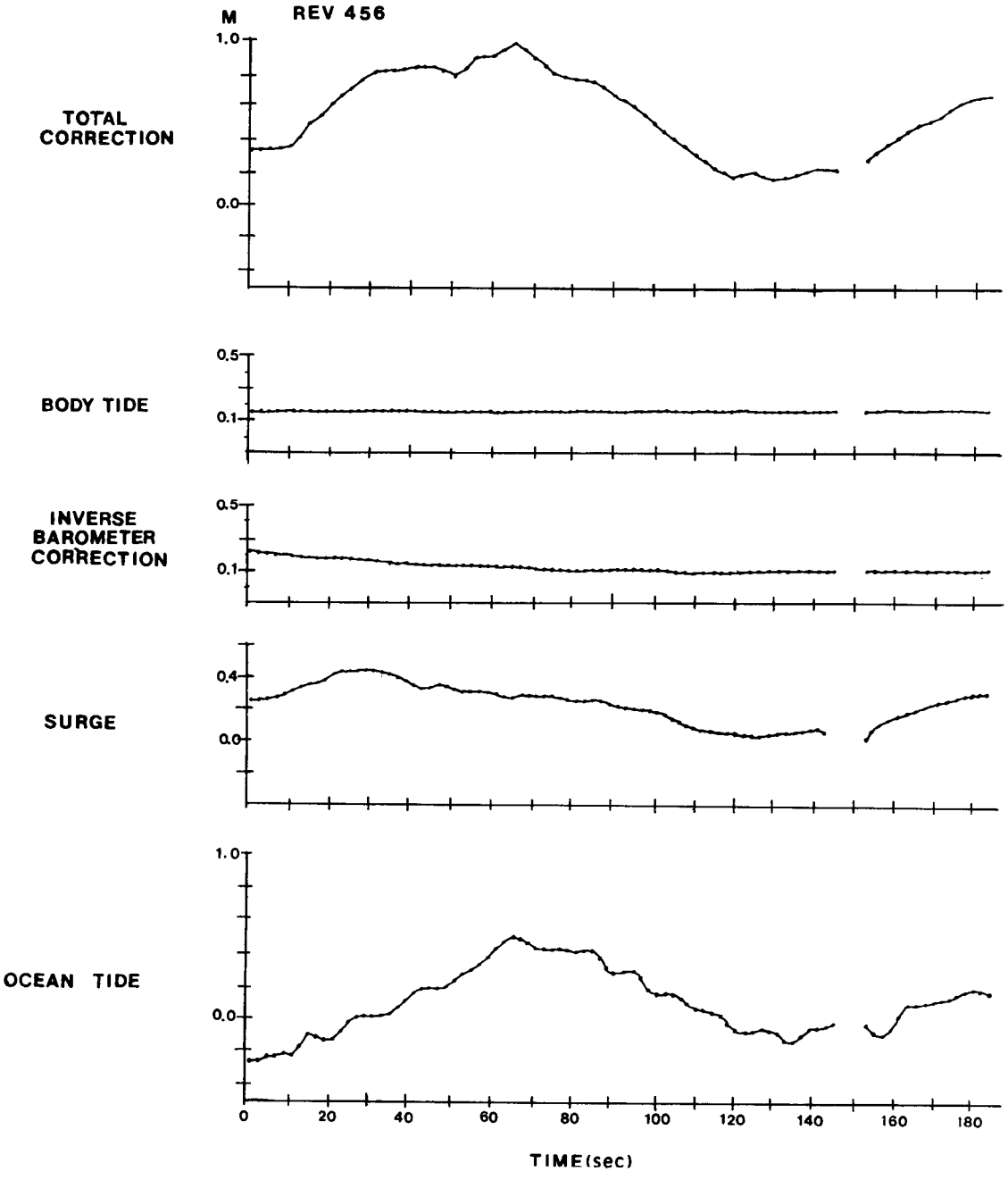

그림 3. 軌道番號 456에 관한 總更正과 그 構成要素.

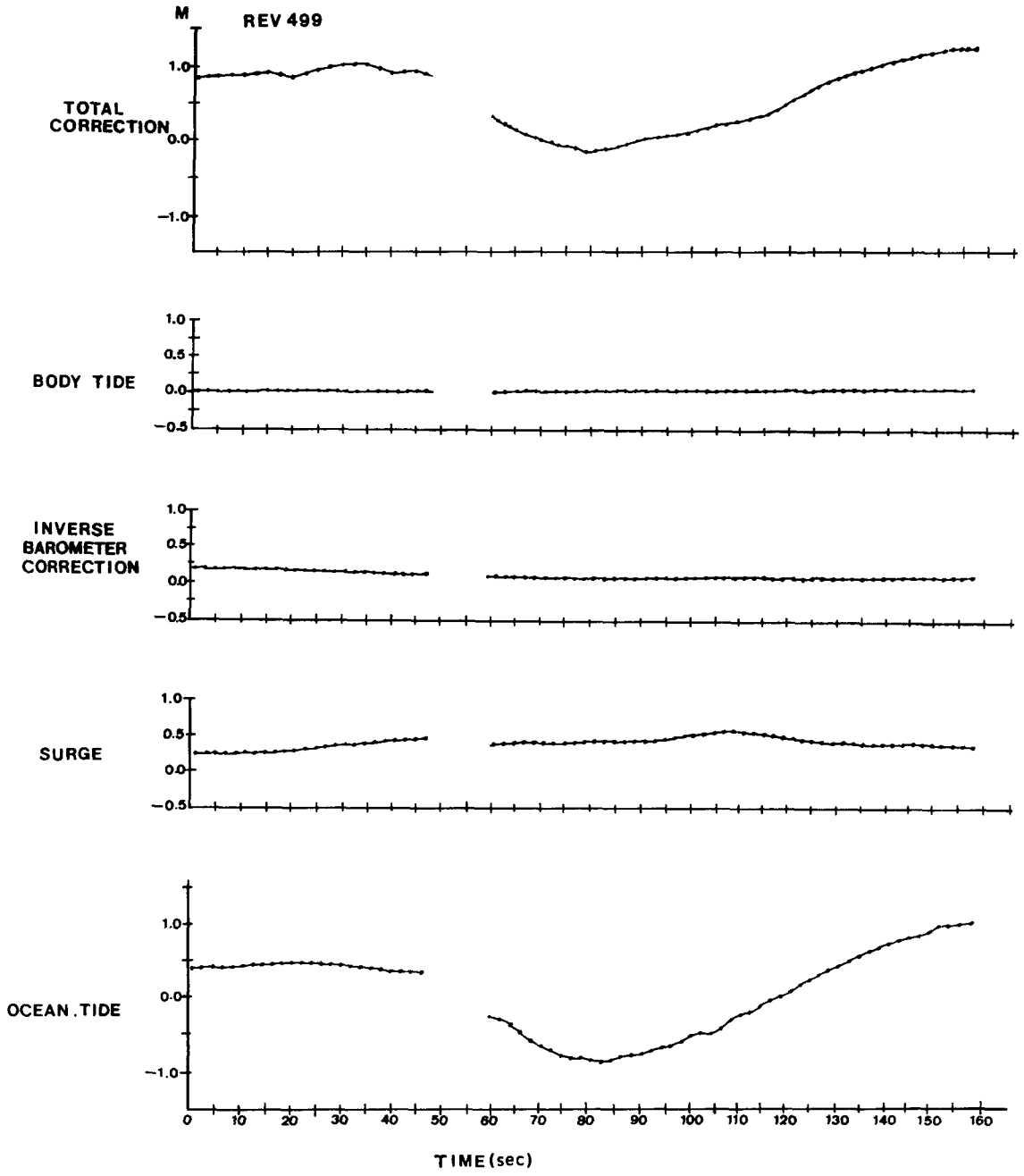

그림 4. 軌道番號 499에 관한 總更正과 그 構成要素.

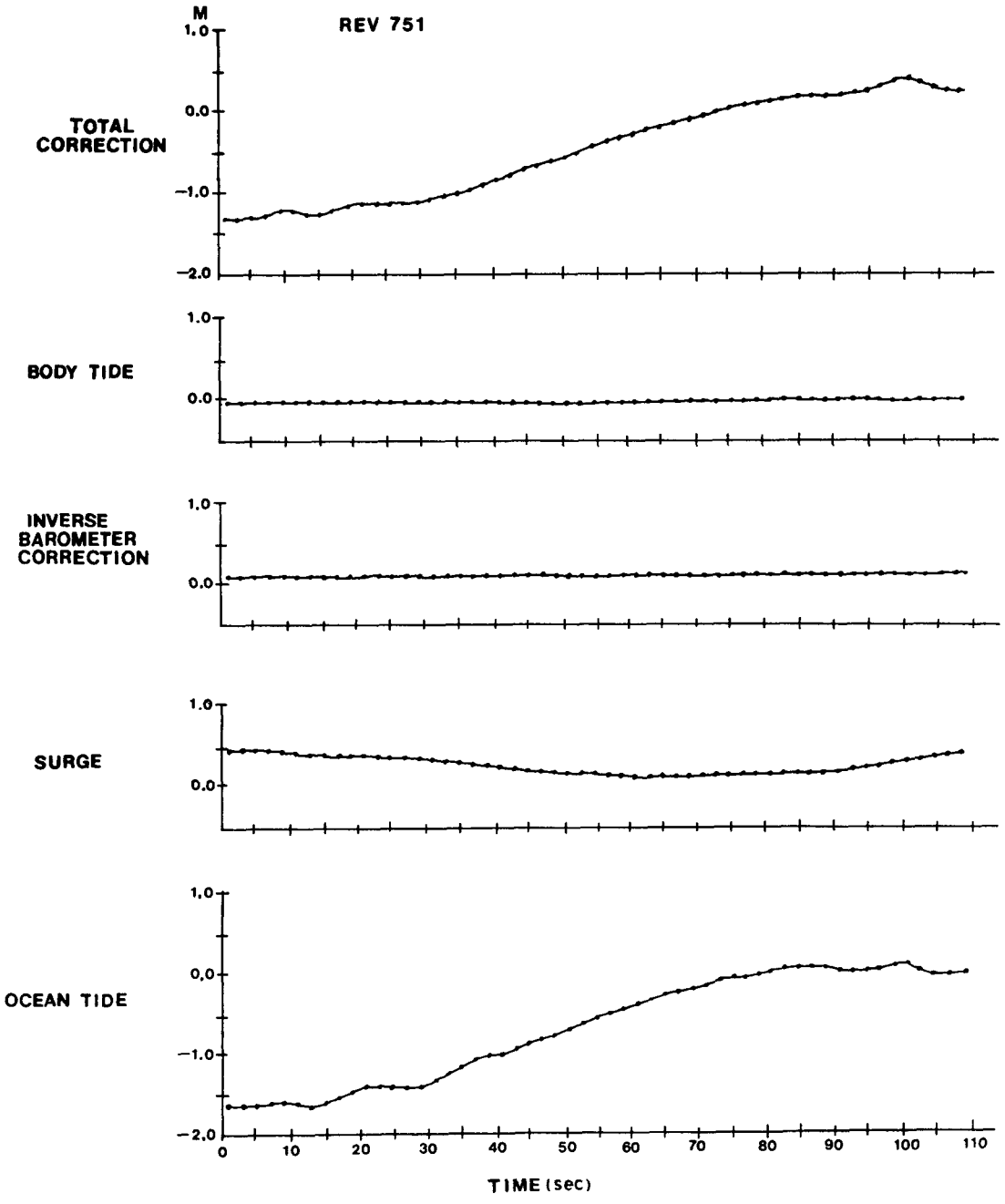

그림 5. 軌道番號 751에 관한 總更正과 그 構成要素.

中心이 地上軌道隣近에 位置할 때는 顚倒氣壓影響에 대한 更正은 20㎝以上이 되기도 하며 公轉番號 456의 軌道의 境遇 body tide는 10㎝以上이 되었다. 그림 3, 4에서의 不連續性은 山東半島와 濟州島를 衛星이 각기 통과하는 데서 비롯한다.

그림 6, 7, 8은 上端에 提示된 SEASAT衛星의 基本高度計 資料인 參照楕圓에 대한 海面高(sea surface height)에서 總更正量을 感한 海面으로서 海洋學的인 接近方法에 의해 決定된 等포텐셜이며 重力지이오드와 平均海水面과의 比較를 各己 提示하고 있다. 여기서 重力지이오드

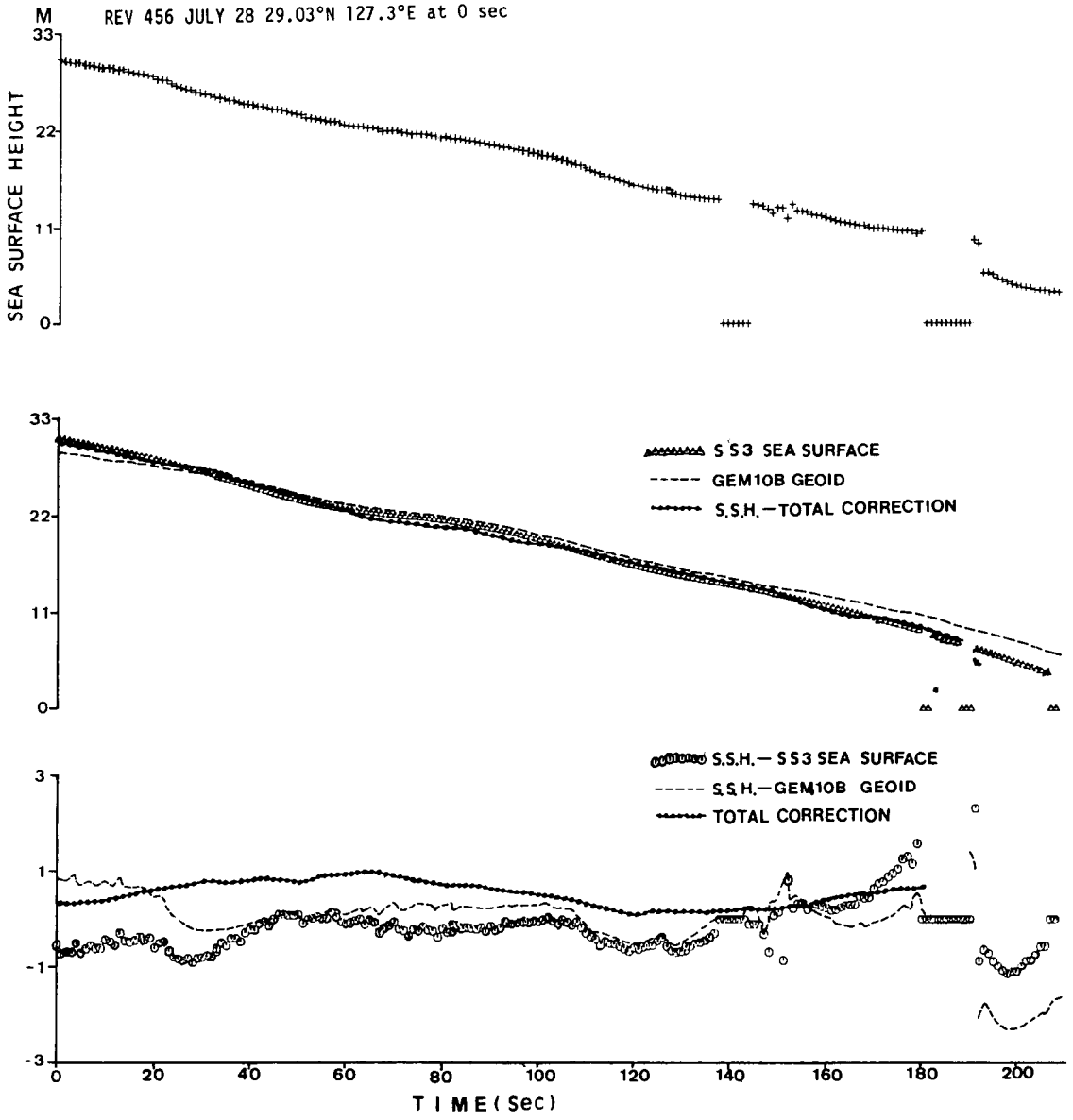

그림 6. 軌道番號 456에 대한 等포텐셜面과 GEM 10B 지오이드, SS3 평균해수면과의 비교.

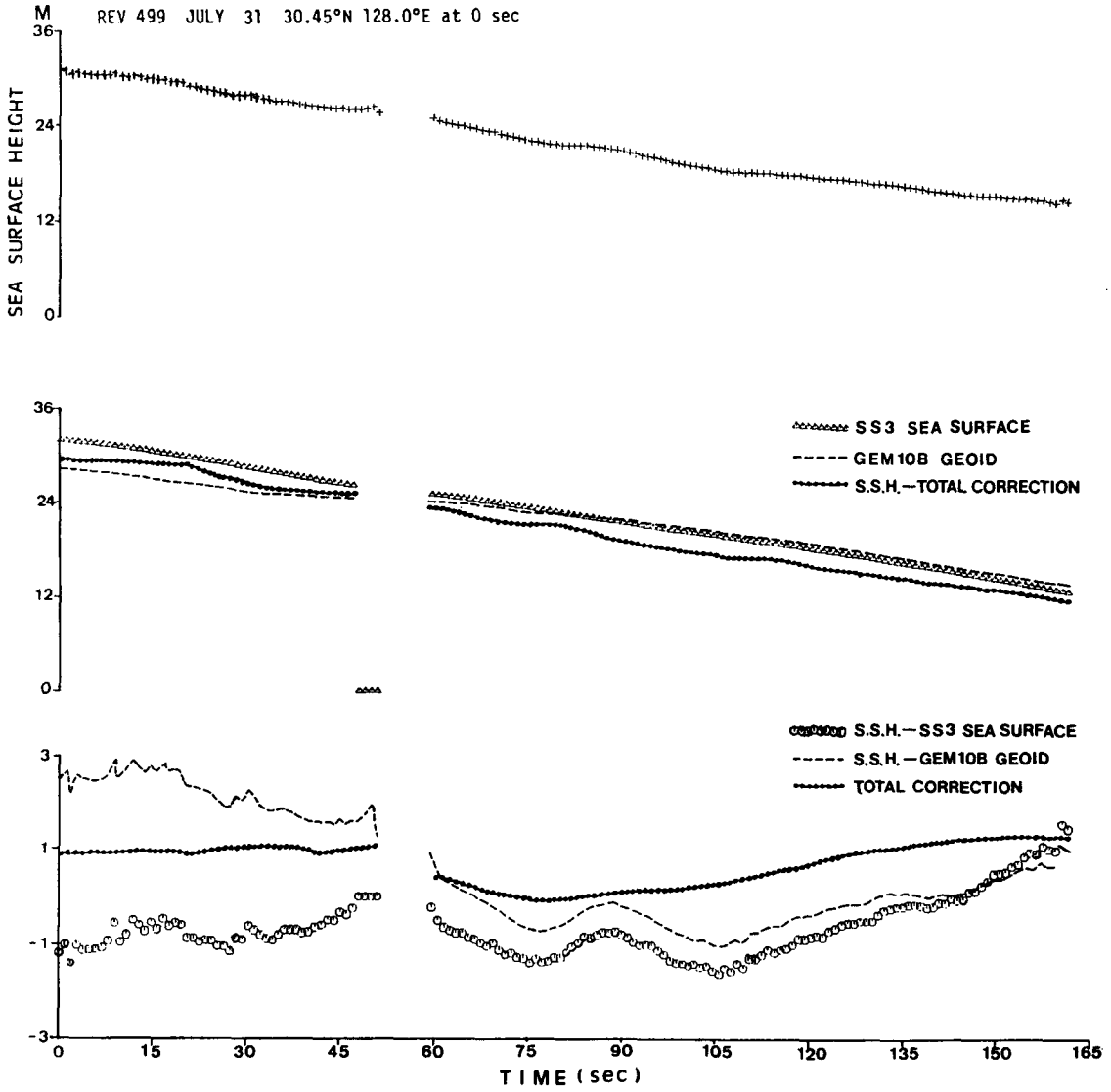

그림 7. 軌道番號 499에 대한 等포텐셜面과 GEM 10B지오이드, SS3 평균해수면과의 비교.

는 GEM 10B 重力지이오드[20] (Goddard Earth Model 10B Gravimetric Geoid above reference ellipsoid)로서 GEM 9資料, GEOS 3의 高度計資料 및 地上의 1°×1°表面重力資料를 根據로 하여 作成된 것이며 平均海水面은 Marsh와 Martin[21]의 平均海水面모델(SS3 Mean Sea Surface Model)로서 初期重力解와 78年 7月 28日~8月 14日 間의 SEASAT高度計資料로부터 구해진 것으로 GDR테이프에 수록되어 있는 것을 플롯트한 것이다.

그림에 提示된 바와 같이 세 서로다른 方法에 의한 等포텐셜面이 定性的으로는 一致를 보이고 있다. 이는 本 硏究에 採擇된 SEASAT期間이 3日反復의 共線軌道를 갖는 Bermuda軌道期間이 아니었고 또한 海面變化가 甚한 颱風期間이었음을 감안했을 때 고무적인 결과라 할 수 있

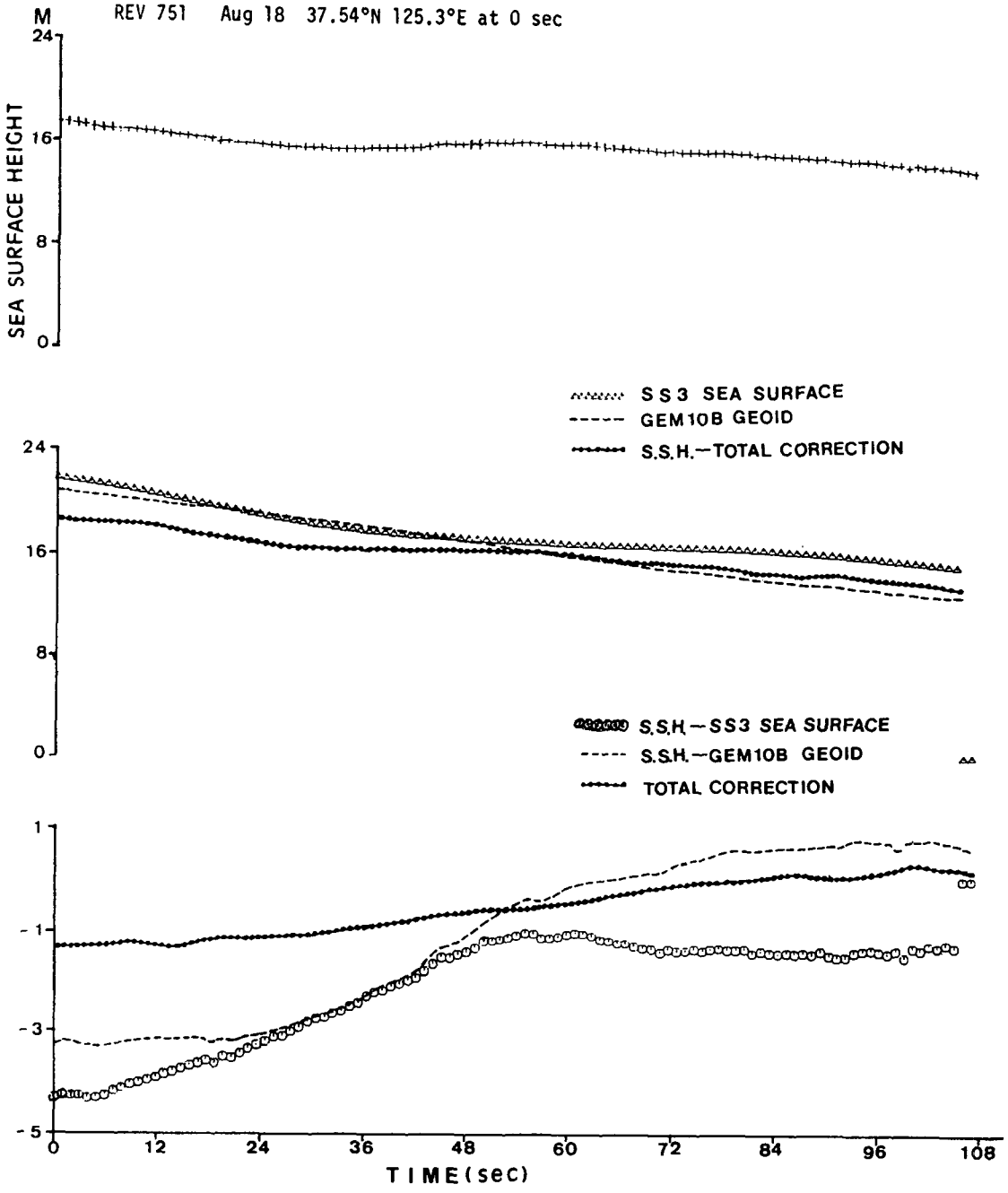

그림 8. 軌道番號 751에 대한 等포텐셜面과 GEM10B지오이드, SS3 평균해수면과의 비교.

다. 勿論 現在로서는 GEM10B와 SS3 모델중 어떤 모델이 東支那海에서 더 正確한 지오이드 모델인지 판단하기 어려운 시점이라 本 硏究에서 海洋學的 更正을 通해 구해진 海面과의 變位(sea surface topography)에 대한 定量的인 評價가 어렵다. 아마도 SEASAT mission의 마지막 한달의 Bermuda軌道資料의 徹底한 海面變位硏究가 追加的인 知識을 提供해 줄 것으로 생각된다.

4. 結　論

根本的인 問題點을 안고 있는 低周波帶의 海面更正을 除外하고는 樹立된 高度計資料處理體系에서 高速컴퓨터를 利用하면 迅速한 更正作業이 이루어 질 수 있다. 向後 10年 期間에 一連의 衛星計劃에 의해 더 精密하게 開發된 高度計에 의한 海面資料가 利用可能할 전망인 바 이에 대비한 旣存資料의 徹底한 分析 및 評價에 의한 經驗蓄積이 必要하다. 아마도 東支那海 高度計資料 更正過程에서 가장 重要한 潮汐海溢更正의 精度改善을 위한 陸棚端 潮汐觀測이 早速히 實施되어야 할 것이다.

謝　辭

Global Ocean Tide Tape를 提供해준 NSWC Dahlgren Laboratory의 E. W. Schwiderski 博士에 謝意를 表한다. 本 硏究는 東支那海의 長期力學모델링硏究의 一環으로 遂行된 바 黃海海流觀測을 財政的으로 支援하는 韓國科學財團(85/86年度)에도 謝意를 表한다.

參考文獻

1. 崔秉昊, "SEASAT衛星을 利用한 東支那海의 海洋測地學의 硏究", 韓國測地學會誌, Vol. 2, No. 2, 1984, pp. 21~28.
2. 崔秉昊, "東支那海의 SEASAT衛星 高度計 資料分析", 大韓土木學會論文集, Vol. 5, No. 3, 1985, pp. 85~93.
3. SEASAT Special Issue I, Journal of Geophysical Research, Vol. 87, No. C5, 1982.
4. Oceanography from Space, (ed. J. F. R. Gower), Plenum, 1981.
5. Le Provost, C., "An Analysis of SEASAT Altimeter Measurements over a coastal Area: the English Channel", Journal of Geophysical Research, Vol. 88, No. C3, 1983, pp. 1647~1654.
6. Alcock, G. A. and Cartwright, D. E., "Computation of the Sea Surface Topography," Mitt. b. IfAG Nr. 166, Dt. Geod. Komiss. bei der Bayer. AKad. b. Wiss., Reihe B: Angewandte Geodäsie - Heft Nr263, 1982, pp. 29~38.
7. Lorell, J., Parke, M. E. and Scott, J. F., "SEASAT Geophysical Data Record (GDR) User's Handbook", JPL Int. Rep. 622-97, Revision A, Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, California, 1980.
8. Tapley, B. D., Born, G. H. and Parke, M. E., "The SEASAT Altimeter Data and its Accuracy Assessment", Journal of Geophysical Research, Vol. 87, No. C5, 1982, pp. 3179~3188.
9. Cartwright, D. E. and Alcock, G. A., "On the Precision of Sea Surface Elevations and Slopes from SEASAT Altimetry of the Northeast Atlantic Ocean", *in* Oceanography from Space (ed. J. F. R. Gower), Plenum, 1981, pp. 885~895
10. 崔秉昊, "東支那海의 1978年 夏季 颱風海溢의 算定", 韓國海洋學會誌, Vol. 20, No. 1, 1985, pp. 1~11.
11. Choi, B. H., "Surge Hindcast in the East China Sea", submitted to Deep Sea Research.
12. Larsen, L. H., Cannon, G. A. and Choi, B. H., "East China Sea Tide Currents", Continental Shelf Research, Vol. 4, Nos 1/2, 1985, pp. 77-103.
13. Schwiderski, E. W. and Szeto, L. T., "On Computing Instantaneous Geocentric Tides along Satellite Tracks", NSWC TR81~264, 1982.
14. Cartwright, D. E. and Tayler, R. J., "New Computations of the Tide-generating Potential", Geophys. J. R. astr. Soc., Vol. 23, 1971, pp. 45-74.
15. Doodson, A. T., "The Harmonic Development of the Tide-generating Potential", Proc. R. Soc. A., Vol. 100, 1921, pp. 305-329.
16. Parke, M. E., "O1, P1, N2 Models of the Global Ocean Tide on an Elastic Earth plus Surface Potential and Shperical Harmonic Decompositions for M2, S2 and K1," Mar. Geod., Vol. 6, 1982, pp. 35-81.
17. Hosoyama, K., "The Oceanic Effect on the Earth Tides", 日本測地學會誌, Vol. 16, No. 3, 1970, pp. 99~110.
18. Douglas, B. C. and Agreen, R. W., "The Sea State Correction for GEOS 3 and SEASAT Satellite Altimeter Data", Journal of Geophysical - Research, Vol. 88, No C3, 1983, pp. 1655-1983.
19. Woodworth, P. L and Cartwright, D. E., "Extraction of the M2 Ocean Tide from SEASAT Altimeter Data", Geophys. J. R. astr. Soc., Vol. 83,

1985, pp. 578－586.
20. Lerch, F. J., Putney, B. H., Wagner, C. A.and Klosko, S. M., "Goddard Earth Models for Oceanographic Applications (GEM10.B and 10C)",Mar. Geod., Vol. 5, 1981, pp. 145－187.
21. Marsh, J. G. and Martan, T. V., "The SEASAT Altimeter Mean Sea Surface Model", Journal of Geophysical Research, Vol. 87, 1982, pp. 3269－3280.