

韓國沿岸의 表面海水와 大氣間의 熱交換

奉 鍾 憲

韓國船舶海洋研究所

HEAT EXCHANGE AT THE SEA SURFACE IN THE KOREAN COASTAL SEAS

Jong Hon Bong

Korea Research Institute of Ship & Ocean

ABSTRACT

The annual variation of surface heat exchange at ten selected station in the Korean coastal seas was studied using data of monthly mean surface temperature and meteorological parameters averaged for many years.

Through heat exchange between the sea and the atmosphere, the surfaces in the Korean coastal seas are warmed by accepting heat from the atmosphere during March to September in the west coast sea, during April to August in the south coast sea which includes the Ulleung-do coast sea and during April to September in the east coast sea. The periods which are cooled by losing heat to the atmosphere correspond to residual months excepting the above warming periods.

Maximum total heat exchange during the warming period at each station shows the distribution of $320-720 \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{day}$ in June to July and during the cooling period shows the distribution of $-260 \sim -940 \text{ cal/cm}^2 \cdot \text{day}$ in November to January.

The annual average total heat exchange shows warming of $100-240 \text{ Cal/cm}^2 \cdot \text{day}$ in the west coast sea, cooling of $-90 \sim -150 \text{ Cal/cm}^2 \cdot \text{day}$ in the south coast sea and the Ulleung-do coast sea, and slight warming or cooling of $-15 \sim 65 \text{ Cal/cm}^2 \cdot \text{day}$ in the east coast sea.

Maxima or minima of the surface temperature in the Korean coastal seas appear in the month that the warming or cooling period is ended.

The evaporation rate is highest during October to next January with the distribution of $5 \sim 12 \text{ mm/day}$.

結 論

海洋과 大氣間의 熱交換에 關한 問題는 世界의 으로 여러 學者들의 研究에 依해서 強調되어 온 나와 같이 海洋學과 氣象學에서 매우 重要的 比重을 차지하고 있는 分野로서 先進諸國의 이에 對한 關心과 研究熱은 매우 多大하다.

韓國近海에서의 海洋과 大氣間의 熱交換에 關하여는 Jacobs (1951), Manabe (1957, 1958) Ninomiya (1964, 1968), Wyrski (1965, 1968),

Takahashi(1969), Moriyasu(1952, 1969), Ishida (1970) 및 韓(1970, 1972) 등의 調查報告가 있으나 이들은 大概 韓國近海를 中心으로 다루어진 것이 아니거나 時期的으로 또는 地域的으로 局限되어 있는 것이므로 우리나라 近海에서의 全般的인 熱交換에 關하여는 報告된 바가 거의 없는 實情이다.

熱交換에 關한 問題를 다루기 爲해서는 海水 溫度는 勿論 正確한 氣象觀測資料가 要求되는 바, 韓國近海에서의 水溫資料의 蒐集은 容易하나 要求되는 既存氣象資料들은 充分치 못할 뿐

더러 整理되어 있지 않기 때문에 이것이 큰 隘路라 하겠다.

本 論文에서는 주로 韓國沿岸側 海域에서의 月別 熱交換量의 變化 및 特性을 알아보기 爲해서 長期間의 氣象觀測資料가 잘 整理되어 있는 東西南海沿岸의 10個地點을 擇하였으며 이들 海水溫의 累年平均值를 利用하여 各地點에서의 月別 熱交換量 및 蒸發量을 算出하고 이들의 年變化에 對한 諸般特性에 關해서 海域別로 比較 把握하여 보았다.

資 料

水溫觀測資料는 國立水產振興院 發行 韓國海洋便覽(1964)의 累年平均(3~25年) 表層水溫資料를 利用하였으며 調查地點은 隣近에 必要로 하는 氣象資料를 잘 適用할 수 있는 沿岸側의 10個地點을 擇하였다.

Fig. 1은 本 調査를 爲해서 選定된 10個地點의 位置圖이다. 氣象觀測資料는 Fig. 1에 表示된 仁川, 群山, 木浦, 麗水, 釜山, 濟州, 蔚山, 浦項, 江陵 및 鬱陵島에서의 大部分 30年間 觀測資料에 依한 標準年平均值(國立中央觀象臺, 1968. 韓國氣候表)를 利用하였다. 利用된 氣象要素는 氣溫, 露點溫度, 蒸氣壓, 風速 및 氣壓이며, 日射

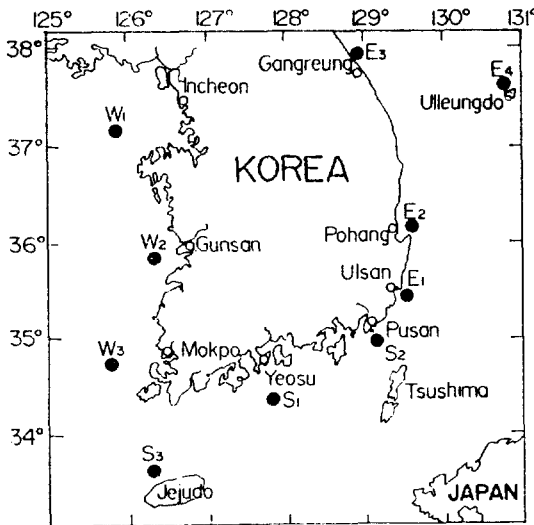


Fig. 1. Station Selected for Study of surface heat exchange in the Korean coastal seas (solid circles).

量 觀測資料는 上記觀測所 또는 隣近의 觀測所에서 實施된 最近 3~10年間의 平均值를 利用하였다.

理論的 背景

海洋表面에서 海水가 大氣와 間이 熱交換을 한다고 假定할 때, 純熱交換量은

$$Q=Q_s-(Q_c+Q_e+Q_b)\dots(1)$$

여기에서 Q 는 海水表面에서 얻거나 損失된 總熱量, Q_s 는 太陽 및 大氣輻射에 依하여 얻는 熱量, Q_c 는 蒸發 또는 凝結에 依한 熱量, Q_e 는 傳導에 依한 熱量이며 Q_b 는 海水로부터 大氣로 向한 逆輻射에 依한 熱量이다. 上記 方程式의 各要素들은 直接的으로 測定하기가 매우 困難하기 때문에 대체로 여러 實驗公式들에 依해서 推算되고 있다.

Edinger & Geyer(1965)는 上記方程式을 實驗을 通해서 簡便化하여 다음과 같은 方程式으로 表示하였다.

$$Q=-K(T_w-T_e)\dots\dots(2)$$

여기에서 K 는 表面의 熱交換係數(BTU/ft²·day · °F), T_w 는 表面海水溫度(°F), T_e 는 平衡溫度(°F)이며 Q 는 熱交換總量(Total heat exchange)으로 海水熱量의 時間的 變化率(BTU/ft²·day)을 나타냄으로서 熱交換量은 溫度差와 熱交換係數의 積임을 나타냈다.

또한 Brady, Graves & Geyer(1969)는 熱交換係數가 露點溫度, 水溫 및 風速의 函數로 計算될 수 있는 實驗方程式과 이에 따른 平衡溫度에 對한 方程式을 誘導하였는데 다음과 같다.

$$K=15.7+(\beta+0.26)F(W)\dots\dots(3)$$

$$여기에서 F(W)=70+0.7W^2.$$

$$\beta=0.255-0.0085 T_\beta+0.000204 T_\beta^2.$$

$$T_\beta=\frac{T_w+T_d}{2}$$

$$T_e=T_d+\frac{Q_s}{K}\dots\dots\dots(4)$$

上記式들에서 W 는 風速(mile/hr), T_d 는 露點溫度(°F), Q_s 는 日射量(BTU/ft²·day)을 나타낸다. 平衡溫度(Equilibrium temperature: T_e)란 一定한 狀態로 露出되어 있는 海水가 接近하려는 溫度로서 一般的으로 氣溫과는 다르며 直接

測定될 수 없다.

$T_w = T_a$ 일 때 熱交換量은 0이며 $T_w > T_a$ 일 때 海水는 大氣로 熱을 損失함으로서 冷却된다. $T_w < T_a$ 일 때 海水는 大氣로부터 熱을 얻음으로서 加熱된다.

本 論文에서 熱交換量의 算出에는 上記式들이 利用되어 컴퓨터에 依해서 計算되었으며 單位는 便宜上 $\text{cal}/\text{cm}^2 \cdot \text{day} \cdot ^\circ\text{C}$ 으로 換算하였다.

蒸發量의 計算에 있어서는 Jacobs(1951)의 式이 利用되었다.

$$\text{即, } E = 0.142W(l_w - l_a) \dots \dots \dots (5)$$

여기에서 E 는 蒸發量(mm/day), W 는 風速(m/sec), l_w 는 表面水溫의 飽和蒸氣壓(mb), l_a 는 空氣의 蒸氣壓(mb)이다.

式(5)에서 常數 0.142는 l_a 가 海面上 6m에서 觀測된 資料를 利用하였을 때 採擇한 常數인데 本報告書에서 利用된 資料는 實際 이와 같이 觀測된 것은 아니므로 이에 關聯된 誤差는 不可避한 것으로 생각된다.

熱交換係數 및 平衡溫度의 年變化

韓國沿岸에서의 熱交換係數는 年中 $32 \sim 73 \text{cal}/\text{cm}^2 \cdot \text{day} \cdot ^\circ\text{C}$ 의 分布로 南海岸과 鬱陵島沿岸(E_4)에서 높고, 西海岸 및 東海沿岸側에서 比較的 낮다. 熱交換係數의 最大値는 大概 8월에 나타나고 最小値는 1월에 나타난다.

Fig. 2는 各地點에서의 月別 熱交換係數 및 平衡溫度를 나타낸 그림이다.

平衡溫度는 全體적으로 $-3.5 \sim 32.0^\circ\text{C}$ 의 分布인데 全 沿岸에서 最大値는 7~8月頃에 나타나서 $26 \sim 32^\circ\text{C}$ 의 分布를 보이며 最小値는 1月中에 나타나서 $-3.5 \sim 2.5^\circ\text{C}$ 의 分布를 나타내고 있다. 大體로 西海岸 및 南海岸보다 東海岸에서 比較的 낮은 分布를 나타낸다. 最高 平衡溫度의 分布는 最高水溫 및 最高氣溫의 分布보다 높으며 最低平衡溫度의 分布보다는 훨씬 낮으나 最低氣溫分布보다는 多少 높거나 같다.

Fig. 2에서 보여 주는 바와 같이 熱交換係數와 平衡溫度의 極大値 및 極小値는 大體로 夏季 및 冬季에 나타나고 있기는 하지만 그 時期가 서로 一致하지는 않는다.

熱交換量의 年變化

Table 1은 韓國沿岸의 各地點에서 算出된 月別 熱交換量으로 (-)記號로 表示된 값($T_w > T_a$)은 熱交換 結果 海水表面으로부터 損失된 熱量이며 (+)記號($T_w < T_a$)는 海水表面이 얻게 되는 熱量을 意味한다.

Fig. 3은 이들 月別 熱交換量의 年變化를 水溫의 年變化와 함께 나타낸 것이다. 熱交換을 통해서 海水表面이 加熱($Q > 0$)되는 期間은 西海岸에서는 3~9月, 南海岸 및 鬱陵島沿岸에서는 4~8月이며 濟州島(S_3) 및 東海沿岸은 4~9月이다. 海水表面이 冷却($Q < 0$)되는 期間은 以上 加熱期間外의 나머지 期間에 該當된다. 따라서 熱交換量은 大體로 2~3月과 8~9月中에 0이 된다.

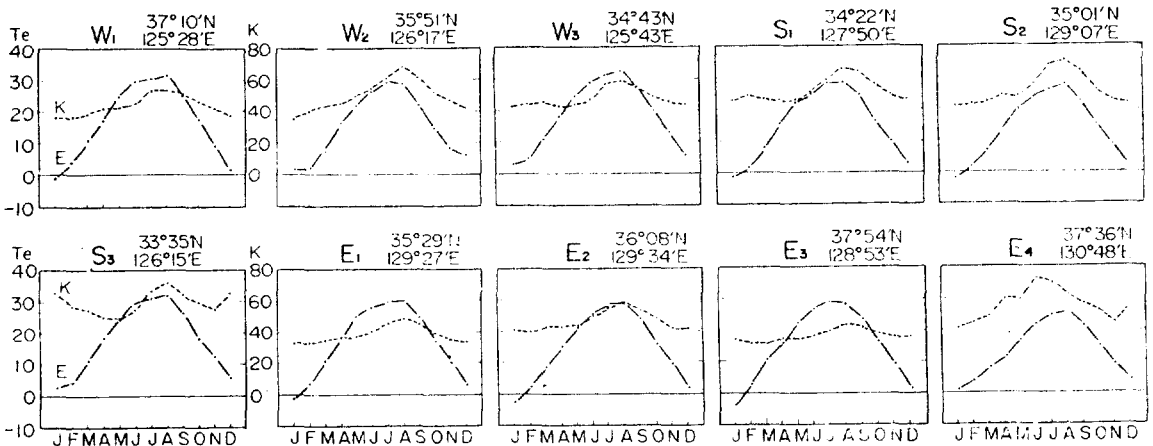
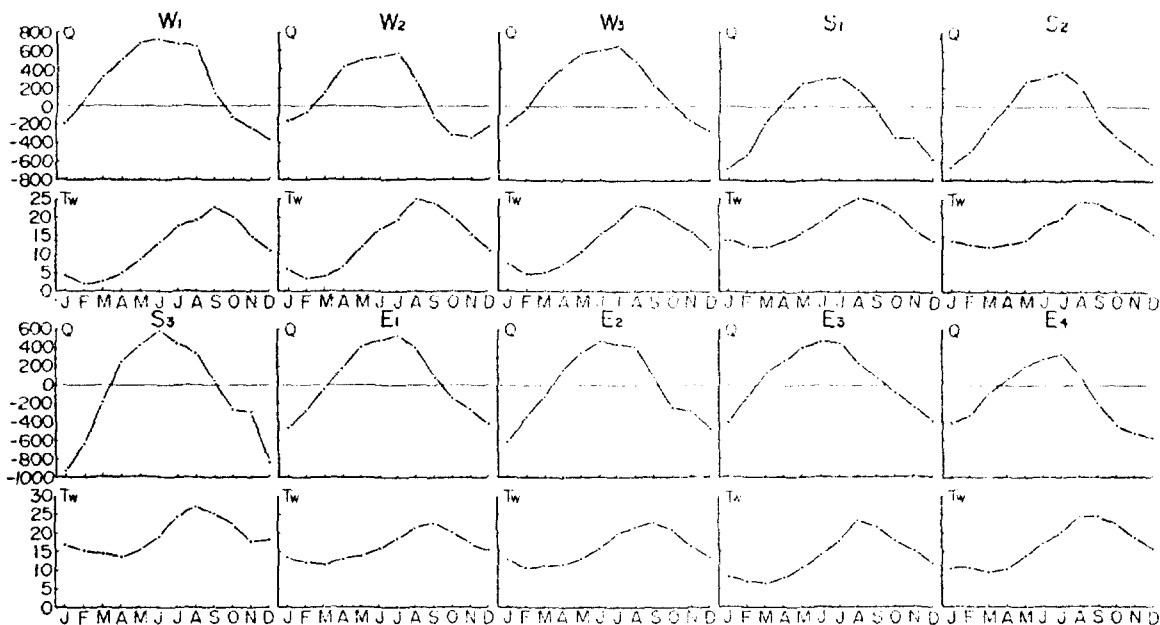


Fig. 2. Annual variation of mean surface heat exchange coefficients (K) in $\text{cal}/\text{cm}^2 \cdot \text{day} \cdot ^\circ\text{C}$ and mean equilibrium temperatures (T_e) in $^\circ\text{C}$.

Table 1. Monthly means of total heat exchange (Q : Cal/cm²·day)

Station	Month												Ann.
	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May.	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.	
W ₁	-197	69	310	501	679	722	663	644	132	-126	-237	-364	233
W ₂	-161	-68	137	417	487	527	580	272	-122	-306	-339	-208	101
W ₃	-208	-17	250	435	565	600	664	492	235	34	-148	-259	220
S ₁	-683	-522	-188	56	251	290	317	191	-42	-330	-344	-560	-131
S ₂	-654	-487	-238	1	274	307	383	211	-112	-319	473	-605	-143
S ₃	-935	-643	-186	246	429	583	449	344	42	-257	-285	-830	-87
E ₁	-474	-284	-40	184	413	484	527	400	75	-143	-258	-422	39
E ₂	-623	-337	-127	157	338	469	439	413	76	-243	-278	-471	-15
E ₃	-409	-134	125	258	410	468	452	226	74	-66	-238	-383	65
E ₄	-409	-327	-85	51	199	279	331	94	-201	-429	-521	-564	-132

Fig. 3. Annual variation of mean total heat exchange (Q) in cal/cm²·day and mean surface water temperature (T_w) in °C.

加熱期間은 西海岸에서 가장 길고 南海岸 및 울릉島沿岸에서 가장 짧은 反面 冷却期間은 西海岸에서 가장 짧고 南海岸 및 울릉도沿岸에서 가장 긴데, 東海岸에서는 年中 加熱期間 및 冷却期間이 거의 비슷하게 나타난다. 이와같은 現象은 南海岸 및 울릉島沿岸이 다른 沿岸에 比하여 暖流의 影響을 優勢하게 받는 海域임을 뜻한다. 全體적으로 볼 때 熱交換을 通하여 表面海水가 加熱되는 期間은 春夏季中이며 冷却되는 期間은 秋冬季節中에 該當된다.

韓國沿岸海域에서의 月別 熱交換量은 全體의

으로 $-930 \sim +720$ cal/cm²·day의 分布範圍內에서 變化한다. 海面에서의 受熱量($Q > 0$)이 最大가 되는 時期는 6~7月中으로 $320 \sim 720$ cal/cm²·day의 分布를 보이는데 東海岸 및 南海岸에 比해서 西海岸에서 가장 큰 分布를 나타낸다. 反面에 海面에서의 熱損失量($Q < 0$)이 最大가 되는 時期는 11~1月中으로 $-260 \sim -940$ cal/cm²·day의 分布를 보이는데 南海岸 및 東海岸이 西海岸에 比하여 熱損失量이 크게 나타난다. 또한 西海岸에서는 다른 沿岸에 比하여 熱損失量의 最大値가 나타나는 時期가 빠르다.

Table 2. Monthly mean evaporation rate (mm/day)

Station	Month												Ann. Av.
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
W ₁	3.12	1.92	1.20	0.19	—	—	—	—	4.17	5.88	5.16	4.98	2.22
W ₂	2.73	2.35	1.86	0.39	0.25	0.23	—	2.68	5.91	6.92	5.53	4.86	2.81
W ₃	3.84	2.63	1.57	0.36	0.20	0.18	—	2.20	5.00	6.23	5.15	5.21	2.71
S ₁	7.51	6.77	4.80	3.43	2.29	1.23	0.69	2.73	5.89	7.75	6.29	6.59	4.66
S ₂	7.79	6.69	4.89	3.33	1.47	1.23	—	2.87	6.23	7.23	7.66	8.06	4.79
S ₃	12.08	9.29	6.82	3.41	2.23	1.63	2.73	5.66	6.47	8.55	6.92	11.64	6.45
E ₁	5.52	4.44	3.39	2.20	0.69	—	—	—	2.74	3.91	4.33	5.31	2.71
E ₂	7.14	5.17	4.66	2.52	1.10	0.20	—	0.68	4.03	6.21	5.30	6.37	3.62
E ₃	4.29	3.16	2.06	1.42	0.52	—	—	1.12	2.49	3.68	4.68	5.19	2.38
E ₄	5.41	5.86	4.55	3.78	1.59	1.45	0.77	3.84	7.44	9.53	9.14	8.24	5.13

1월달 濟州沿岸(S₃)에서의 熱損失量은 -935cal/cm²·day로서 全沿岸中 가장 큰 값을 나타내고 있으며 全年을 통한 熱交換量의 變化幅이 가장 큰 곳도 濟州沿岸이었다.

蒸發量의 年變化

Table 2는 各 調査地點에서의 月別 蒸發量을 나타낸 것이다.

西海岸에서 蒸發의 最大值는 10月中旬에 나타나서 6~7mm/day의 分布를 보이며 南海岸에서는 12~1月中旬에 8~12mm/day의 最大值分布를 보인다. 東海沿岸도 南海岸과 같이 12~1月中旬에 最大值가 나타나는데 5~7mm/day의 分布를 나타내는 한편 울릉도沿岸에서는 10~11月中旬에 最大值가 나타나서 約 10mm/day의 증발량을 보이고 있다. 全體的으로 濟州沿岸 및 울릉도沿岸에서 蒸發이 가장 많은데 西海岸 및 울릉도沿岸에서는 가을에 蒸發이 가장 盛하며 南海岸 및 東海沿岸에서는 겨울철에 가장 盛하다.

蒸發量은 蒸氣壓의 差($l_w - l_a$)에 比例하므로 $l_w \leq l_a$ 일 때에는 蒸發을 發生되지 않는다. 따라서 韓國沿岸에서 여름철 5월~8월 사이에는 $l_w - l_a$ 가 매우 작거나 $l_w < l_a$ 가 되는 時期이므로 이 期間中에는 蒸發이 發生되지 않거나 微弱하다. 특히 西海岸의 W₁에서는 여름철 蒸發이 發生되지 않는 期間이 매우 길다.

年中 蒸發이 가장 甚한 곳은 濟州(S₃) 및 울릉도附近沿岸(E₄)으로 年平均 蒸發量은 5~6.5mm/day이다. 全體的으로는 南海岸 및 울릉도沿岸에서 높은 蒸發을 보이며 西海岸에서 가장 낮다.

年平均 熱交換量

Table 3에서 보여주는 바와 같이 年平均 熱交換係數는 37~60cal/cm²·day·°C의 分布로 南海岸 및 울릉도 附近沿岸에서 比較의 높으며 東海沿岸에서 比較의 낮은 값을 보인다.

年平均 平衡溫度는 13.5~18.0°C의 分布로 年平均 氣溫보다 높다. 年平均 平衡溫度와 水溫과의 差는 -4.8~3.8°C의 分布로 西海岸 및 東海北部沿岸(E₃)에서는 (-)를 나타내며 그밖의 海域은 (+)값을 나타내고 있다. 따라서 Fig. 4에서 보여주는 바와 같이 全年을 통하여 볼 때 西海岸의 表面海水는 年平均 100~240cal/cm²·day의 熱量을 받음으로서 加熱되며 南海岸 및 울릉도沿岸은 -90~-150cal/cm²·day의 熱量을 損失함으로서 冷却되는데 東海沿岸의 年平均 熱交換

Table 3. Annual averages of parameters related to heat exchange

Station	K Cal/cm ² . day·°C	T _s °C	T _w -T _s °C	T _w °C	T _a °C
W ₁	43	16.6	-4.8	11.74	11.1
W ₂	50	15.2	-1.6	13.64	12.1
W ₃	47	17.8	-4.4	13.38	13.4
S ₁	51	14.6	1.7	16.23	13.7
S ₂	51	13.6	3.8	17.39	13.8
S ₃	60	17.9	1.2	19.15	14.7
E ₁	38	16.5	-0.2	16.28	12.8
E ₂	46	14.8	1.0	15.79	13.0
E ₃	37	15.2	-1.6	13.62	12.1
E ₄	56	13.5	3.1	16.59	12.0

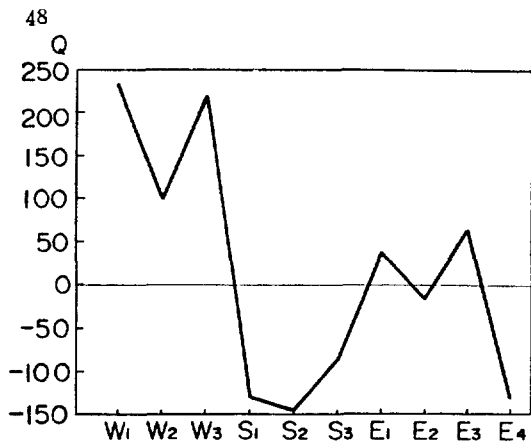


Fig. 4. Comparison of annual average total heat exchanges in cal/cm²·day at each station.

량은 -15~65cal/cm²·day의 分布로 加熱量이 多少 優勢하나 比較的 낮은 熱交換量을 나타내어 거의 平衡狀態에 가까운 分布이다.

考 察

海岸과 大氣 相互間의 熱交換方程式의 完全한 形態는 $Q_s - Q_e - Q_c - Q_b + Q_v + Q_o = 0$ 로 表示된다. 여기에서 Q_e 는 海流 또는 混合에 依하여 交換되는 熱量이고 Q_b 는 海水溫度를 上昇시키는 데 局所的으로 要하는 熱量인데 本 調査地點들은 水溫의 垂直傾度가 無視될 수 있을 程度로 잘 混合되어 있는 狀態로 볼 수 있어 그 값은 無視할 수 있을 것이다. 따라서 本 研究에서 이미 利用된 方程式으로부터 算出된 總熱交換量 Q 는 海流 또는 混合에 依하여 移動되는 熱量 Q_e 와 같다고 볼 수 있다.

그러므로 Fig. 4에서 보여 준 바와 같이 西海岸 및 東海沿岸側 海域의 年平均 熱交換量이 (+)인 것은, 上記沿岸海域은 全年을 通해 볼 때 寒流에 依한 影響이 優勢함을 意味하며 南海岸 및 울릉도沿岸의 (-)값은 暖流가 優勢함을 나타내고 있는 것이다.

이와같이 韓國沿岸·海水表面에서의 熱交換은 海域別로 각기 特性을 나타내고 있다. 西海岸은 다른 沿岸에 比해서 年中 加熱期間이 길 뿐만 아니라 그 期間中의 受熱量도 많기 때문에 暖流勢力을 東海岸보다 적게 받지만 여름철에 比較的 높은 水溫分布를 나타낸다.

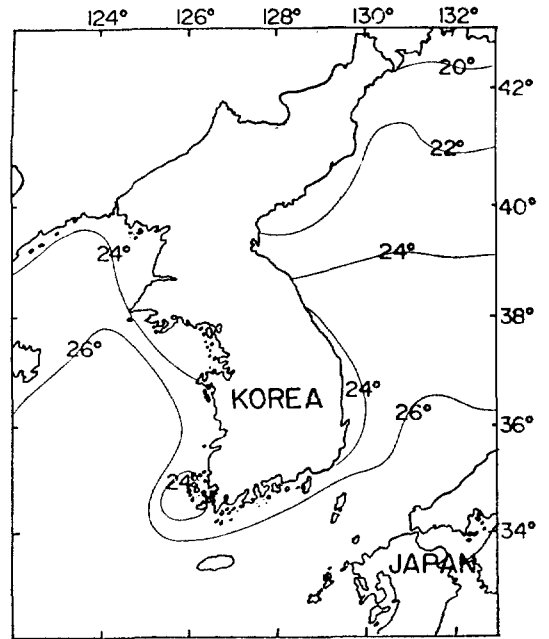


Fig. 5. Distribution of mean sea surface temperature (°C) in the sea to Korea in August.

Fig. 5는 韓國近海에서 最高水溫이 나타나는 8月の 平均 表面水溫分布圖인데 8月の 西海岸의 水溫은 같은 緯度上의 東海岸의 水溫보다 거의 같거나 더 높은 現象을 나타냄으로서 여름철에 西海岸이 東海岸보다 暖流勢力의 影響을 優勢하게 받기 때문인 것으로 判斷하기 쉬우나 이는 西海岸이 東海岸보다 熱交換에 따른 受熱量이 많기

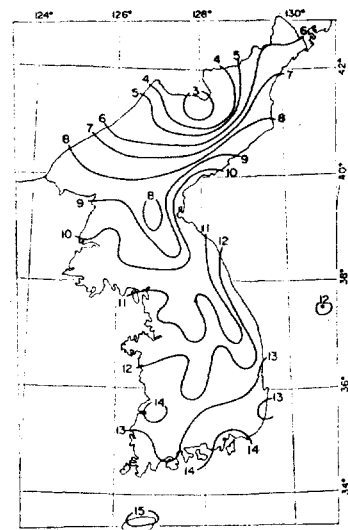


Fig. 6. Distribution of mean air temperature (°C) in Korea in January.

2. 加熱期間中の 受熱量은 6~7月中에 最大가 되어 $320\sim 720\text{cal/cm}^2\cdot\text{day}$ 의 分布를 보이는데 全體的으로 東海岸 및 南海岸에 比하여 西海岸에서 가장 많다. 冷却期間中の 熱損失量은 11~1月中에 最大가 되어 $-260\sim -935\text{cal/cm}^2\cdot\text{day}$ 의 分布를 나타내는데 暖流가 比較的 優勢한 南海岸 및 東海岸이 西海岸에 比하여 熱損失量이 훨씬 많다.

3. 年平均 熱交換量은 西海岸에서는 $100\sim 240\text{cal/cm}^2\cdot\text{day}$ 로 受熱量이 優勢하며, 南海岸 및 울릉도는 $-90\sim -150\text{cal/cm}^2\cdot\text{day}$ 로 熱損失量이 優勢하다. 東海岸은 年平均 $-15\sim 65\text{cal/cm}^2\cdot\text{day}$ 로 거의 平衡狀態에 가까운 分布를 나타낸다.

4. 蒸發은 濟州沿岸 및 울릉도附近沿岸에서 가장 甚하게 나타나는데 西海岸 및 울릉도沿岸에서는 가을철에 蒸發이 가장 많고 南海岸 및 東海岸에서는 겨울철에 가장 많다. 全沿岸에서 蒸發이 發生되지 않거나 微弱한 時期는 5~8月中이다.

5. 韓國沿岸의 表面水溫의 年變化는 熱交換量의 年變化와 密接한 關係가 있어 最高 또는 最低表面水溫은 全般的으로 加熱期間 또는 冷却期間이 끝나는 달에 나타난다.

文 獻

- Brady, D.K., Graves, W.L., and Geyer, J.C. 1969. Surface heat exchange at power plant cooling lakes. Edison Electric Inst. Pub. No. 69-901.
- Central Meteorological Office. 1968. Climatic Table of Korean.
- Edinger, J.E., and Geyer J.C. 1965. Heat exchange in the environment. Edison Electric Inst. Pub. No. 65-902.
- Fisheries Res. & Dev. Agency. 1964. Oceanographic Handbook of the Neighbouring Seas of Korea.
- Han, Y.H. 1970. On the estimation of evaporation and sensible heat transfer in the south-eastern part of Yellow Sea in the month of January. J. Meteor. Soc. Korea. 6 : 83-87.
- Han, Y.H. 1972. Heat budget over the south-western part of the Japan Sea in the month of January and cold water mass in the Korea Strait. J. Oceanol. Soc. Korea. 7(1) : 19-23.
- Hill, M.N. 1962. The Sea. 1. Interscience Publishers. John Wiley & Sons, Inc. : 100-126, 253-268.
- Hindley, P.D. and Miner, R.M. 1972. Evaluating water surface heat exchange coefficients. J. Hydraul. Div. A.S.C.E. 98(HY8) : 1411-1426.
- Hishida, K. and Nishiyama, K. 1969. On the variation of heat exchange and evaporation at the sea surface in the Western North Pacific Ocean. J. Oceanog. Soc. Jappan. 25(1) : 1-9.
- Ishida, K. 1970. Prediction of monthly and ten-day mean sea surface temperatures in the adjacent seas of Japan with air-sea heat exchange and advection taken into account. J. Met. Res. 22 : 401-415.
- Jacobs, W. C. 1951. Large scale aspects of energy transformations over the ocean. Compendium of Meteorology. Amer. Meteor. Soc. 1057-1070.
- Manabe, S. 1957. On the modification of air-mass over the Japan Sea when the outburst of cold air predominates. J. Met. Soc. Japan. Ⅱ (35) : 311-326.
- Manabe, S. 1958. On the estimation of energy exchange between the Japan Seahand the atmosphere during winter based upon the energy budget of both atmosphere and sea. J. Met. Soc. Japan. Ⅱ (36) : 123-134.
- Moriyasu, S. 1969. On the change of monthly sea surface temperature in the Western North Pacific (I). Oceanogr. Mag. 21(1) : 1-11.
- Ninomiya, K. 1968. Heat and water budget over the Japan Sea and the Japan Islands in winter season. J. Meteor. Soc. Japan 46 : 343-372.
- Takahashi, T. 1969. A note on the annual heat exchange across the air-sea boundary surface. Rec. Oceanogr. Works in Japan. 10(1) : 13-22.
- Wyrtki, K. 1965a. The Average annual heat balance of the North Pacific Ocean and its relation to ocean circulation. J. Geophys. Res. 70(18) : 4547-4559.
- Wyrtki, K. 1968. On the redistribution of heat in the North Pacific Ocean. J. Ocean. Soc. Japan 24(5) : 220-233.