

목포항의 부진동에 관한 연구

정명선*, 강신영, 박한일, 유흥선, 민병언**

A Study on the Seich of Mok-po Harbour

Myoeng-Seon Jeong, Sin-Young Kang, Han-Il Park, Hong-Sun Yu, Byeong-Eon Min

目 次

1. 서론	1.1 연구 배경
	1.2 연구 목적
2. 부진동 및 고유주기	
3. 수치 모델링	3.1 운동방정식
	3.2 수치 Scheme
4. 결과 및 분석	
참고 문헌	

Abstract

A two dimensional numerical model as well as theoretical formula are used to investigate the seich characteristics of Mok-po harbour. The natural periods of the first two modes computed from the numerical model are about 34 minutes and 12 minutes which are well consistent with those by the theoretical formula.

* 正會員, 木浦海洋專門大學

** 正會員, 韓國海洋大學

1. 序 論

1.1 연구 배경

목포항은 약 90년 전에 개항된 천해의 양항으로서 영산강 하구에 위치하여 신안 도서지방과 제주를 연결하는 서남해안의 중심항이다. 국민 경제 발전과 더불어 목포항의 개발이 중요한 관건으로 대두됨에 따라 경제 규모의 확대와 경제 구조의 고도화로 인하여 관광사업과 상황에 필요한 항로표지 시설 개선 및 고속 대형선화와 대불공업항 개설¹⁾, 철부선 부두 건설 등 항만 개발사업 22건에 약 80억(89년도)의 예산을 투입하여 연안해운의 중심항으로 발돋움하고 있다. 특히 공산국가인 중국과의 교역이 대두됨에 따라 물동량의 폭발적인 증가가 예상되어 더욱 그러하다.

1.2 연구목적

1981년 3월 영산강 하구 뚝 축조공사의 완공으로 수로국 및 목포 검조소의 조위 측정치 자료에 의하면 조위가 약 30cm 정도 상승되어²⁾ 선창 부근이 월 1-2회 침수됨에 따라 인근 주민들의 재산상 피해와 교통 소통에 지장을 초래하고 있는 실정인데, 이 현상 규명을 위해서는 하구 뚝 축조로 인한 부진동 고유주기의 변화, 바람, 파도 및 조류의 영향 등이 종합적으로 연구 검토되어야 하나 연구 조사된 자료와 기본자료의 부족으로 본 연구에서는 부진동의 특성만을 규명하고자 한다.

2. 부진동 및 고유주기

호수나 만, 항구 등과 같이 한쪽 끝만 열려있거나 육지로 포위된 형태의 지형들 속의 수면운동은 그 지형이 갖는 어떤 고유의 주기로 외력을 받게되면 공진을 일으켜 수면의 승강운동이 증폭되는데 이러한 현상을 부진동이라 한다. 부진동을 일으키게 하는 원인은 여러가지가 있지만 입

구가 열린 형태의 지형에서는 외파의 내습으로 인한 부진동을 가장 흔히 볼 수 있고, 그 외 지형의 고유주기와 비슷한 주기의 기압변동이나 육지쪽으로 강한 바람이 불어 수면의 차가 심해져 부진동이 생길 수도 있다³⁾. 이러한 부진동은 진행파가 반사파와 서로 겹쳐서 생기는 정상파와 같은 성질을 갖는다. 본 연구의 대상지역인 목포항은 한쪽 끝이 열려있는 basin의 형태를 하고 있다. 따라서 부진동을 일으킬 때는 basin의 입구에서 항상 부진동의 마디(node)가 존재하며 가장 안쪽에는 부진동의 배(antinode)가 존재하게 된다. 제 1 mode(fundamental mode)에는 이러한 마디와 배가 1개씩 존재하며 mode 수가 증가하면 그 mode수 만큼 부진동의 마디 및 배가 형성된다.

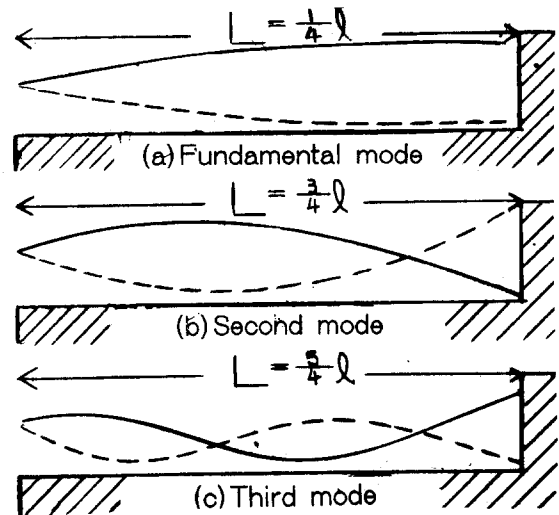


Fig. 2-1 Surface profiles for seiches

그림 2-1은 부진동의 제1, 제2, 제3 mode를 나타내고 있는데 이 때의 주기는 정상파의 이론에서 쉽게 구할 수 있으며 다음과 같이 표시된다.

$$T_k = \frac{4L}{(2k-1)\sqrt{gd}} \quad (2.1)$$

여기서 L과 d는 각각 basin의 길이와 깊이이며 k는 mode 수이다. 이 이론식에 의하면 목

포항의 경우 $L=5800m$, 평균수심 $d=14.5m$ 이므로 (그림 2-2) 제1 mode 의 고유주기는 32분 26초, 제2 mode 는 10분 48초, 제3 mode 6분 30초로 계산이 된다. 그러나 basin은 대개 수심과 폭이 장소에 따라 변화함으로 hydraulic depth

의 개념을 이용하여 식(2.1)을 다음과 같이 변형하여 쓰기도 한다.

$$T_k = \frac{4}{2k-1} \sum_{i=1}^N \frac{\Delta x_i}{\sqrt{gd_i}} \quad (2.2)$$

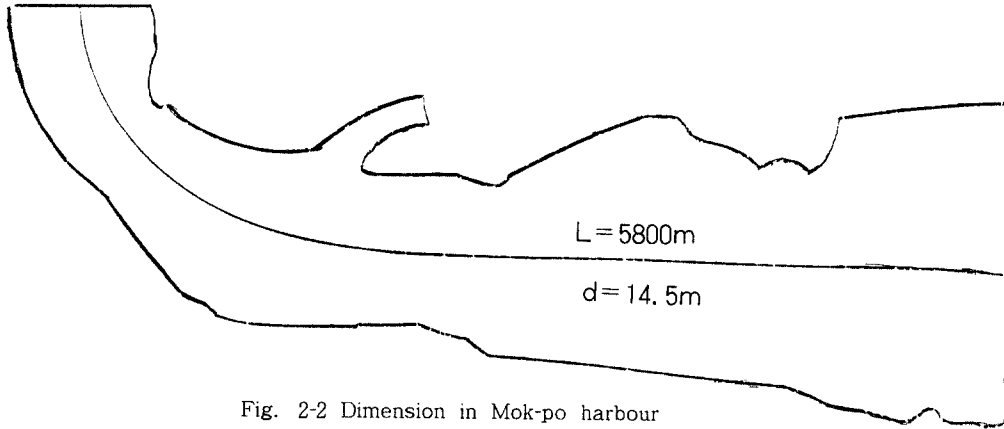


Fig. 2-2 Dimension in Mok-po harbour

여기서 불규칙한 바닥은 길이방향으로 N 개의 조각으로 나누어지며, d는 각 조각의 hydraulic depth 이다. 목포항의 경우 식 (2.2)에 의한 부진동의 고유주기는 제1 mode가 33분 20초, 제2 mode가 11분 6초, 제3 mode가 6분 40초로 계산이 된다.

3. 수치 모델링

3.1 운동방정식

그림 3-1과 같은 직교좌표계에서 물입자에 대한 운동방정식은 다음과 같다.⁴⁾

$$Du/Dt = fv - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + A_v \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} + A_h \nabla_h^2 u \quad (3.1)$$

$$Dv/Dt = -fu - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + A_v \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} + A_h \nabla_h^2 v \quad (3.2)$$

$$Dw/Dt = g - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} \quad (3.3)$$

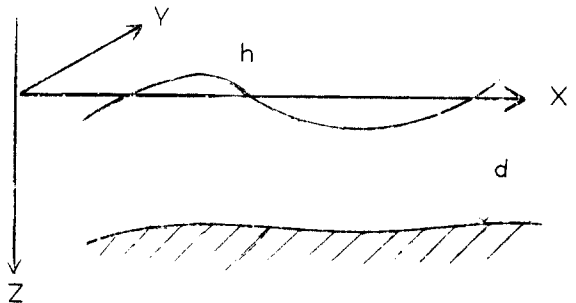


Fig. 3-1 The coordinate system.

여기서 u, v, w 는 각각 x, y, z 방향의 속도성분이며, f 는 Coriolis계수, p 는 압력, g 는 중력가속도, ρ 는 밀도, t 는 시간 A_v 와 A_h 는 각각 유체의 수직 및 수평방향의 와점성계수이다. ∇_h^2 는 수평 gradient 연산자로서 $\nabla_h^2 = \frac{\partial}{\partial x^2} + \frac{\partial}{\partial y^2}$ 이고 식에서 수직 방향의 가속도 성분을 무시하면 압력은 $\nabla p = \rho g \nabla h$ 로 표시되는데, 여기서 h 는

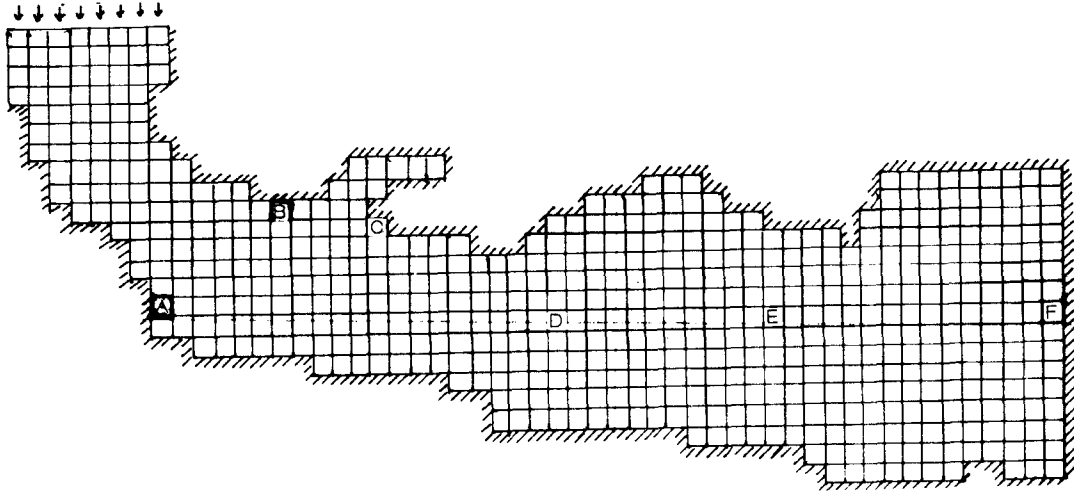


Fig 3-2 Grid Scheme and Station

평균해면으로 부터의 해면상승이다.

한편 연속방정식은 다음과 같다.

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (3.4)$$

만일 장파에서 가정하는 것과 같이 깊이에 따른 유속의 변화가 그리 크지않다고 가정하여 위의 방정식 (3.1), (3.2) 및 (3.4)를 $z=-h$ 에서 $z=d$ 까지 적분하여 체적유량 q_x, q_y 의 식으로 표시하면 다음과 같이 표시되는데 여기서 코리올리 항은 무시하였다.

$$\frac{\partial q_x}{\partial t} = -g(h+d) \frac{\partial h}{\partial x} - \tau_{bx} - (h+d) \left\{ \frac{\partial \bar{u}^2}{\partial x} + \frac{\partial \bar{u}\bar{v}}{\partial y} \right\} + A_h \nabla_h^2 q_x \quad (3.5)$$

$$\frac{\partial q_y}{\partial t} = -g(h+d) \frac{\partial h}{\partial y} - \tau_{by} - (h+d) \left\{ \frac{\partial \bar{v}^2}{\partial y} + \frac{\partial \bar{u}\bar{v}}{\partial x} \right\} + A_h \nabla_h^2 q_y \quad (3.6)$$

$$\frac{\partial h}{\partial t} = - \frac{\partial q_x}{\partial x} - \frac{\partial q_y}{\partial y} \quad (3.7)$$

여기서 $q_x = \int_{-h}^d u dz$, $q_y = \int_{-h}^d v dz$ 이며 비선형항의 \bar{u}, \bar{v} 는 평균유속으로서 각각 $\bar{u} = u/(h+d)$, $\bar{v} = v/(h+d)$ 이다. 또한 τ_{bx}, τ_{by} 는 해저의 마찰응력으로서 마찰계수 λ 를 사용한 공식 $\vec{\tau}_b = \rho \lambda |\vec{v}| \vec{v}$ 를 이용하였다.

3.2 수치 SCHEME

수치 scheme 에는 유한차분법 (Finite Difference Method)이 사용되었는데 시간에 대해서 전방차분법, 공간에 대해서는 중앙차분법으로 표시하였다. 또한 계산의 편의를 위해 정방향의 격자를 사용하였으며 수면변화와 수심의 값을 중심에 두고 속도와 유량이동을 경계에 두는 staggered grid 방식⁵⁾이 사용되었다. 모델의 운동방정식과 연속방정식의 유한차분식은 오와 최(1986)⁶⁾, 박(1986)⁷⁾ 등의 논문에서 찾아볼 수 있다. 본 연구에서 목포항은 격자간격을 100m로 하여 그림 3-2와 같이 54 x 27개의 격자망으로 나누었고, 시간간격 Δt 는 Courant-Frien-

drichs- Lewy (CFL) 안정조건을 택하여 4초로 하였다. 초기조건으로는 d 를 제외한 모든 변수 (u, v, \dots)들을 모두 영(zero)으로 하였으며, 육지에 해당하는 격자점에서는 d 에 음수값을 입력시켜 계산에서 제외시켰다. 경계조건으로는 basin 입구에서 시간에 따른 수면변화를 cosine curve 를 이용하여 simulation 하였는데 진폭은 10cm로 하였고 주기는 4분에서 60분 까지 약 2분 간격으로 증가시키면서 10주기 동안 계산하였다.

4. 결과 및 분석

그림 4-1 에서 4-6은 6개 station 에서의 주기 변화에 대한 최대증폭율을 나타내고 있다. 각 station 의 위치는 그림 3-2에 표시되어 있는데 station B는 부둣가이며 station C는 검조소가 위치한 장소이다. station A부근에는 평균수심 약 10m의 수로 (격자 1개 정도의 폭)가 있으나 수로가 막힌 것으로 간주하였다. 여기서 최대증폭율(R)은 입사파(진행파)의 진폭에 대한 해면승강의 최대진폭과의 비율인데 최대증폭율은 station 의 위치에 따라 틀리지만 최대값이 약 2.5이다. 이 값은 해저응력을 매 2 step 마다 한번씩만 계산한 결과이나 해저응력 적용빈도와 마찰응력 계수값의 크기에 따라 최대증폭율의 값은 다

르게 될 것이다. 본 연구에서는 마찰응력 계수값 $k=0.026$ 이 사용되었다. 그림 4-7과 4-8은 station B와 C에서 각각 $T=3, 5, 7, 12, 20$ 분 일때의 해면변화를 보여주고 있고 그림 4-9와 4-10은 station E와F에서 각각 $T=10, 20, 30, 40, 50, 60$ 분 일 때의 해면변화를 나타내고 있다. 최대증폭율과 해면변화를 이용하여 수치모델의 결과를 분석하면 다음과 같다. 제1고유주기는 그림 2-1의 제 1 mode와 같은 형상으로 부진동을 일으키므로 basin 의 가장 안쪽에서 최대증폭율이 예측된다. 따라서 그림 4-5, 4-6에 의하면 제1고유주기는 약 40분에서 50분사이로 예측이 되나 개방경계에서 강제로 해면변동을 일으켜야 하는 수치 모델링의 문제점으로 인하여 제1 mode의 고유주기를 찾기 위해서는 그림 4-11과 같은 2가지 형태를 고려해야 한다. Table 4-1은 제1고유주기를 찾기 위해 수치모델을 이용한 계산결과를 정리한 것인데 $T=34$ 분 부근에서 그림 4-7의 (a)와 같은 형태를 볼 수 있고 주기가 증가할수록 (b)와 같은 형태로 변화함을 알 수 있다. 한편 제2 고유주기와 제3고유주기는 그림 4-2와 4-3에서 보아 알 수 있는 것과 같이 각각 12분과 7분 부근이다. 결론적으로 수치모델에 의한 계산결과는 이론식을 사용해 구한 고유주기와 거의 같음을 알 수 있다.

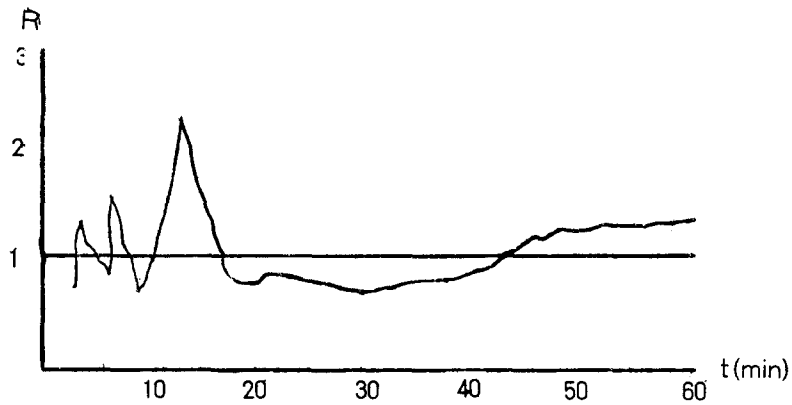


Fig. 4-1 Calculated maximum amplification factor(R) for station A.

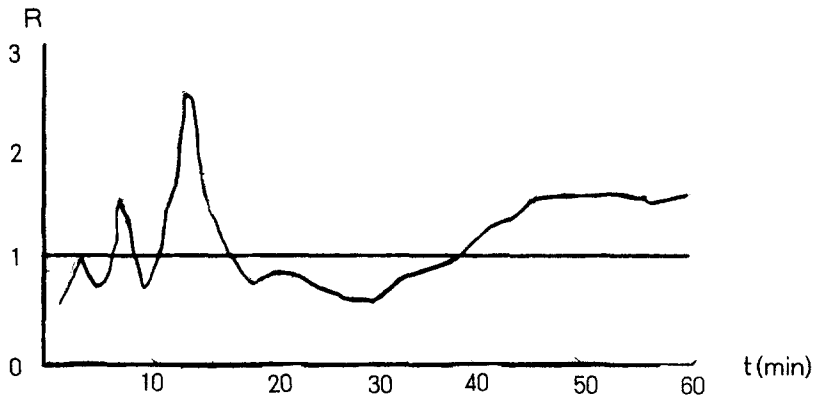


Fig. 4-2 Calculated maximum amplification factor(R) for station B.

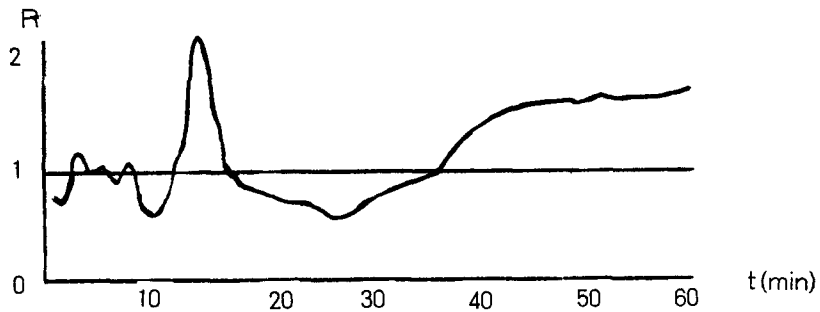


Fig. 4-3 Calculated maximum amplification factor(R) for station C.

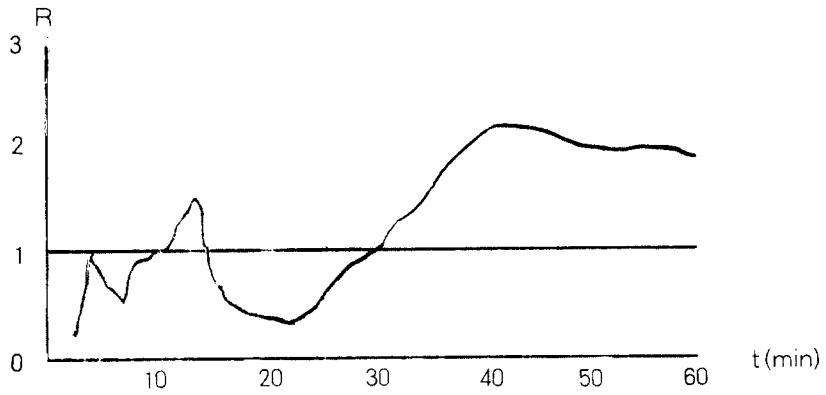


Fig. 4-4 Calculated maximum amplification factor(R) for station D.

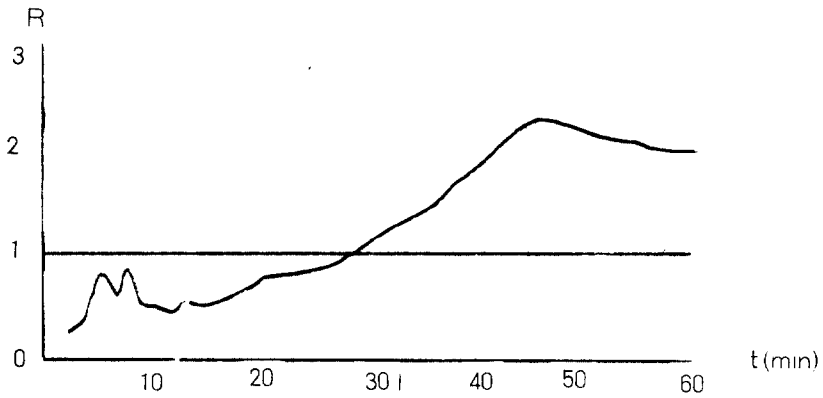


Fig. 4-5 Calculated maximum amplification factor(R) for station E.

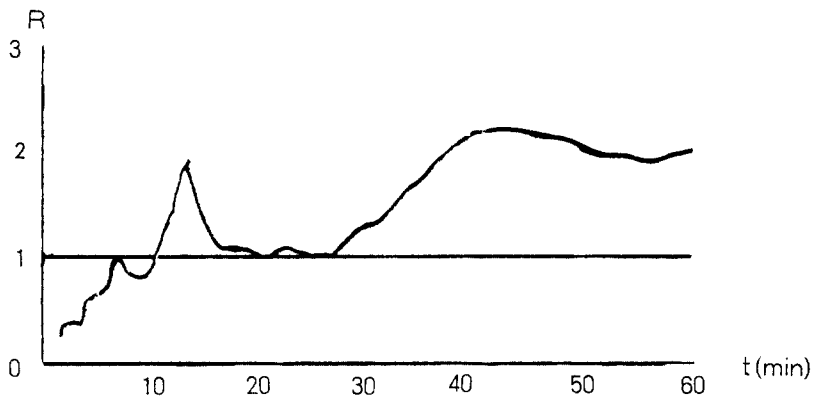


Fig. 4-6 Calculated maximum amplification factor(R) for station F.

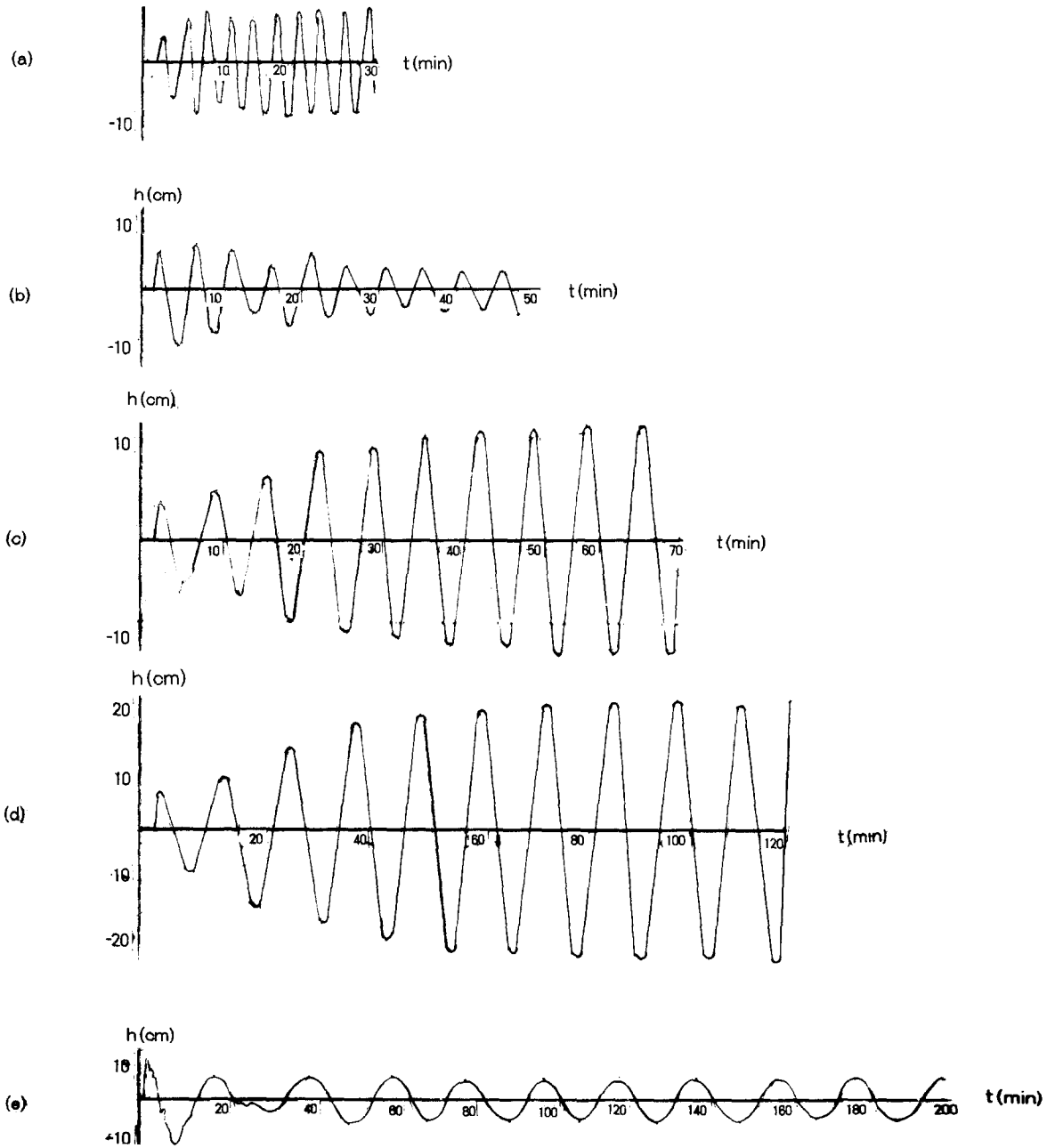


Fig. 4-7 Time series of sea surface fluctuation(h) for station B.
(a) $T=3$ min, (b) $T=5$ min, (c) $T=7$ min, (d) $T=12$ min, (e) $T=20$ min

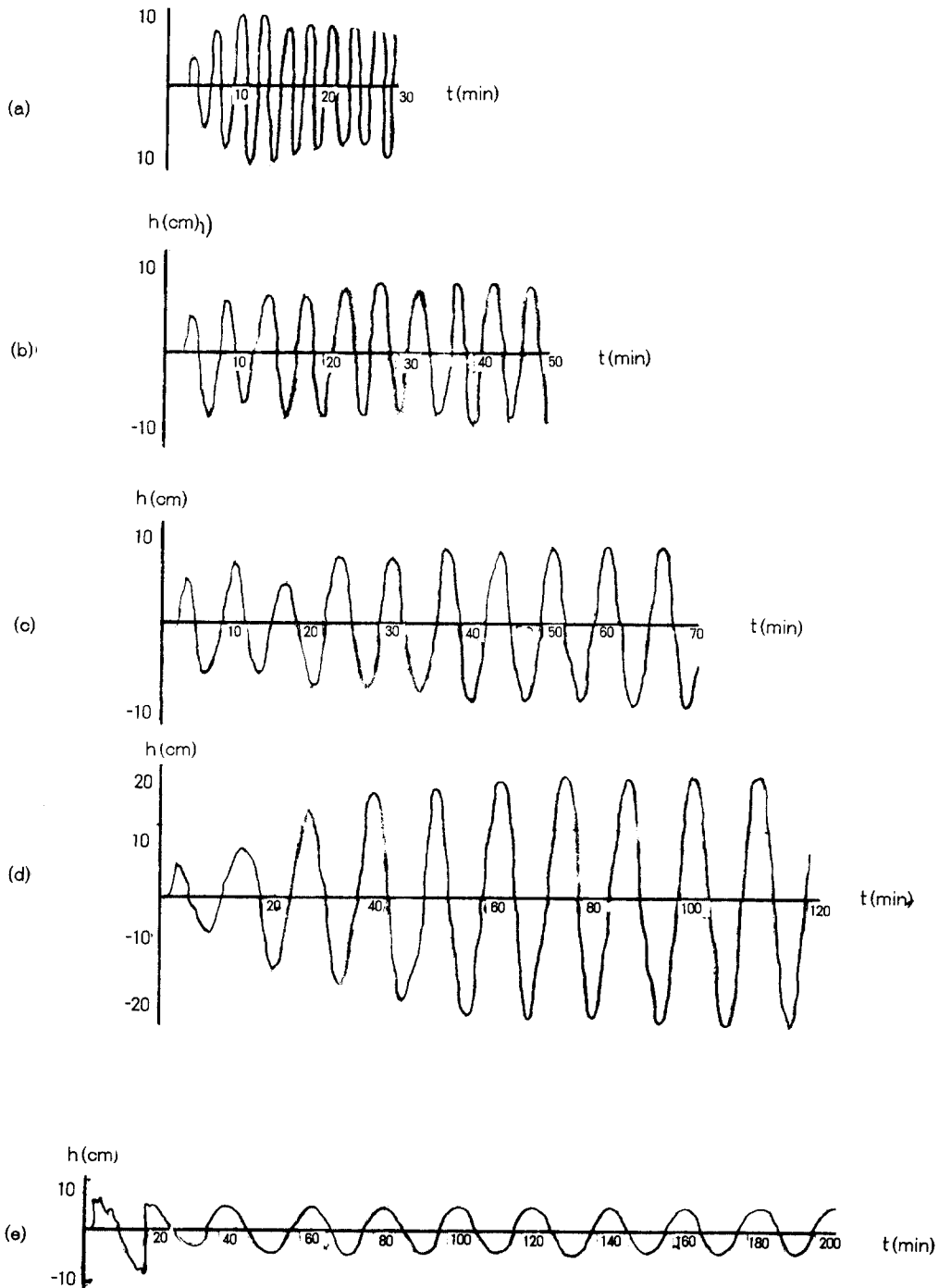


Fig. 4-8 Time series of sea surface fluctuation(h) for station C.
(a) $T=3\text{min}$, (b) $T=5\text{min}$, (c) $T=7\text{min}$, (d) $T=12\text{min}$, (e) $T=20\text{min}$

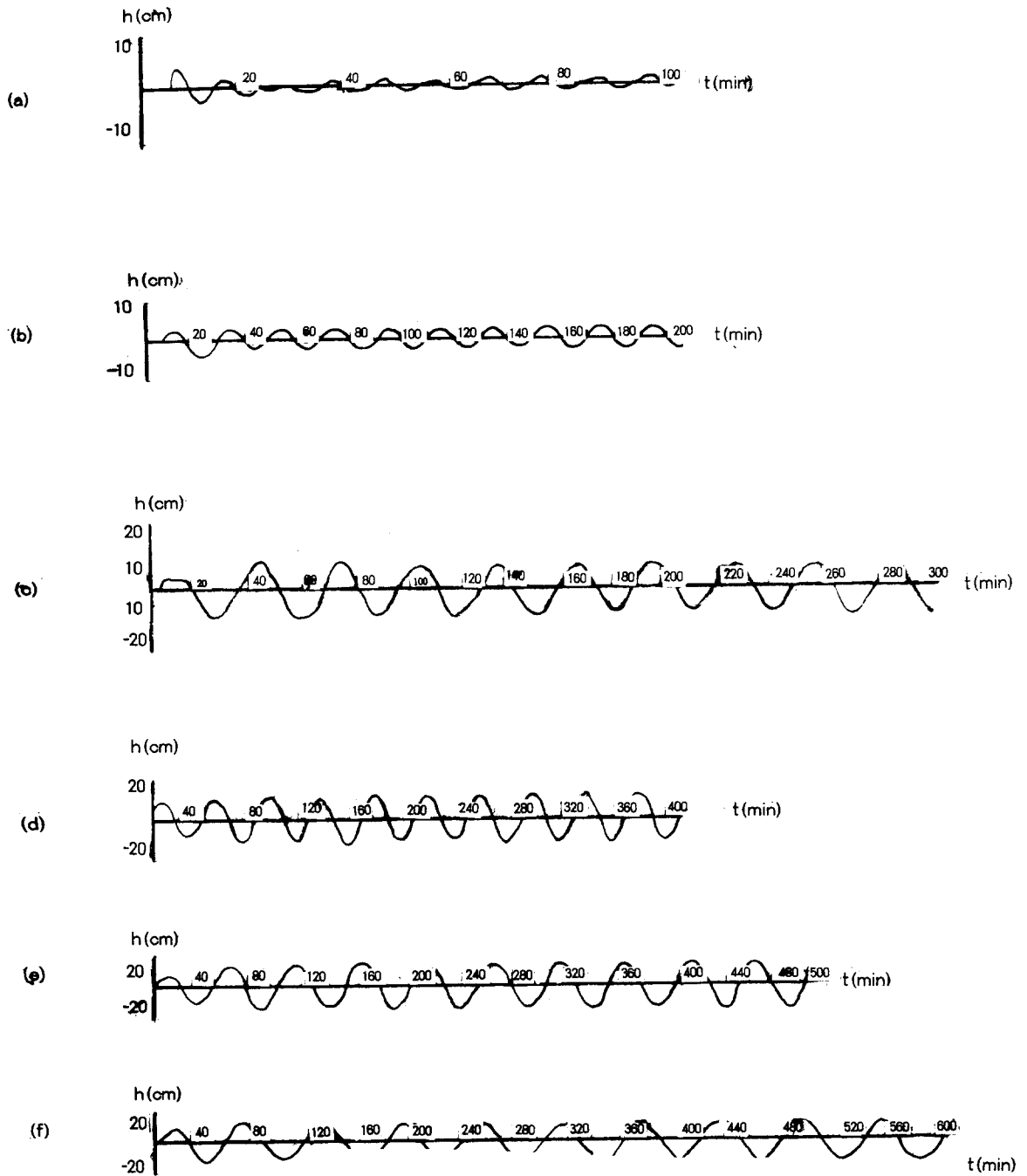


Fig. 4-9 Time series of sea surface fluctuation(h) for station E.

(a) $T=10$ min, (b) $T=20$ min, (c) $T=30$ min, (d) $T=40$ min, (e) $T=50$ min, (f) $T=60$ min

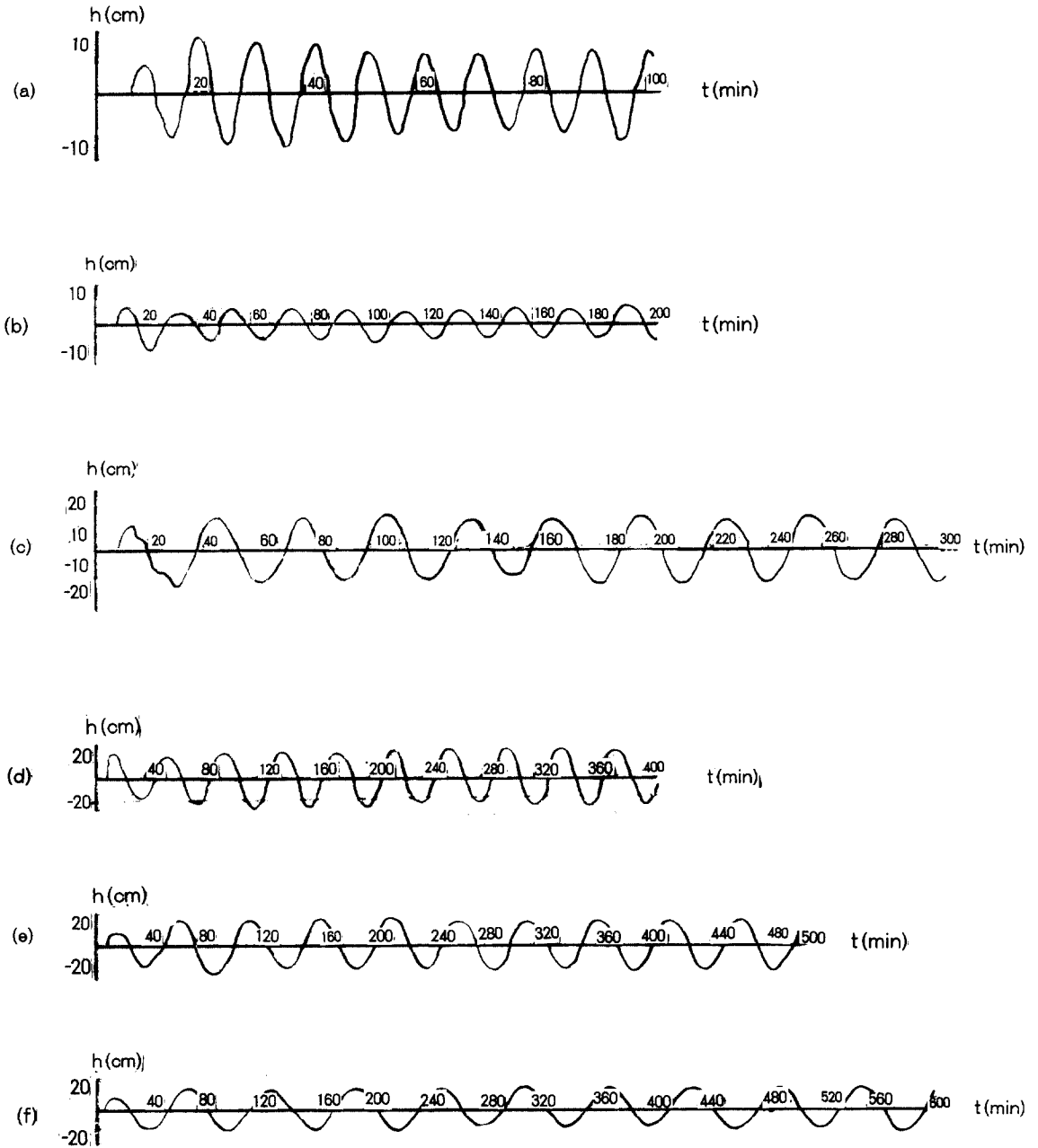


Fig. 4-10 Time series of sea surface fluctuation(h) for station F.

(a) $T=10$ min, (b) $T=20$ min, (c) $T=30$ min, (d) $T=40$ min, (e) $T=50$ min, (f) $T=60$ min

Table 4-1 Calculated sea level for station A-F near fundamental mode.

station forcing period	A	B	C	D	E	F
28	- 2.28	- 1.02	0.67	5.05	7.61	9.27
30	- 1.56	- 0.28	1.39	5.87	8.38	10.00
31	- 1.24	0.04	1.67	6.20	8.66	10.24
32	- 0.96	0.31	1.88	6.42	8.82	10.35
33	- 0.76	0.49	1.99	6.50	7.76	10.29
34	- 0.64	0.56	1.96	6.41	8.59	9.99
35	- 0.64	0.56	1.76	6.09	8.12	9.42
36	- 0.77	0.28	1.38	5.51	7.35	8.52
38	- 1.52	- 0.70	0.00	3.55	4.90	5.76
40	- 2.84	- 2.32	- 2.06	0.68	1.47	1.96
42	- 4.49	- 4.26	- 4.43	- 2.56	- 2.31	- 2.14
46	- 7.54	- 7.71	- 8.43	- 7.99	- 8.49	- 8.78
50	- 9.40	- 9.73	-10.62	-10.92	-11.70	-12.70
60	-10.77	-11.11	-11.84	-12.51	-13.22	-13.65

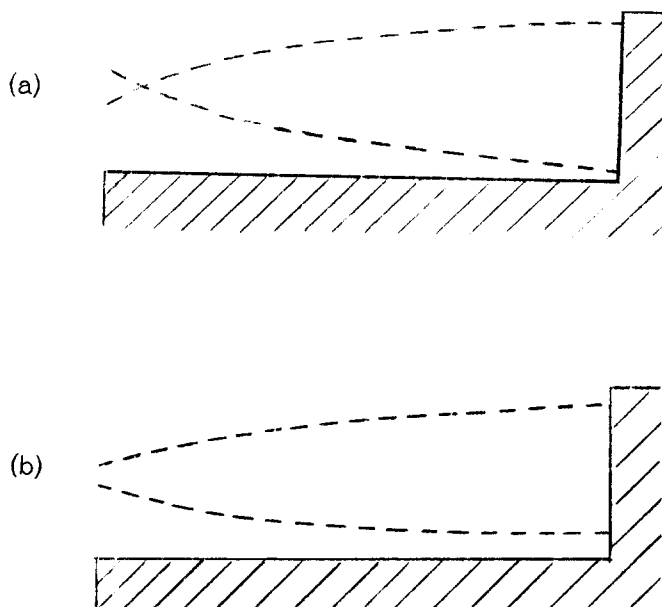


Fig. 4-11 Possible surface profiles for fundamental mode with forced open boundary condition.

참고문헌

- 1)해사신문, 1989. 4. 6
- 2)임병대, “하구언으로 인한 영산강 하구의 조석 변화에 대한 연구”, 전남대학교 토목공학과 박사논문, 1984.
- 3)Sorensen, R. M., “Basic Coastal Engineering”, A Wiley-Interscience Publication, 1978.
- 4)Bowden, K.F., “Physical Oceanography of Coastal Waters.” John Wiley & Sons, 1969.
- 5)Chow, C.Y., “An Introduction to Computational Fluid Mechanics”, John Wiley & Sons, 1979.
- 6)오임상 최현우, “A Basic Study for Numerical Modelling for the Keum River Estury”, 서울대학교 해양학과, 1986.
- 7)박한일, “영일만과 포항 신항의 해면 부진동에 관한 수치 실험 연구”, 서울대학교 해양학과 석사 논문, 1986.
- 8)Roache, P.J., “Computational Fluid Dynamics ”, Hermosa Pub., 1982.