

BSPE 00081 - 133 - 1

韓國東海岸에서 日平均 海面變化

Daily Mean Sea Level Changes along
the East Coast of Korea

1987. 2.

韓國科學技術院
海洋研究所

提 出 文

海洋研究所長 貴下

本 報告書를 “韓國 東海岸에서 日平均 海面變化” 事業의 最終 報告書로 提出
합니다.

1987年 2月 28日

韓國科學技術院 海洋研究所

研究責任者：李 興 宰（海洋研究所 海洋物理研究室）

研 究 員：玄 珍 基（海洋研究所 海洋物理研究室）

：李 炳 燮（交 通 部 水 路 局）

要 約 文

韓國 東海岸에 位置한 속초, 묵호, 포항, 울릉도 檢潮所에서 1980 年부터 1982 年까지 3 年間 觀측한 時間別 海面資料를 利用하여 日平均 海洋變化를 分析하였다. 日平均 海面은 變化幅의 크기가 $\pm 25\text{ cm}$ 정도로 여름철에 上昇하고 겨울철에 下降하는 季節變化를 보였으나 靜壓理論을 만족하지 않았다. 大氣壓 影響을 제거한 補正海面은 강한 移動性 低氣壓 通過時 20 cm 이상의 큰 變化를 보이고 調査海域에서 票準偏差가 $6\sim 8\text{ cm}$ 에 달하였다. 속초, 묵호, 포항의 補正海面 사이에 相關性은 매우 높으며 북쪽 觀측점의 補正海面의 位相이 남쪽의 補正海面보다 빨라 Kelvin 波와 大陸棚波의 傳播方向과 일치하였다. 남쪽으로 進行하는 波動現象의 觀測速度는 Kelvin 波보다 느리나 指數形의 海底地形을 假定하여 推定한 大陸棚波보다는 빠른 結果를 얻었다.

Abstract

Daily mean sea levels off the east coast of Korea were analysed using hourly sea level data observed at Sogcho, Mukho, Pohang and Ulreungdo during 1980-1982. Daily mean sea level changes of the order of ± 20 cm showed a large seasonal variation such that they rose during summer but fell during winter. The levels did not respond according to the static theory (-1 cm/mb). The adjusted sea levels have a standard deviation of 6-8 cm, reaching 20 cm in amplitude at passages of cyclones in late summer. Adjusted sea levels at different stations are found to be highly correlated and the sea levels at northern stations lead those at southern stations, which is coincident with the propagation direction of Kelvin and shelf waves. Observed phase speeds with the southward propagation in the study area are estimated to be less than Kelvin waves but larger than barotropic shelf waves on an exponential bottom topography.

目 次

要約文	3
英文要約文	5
第1章 序論	11
第2章 資料 및 處理方法	13
2-1 資 料	13
2-2 Low-pass filtering	14
2-3 資料分析	15
第3章 日平均海面과 大氣壓	17
3-1 時間變化	17
3-2 分散量	17
3-3 barometric factor	22
第4章 補正海面	24
4-1 時間變化	24
4-2 分散量	24
4-3 스펙트럼	28
4-4 補正海面 사이 相關性	36
4-5 相關度와 位相差	42
第5章 結論 및 討議	48
參 考 文 獻	51

그림 목차

List of Figures

- Fig. 1. Tidal stations (●) and weather stations (▲) along the east coast of Korea. 13
- Fig. 2. Low-pass filters for hourly sea level data (continuous curve) and atmospheric pressure data sampled at every 6 hours (discontinuous line). ... 15
- Fig. 3. Low-passed mean sea levels (continuous line) and negative atmospheric pressures (continuous line with x) for 1980-1982 along the east coast of Korea. (a) Sogcho, (b) Mukho, (c) Pohang and (d) Ulreungdo. 18
- Fig. 4. Adjusted sea levels at Sogcho, Mukho, Pohang and Ulreungdo for 1980-1982. (a) 1980, (b) 1981, and (c) 1982. 25
- Fig. 5. Spectrum of adjusted sea levels at Sogcho (SC), Mukho (MH), Pohang (PH) and Ulreungdo (UD) for 1980-1982. (a) 1980, (b) 1981, and (c) 1982. 30
- Fig. 6. Spectrum of adjusted sea levels for different periods. The spectrum are estimated from spectral energy density multiplied by frequency, which corresponds to variance in the frequency band considered. (a) Sogcho (SC), (b) Mukho (MH), and (c) Pohang (PH). 33
- Fig. 7. Cross-correlation coefficients for adjusted sea levels between different stations. Unit of time lag is 0.5 days. The positive time lags mean that the adjusted sea level at a northern station leads that at a southern station. S is for Sogcho, M for Mukho and P for Pohang. (a) January-December 1980, (b) January-December 1981, (c) January-December 1982, (d) May-October 1980, (e) November 1980-April 1981, (f) May-October 1981, (g) November 1981-April 1982, and (h) May-October 1982. 37

- Fig. 8. Cross-correlation coefficients for adjusted sea levels between Sogcho and Pohang. Unit of time lag is 0.5 days. The positive time lags mean that the adjusted sea level at a northern station leads that at a southern station. 42
- Fig. 9. Coherences and phase differences between adjusted sea levels at different stations for 1980-1982. The negative phase means that the northern station leads the southern stations. The dashed line indicates 95% confidence limit for coherence. (a) one year records, (b) summer records, and (c) winter records. SC is for Sogcho, MH for Mukho and PH for Pohang. 43
- Fig. 10. Bottom profiles off the east coast of Korea. ... 50

表 目 次

List of Tables

Table 1.	Locations of tidal stations and weather stations along the east coast of Korea.	14
Table 2.	Standard deviations for mean sea level (MSL) and atmospheric pressure (AP). Units are cm for MSL and mb for AP.	22
Table 3.	Barometric factor estimated from the linear regression method.	23
Table 4.	Standard deviations of adjusted sea levels at Sogcho, Mukho, Pohang and Ulreungdo for 1980-1982.	28
Table 5.	Maximum cross-correlation coefficients for adjusted sea levels between two different stations.	36
Table 6.	Phase differences between adjusted sea levels at Sogcho and Pohang at frequencies where spectral peaks are located.	46

第 1 章 序 論

靜壓理論에 의하면 潮汐이 제거된 平均海面은 大氣壓 變化에 逆으로 反應하게 된다. 즉 大氣壓이 1mb 增加하면 해면은 1cm 減少한다. 그러나 淺海域에서 海面變化는 반드시 低周波 大氣壓에 -1 cm / mb 로 변하지 않는다는 것이 여러海域에서 觀測되었다. Hamon (1962, 1963)은 호주의 沿岸海面資料를 分析하여 海面變化가 靜壓理論을 만족하지 않으며 두 觀測點에서 大氣壓을 補正한 海面사이의 位相差異가 있음을 報告하였다. 이러한 非靜壓的 海面變化는 Oregon 海岸 (Mooers 와 Smith, 1968), North Carolina 海岸 (Mysak 과 Hamon, 1969), Biscay 灣 (Lie, 1979) 등 세계 여러 主要 沿岸域에서 調査되었다.

Hamon의 非靜壓的 海面變化와 補正海面사이 位相差를 說明하기 위해 Robinson- (1964)은 移動性大氣壓에 의한 大陸棚波 理論을 처음으로 提示하였다. 그후 Adams 와 Buchwald (1969), Gill 과 Schumann (1974), Lie (1981) 등은 大陸棚波가 移動性 氣壓보다는 海岸線에 平行한 바람成分에 의해 발생된다고 제시하였고, 바람에 의한 大陸棚波와 觀測한 位相差의 結果가 잘 一致함을 보였다. 大陸棚波 理論 및 觀測結果는 Mysak (1980)에 의해 자세히 定理된 바 있다.

韓國 東海岸에서 海面變化研究는 Lee 와 Chung (1982)이 1978. 4.1-1979. 4.30 海面資料를 分析한 것과 Lie (1984)가 1980년 長期沿岸海流와 海面資料를 分析한 것 뿐이다. Lee 와 Chung (1982)은 1978년 補正海面이 여름철에만 $0.24 - 0.26 \text{ cpd}$ 의 스펙트럼 피크를 갖고 있으며 속초와 묵호의 補正海面이 포함보다 빠름을 보고하였다. Lie (1984)도 沿岸海流가 여름에만 0.3 cpd 스펙트럼 피크를 보이고 $30-40 \text{ km/h}$ 의 位相速度를 가진 북에서 남으로 進行하는 波動運動 存在를 觀測하였다.

本 報告書에서는 1980. 1. 1-1982.12.31의 3年間 東海岸에서 觀測된 海面과

氣象資料를 利用하여 日平均 海面과 大氣壓의 變動性을 살피고, 大氣壓 補正海面이 여름철에만 0.2-0.3cpd에서 스펙트럼 peak를 보이는지 재확인하고, 또한 補正海面사이에 位相差를 計算하고, 位相速度가 Kelvin波나 大陸棚波의 速度와 一致하는지 檢討하였다.

第2章 資料 및 處理方法

2-1 資料

交通部 水路局이 東海에서 潮汐計를 設置 運營하여 海面變化를 觀測하는 곳은 속초, 묵호, 포항, 울산, 울릉도이며 中央氣象臺가 沿岸氣象을 觀測하는 測候所는 속초, 강릉, 울진, 포항, 울산, 울릉도이다. 本 研究에서는 外海域의 水深이 비교적 깊은 속초와 포항사이 海域을 研究對象으로 하였다. 그림 1 과 表 1 은 沿岸 測候所와 檢潮所의 위치를 나타내고 있다.

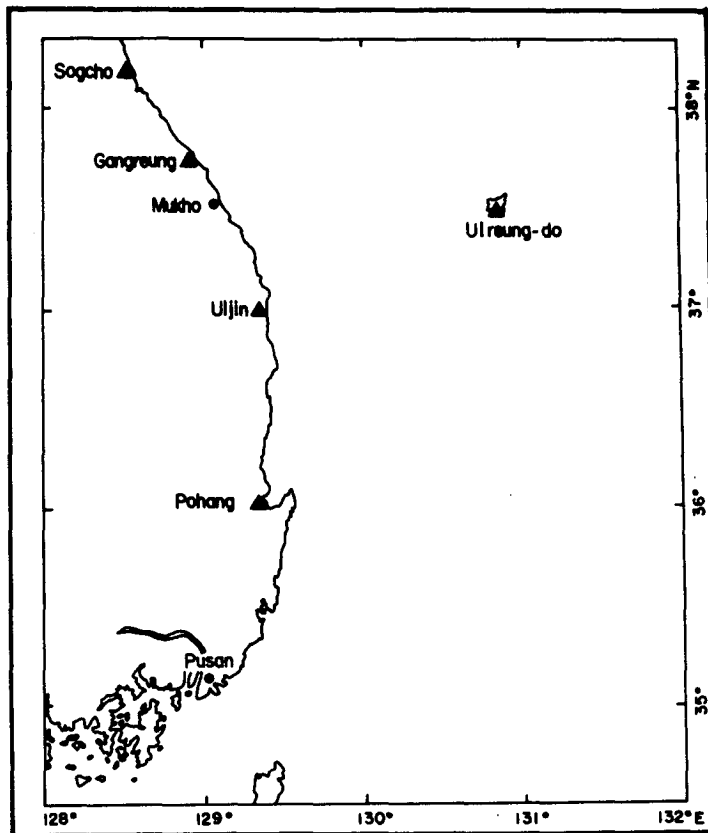


Fig. 1. Tidal stations (●) and weather stations (▲) along the east coast of Korea.

Table 1. Locations of tidal stations and weather stations along the east coast of Korea.

Stations	Latitude (N)	Longitude (E)	Data
Sogcho	38°12'15"	128°35'47"	sea level
Mukho	37°32'51"	129°07'07"	"
Pohang	36°01'04"	129°23'57"	"
Ulreung-do	37°29'36"	130°54'50"	"
Sogcho	38°12'	128°36'	wind, pressure
Uljin	36°59'	129°25'	"
Pohang	36°02'	129°23'	"
Ulreung-do	37°29'	130°54'	"

本 研究에 利用된 海面과 氣象資料(海面氣壓과 바람)는 1980년 1월 1일부터 1982년 12월 31일까지 3년동안 調査된 것이다. 海面과 바람資料는 時間別 觀測資料를 利用하였고 海面氣壓은 매일 3, 9, 15, 21시에 (1일 4회) 觀測한 資料를 사용하였다. 바람方向은 16方位로 구분하여 觀測하기 때문에 北風을 0도, 南風을 180도가 되도록 時計回轉方向으로 角度가 增加하도록 換算하였다. 또한 觀測과 資料 入力시 發生될 수 있는 離音(noise)를 除去하기 위해 時間曲線을 그 린후 잡음을 削除하였다.

2 - 2 Low-pass filtering

觀測資料에는 時間變化는 물론 季節變化까지 包含되어 있기 때문에 1cpd이상의 高周波 變化가 除去된 日平均變化를 計算하기 위해 觀測資料를 filtering 하였다. 매시간 資料의 경우 入力資料의 振幅이 0.025 cph에서 50%, 0.03125 cph에서 10

%정도 通過시키는 Lanczos square taper 型 低周波 filter 를 使用하여 0 시와 12 시 하루 2 회의 濾터된 資料를 獲得하였다. 6時間 間隔인 海面氣壓 資料의 경우 濾터된 資料의 값이 海面과 바람資料와 時間이 一致될 수 있도록 隣接한 두 資料를 平均한 후 入力振幅의 50 %가 0.025 cph에서, 10%가 0.035 cph에서 通過 되도록 Lanczos square taper filter 를 適用하였다. 濾터의 weight 는 6 시간 資料에서는 19 개, 1 시간 資料에서는 191 개로 택하였다. 각 濾터의 特性은 그림 2 에 提示한 바와같이 weight 가 다르지만 서로 類似하다.

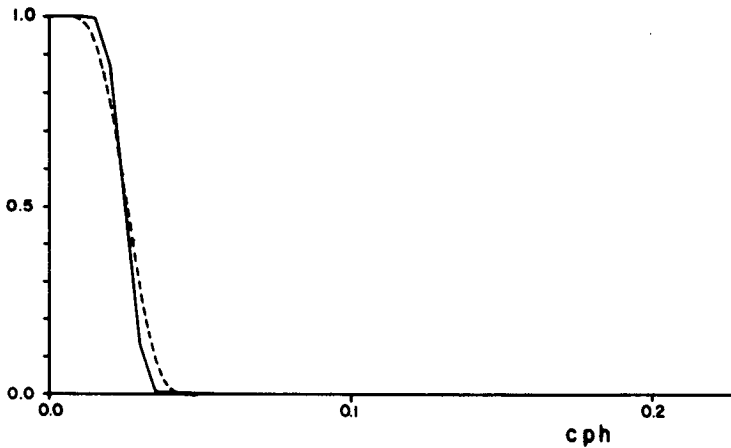


Fig. 2. Low-pass filters for hourly sea level data (continuous curve) and atmospheric pressure data sampled at every 6 hours (discontinuous line).

2-3 資料分析

海面變化 및 海面氣壓 觀測資料에 低周波通過 濾터를 適用시킨 후 0 시와 12 시를 基準으로 sampling 을 하였다. 東海의 경우 겨울철과 여름철 海況이 크게 바뀌기 때문에 季節變化를 研究하기 위하여 資料를 區分하여 分析處理하였는데 本 研究에서는 편의상 겨울은 11 월 1 일부터 다음해 4 월 30 일까지로, 여름은 5 월 1 일에서 10 월 31 일로 選擇하였다. 分析은 時間變化 曲線, auto-correlation, au-

to-spectrum, cross-correlation, cross-spectrum 등 時係列 分析方法을 이용하였고 spectrum과 cross-spectrum은 piece-average 方法을 사용하였고 piece 별 스펙트럼은 Fourier 變換法을 택하여 計算하였다. 자세한 내용은 Bendat 와 piersol (1971), Jenkins 와 Watts (1968)가 提示한 方法과 類似하다.

第3章 日平均海面과 大氣壓

3-1 時間變化

日平均海面과 大氣壓變化사이에 靜壓理論이 東海에서도 適用되는가를 쉽게 확인하기 위하여 海面과 大氣壓의 時間變化曲線을 그림 3에 提示하였다. 그림 3에 나타난 값은 각 該當年度의 平均値를 除去한 값으로 實線은 日平均海面, X로 표시한 實線은 負의 大氣壓 變化에 해당한다.

海面變化는 각 觀測點에서 공히 年 平均을 中心으로 5월과 10월사이는 陽의 값을, 10월에서 4월까지는 陰의 값을 보이며 $\pm 25\text{ cm}$ 程度內에서 變化함을 알 수 있다. 負의 大氣壓 變化는 平均海面과 같은 位相을 보이나 變化幅이 海面變化보다 적은 $\pm 20\text{ mb}$ 程度다. 겨울철에 海面變化의 下降은 高氣壓, 여름철 海面의 上昇은 低氣壓에 크게 의존하여 海面變化의 主要原因은 大氣壓 變化에 따른다는 것을 알 수 있다. 그러나 平均海面과 負의 大氣壓 크기가 一致하지 않고 때에 따라 그 차이가 $\pm 10\text{ cm}$ 정도에 달하고 있어 海面變化가 정확히 靜壓理論을 만족하지 않으며 靜壓效果보다 큰 것으로 나타나고 있다.

3-2 分散量

表 2는 日平均海面과 海面氣壓의 각 期間別 標準偏差를 나타낸다. 期間이 1年인 경우 平均海面의 標準偏差는 약 $9-10\text{ cm}$ 인데 반해 大氣壓의 標準偏差는 $6-7\text{ mb}$ 로 海面變化의 變化幅이 大氣壓에 비해 크게 나타나고 있다. 6개월 기간을 고려하면 大氣壓의 變動性은 4개 觀測點에서 모두 비슷한 크기를 갖는데 비해 ($4-5\text{ mb}$) 平均海面은 季節과 位置에 따라 약간 差異를 보인다. 즉 겨울철에는 울릉도 平均海面이 變化가 가장 크나 여름철에는 가장 적다. 表 2에서 6개월의 標準

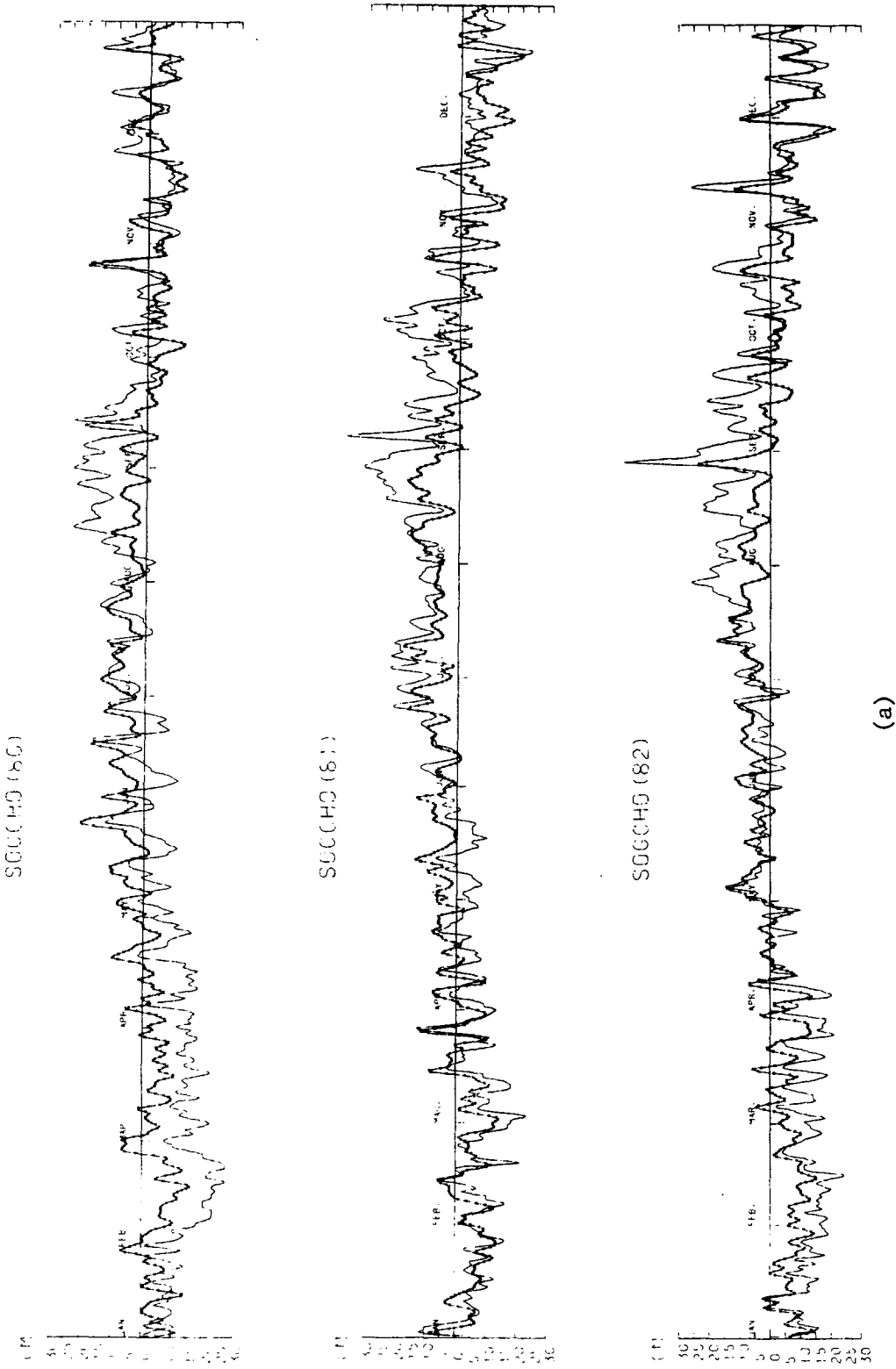
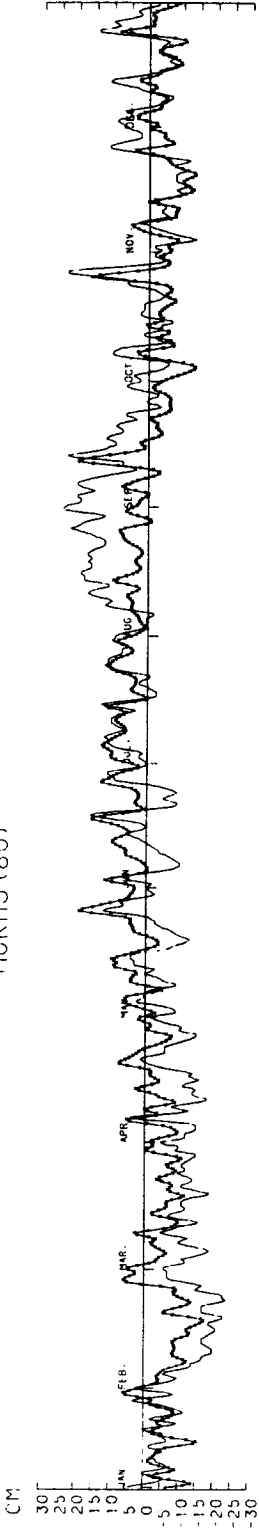
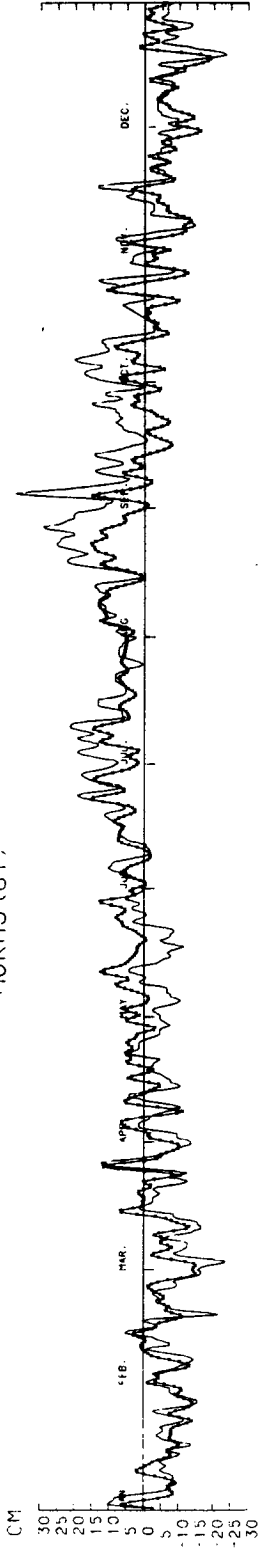


Fig. 3. Low-passed mean sea levels (continuous line) and negative atmospheric pressures (continuous line with x) for 1980-1982 along the east coast of Korea. (a) Sogcho, (b) Mukho, (c) Pohang and (d) Ulreungdo.

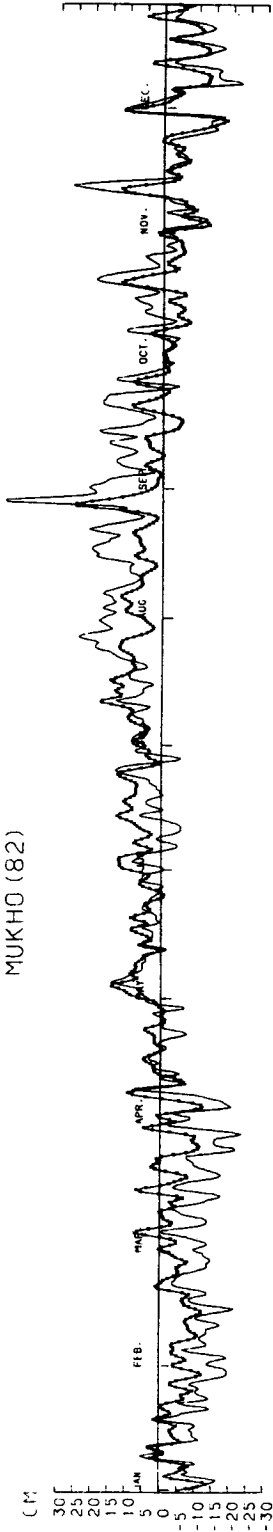
MUKHO (80)



MUKHO (81)



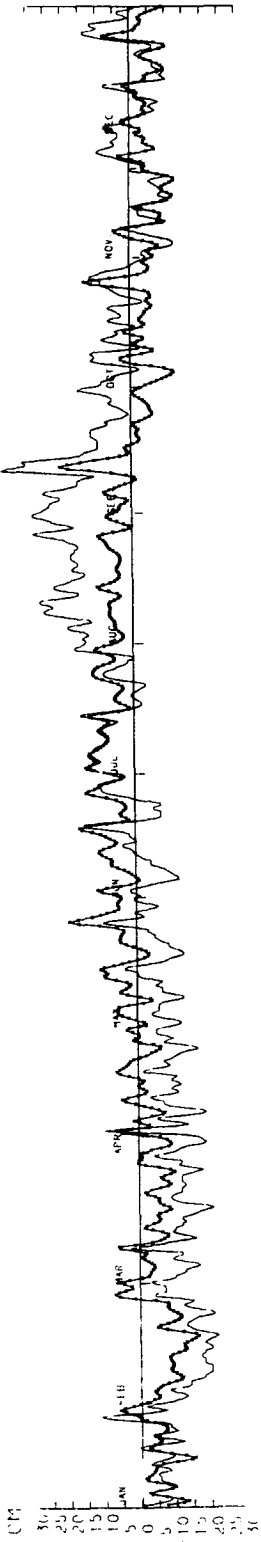
MUKHO (82)



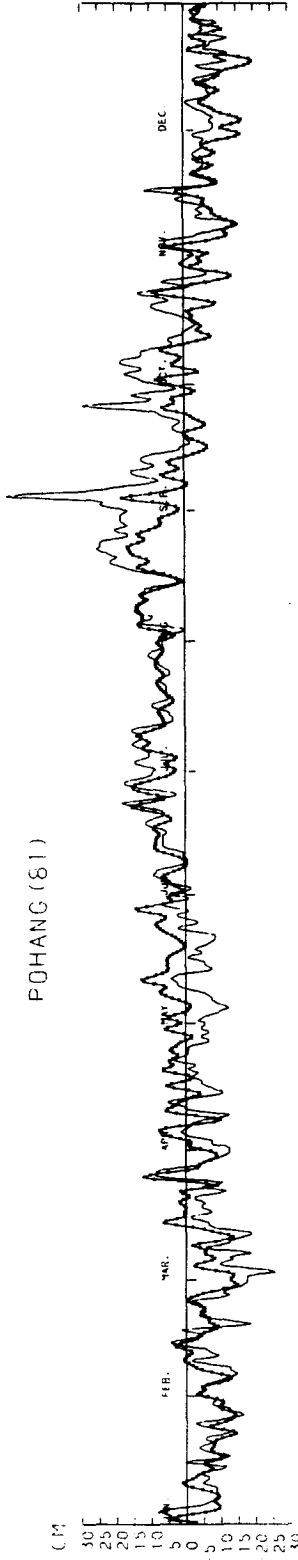
(b)

Fig. 3. Continued.

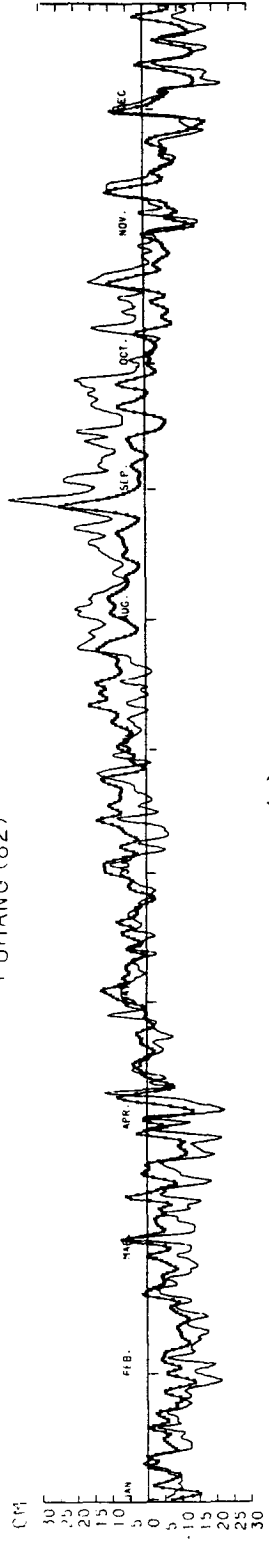
POHANG (80)



POHANG (81)



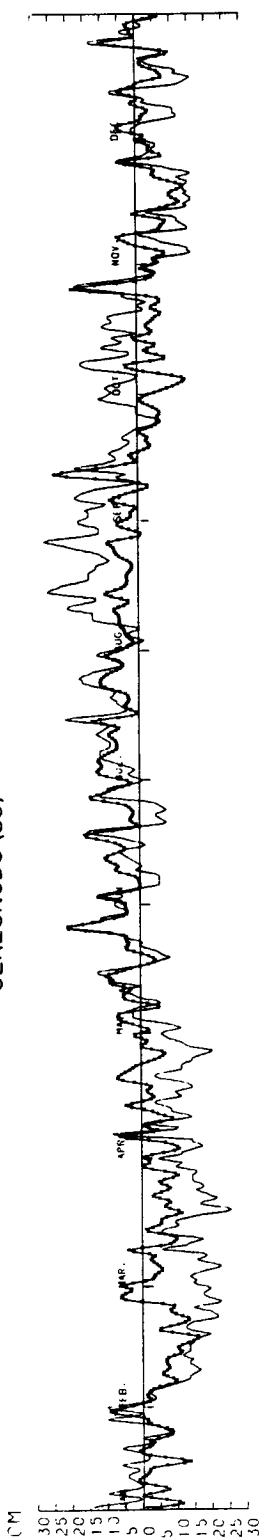
POHANG (82)



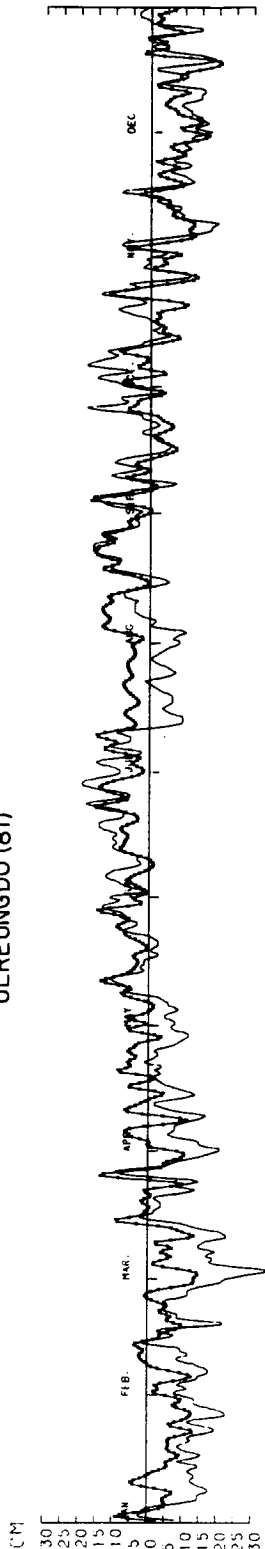
(c)

Fig. 3. Continued.

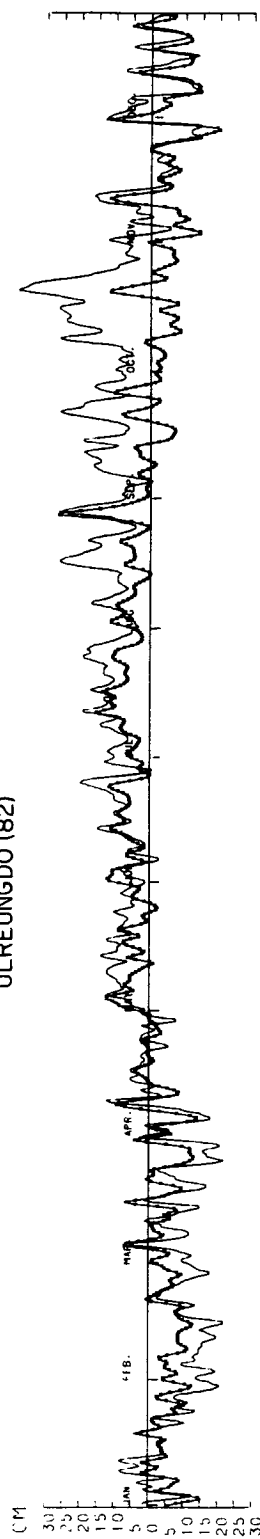
ULREUNGDO (80)



ULREUNGDO (81)



ULREUNGDO (82)



(d)

Fig. 3. Continued.

Table 2. Standard deviations for mean sea level (MSL) and atmospheric pressure (AP). Units are cm for MSL and mb for AP.

Periods \ Stations	Sogcho		Mukho		Pohang		Ulreungdo	
	MSL	AP	MSL	AP	MSL	AP	MSL	AP
Jan. - Dec. 1980	9.173	6.549	8.676	6.575	9.918	6.629	10.286	6.485
Jan. - Dec. 1981	10.129	7.497	9.624	7.094	9.409	7.525	9.394	7.192
Jan. - Dec. 1982	10.516	7.095	10.025	6.887	9.903	7.090	10.013	6.841
May - Oct. 1980	7.965	5.059	7.873	5.150	9.033	5.100	7.215	5.434
May - Oct. 1981	8.309	5.296	7.918	5.137	8.237	5.322	7.076	5.358
May - Oct. 1982	7.801	4.748	7.411	4.658	7.174	4.744	6.061	4.858
Nov. 1980 - Apr. 1981	6.747	5.036	6.639	5.206	6.393	4.968	7.291	5.448
Nov. 1981 - Apr. 1982	6.823	4.749	6.501	4.514	6.133	4.424	7.292	4.642

偏差가 12개월의 偏差보다 낮은 것은 該當期間의 平均值를 基準으로 偏差를 計算하였기 때문이다.

3 - 3 barometric factor

大氣壓變化가 平均海面에 미치는 影響은 大氣壓의 單位變化當 海面의 變化로 定義하는 barometric factor 를 사용하여 決定할 수 있다. barometric factor를 決定하는 方法은 여러가지가 있겠으나 本 報告書에서는 Lie (1979)가 사용한 方法을 택하였다.

barometric factor b 는 다음과 같이 線形的 regression에 의해 計算될 수 있다.

$$\hat{S}(t) = bY(t)$$

여기서 $Y(t)$ 는 時間 t 에서 大氣壓, b 는 決定해야 할 barometric factor,

$\hat{S}(t)$ 는 b 와 $Y(t)$ 로부터 計算되는 海面變化다. 常數 b 는 相關函數로부터 다음 식을 이용하여 구할 수 있다.

$$b = R_{ys}(0) / R_{yy}(0)$$

여기서 $R_{yy}(0)$ 는 時間遲延 0에서 大氣壓의 auto-correlation이며, $R_{ys}(0)$ 는 大氣壓과 海面氣壓과의 cross-correlation이다. 海面이 大氣壓變化에 즉시 反應하는 것으로 가정하면 cross-correlation이 時間遲延 0에서 最大를 갖게 되기 때문에 時間遲延을 0으로 택하였으며, 研究海域에서 海面이 이와같이 假定을 잘 滿足하고 있다.

表 3은 年別 資料로부터 計算한 barometric factor며 3年資料를 使用하여 計算한 結果도 提示하였다. 豫想한 바와같이 研究海域에서 barometric factor는 약 $-1\text{cm}/\text{mb}$ 로 觀測海面變化의 大部分이 靜壓理論에 의해 說明될 수 있음을 알 수 있다.

Table 3. Barometric factor estimated from the linear regression method. (unit : cm/mb)

Periods \ Stations	Sogcho	Mukho	Pohang	Ulreungdo
Jan. - Dec. 1980 (1 year)	-1.01	-0.9	-0.97	-1.02
Jan. - Dec. 1981 (1 year)	-1.03	-1.02	-0.96	-0.99
Jan. - Dec. 1982 (1 year)	-1.15	-1.11	-1.02	-1.01
Jan. 1980 - Dec. 1982 (3 years)	-1.11	-1.03	-1.01	-1.02

第4章 補正海面

4-1 時間變化

大氣壓의 補正海面은 海面變化와 大氣壓 사이를 線形的 關係로 假定하여 다음과 같이 表現할 수 있다.

$$\begin{aligned} AS(t) &= S(t) - \hat{S}(t) \\ &= S(t) - bY(t) \end{aligned}$$

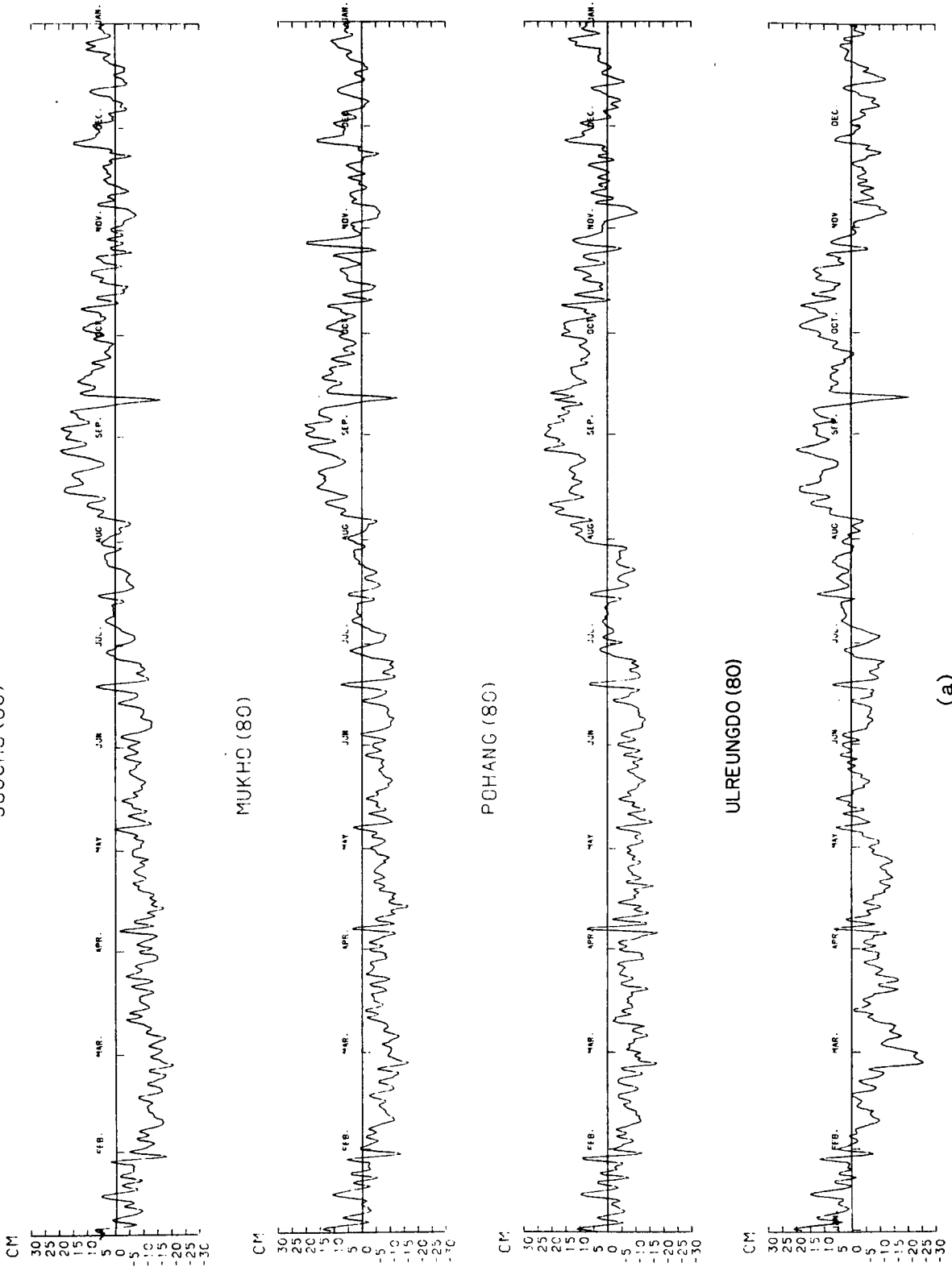
여기서 $S(t)$ 는 時間 t 에서 觀測海面, $Y(t)$ 는 大氣壓, $\hat{S}(t)$ 는 $Y(t)$ 變化에 따른 海面의 線形的 反應을 나타내고 $AS(t)$ 는 觀測海面과 $S(t)$ 사이 差異에 該當하며 補正海面으로 定義된다. 靜壓理論에 의하면 $b = -1 \text{ cm}/\text{mb}$ 에 該當한다.

위와같은 方法으로 計算한 補正海面의 變化를 年度別로 그림 4에 提示하였다. 이때 年平均値를 편의상 0으로 택하였다. 年平均에서 陰(-)의 變化는 주로 1월 - 6월사이에 나타나고 陽(+)의 變化는 7월에서 - 12월까지로 매년 反復되고 있음을 알 수 있다. 특히 補正海面이 年平均値와 크게 차이나는 달은 9월과 10월로 그 차이가 빈번히 20 cm 以上에 달한다.

4-2 分散量

각 觀測點에서 補正海面의 分散量이 年度 및 季節에 따라 어떻게 변하는지 把握하기 위해 標準偏差를 計算하였다. 補正海面의 時間變化曲線에서 나타난 바와 같이 分散量이 資料에 包含되어 있는 trend와 平均値에 크게 의존하기 때문에 線形的 trend를 除去한 후 該當期間 平均値를 中心으로 標準偏差를 計算하여 表 4에 提示하였다.

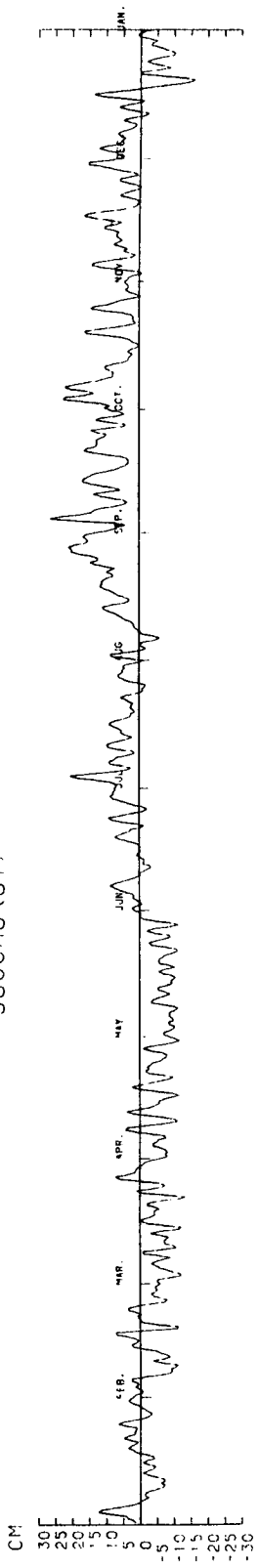
1年資料의 境遇 標準偏差의 크기가 약 6-8 cm 정도로 觀測點 사이 큰 차이가



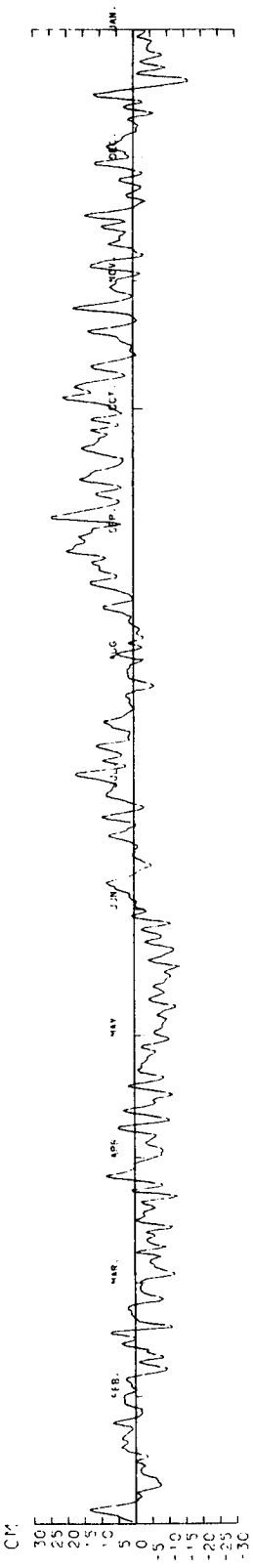
(a)

Fig. 4. Adjusted sea levels at Sogcho, Mukho, Pohang and Ulreungdo for 1980-1982. (a) 1980, (b) 1981, and (c) 1982.

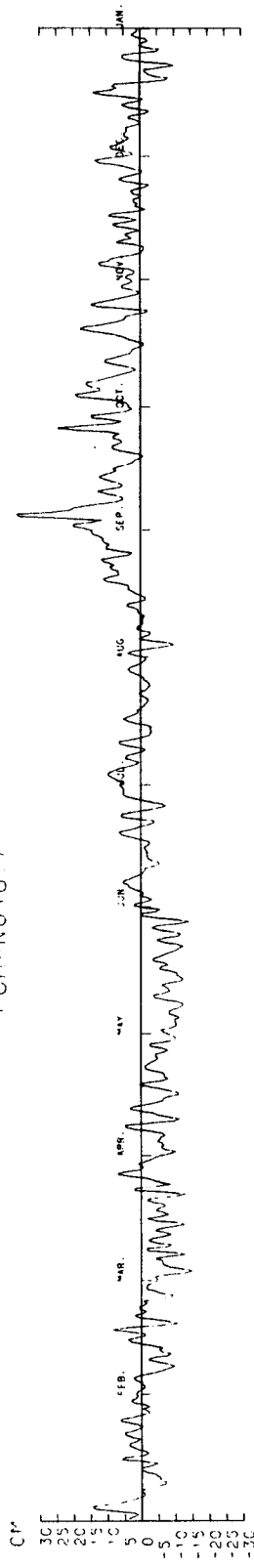
SOGCHO (81)



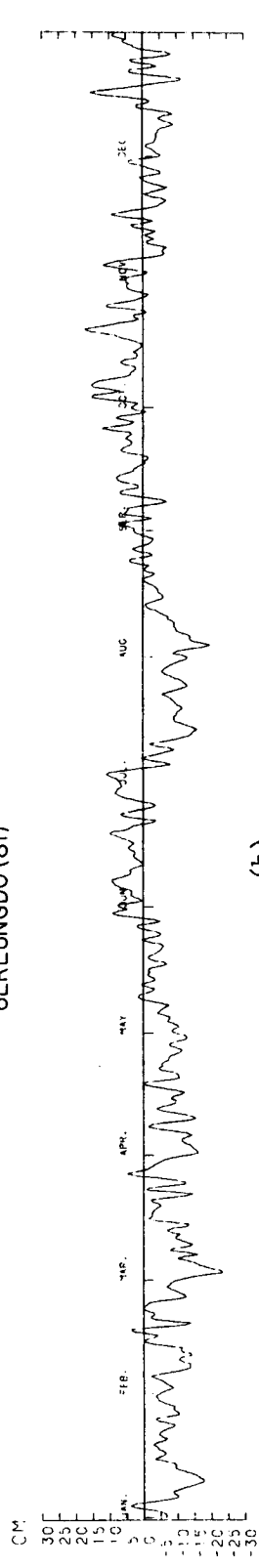
MUKHO (81)



FCHANG (81)



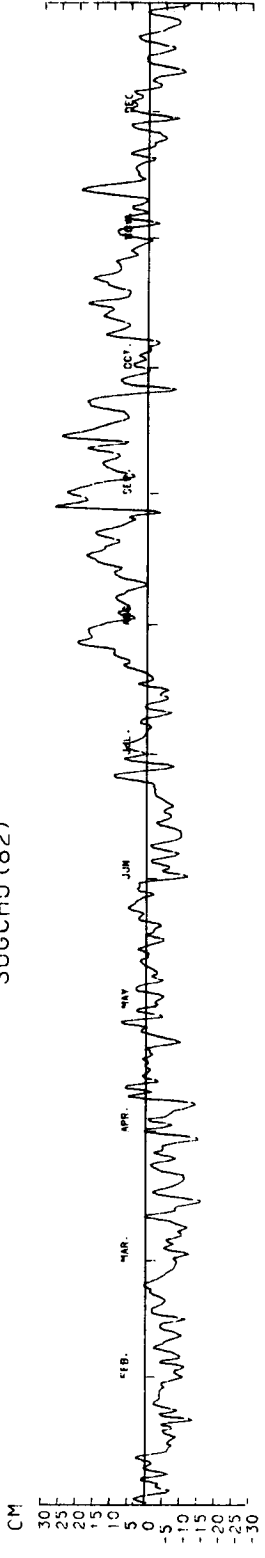
ULREUNGDO (81)



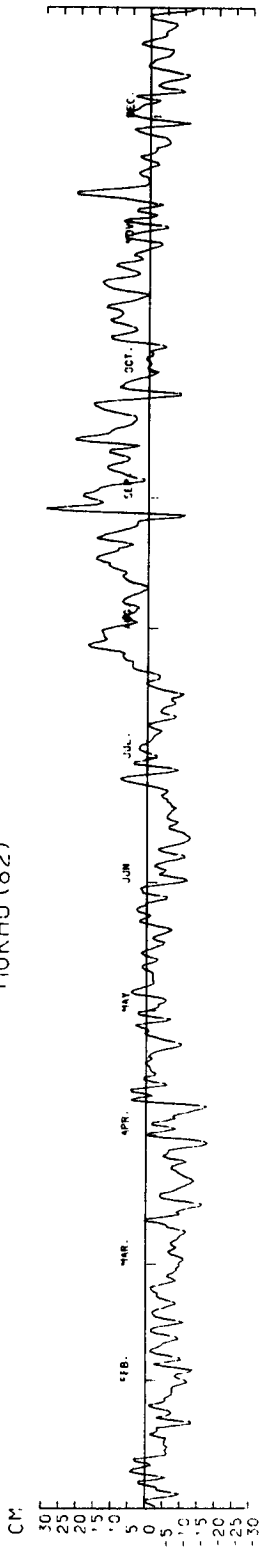
(b)

Fig. 4. Continued.

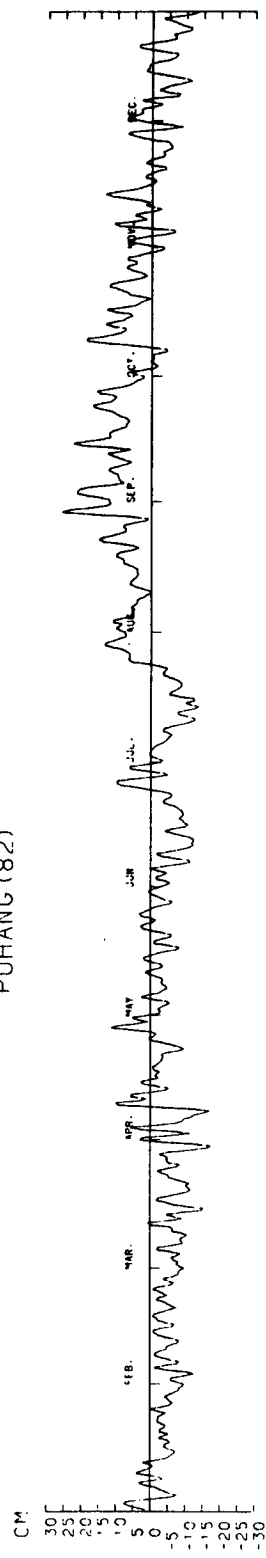
SOGCHO (82)



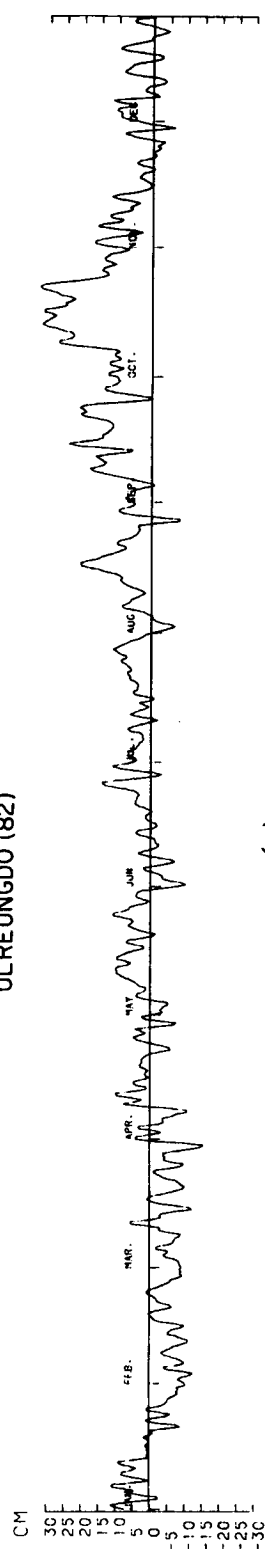
MUKHO (82)



POHANG (82)



ULREUNGDO (82)



(c)

Fig. 4. Continued.

Table 4. Standard deviations of adjusted sea levels at Sogcho, Mukho, Pohang and Ulreungdo for 1980-1982.

(unit : cm)

Periods \ Stations	Sogcho	Mukho	Pohang	Ulreungdo
Jan. - Dec. 1980	6.34	6.39	7.56	7.87
Jan. - Dec. 1981	6.51	6.38	6.16	6.14
Jan. - Dec. 1982	6.71	6.51	6.73	7.23
May - Oct. 1980	6.22	6.11	6.77	5.95
May - Oct. 1981	5.70	5.64	5.73	6.44
May - Oct. 1982	6.41	6.31	6.33	6.29
Nov. 1980 - Apr. 1981	4.61	4.54	4.82	4.88
Nov. 1981 - Apr. 1982	5.53	5.13	4.98	5.46

없으나 포항과 울릉도에서 年度別 變化幅이 속초와 묵호보다 약간 크다. 이는 울릉도는 外海域에, 그리고 포항은 內灣에 位置하는 地形的 影響에 起因하는 것으로 생각된다. 반면 6개월 資料의 경우 標準偏差가 대체로 1년자료 보다 적고 또한 겨울철의 變化가 여름철에 비해 적다. 여름철 偏差가 겨울보다 큰 것은 8-9 월에 移動性低氣壓과 태풍 통과시 海面의 심한 變動性 때문으로 생각된다.

4-3 스펙트럼

각 觀測點에서 補正海面의 스펙트럼 密度를 計算하였다. 스펙트럼 密度는 6개월 혹은 1년기간의 資料에 包含되어 있는 年週期成分을 除去하기 위해 piece - average 方法을 利用하였다.

$$\text{즉 } S(f) = \frac{1}{p} S_i(f)$$

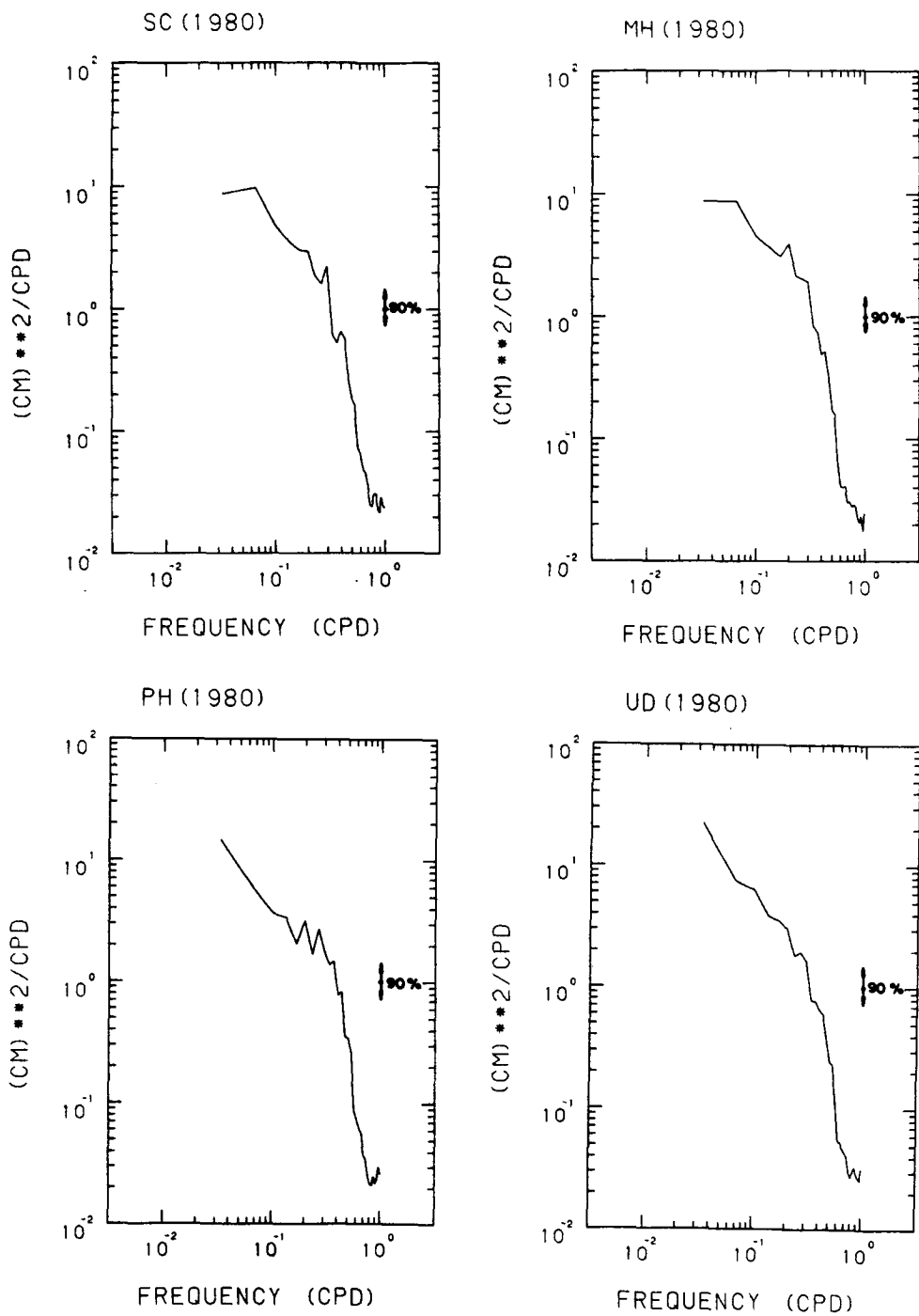
여기서 $S(f)$ 는 周波數 f 에서 평균 스펙트럼 에너지, $S_i(f)$ 는 i 번째 piece의 주파수 f 에서 스펙트럼, p 는 piece 갯수다. $S_i(f)$ 는 Fast Fourier Transform을 利用하여 計算하였다. 1年 資料의 경우 資料를 增첩시켜 p 를 23개로 固定하였으며 6개월 資料의 경우 p 를 11개로 固定한 후 아래와 같은 Turkey window형의 data window를 사용하였다 (Jenkins & Watts, 1968).

$$W(m) = 1 - (m - 30.5/29.5)^2$$

여기서 $m = 1, 2, \dots, 60$ 이다. 따라서 1년 자료의 경우 자유도가 46, 6개월 자료의 경우 26이 된다.

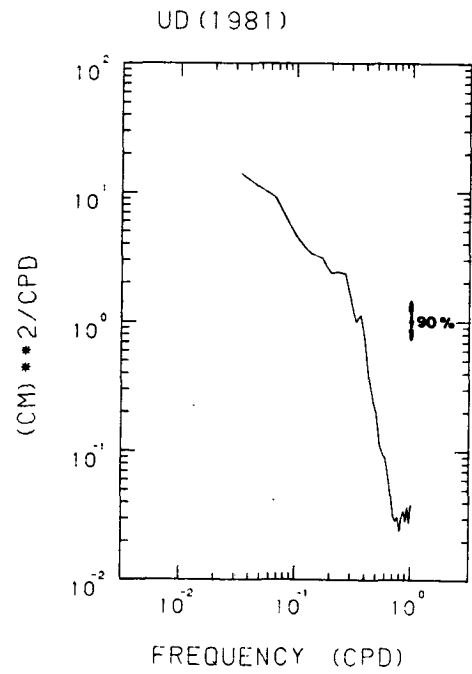
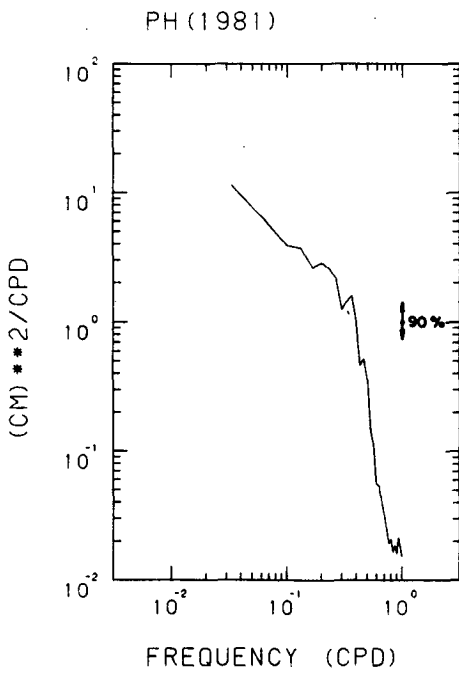
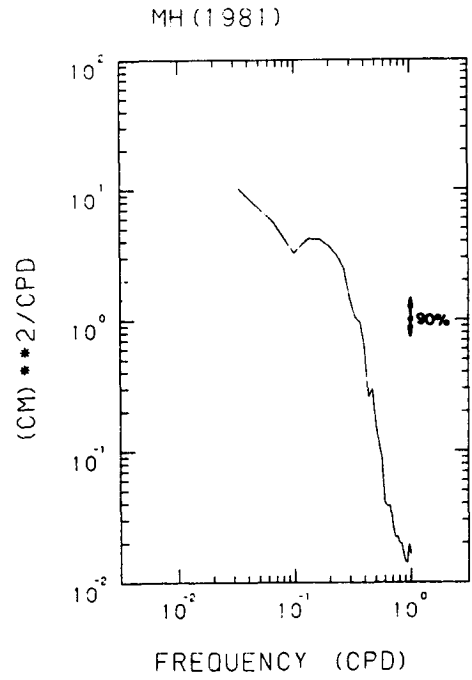
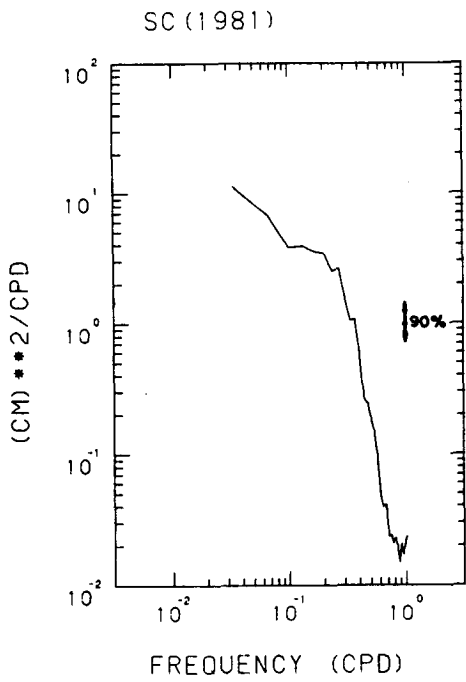
1980, 1981, 1982년도 속초, 묵호, 포항, 울릉도의 補正海面의 스펙트럼을 그림 5에 提示하였으며 90% 信賴限界를 表示하였다. 1980年度에는 비교적 명확한 週期性이 속초의 경우 3.3일, 포항에서는 5와 3.75일에서 나타나나 묵호와 울릉도에서는 보이지 않는다. 1981년도에는 묵호에서만 6~7.5일의 週期性을 갖는 스펙트럼 피크가 있으며 1982년도에서 4개 觀測點 모두 5~7.5일의 週期性을 갖고 있다.

스펙트럼에너지 密度보다 각 周波數帶內에 包含되어 있는 分散量의 分布를 보기 위해 스펙트럼에너지 密度에 周波數를 곱하였다. 그림 6은 속초, 묵호, 포항에서 각 기간별 스펙트럼이다. 補正海面이 季節에 따라 變化樣相이 크게 다르기 때문에 (그림 4) 스펙트럼의 여름과 겨울의 分布樣相이 다르다. 1980년 여름 속초와 묵호에서 0.2 cpd의 에너지가 매우 크나 포항에서는 적게 나타나고 있다. 1981년 여름 最大分散量이 0.23과 0.36 cpd에서 각 觀測點에서 共通的으로 나타나나 포항에서 0.36 cpd 에너지는 매우 優勢하다. 1982년 여름 속초의 경우 특별히 優勢한 피크가 없는 반면에 묵호와 포항에서는 0.23 cpd의 分散量이 매우 높다. 1980-1981 겨울 스펙트럼 피크가 0.2, 0.26, 0.4 cpd에서 나타나고 있으며 속초와 묵호에서는 0.26 cpd, 포항에서는 0.4 cpd의 스펙트럼 에너지가 가장 크다. 1981-



(a)

Fig. 5. Spectrum of adjusted sea levels at Sogcho (SC), Mukho (MH), Pohang (PH) and Ulreungdo (UD) for 1980-1982. (a) 1980, (b) 1981, and (c) 1982.



(b)

Fig. 5. Continued.

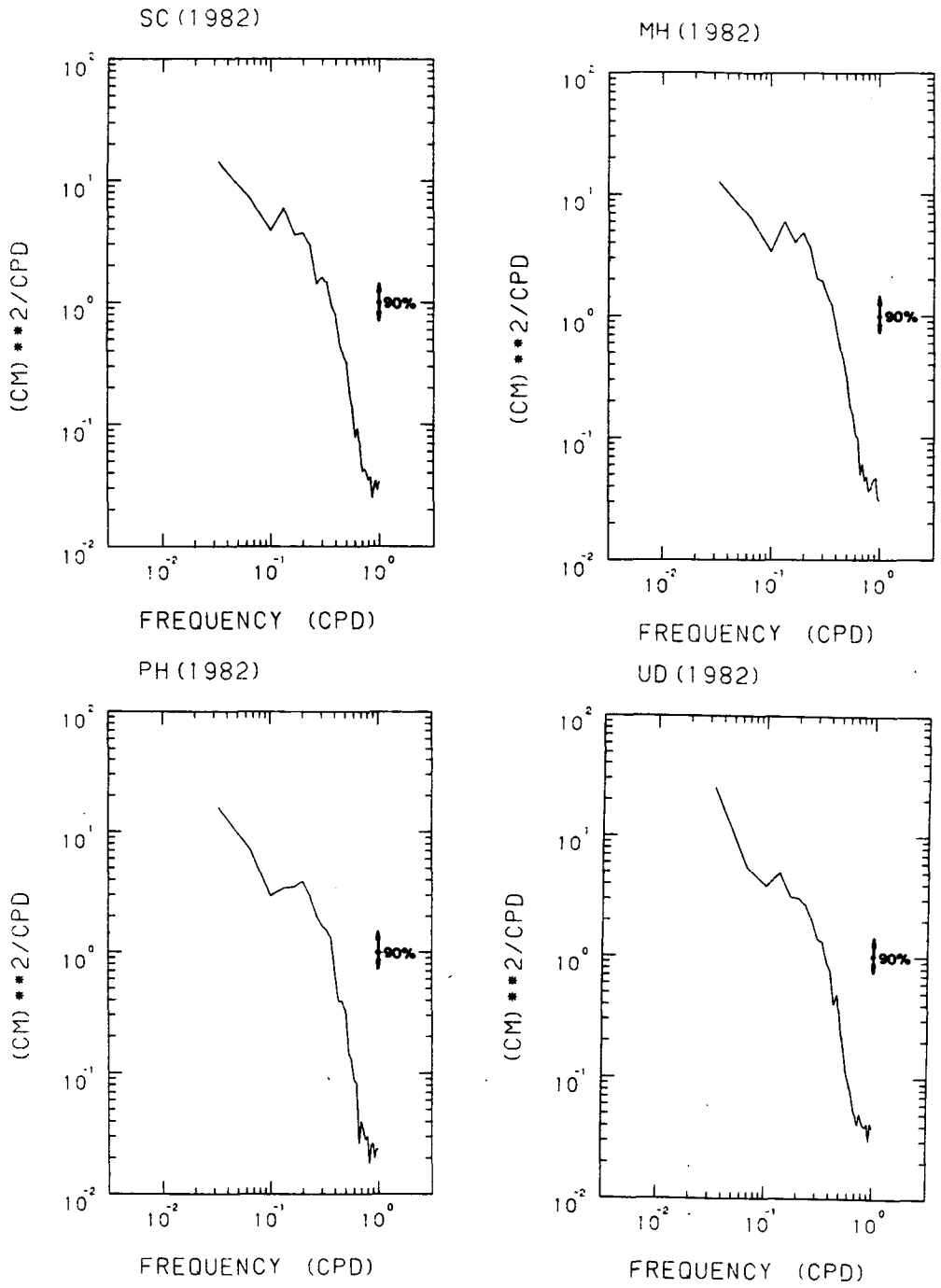
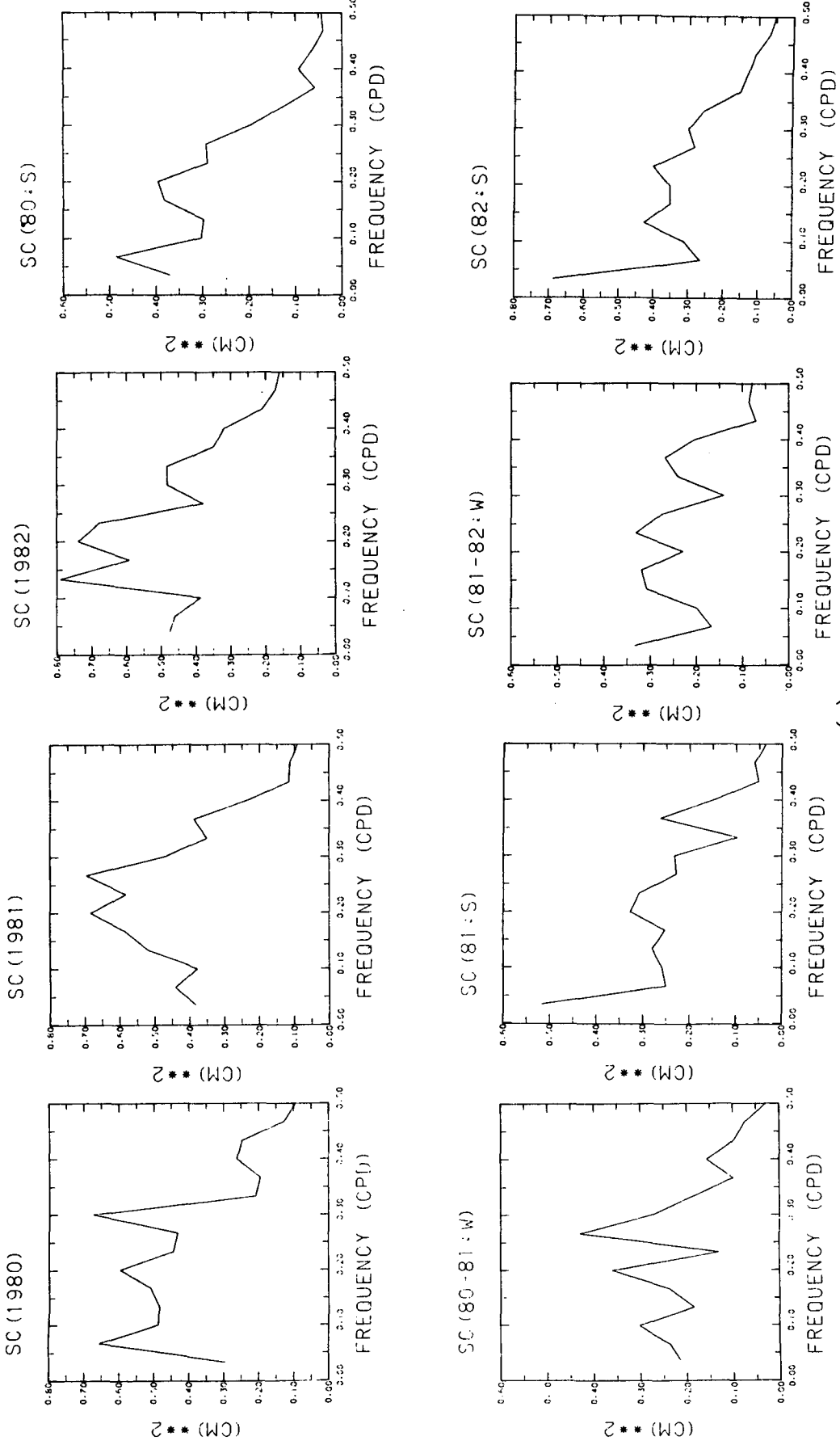


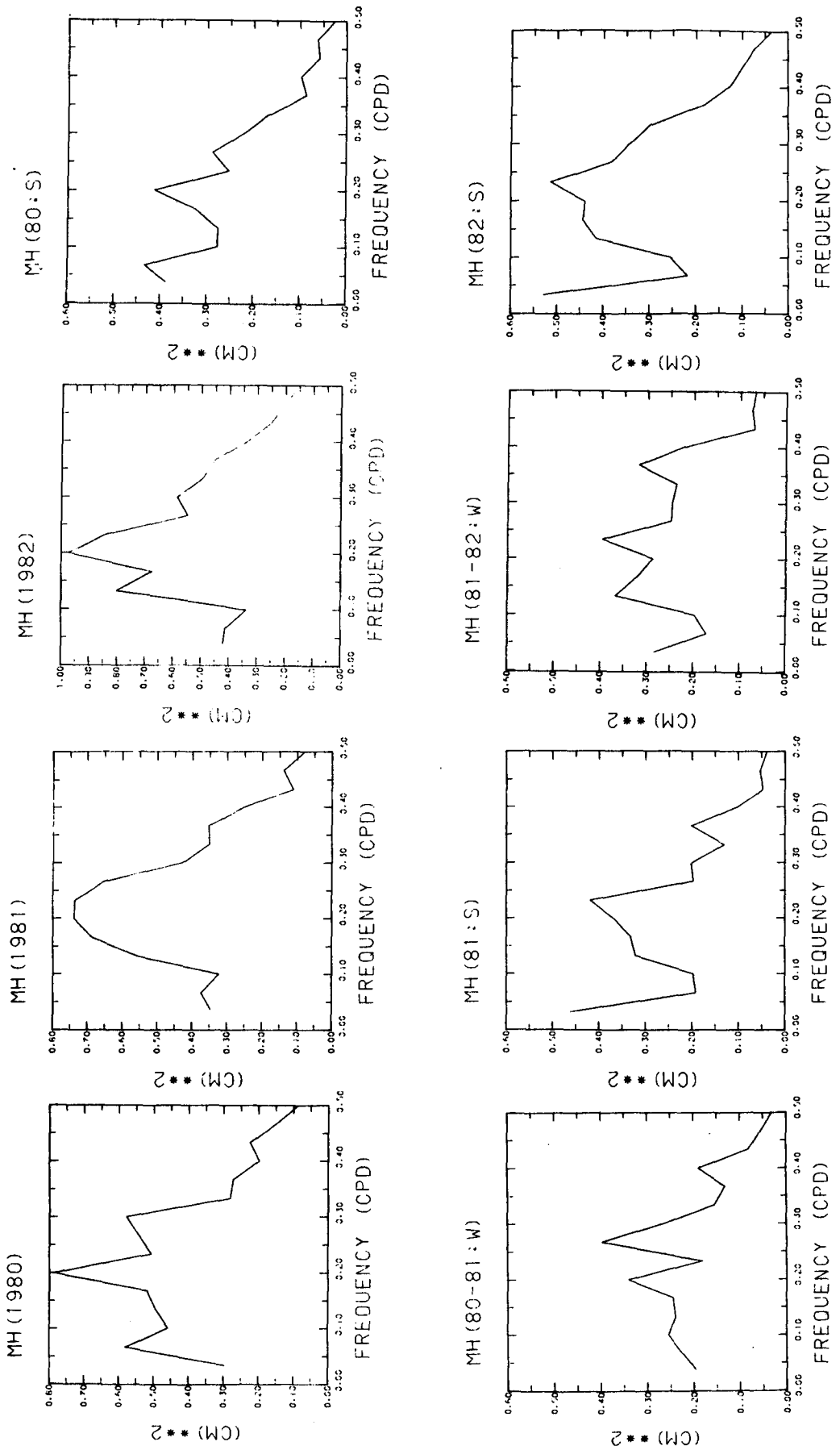
Fig. 5. Continued.

(c)



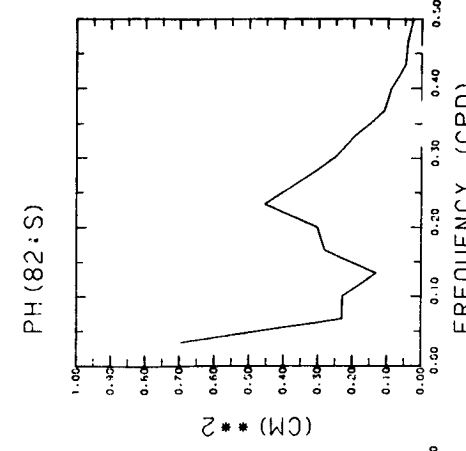
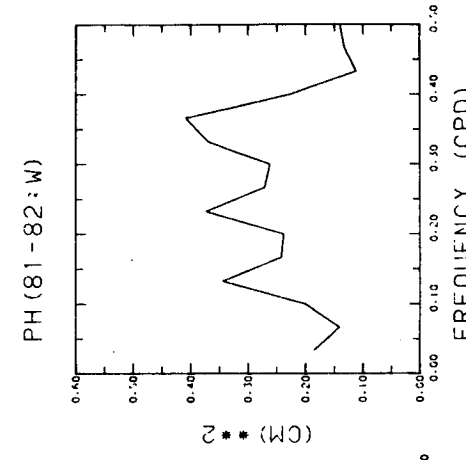
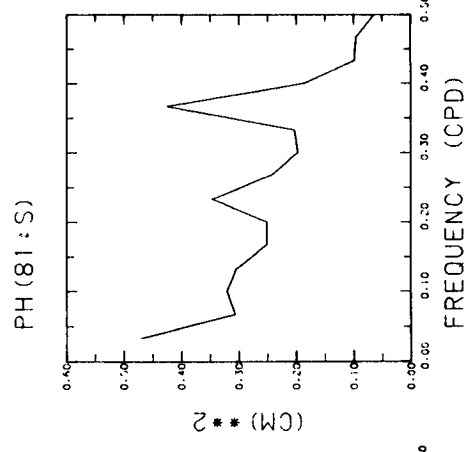
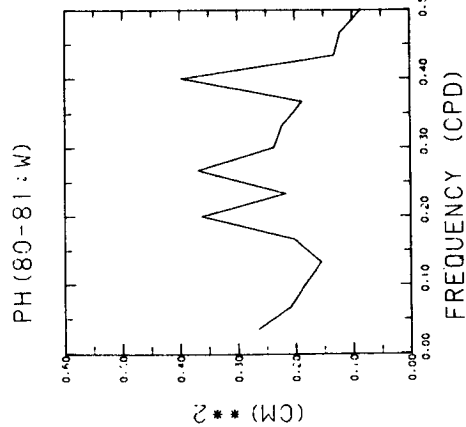
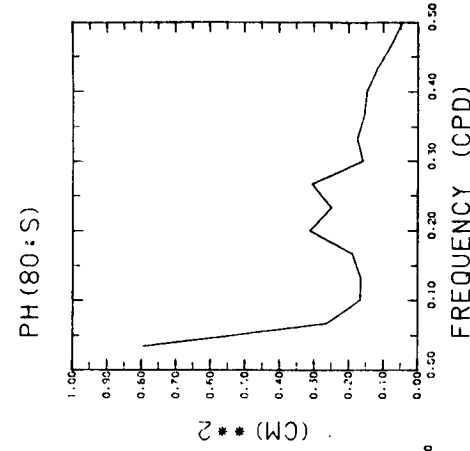
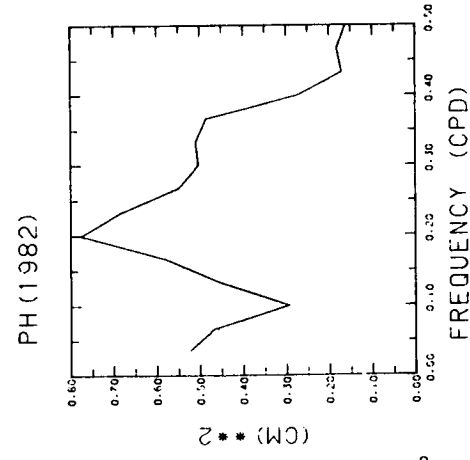
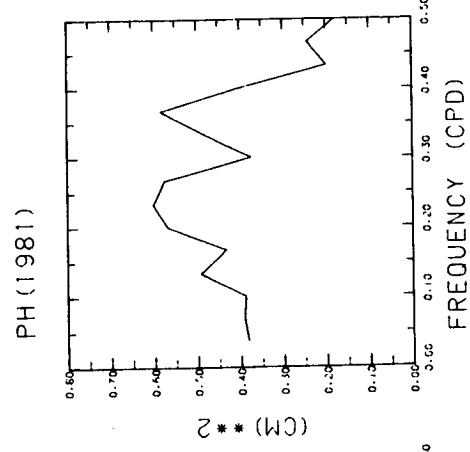
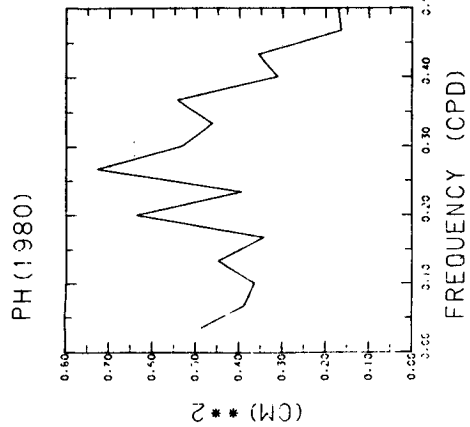
(a)

Fig. 6. Spectrum of adjusted sea levels for different periods. The spectrum are estimated from spectral energy density multiplied by frequency, which corresponds to variance in the frequency band considered. (a) Sogcho (SC), (b) Mukho (MH), and (c) Pohang (PH).



(b)

Fig. 6. Continued.



(c)

Fig. 6. Continued.

1982년 겨울에도 0.13, 0.23, 0.36 cpd 세 周波數帶에서 스펙트럼 피크가 나타나나 1980-1981 겨울에 비해 피크가 완만하다.

4-4 補正海面사이 相關性

속초, 묵호, 포항의 補正海面사이 相關性을 相關函數(cross-correlation function)와 cross-spectrum 分析을 통해 調査하였다.

表 5는 각 기간별 觀測點사이 補正海面에 대한 最大 相關係數이다. 最大 相關係數는 時間遲延(time lags)이 0과 1(12시간)에서 나타났다. 일반적으로 韓半島 沿岸에 位置한 속초, 묵호, 포항사이의 相關係數가 沿岸觀測點과 울릉도 사이보다 큰 값을 갖고 있다. 또한 沿岸觀測點과 울릉도 사이 여름철 相關係數가 겨울철에 비해 매우 낮으며 이로 인해 1981, 1982년도 相關係數가 매우 낮게 나타난다.

Table 5. Maximum cross-correlation coefficients for adjusted sea levels between two different stations.

Periods \ Stations	S-M	S-P	S-U	M-P	M-U	P-U
Jan. - Dec. 1980	0.93	0.82	0.83	0.85	0.80	0.72
Jan. - Dec. 1981	0.96	0.86	0.54	0.88	0.57	0.57
Jan. - Dec. 1982	0.96	0.84	0.68	0.87	0.68	0.61
May - Oct. 1980	0.92	0.75	0.79	0.77	0.76	0.53
May - Oct. 1981	0.95	0.80	0.39	0.83	0.42	0.49
May - Oct. 1982	0.96	0.77	0.39	0.82	0.40	0.24
Nov. 1980 - Apr. 1981	0.95	0.88	0.84	0.90	0.84	0.80
Nov. 1981 - Apr. 1981	0.93	0.80	0.63	0.83	0.73	0.65

* S : Sogcho, M : Mukho, P : Pohang, U : Ulreungdo

각 기간별 最大 相關係數는 속초와 묵호사이에서 주로 나타나고 묵호-포항 相關係數가 속초-포항 계수보다 약간 높다. 따라서 沿岸觀測點사이 補正海面의 相關係數는 두 觀測點사이 거리에 反比例함을 알 수 있다.

그림 7은 각 기간별로 속초와 묵호, 속초와 포항, 그리고 묵호와 포항사이 補正海面에 대한 相關係數를 時間遲延 ± 60 (± 30 일) 까지 提示한 것이다. 時間遲延

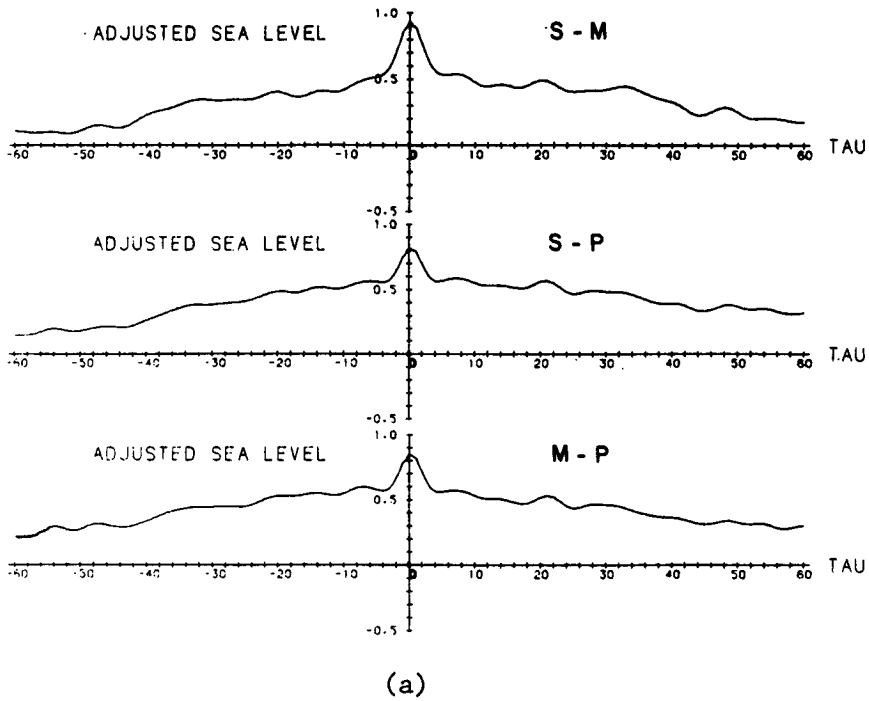


Fig. 7. Cross-correlation coefficients for adjusted sea levels between different stations. Unit of time lag is 0.5 days. The positive time lags mean that the adjusted sea level at a northern station leads that at a southern station. S is for Sogcho, M for Mukho and P for Pohang. (a) January-December 1980, (b) January-December 1981, (c) January-December 1982, (d) May-October 1980, (e) November 1980-April 1981, (f) May-October 1981, (g) November 1981-April 1982, and (h) May-October 1982.

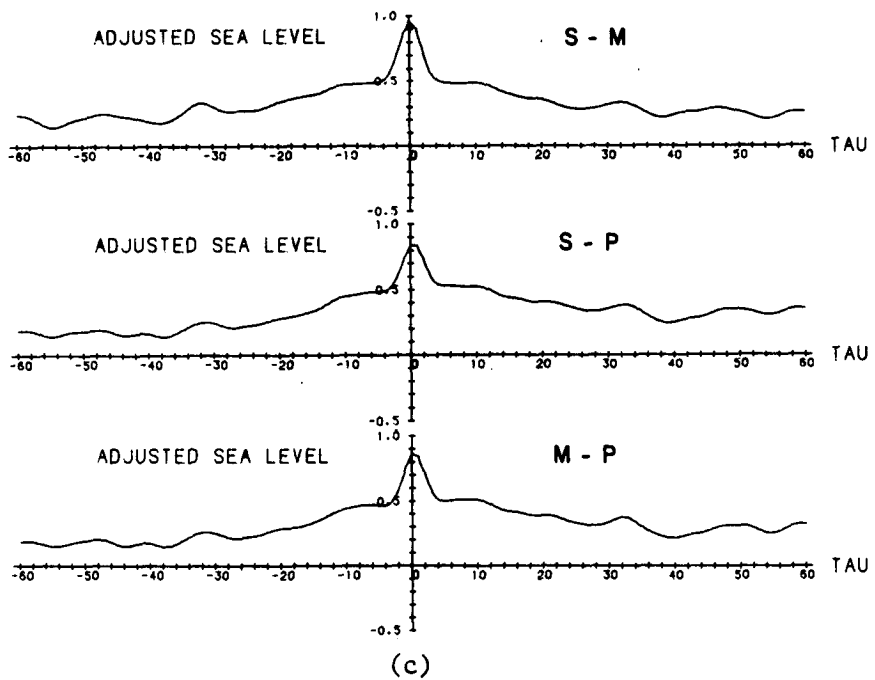
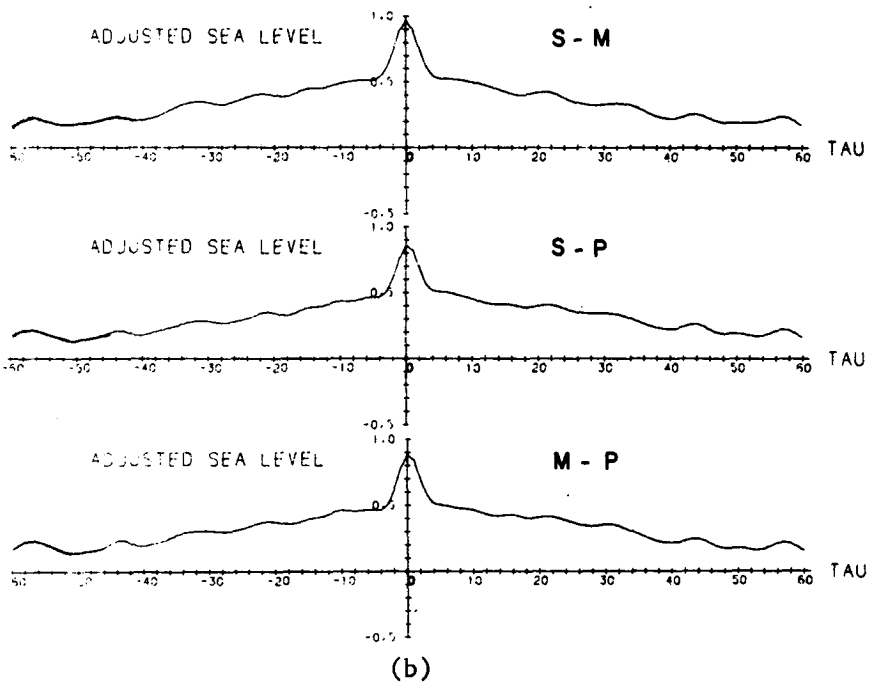
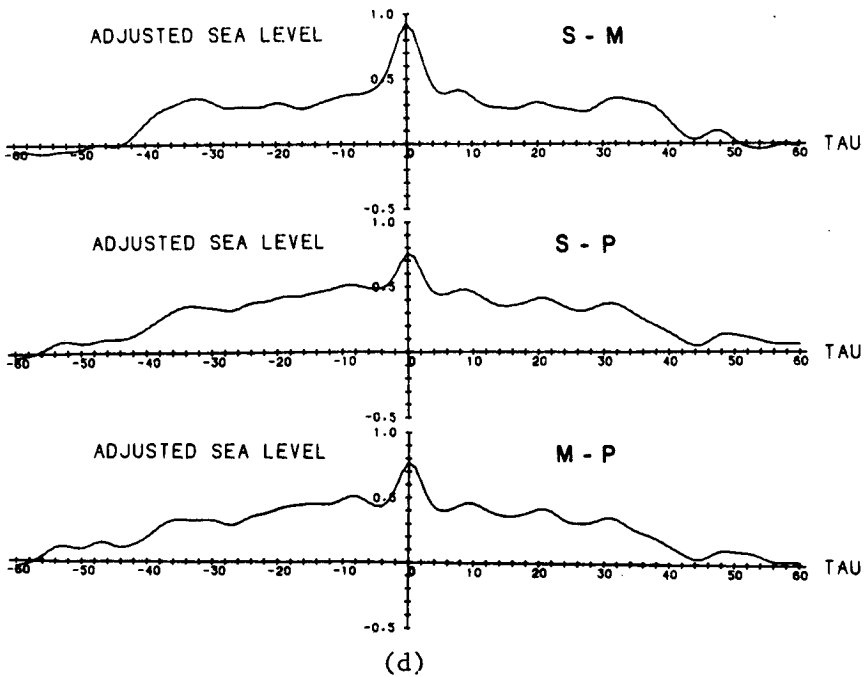
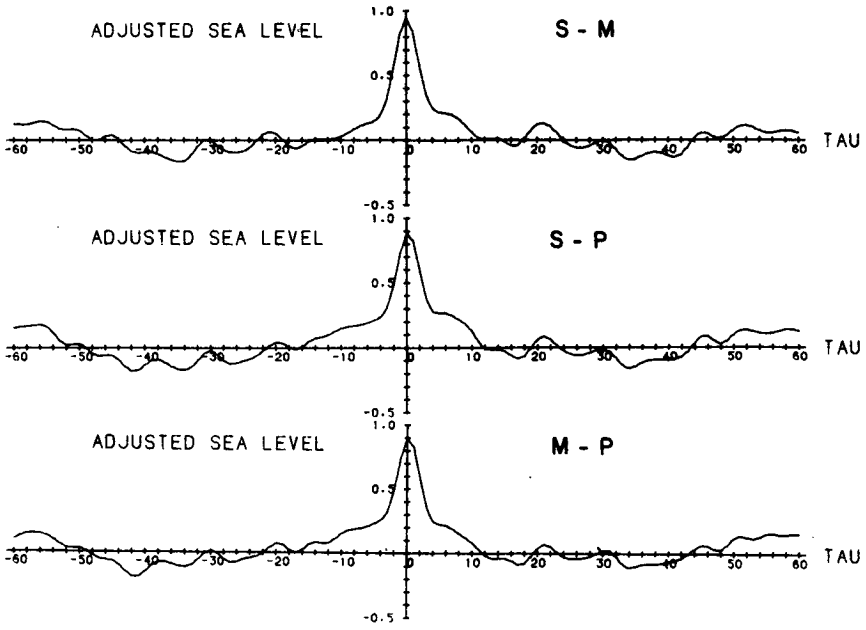


Fig. 7. Continued.



(d)



(e)

Fig. 7. Continued.

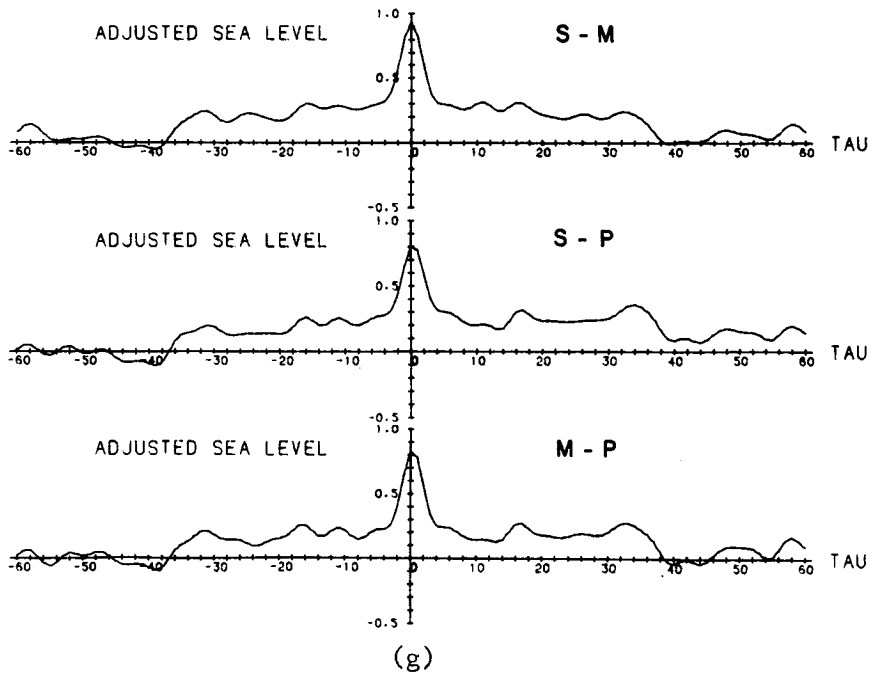
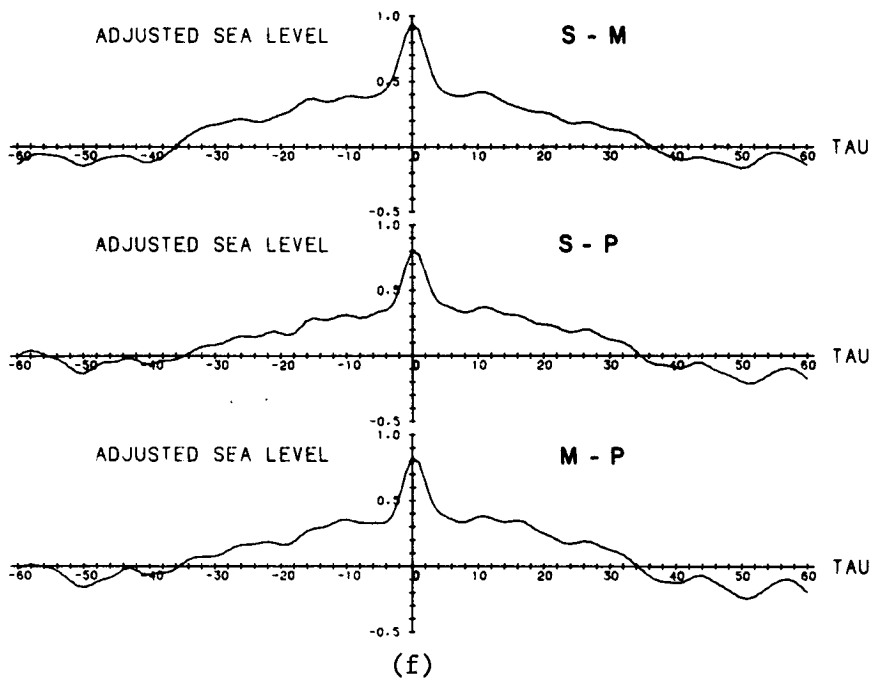


Fig. 7. Continued.

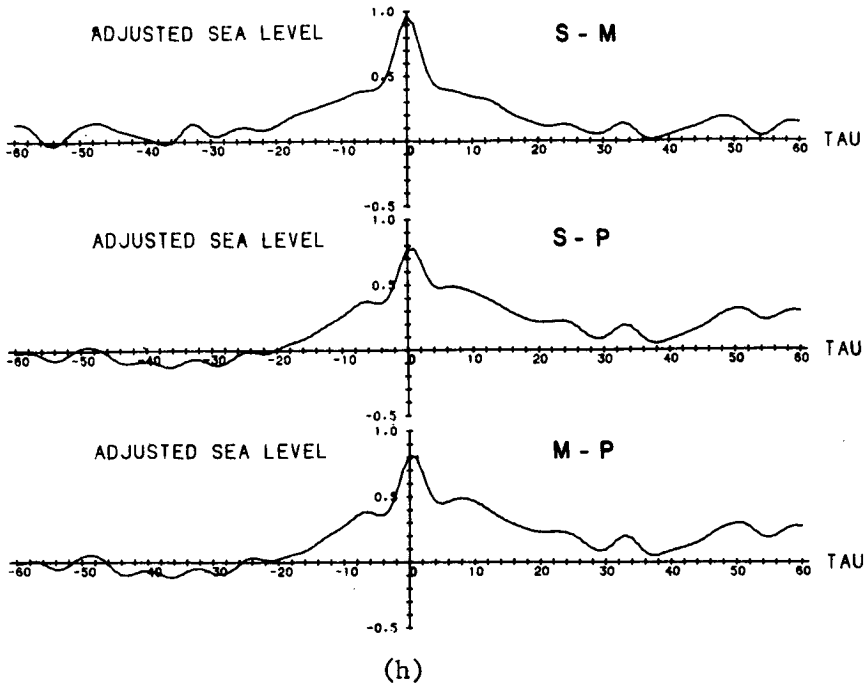


Fig. 7. Continued.

의 單位는 sampling 間隔과 같은 0.5일이다. 각 경우 最大 相關係數는 時間遲延 0과1 (0.5일) 사이에서 나타나고 있다. 두 觀測點사이의 距離가 가장 먼 속초와 포항사이 最大 相關係數는 時間遲延 1쪽으로 치우치는 傾向을 잘 보인다. 실제로 그림 7은 最大 相關值가 時間遲延 0과 1 사이에서 나타나는 것을 意味하는데 이는 북쪽에 위치한 檢潮所의 補正海面이 남쪽에 위치한 補正海面보다 位相이 빠르다는 것을 뜻한다. 最大 相關係數가 위치하는 時間遲延을 精確히 決定하기 위해서는 sampling 間隔을 줄여야 하나 計算時間이 많이 所要되는 弱點이 있다. 그러나 그림 8에서와 같이 內插法을 用容하여 두개의 時間遲延 사이의 값을 推定할 수도 있으며 sampling 間隔을 좁혀 算定한 結果와 큰 차이가 없다. 그림 8에 나타난 結果에 의하면 1981-1982 겨울과 1982년 여름 속초에서 補正海面이 포항에서 補正海面보다 약 6시간정도 位相이 빠름을 알 수 있다. 속초와 포항사이의 距離가 약 260 km 정도이기 때문에 位相速度는 약 45km/h에 해당하며 傳播方向은 北에서 南으로 進行한다고 解析할 수 있다.

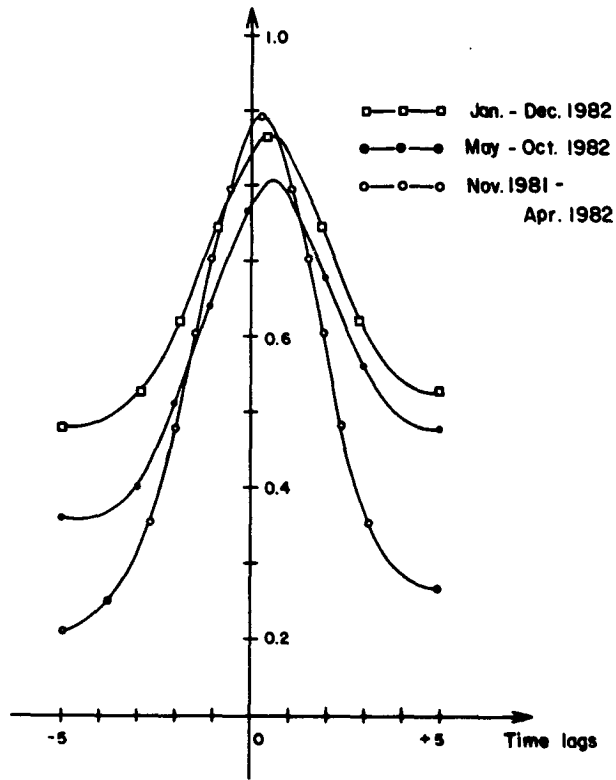
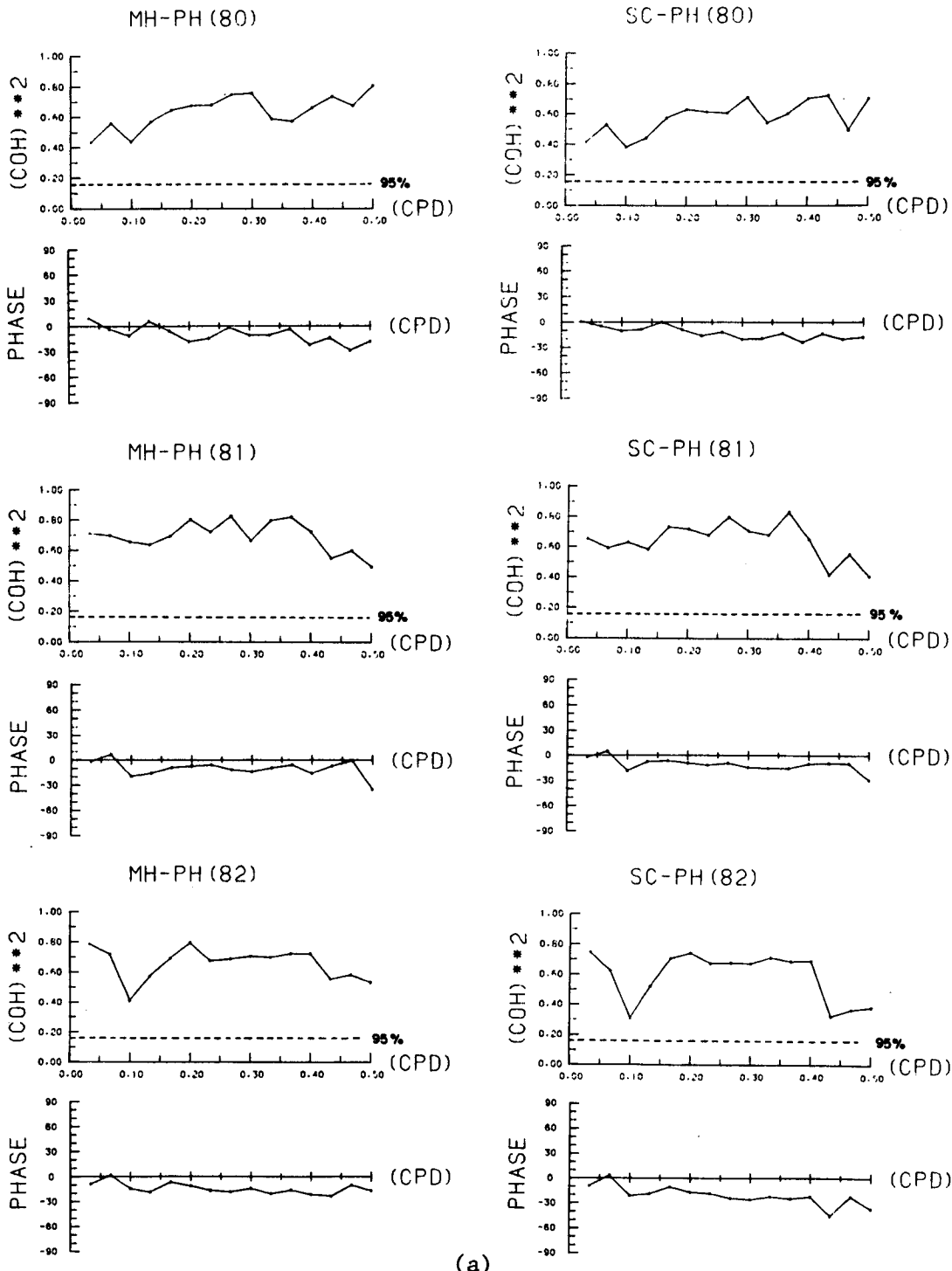


Fig. 8. Cross-correlation coefficients for adjusted sea levels between Sogcho and Pohang. Unit of time lag is 0.5 days. The positive time lags mean that the adjusted sea level at a northern station leads that at a southern station.

4 - 5 相關度와 位相差

最大相關函數로부터 計算되는 두 時系列 資料間 時間遲延은 全 周波數에 對한 位相差의 weighted mean 에 해당한다. 따라서 補正海面사이 에 相關度와 位相差가 周波數에 따라 어떻게 變化하는지 그림 9에 提示하였다. low-pass filtering에 의해 에너지가 상당히 적게 平價된 0.5 cpd이상 周波數는 고려하지 않았으며 95% 信賴限界線을 點線으로 表示하였다.



(a)

Fig. 9. Coherences and phase differences between adjusted sea levels at different stations for 1980-1982. The negative phase means that the northern station leads the southern stations. The dashed line indicates 95% confidence limit for coherence. (a) one year records, (b) summer records, and (c) winter records. SC is for Sogcho, MH for Mukho and PH for Pohang.

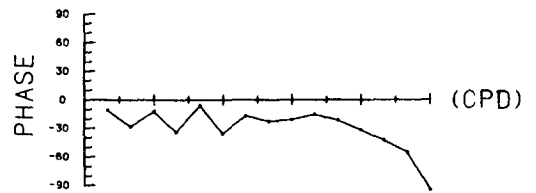
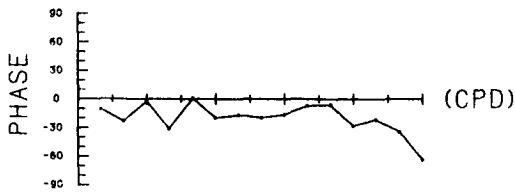
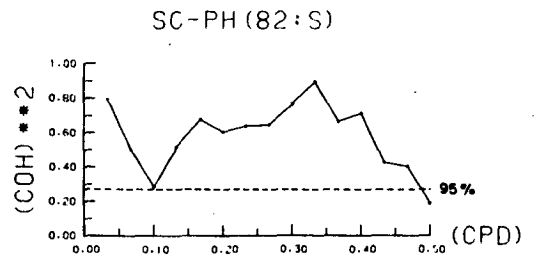
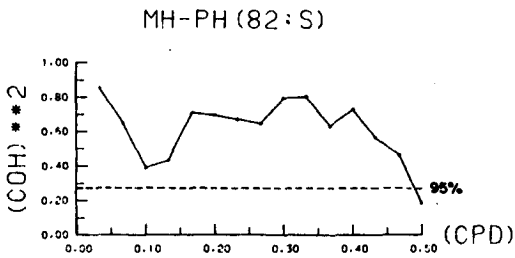
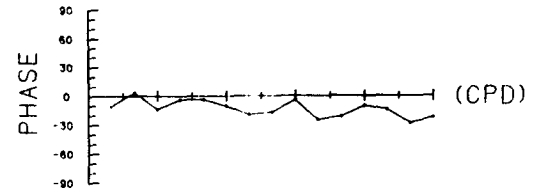
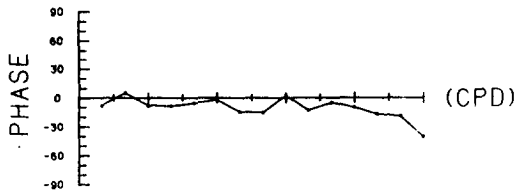
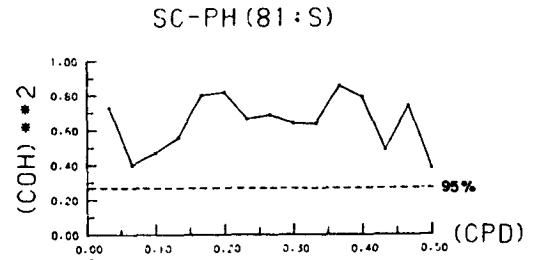
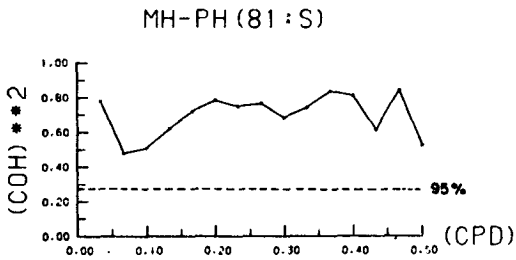
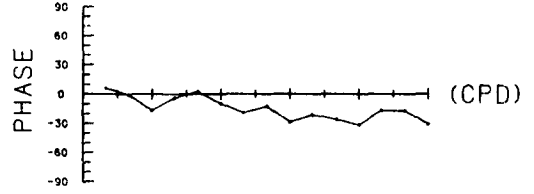
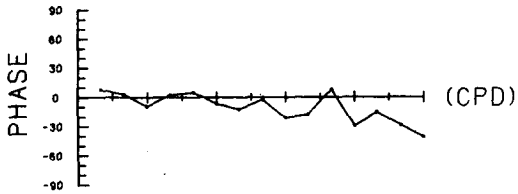
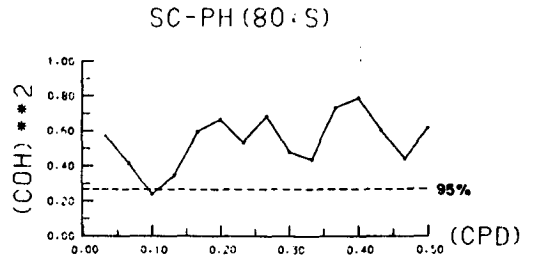
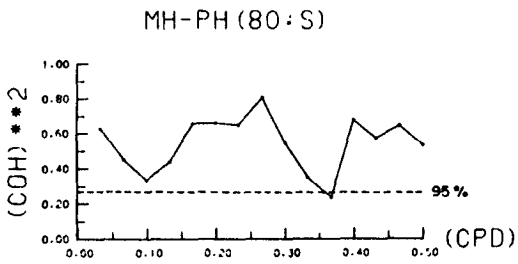
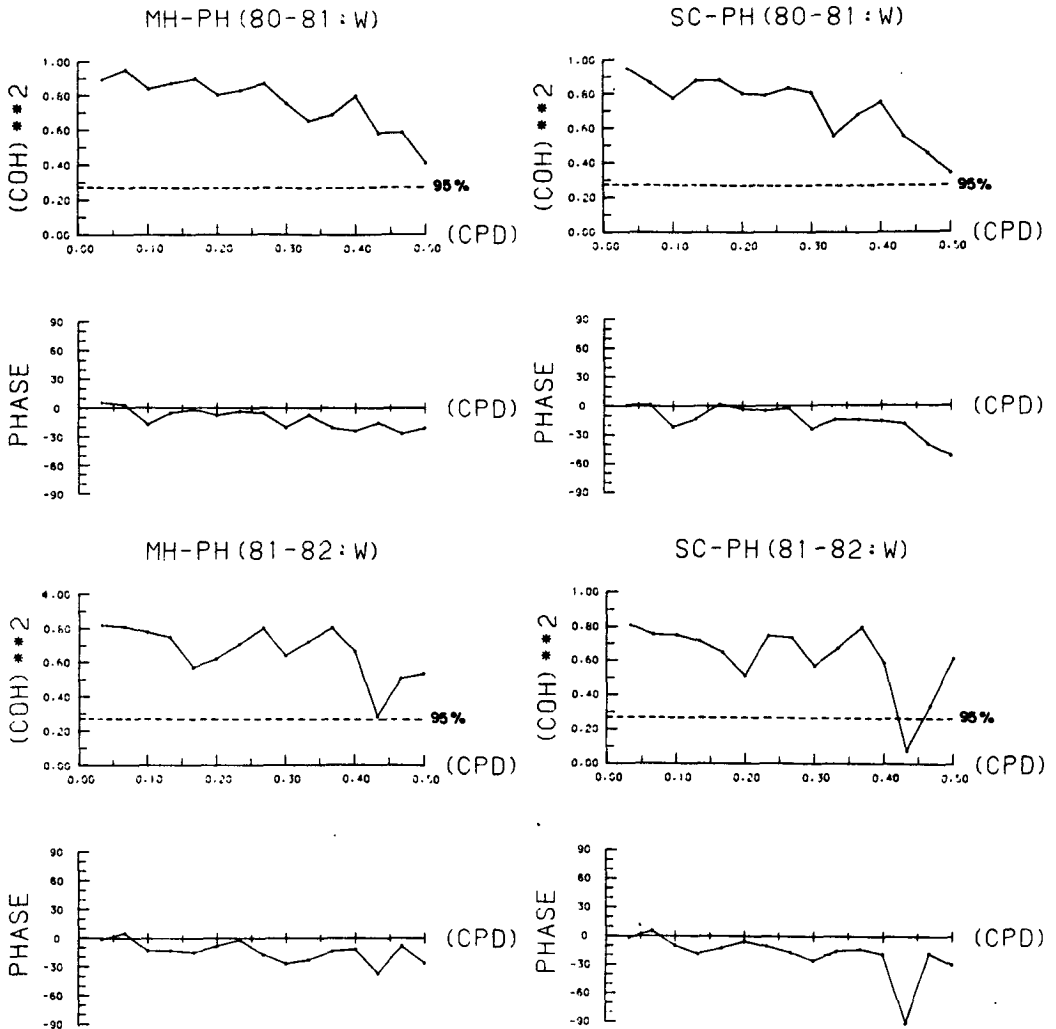


Fig. 9. Continued.

(b)



(c)

Fig. 9. Continued.

1年資料를 分析한 結果 임의의 두 補正海面사이 相關度는 매우 높고 位相差는 거의 모든 周波數에서 負의 값을 보인다. 負의 位相差는 北峯海域의 補正海面이 남쪽해역의 補正海面보다 位相이 빠른 것을 意味하며 이는 앞절에서 論議한 相關函數 結果와 잘 일치한다. 속초 - 포항 位相差가 묵호 - 포항보다 약간 큰 값을 보

였는데 이는 位相差가 두 地點間의 거리와 관계가 있기 때문이다.

位相差 (θ)와 周波數 f 에서 時間遲延 (τ)은 $\tau(f) = \theta(f) / 2\pi f$ 의 關係式을 만족한다. 이와같이 推定하면 속초 補正海面의 位相이 포항보다 1980년도에는 약 4.5시간, 1981년도에는 5시간정도 빠른 것으로 나타난다.

6개월 資料를 살펴보면 두 地點間 補正海面이 1-2개 周波數帶를 除外하고는 매우 높은 相關性을 갖고 있으며 位相差 또한 1960-1981 겨울을 除外하고 周波數의 一次函數로 增加하고 있다. 속초, 포항 두 지점에서 스펙트럼 피크가 공통으로 나타나는 周波數와 해당하는 位相差를 表 6에 提示하였다. 같은 周波數에서 여

Table 6. Phase differences between adjusted sea levels at Sogcho and Pohang at frequencies where spectral peaks are located.

Period	Frequencies (cpd)	Phase difference (degrees)	Time lag (hours)
summer 1980	0.2	-9.54	3.18
winter 1980-1981	0.2	-3.35	1.116
	0.267	-2.40	0.6
	0.4	-16.6	2.76
summer 1981	0.233	-19.2	5.49
	0.367	-21.2	3.85
winter 1981-1982	0.133	-18.8	9.42
	0.233	-10.3	2.95
	0.367	-13.6	2.47
summer 1982	0.233	-16.8	4.81

름의 位相差가 겨울보다 크게 나타나는 傾向이 있다. 예를들면 0.233 cpd에서 1981, 1982년 여름 속초의 海面이 포항보다 약 5시간정도 빠르나 겨울은 3시간 정도로 줄어들어 겨울철의 位相速度가 85 km/h 정도로 여름의 50 km/h 보다 훨씬 빠름을 알 수 있다.

第5章 結論 및 討議

相關函數와 位相으로부터 속초의 補正海面이 포항이나 묵호의 補正海面보다 位相이 빠르며 두 地點間의 位相差가 周波數의 一次函數로 增加함을 보았다. 韓國東海岸에서 北에서 南으로 進行할 수 있는 慣性週期보다 긴 波動은 Kelvin 波와 大陸棚波 뿐이다. Kelvin 波와 大陸棚波는 北半球에서 進行方向의 오른쪽에 海岸線이 위치하게 된다.

속초와 포항사이 海域의 水深을 1,000 m로 잡으면 Kelvin 波의 傳播速度는 약 360 km/h 정도가 된다. 이러한 傳播速度는 1980-1981년 겨울 0.2와 0.267 cpd의 傳播速度 250과 430 km/h와 잘 일치하나 다른 觀測結果보다는 훨씬 큼을 알 수 있다.

大陸棚波의 位相速度는 海底地形에 민감하게 변하게 된다. 海底地形이 指數函數로 表示될 수 있고 波數(wavenumber)가 대단히 적을때 周波數는 波數의 一次函數가 되어 傳播速度는 一次函數의 기울기가 된다(Buchwald and Adms, 1968). 海底地形이 線形이나 正弦函數로 表現될 때도 一次函數의 관계가 維持된다(Lie, 1983). 研究海域의 海底地形이 대단히 복잡하여 單순함수로 表現할 수는 없지만 傳播速度의 크기를 推定하기 위해 指數函數로 假定하여 보자. 그리고 海岸에서의 水深을 10 m, 外海域에서 水深을 1,000 m, 大陸棚幅을 50 km로 택하고 두 周波數 0.233과 0.367 cpd의 波動運動을 Lie (1983)의 結果에 따라 計算하면 다음과 같다.

大陸棚幅 $L = 50\text{km}$

코리올리스因子 $f = 0.86 \cdot 10^{-4}/\text{s}$ (北位 37度 基準)

周波數 $\sigma_1 = 1.7 \cdot 10^{-5}/\text{s}$ (0.233 cpd)

$$\sigma_2 = 2.6 \cdot 10^{-5} / s (0.367 \text{ cpd})$$

$$\tau_1 = \sigma_1 / f = 0.19$$

$$\tau_2 = \sigma_2 / f = 0.30$$

波數 $\mu_1 = K_1 L = 0.12$

$$\mu_2 = K_2 L = 0.24$$

0.233 cpd 波의 傳播速度는 8 km/h, 波長은 약 800 km며, 0.367 cpd 波의 傳播速度는 6 km/h, 波長은 약 410 km로 計算되어 觀測速度에 비해 훨씬 느리다. 成層條件下에서 大陸棚波의 位相速度가 增加하기는 하나 (Lie and El-Sabh, 1983; Mysak, 1967; Wang, 1975) 몇배 이상은 커질 수 없다. 만약 外海域 水深에 대한 沿岸水深 比率이 훨씬 낮아지면 位相速度는 反對로 增加하게 되어 觀測速度를 說明할 수 있다.

世界 主要 大陸棚 海域에서 大陸棚波는 바람에 의해 발생되고 補正海面이 海岸에 平行한 바람成分과 높은 相關性이 있음이 보고 되었다 (Mysak, 1980 참조). 東海岸에서 補正海面과 바람의 關聯性을 糾明하기 위해 相關函數를 計算하여 分析한 結果 最大相關係數가 0.2 이하로 補正海面이 바람과 관련이 없는 것으로 나타났으나 沿岸測候所가 都心에 있으며 속초, 울진, 포항의 地理的 位置가 太白山脈에 引接되어 있어 觀測 바람資料가 周邊地形 影響을 크게 받게 된다는 점을 고려하면 바람과 補正海面이 상호관련이 없다고 단언 할 수는 없다. 따라서 地形的 影響을 비교적 덜 받는 곳에서 바람을 觀測하여 研究해야 할 必要가 있다.

補正海面의 分析結果가 單純 大陸棚波 理論과 잘 일치하지 않는 것은 適用한 大陸棚波 理論이 空間的으로 조건이 균질한 狀況아래서 얻었기 때문이다. 調查海域의 海岸線이 直線이 아닌 曲線의 형태며, 外海域의 海底地形이 空間的으로 變化가 심해 指數, 線形, 正弦函數로 表現할 수 없으며 (그림 10), 檢潮所가 屈曲이 있는 海岸에 위치하며 또한 調查海域에서 平均海流와 그 變動性을 전혀 고려하지 않

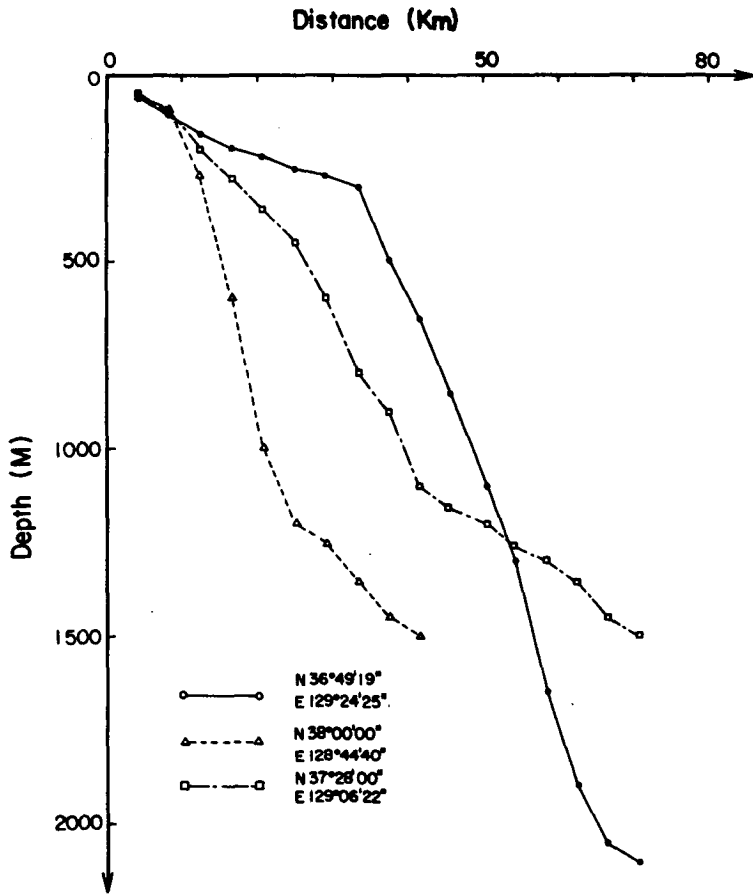


Fig. 10. Bottom profiles off the east coast of Korea.

아 單純理論으로는 觀測結果를 만족스럽게 說明할 수 없다. 南쪽으로 進行하는 波動現象을 좀더 구체적으로 糾明하기 위해서 研究는 상기사항을 고려한 數値모델을 이용하여 比較分析해야 할 것이다.

參 考 文 獻

Reference

- Adams, J.K. and V.T. Buchwald 1969. The generation of continental shelf waves. *J. Fluid Mech.*, 35, 815-826.
- Bendat, J.S. and A.G. Piersol 1966. *Random data: analysis and measurement procedures*. New York, John Wiley & Sons, Inc. pp. 407.
- Buchwald, V.T. and J.K. Adams 1968. The propagation of continental shelf waves. *Proc. Roy. Soc., Ser. A*, 305, 235-250.
- Gill, A.E. and E.H. Schumann 1974. The generation of long shelf waves by the wind. *J. Phys. Oceanogr.*, 4, 83-90.
- Hamon, B.V. 1962. The spectrum of mean sea level at Sydney, Coff's Harbour, and Lord Howe Island. *J. Geophys. Res.*, 67, 5147-5155 (correction, 1963: id., 68, 4635)
- Jenkins, G.M. and D.G. Watts 1968. *Spectral analysis and its applications*. San Francisco. Holden-Day, pp. 525,
- Lee, J.H. and J. Y. Chung 1982. Continental shelf waves off the eastern coast of Korea. *La mer*, 20, 169-180.
- Lie, H. -J. 1979. Effects of atmospheric pressure and wind stress on daily mean sea level in the Bay of Biscay. Analysis of continental shelf waves. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 14, 45-53.

- Lie, H.-J. 1981. Barotropic shelf waves generated by longshore wind stress. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 16, 99-107.
- Lie, H.-J. 1984. Coastal current and its variation along the east coast of Korea. In: *Ocean Hydrodynamics of the Japan and East China Seas*. Ed. T. Ichiye, 399-408, Elsevier Sci. Pub., Amsterdam.
- Lie, H.-J. and M.I. El-Sabh 1983. Formation of eddies and transverse currents in a two-layer channel of variable bottom with application to the lower St. Lawrence estuary. *J. Phys. Oceanogr.*, 13, 1063-1075.
- Mooers. C.N.K., and R.L. Smith 1968. Continental shelf waves off Oregon. *J. Geophys. Res.*, 73, 549-559.
- Mysak, L.A. 1980. Recent advances in shelf wave dynamics. *Rev. Geophys. and Space Phys.*, 18, 211-241.
- Mysak, L.A. and B.V. Hamon 1969. Low-frequency sea level behavior and continental shelf waves off North Carolina. *J. Geophys. Res.*, 74, 1397-1405.
- Robinson, A.R. 1964. Continental shelf waves and the response of sea level to weather systems. *J. Geophys. Res.*, 69, 367-368.
- Wang, D.P. 1975. Coastal trapped waves in a baroclinic ocean. *J. Phys. Oceanogr.*, 5, 326-333.