

# 한국 동해남부해역 쓰시마섬 주변을 따라서 발생하는 대륙붕파에 대한 간단한 해석적 모델 연구

윤홍주

부경대학교 위성정보과학과

A simple analytical model for shelf waves trapped by the Tsushima Island  
escarpment near the southern part in the East Sea of Korea

Hong-Joo Yoon

Department of Satellite Information Sciences, Pukyong National University

yoqnhj@pknu.ac.kr

## 요 약

쓰시마섬의 Izuhara에서 1년간 조사된 조위자료를 가지고 에너지 스펙트럼을 구하였다. 이때 에너지 스펙트럼은 관성주기와 100시간주기 사이에서 높게 나타났다. 본 연구에서 나타낸 간단한 해석적 모델에서도 높은 에너지 스펙트럼이 쓰시마섬 주변 대륙사면을 따라서 전파되는 파와 관계한다는 것을 보여준다. 즉, 이러한 높은 에너지 스펙트럼으로부터 대륙붕파의 존재를 명확히 파악할 수 있다.

## ABSTRACT

Tide data made during 1 year on the tide gauge near the Thusima Island (St. Izuhara) give energy spectra. The energy at Tsushima is greater in a period band between the inertial period and 100hrs. A simple analytical model shows that the energy observed corresponds to waves trapped on the extensive continental slope around Tsushima Island. These observations seem to be the first to clearly show the presence of trapped waves.

## I. 서 론

1년간의 해면자료(95/12/09 13:00 - 97/12/09 17:00, 1시간 간격)를 사용해서 쓰시마섬의 이주하라(Izuhara) 관측점에서 해수면의 변화에 대한 스펙트럼분포(PSD: Power Spectrum Density)를 보게 되면(Fig. 1 and 2), 장주기(고진동: high frequency band(10<T<100hrs))에서 강한 에너지 밀도를 나타낸다. 즉 이 밴드(band)는 대륙붕파(shelf waves: second class waves related to the earth's rotation as well as bottom topography)와 관련되어 있다. 그리고 이러한 에너지는 일반적으로 해저 대륙붕의 확장(발달) 때문에 일어난다[1],[2],[3]. 따라서 본 연구는 스펙트럼분포에서 나타난 뚜렷한 에너지가 대륙붕파와 관련된다는 것을 간단한 해석적 모델을 통해서 보여주는 데 그 목적을 두었다.

## II. 해석 모델

쓰시마섬의 반경이  $r$ 인 실린더형 섬(cylindrical island)이고 대륙붕 깊이가  $r$ 의 함수로서 변화한다는 가정 하에서, 이때 섬 둘레를 도는 자유회전파(free rotating waves)의 간단한 해석 모델을 통해서 대륙붕파에 대한 특성들을 쉽게 알 수 있다. 여기서 우리의 연구는 대륙붕 영향과 관련된 해면 변화의 해석에 한정한다. 실린더 좌표계( $r, \theta$ )에서의 식은 아래와 같이 주어진다.

$$\left\{ \frac{1}{Y} \frac{\alpha}{\alpha Y} \left( \gamma h \frac{\alpha}{\alpha Y} \right) + \frac{h}{Y^2} \frac{\alpha^2}{\alpha \theta^2} - \frac{1}{g} \left( \frac{\alpha^2}{\alpha t^2} + F \right) \right\} \quad (1)$$
$$\frac{\alpha \zeta}{\alpha t^2} + \frac{f}{Y} \frac{dh}{dY} \frac{\alpha \zeta}{\alpha \theta} = 0$$

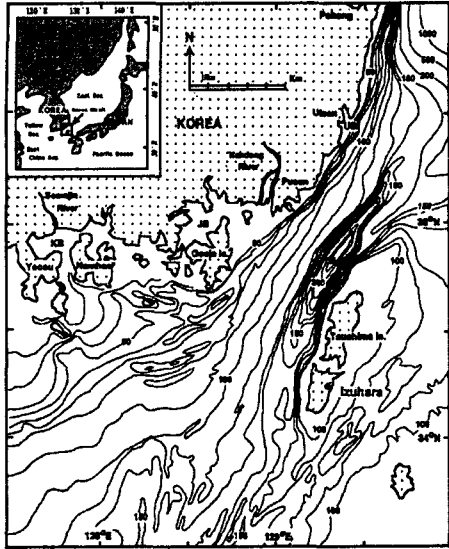


Fig. 1. Map of station observed by tide gauge at Izuhara(●) in the Tsushima Island.

여기서  $f=2\omega\sin\phi$ ,  $\omega$ 는 지구자전 각속도,  $\phi$ 는 위도 그리고  $g$ 는 중력이다. 수압 및 장파 방정식을 이용한 다음, 자유표면 변위에 대한 선형파 방정식(1)으로부터 우리는 파의 미소운동을 구할 수 있다. 따라서 회전파에 대한 해방정식은 다음과 같은 식으로 표현된다.

$$\zeta = e^{-i\alpha t + i\beta\theta} \zeta(r), \quad (2)$$

$$\rho = \frac{Y}{\alpha}, h = h_0 Q(Y), \nu = \frac{\sigma}{f}, \quad (3)$$

$$\xi = \frac{f^2 \alpha^2}{gh_0},$$

$$q = \left( \frac{\rho^2 - 1}{\rho^2} \right)^m, m \geq 1, \quad (4)$$

$\epsilon \leq 1$ 라고 하면, 위의 식들은 다음과 같이 변형된다. 즉 회전파에 대한 해를 구하는 식을 (2)로 가정하고 수심단면(realistic depth profile)에 대한 관계식(4)를 취하면, 우리는 eigenvalue problem에 도달하게 된다.

$$\rho^2 = \frac{1}{x}, \zeta = x^{s/2} \psi(x), \quad (5)$$

$\psi$ 에 관련된 식은

$$x(1-x) \frac{d^2\psi}{dx^2} + [s+1 - (s+m+1)x] \frac{d\psi}{dx} - \frac{ms}{2} \left(1 + \frac{1}{\nu}\right) \psi = 0 \quad (6)$$

이다. 해는 아래의 식과 함께 hypergeometric function  $F(\alpha, \beta, \gamma, x)$ 이 된다.

$$\begin{aligned} 2\alpha &= s+m - (s^2 + m^2 - 2ms/\nu)^{1/2}, \\ 2\beta &= s+m + (s^2 + m^2 - 2ms/\nu)^{1/2}, \\ \gamma &= s+1, \\ \alpha + \beta - \gamma &= m-1 \geq 0, \end{aligned} \quad (7)$$

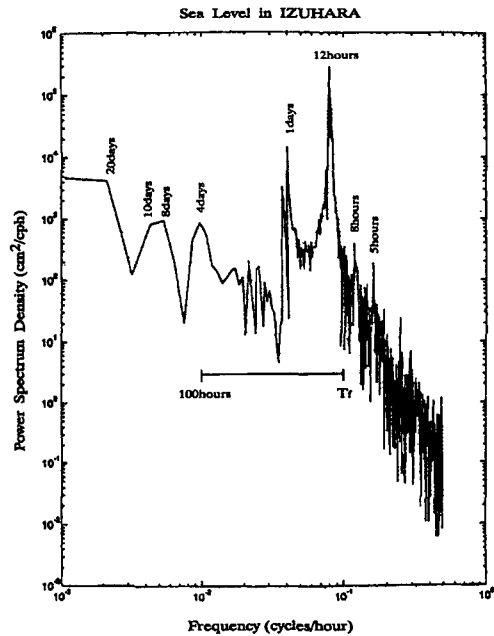


Fig. 2. Power spectrum density of sea level at Izuhara in the Tsushima Island.

F시리즈의 다항식 전개로부터 해는  $x=1$ 에 대해서 수렴(convergence)하며, Hypergeometric 방정식(6)의 해는 경계면의 수렴조건(convergence condition)에 의해서 결정되어 진다. 따라서  $s$ 가 azimuthal이고  $r$ 이 radial numbers라고 하면 eigenvalues(8)는 구해진다. 즉  $\alpha=-n$ 이 된다. 이러한 조건으로부터 다음과 같이 최적값(proper value)  $\nu$ 가 결정된다.

$$\nu = \frac{ms}{ms + 2n(s+m+n)}, \quad (8)$$

여기서  $s$ 는 azimuthal number,  $n$ 는 radial number, 그리고  $\psi_{sn}$ 는 최적함수(proper funct-

ion)이다.  $m$ 을 관성 주기에서 최적 주기(proper period)까지 증가시켜

$$[m \rightarrow \infty, T/T_1 = (s + 2n)/S]$$

구한 최적값들을 아래에 나타내었다.

|           |       |   |     |     |      |       |          |
|-----------|-------|---|-----|-----|------|-------|----------|
| $s$ ..... | 1     | 2 | 3   | 4   | 5    | ..... | $\infty$ |
| $n$       | <hr/> |   |     |     |      |       |          |
| 1 .....   | 3     | 2 | 5/3 | 3/2 | 7/5  | ..... | 1        |
| 2 .....   | 5     | 3 | 7/3 | 2   | 9/5  | ..... | 1        |
| 3 .....   | 7     | 4 | 3   | 5/2 | 11/5 | ..... | 1        |

the coastal ocean, D. Reidel publishing company, Netherlands, 247-258.

이 값은 식(4)로부터 저층에 대하여 계산한 것이다. 섬 둘레를 회전하는 trapped waves는 앞에서 논의한 장주기(high frequency band) 내에 한정되어 진다. 이렇게 구해진 파들은 북반구(northern hemisphere)에서 섬 주변을 따라서 시계방향(clockwise)으로 회전한다.

### III. 결 론

쓰시마섬의 경우에 있어서, 제 1차 radial number에 대해서 주기는 15 hrs 53 min - 47 hrs 39 min. 그리고 제 2차 radial number에 대해서 주기는 79 hrs 25 min.를 각각 나타내었다. 이러한 topographic waves는 아마도 대륙붕이 발달된 다른 많은 지역(cf: 제주도, 대만 등등)에서도 잘 형성되어 질 것이다. 그리고 부가적으로 이러한 파들은 무시되어질 수 없을 정도의 진폭을 가지므로, 우리가 위성 고도계자료(altimetric data)를 가지고 해양순환을 연구할 경우에 이에 대한 적절한 보정이 필요하다.

#### 사사

본 연구는 한국 과학 재단 특정 기초연구(R01-2002-000-00369-0) 지원으로 수행되었습니다.

### 참고문헌

- [1] B. Johns, B., 1983 : Physical oceanography of coastal and shelf seas, Elsevier, Netherlands, 172-176.
- [2] Magnus, F. and Oberhettinger, M., 1954 : Formulas and theorems for the functions of mathematical physics, Chelsea, New York, 57-66.
- [3] G. T. Csandy, G. T. 1982 : Circulation in