

수영만에 유입된 담수의 체류시간과 그 계절적 변동 특성

이병걸 · 조규대 · 김동선*

부산수산대학교, *여수수산대학

(1991년 8월 10일 접수)

A Study on the Seasonal Variations of Fresh Water Distribution and Flushing Time in Suyoung Bay

Byung-Gul Lee, Kyu-Dae Cho and Dong-Sun Kim*

National Fisheries Univerisy of Pusan, *Yosu National Fisheries College

(Recieved August 10, 1991)

This paper presents the seasonal variation of distribution and flushing time of the fresh water in Suyoung Bay based on the monthly observation from May 1989 through April 1990 and Pusan City Report of Suyoung Bay.

Most of Suyoung river water was trapped inside of the bay west of the Dong-Baek Island located. Low salinity water lies dominantly on the right hand side of the Suyong river.

Salinity structure of the bay is the well mixed type in summer and the partially mixed type in other season.

The fresh water fraction varied in an exponetial manner from unity at the head of bay toward a value of zero at the its mouth.

The calculated average flushing time during a year was about 10-15days. About 1.5 days was in summer because the strong fresh water discharge from the river was dominated in the bay.

서 론

수영만은 지형적으로 수영강 하구의 상부에서 외해 쪽으로 갈수록 폭이 넓어지고, 수심이 깊어지는 연안 평야형 하구이며, 모양은 거의 삼각형이다. 따라서 이 해역은 외해와 접하는 단면이 매우 넓어 만내수가 외해수의 침입을 직접 받는 특성을 가지고 있다. 또한 수영강을 중심으로 인구가 밀집한 광안리 지역과 해운대 지역, 그리고 수영 요트 경기장과 접하고 있어서 주변 육상으로부터 오염 물질이 대량으로 유입될 수 있는 해역이기도 하다.

수영만에 관한 연구로는 원등(1979)과 원과 이(1979)의 수영만 하구의 오염 물질 분포 특성에 관한

것과 김(1981), 김(1991), 박(1988) 및 김(1991) 등의 수영만의 유동, 확산 및 해황에 관한 연구 등이 있다. 그러나 이러한 연구는 만내의 화학적인 분포 특성에 국한된 것이거나, 단기적인 수영만의 유동, 확산 및 일반적인 해황 특성을 설명한 것으로, 강으로부터 유입되는 담수에 의한 저염분화와 그 변동 특성에 관한 것을 구체적으로 설명하기에는 아직 미흡한 실정이다.

담수에 의한 하구의 물리, 화학, 생물학적인 환경적 특성을 연구한 논문으로는 Tully(1958)가 담수 유입량과 조류에 의한 하루 주기의 밀도의 성층 변동, 염분 약층과 연행(entainment)계수와와의 관계,

만내 혼합 현상과 바람과의 관계 및 담수율의 만내 수송 시간등과 같은 하구의 물리적 현상을 포괄적으로 설명하였다. Ichiye등(1961)은 미국 알리게이터 (Alligator)항과 오클락코니 (Ochlockone Bay)만에서 조류 및 담수 유입에 의한 염분 변동을 연구하기 위하여, 밀도에 의한 연직 안정도 및 간단한 염분 보존식을 이용하였다. 최근에 Sharp등(1986)은 미국 델라웨어만 (Delaware Bay)의 계절적인 환경 변동 특성을 연구하기 위하여 강의 담수 유입량과 조류, 염분에 의한 연직 안정도, 영양염, 식물 플랑크톤 및 클로로필등과의 관계성을 연구하였다. Denes와 Caffrey(1988)등은 만내 담수량의 계절적인 변동과 바람과의 관계성을 연구하여 바람에 의한 담수와 해수의 혼합관계를 설명하였다. 이들 연구는 담수가 하구의 물리, 화학, 생물학적인 현상에 얼마나 중요한 역할을 하는가를 상세히 밝혔다.

본 연구에서는 수영만으로 유입되는 담수량의 계절적 변화에 의한 저염분화와 담수의 체류 시간을 계산하여 담수에 의한 수영만의 물리 현상을 규명하고자 하였다. 담수에 의한 저염분수의 분포를 보기 위하여 수평 및 저층의 염분분포도와 담수율을 구하여 살펴 보았고, 체류 시간은 수영장에서 유입되는 평균 유입량과 만내의 총 담수량으로부터 구하였다.

자료 및 방법

본 연구의 자료는 관측 총면적이 약 25km^2 인 해역을 Fig. 1과 같이 29개 정점에서 1989년 5월부터 90년 4월까지 4계절에 걸쳐 관측된 염분 자료를 사용하였으며, 그 관측 수층은 표층, 중층, 저층으로 나누어 관측하였다. 관측점의 표층은 0m, 저층은 해저바닥 근처로 하였다. 본 연구에서 지형적으로 정의한 수영만은 Fig. 1의 성두말과 고두말을 잇는 직선이며, 이 직선의 안쪽을 내만, 바깥쪽을 외만으로 하였다. 그리고 수평 방향의 각 정점간의 거리는 약 1km이고, K-line을 따라서 염분의 연직단면도를 나타내었다.

염분에 의한 계절별 수괴 분포 특성을 알아보기 위하여 관측된 염분 자료로부터 계절별 염분의 표·저층 수평 분포도 및 단면도를 그렸다. 그리고 계절에 따른 하구의 담수 분포 특성은 Officer(1977)가 제안한 다음의 공식으로 담수율(f)을 구하였다.

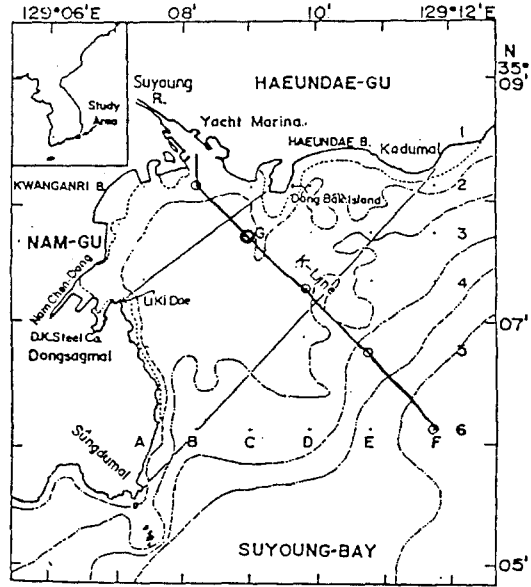


Fig. 1. Location map of selected 29 stations.

$$f = \frac{\sigma - \bar{\sigma}}{\sigma} \quad (1)$$

여기서 σ 는 외해수의 염분값이고, $\bar{\sigma}$ 는 만내의 정점에서 관측된 염분값으로 본 연구에서는 상층의 평균 염분값을 취하였다. 이 담수율의 물리적 의미는 만내에 있는 해수가 담수로 인하여 어느 정도 희석되었는가를 비율로 나타낸 것이다.

그리고 식(1)으로 계산한 담수율을 다음의 공식에 적용하여 담수의 체류시간(t)을 계산하였다.

$$t = \frac{V_t}{R}, \quad V_t = \int f dV \quad (2)$$

여기서 V_t 는 하구에 남아있는 총담수량을 나타낸 것이고, R 은 강으로 부터 유입되는 담수의 단위시간당 유량이다. dV 는 만의 미소체적이다. 이식의 의미는 강으로 부터 유입된 담수가 만에 어느정도 체류하다가 해수와 혼합하여 외해로 유출하는가를 나타낸 것으로 담수의 체류시간이 짧으면 짧을 수록 강에서 만으로 유입된 담수가 외해로의 유출이 빠름을 나타낸다.

본 연구에서는 만내 담수의 체류 시간을 구하기 위하여, 연구 해역을 Fig. 2와 같이 면적이 약 1km^2 인 18개의 격자로 나누었다. 그리고 각 격자들의 평균

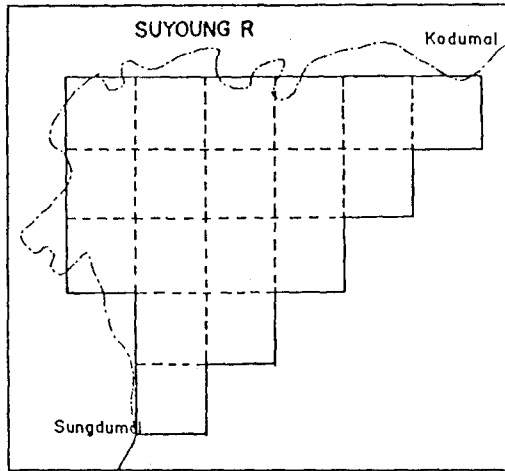


Fig. 2. Grid for computing the flushing time of Suyoung bay.

수심에 대한 체적을 구하고, 관측한 염분 자료로부터 각각의 평균 담수율을 계산하여 만내의 총 담수량을 구하였다. 강의 담수량은 부산시에서 발행한 보고서 (부산시, 1984)에 보고된 수영강의 갈수기와 홍수기 때의 초당 평균 방출량을 취하였다.

결과 및 고찰

1. 염분의 계절별 수평 분포도 및 연직 단면도

수영강으로부터 유입되는 담수로 인한 수영만의 계절별 해수 특성을 알아보기 위하여 1년 동안 관측된 월별 자료로부터 각 계절을 대표하는 5, 8, 11, 1월의 표·저층의 염분 수평 분포도를 Fig. 3와 4에, 연

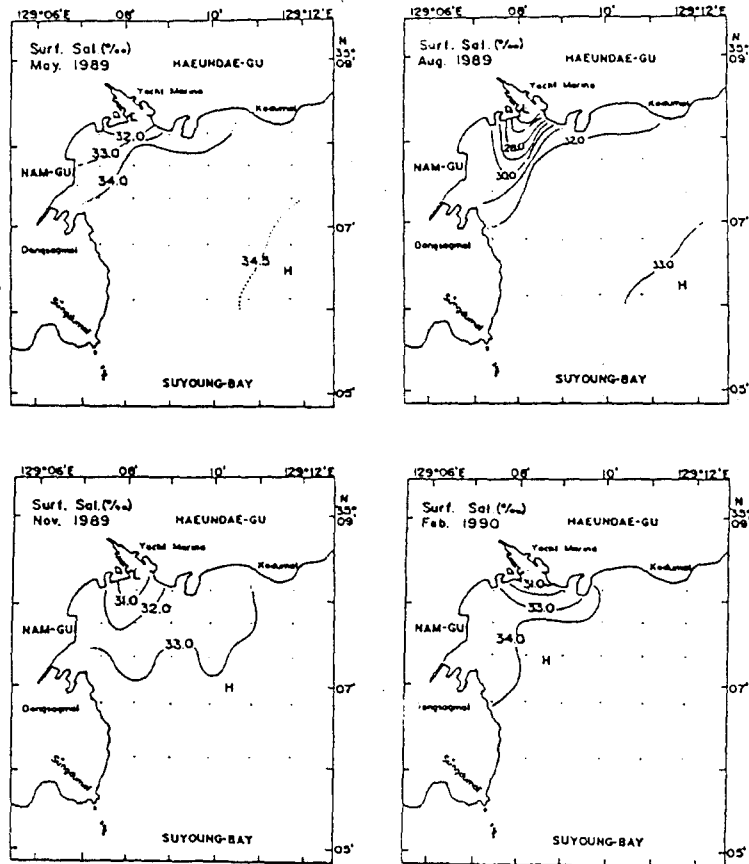


Fig. 3. Seasonal distribution of horizontal surface salinity in Suyoung bay.

수영만에 유입된 담수의 체류시간과 그 계절적 변동 특성

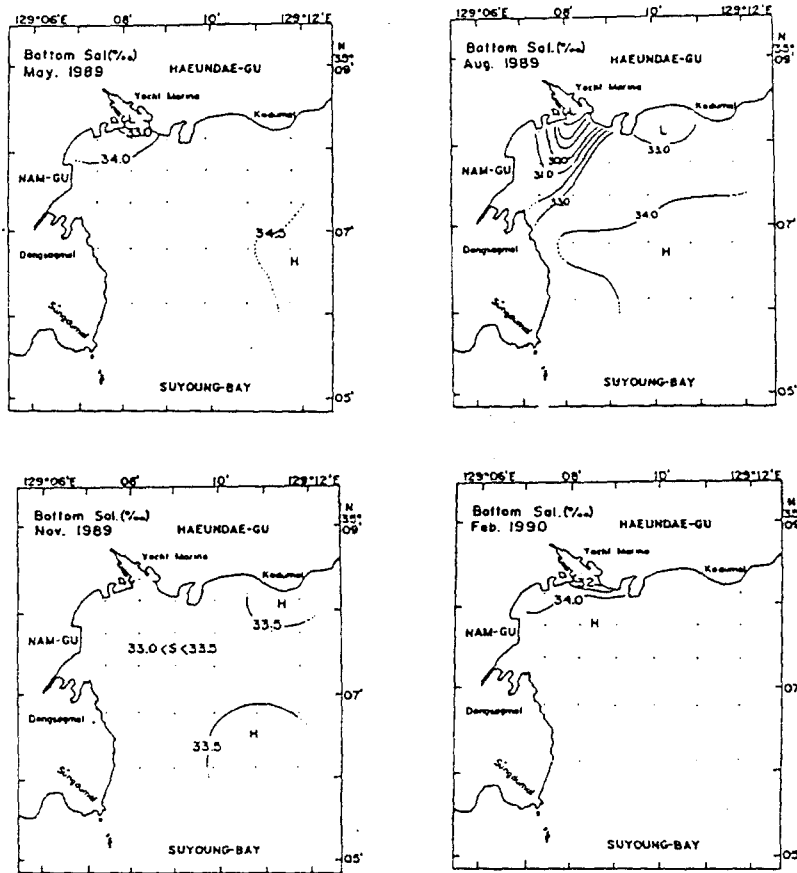


Fig. 4. Seasonal distribution of horizontal bottom salinity in Suyoung bay.

직단면도는 Fig. 5에 각각 나타내었다.

수평분포도를 보면 표층(Fig. 3)은 추계(11월)를 제외한 거의 모든 계절에 걸쳐 동백섬 부근(정점C3)을 중심으로 수영강이 있는 만 안쪽으로 저염분수의 분포가 강하게 나타나고, 외해쪽으로 갈수록 고염분수가 나타나고 있다. 저층의 경우(Fig. 4)도 표층과 비슷한 양상을 보이지만 각 계절별로 동백섬 부근 즉 정점C3를 중심으로 같은 정점상의 표층과 저층의 염분값을 비교해보면, 표층에 비하여 저층의 염분이 높으므로 저층에서 해수가 만 안쪽으로 침입하고 있음을 알 수 있다. 그리고 수영강에서부터 K-line을 기준선으로 잡았을 때 광안리쪽이 해운대쪽보다 저염분수가 치우쳐 분포하고 있음을 알 수 있다. 이러한 결과는 원과 이(1979)의 투명도와 중금속의 분포 특성과도 유사한 결과이다. 그리고 원등(1979)의 수영만에서의 측류관 추적과 김(1991)의 조류 모델과 확

산 모델의 결과에 의하면, 조석에 의한 확산으로 광안리쪽으로 담수가 치우쳐 흐르는데, 본 연구의 결과는 이러한 현상을 잘 나타내 주고 있다.

단면도(Fig. 5)를 보면, 거의 전계절에 걸쳐서 동백섬쪽의 정점C3를 기준으로, 만의 안쪽은 담수와 해수가 활발하게 혼합하고 있음을 알 수 있다.

특히 하계에는 정점C3를 기준으로 안쪽은 거의 같은 등염분선이 연속으로 분포하여 강하게 혼합하고 있는 특성을 보이고, 그 바깥쪽은 약한 성층이 이루어져 표층은 저염분, 저층은 고염분으로 되어있다. Dyer(1973)에 따르면, 하구에서 강혼합이 탁월하게 나타나는 것은 담수와 해수가 만나는 지점에서 표층과 저층간의 유속차가 크게 되어 상하층만이 물의 혼합이 잘 이루어지기 때문이라고 하였다. 따라서 하계에 수영강으로부터의 많은 담수 유입으로 담수의 유속이 빠르게 되며 그것으로 인해 상하층의 유속차가

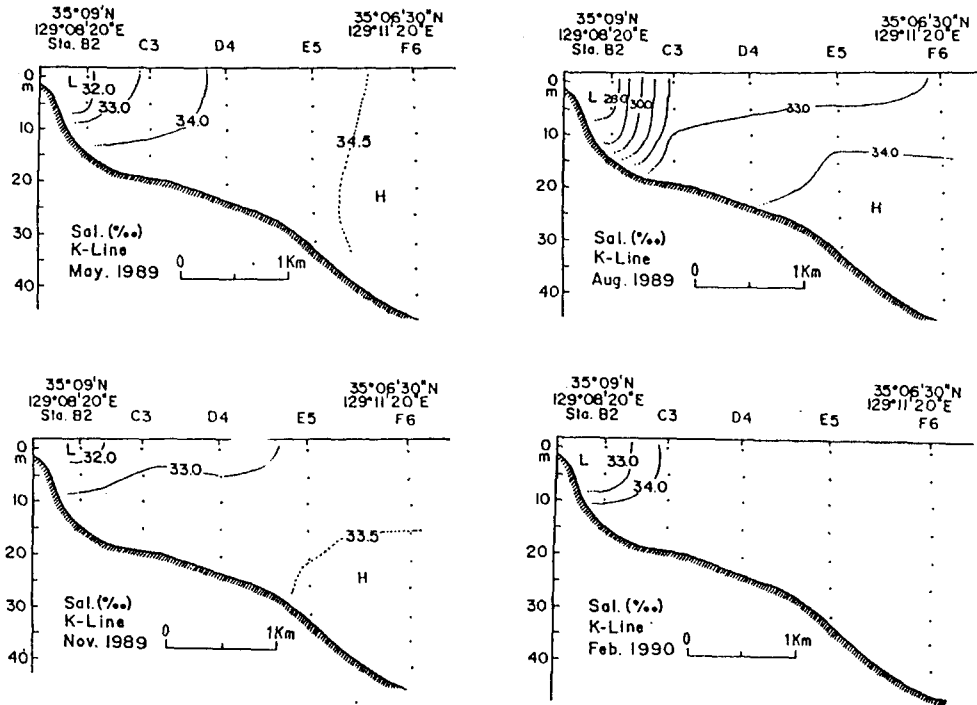


Fig. 5. Seasonal distribution of vertical salinity in Suyoung bay.

크게 되어 만내 해수와 담수가 만나는 지점에서 연직 혼합이 활발하게 일어난 것으로 보인다. 춘계와 추계, 동계는 하계에 비하여 등염분선이 연직으로 경사가 진 부분 혼합적 특성이 나타났다. 추계의 경우 춘계와 동계와는 달리 약한 염분 성층이 만의 안쪽으로부터 바깥쪽으로 뻗어있다.

이처럼 수영만의 물리적 현상의 계절적 변동은 하구의 지형 뿐만 아니라 수영강으로부터 유입되는 담수에 의해서 영향을 많이 받음을 알 수 있다.

2. 담수율과 담수의 체류 시간의 계절적 분포 특성

계절적인 담수의 분포 특성을 알아보기 위하여 식(1)을 이용하여 구한 담수율을 3차원적으로 Fig. 6에 나타내었다. 이 그림에서 보면 담수의 공급이 가장 탁월한 하계는 전해역에 걸쳐서 다른 계절에 비하여 매우 높은 담수율을 보여 주고 있다. 그리고 전 계절에 걸쳐서 염분의 수평분포도(Fig. 5)와 유사하게 동백섬을 기준으로 안쪽에 높은 담수율을 보이고 있으며, 광안리 쪽이 해운대 쪽보다 높은 담수율을 나타

내고 있음을 알 수 있다.

그리고 거리에 따른 담수율의 분포 특성을 계절별로 알아보기 위하여 수영강이 있는 만의 가장 안쪽의 정점 B1을 시점으로 하여 정점 B2, C3, D4, E5 및 F6까지의 담수율을 계산한 후 정점의 담수율과 거리를 각각의 최대치로 나누어서 1로 정규화하여 그 결과를 Fig. 7에 나타내었다. 이 그림에서 X축은 정규화한 거리를 나타내고, Y축은 정규화한 담수율을 나타내고 있다. 거리에 따른 담수율의 변화를 보면, 담수율이 거의 지수함수적으로 감소하며, X축의 좌표값이 0.3(정점C3)을 기준으로 급격히 감소함을 알 수 있다. 그러나 추계는 다른 계절에 비하여 감소율이 적음을 알 수 있다.

담수의 체류시간을 구하기 위하여 수영만을 Fig. 2와 같이 18개의 격자로 나누었다. 그리고 식(1)과 (2)을 이용하여 격자들에 대한 담수량을 계절별로 계산하면 Table 1과 같다. Table 1을 보면, 하계를 제외하고 담수의 체류시간은 거의 10~15일 정도이며, 하계는 약 1.5일 정도로 짧게 나타났는데, 이것은 다른 계절에 비하여 담수량이 많은 여름에는 만내에 유

수영만에 유입된 담수의 체류시간과 그 계절적 변동 특성

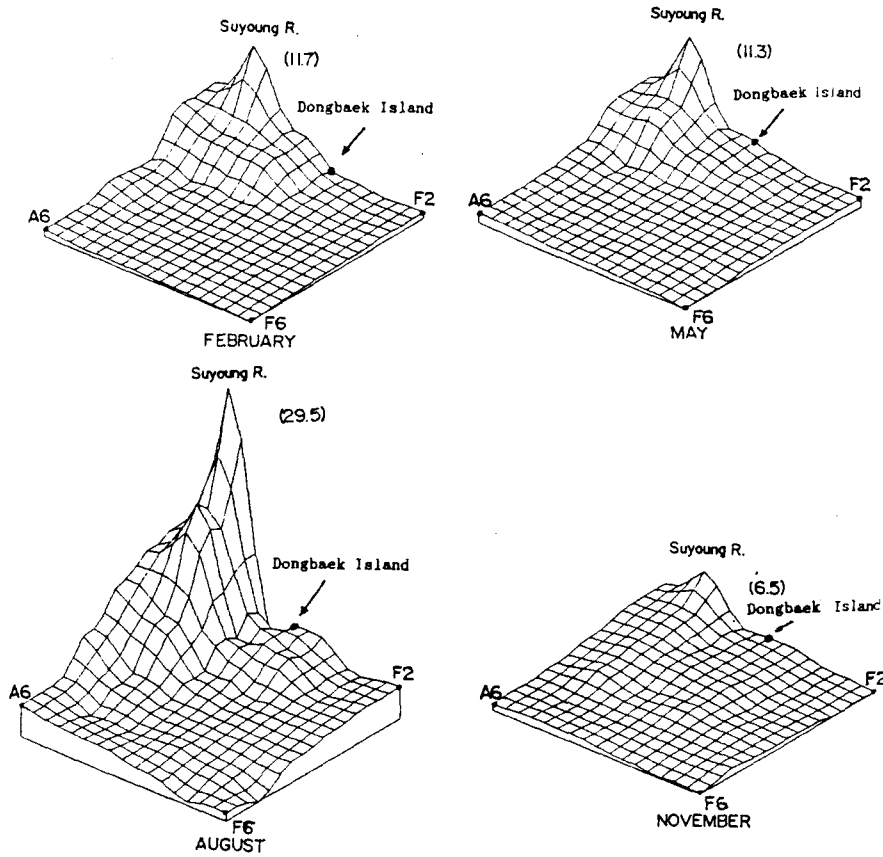


Fig. 6. Fresh water fraction distribution of four seasons in Suyng bay. The values in parenthesis indicate maximum fresh water fraction.

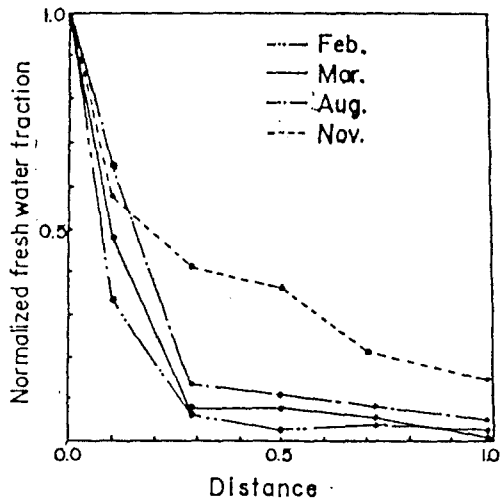


Fig. 7. Normalized fresh water fraction change with the normalized distance from the river mouth.

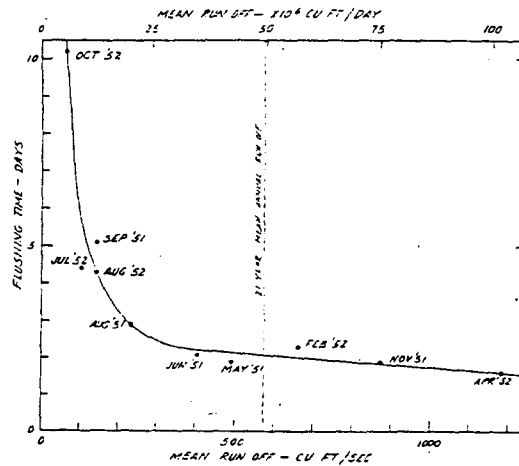


Fig. 8. The relationship between flushing time and river flow in Boston Inner Harbor (after Bumpus, 1952).

Table 1. Calculated flushing time and total fresh water in Suyoung bay

| | Total Fresh Water (ton) | River Discharge (ton/sec) | Flushing Time (day) |
|----------|-------------------------|---------------------------|---------------------|
| May | 3,660,033 | 4 | 10.6 |
| August | 130,826,880 | 1,130 | 1.34 |
| November | 4,792,366 | 4 | 13.87 |
| February | 3,168,266 | 4 | 9.23 |

입된 담수가 만외로 빨리 유출된다는 것을 나타낸다. 이것은 Bumpus(1952)가 미국 보스턴만(Boston Inner Harbor)에서 담수의 체류시간과 담수의 유입률과의 관계를 조사하였는데 (Fig. 8), 담수의 유입율이 높으면 높을 수록 담수의 체류시간이 짧아진다고 한 결과와 잘 부합된다. 그리고 그 이유는 담수량이 증가함에 따라 만내수의 순환이 빨라지기 때문이라고 하였다.

요 약

수영만으로 유입되는 수영강수에 의한 하구의 물리적인 특성을 밝히기 위하여 1989년 5월부터 1990년 4월까지 월별로 관측된 염분 자료와 Officer(1977)가 제안한 식을 이용하여 담수량 및 그 체류 시간을 계산하였다.

그 결과, 수평적으로는 수영만의 동백섬을 기준으로 수영강과 접하고 있는 만 안쪽으로 저염화가 강하게 나타나고 연직적으로는 강 혼합과 부분 혼합의 특징이 나타났다. 그리고 수영강을 중심으로 광안리 쪽이 해안대쪽보다 높은 담수율을 나타내었다. 그리고 거리에 따른 담수율의 분포 특성을 알아보기 위하여 수영강에서 외해쪽으로 6개 정점에서 각각 계산한 담수율을 각각의 최대치로 나누어 계절별로 정규화한 결과 담수율이 지수함수적으로 감소하였다. 추계에는 정점 C3를 기준으로 감소율이 다른 계절에 비해 현저히 떨어졌는데, 이것은 성층에 기인한 것으로 보인다.

그리고 앞에서 구한 담수율을 이용하여 수영강에서 유입되는 담수의 체류시간을 계산한 결과, 약 1.3일인 하계를 제외하고 나머지 계절은 약 10~15일 정도 임이 밝혀져 하계가 다른 계절에 비하여 담수의 순환이 빠름을 알 수 있었다.

사 사

본 논문의 완성에 성실한 조언을 아끼지 않은 김희준 교수님께 감사드립니다.

참고문헌

- 1) 김동선(1991) : 수영만의 물리해양적 특성, 부산수대 석사학위논문, 38.
- 2) 김영섭(1981) : 수영만에서의 유동과 확산 특성에 관한 연구, 부산수대 석사학위 논문, 20.
- 3) 김차겸 · 이종섭(1991) : 하구에서 Two-level 모델에 의한 해수 유동 및 확산에 관한 연구, 한수지(1), 24, 59-69.
- 4) 박철석(1988) : 수영하구의 담수 염수의 혼합에 관한 연구, 부산수대 석사학위논문, 33.
- 5) 부산직할시(1984) : 수영만매립 및 Marina건설에 따른 해안 및 환경공학적 영향에 대한 조사연구 보고서, 252.
- 6) 원중훈 · 이배정(1979) : 수영만 부근이 오타분포에 대하여, 한수지, 12(2), 87-94.
- 7) 원중훈 · 이배정 · 심무경 · 박현석(1979) : 수영강의 수질 오염과 그것이 광안리 해수욕장에 미치는 영향에 대하여, 한수지, 12(4), 267-276.
- 8) Bumpus, D. F.(1952): Unpublished records from Wood Hole Oceanographic Institution files.
- 9) Denes, T. and J. M. Caffrey(1988) : Changes in seasonal water transport in a Louisiana estuary, Fourleague bay, Louisiana, Estuaries, 11(3), 184-191.
- 10) Dyer, K. R.(1973): Estuaries; A Physical Introduction, John Wiley & Sons, 140.
- 11) Ichiye, T., Jones, M. L., Hulings, N. C. and F. C. W. Olson(1961): Salinity change in Alligator harbor and Ochlockonee bay. Florida, J. Oceanogr. Japan, 17(1), 1-9.
- 12) Officer, C. B(1977): Physical Oceanography of Estuaries(and Associated Coastal Waters), John Wiley & Sons, 465.
- 13) Sharp, J. H., Cifuentes, L. A., Coffin, R. B. and J. R. Pennock(1986): The influence of river

variability on the circulation, chemistry, and microbiology of the Delaware estuary, *Estuaries*, 9(4a), 261-269.

14) Tully, J. P.(1958): On the structure, entrainment, and transports in estuarine embayments, *J. Mar. Res.*, 17, 523-535.