

## 협수로의 수리 특성과 수괴구조†

### 1. 충무수로의 조류와 수괴구조

박 병 수

(경상대학교 해양과학대학, 해양산업연구소)

#### 1. 서 론

협수로에서는 강한 조류가 나타나고, 이러한 강한 조류는 조석파에 의한 조류와는 달리 수로 양편의 수위차와 지각에 의해 결정되는 수리류(hydraulic currents)의 특성을 보인다(David T. Pugh, 1987).

협수로에서 게류(slack water)는 고·저조시에 나타나지 않고 수위가 평균수면 부근일 때 나타나며 고·저조시에 최강조류가 나타난다. 이러한 협수로에서의 강한 조류는 때로 주변지형의 영향으로 국지적인 와류와 소용돌이를 발생시켜 소형어선의 항해에 장애요인과 위험요소로 작용하게 된다.

충무수로(Fig. 1)는 남해안의 통영시에 위치하며 내륙과 미륵도 사이의 좁은 수로로서 조류가 강해 수리류의 특성을 잘 보여줄 것으로 예상된다. 가장 좁은 수로폭은 80 m, 길이는 약 600 m이며 통영해역을 동서로 연결하는 해상교통의 요충지로서 어선들의 왕래가 빈번하다. 통영항의 평균고조간격은 8시간 40분이고, 대조차는 233.2 cm, 소조차는 85.2 cm, 평균조차는 159.2 cm이며 조석의 형태수는 0.18로서 반일주조가 탁월한 해역이다(국립해양조사원, 2000). 충무수로 주변해역인 진해만에 대해서는 해수유동·교류

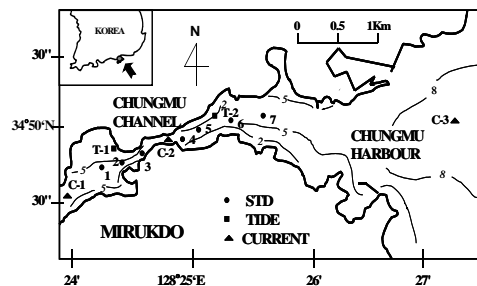


Fig. 1. Oceanographic observation stations.

† 본 연구는 경상대학교 해양과학대학 부설 해양산업연구소 자유공모과제의 지원으로 수행되었음.

에 관하여 이 등(1974)과 장 등(1993)의 연구가 있고, 충무해역의 해수유동에 관해서는 김 등(1982) 및 박 등(1991)의 연구가 있다. 그러나 충무수로에 관한 조사는 지형적 특성 및 선박 교통량의 폭주로 해양관측이 매우 어려워 연구된 바가 거의 없는 실정이다.

본 연구에서는 협수로의 조류특성을 조사하기 위하여 충무수로에서 조위, 유속 그리고 수온, 염분의 관측을 실시하여 수로에서의 조위에 따른 흐름의 변동특성과 해역의 수괴구조를 조사·분석하였다.

## II. 자료 및 방법

2001년 6월 21~22일(월령 : 29.0~0.6)의 대조기와 7월 31일~8월 1일(월령 : 10.3~11.3)의 소조기에 충무수로의 서편(T-1)과 동편(T-2)에 TG - 205(Tidal Gauge, RBR) 조위계를 장치하여 25시간 연속으로 조위를 측정하였다. 시간별, 층별 유속은 수로 폭이 가장 좁은 C-2 정점의 수심 4m(D·L하)의 저층에 ADCP(Acoustic Doppler Current Profiler 1200kHz, RD Instrument)를 고정하여 25시간 관측을 행하였다. 또한 수로 주변해역의 해수유동의 현황을 조사하기 위하여 C-1, C-3 정점에서 ACM(ALEC Current Meter 16M) 전자유속계를 사용하여 2001년 6월의 대조기, 10월의 소조기에 유속을 연속관측하였다. 그리고, 충무수로 및 주변해역의 수괴구조를 파악하기 위하여 수로 내의 동서방향을 따라 7개의 정점에서 2001년 8월 1일에 조시별로 CTD(Conductivity Temperature and Depth, SBE-19)관측을 행하였다.

## III. 결과 및 고찰

### 1. 조위 및 유속의 변동

Table 1. Tide level and current velocity in the Chungmu Channel during high and low tides

Tide	St.	low	high	low	high	low	
Spring	tide	T-1	-0.01(1428)	3.21(2054)	0.38(0322)	2.67(0924)	-0.12(1450)
(June 21	(m)	T-2	0.27(1436)	2.94(2100)	0.48(0324)	2.39(0938)	0.10(1500)
- 22)	vel.(m/s)	C-2	-0.86(1518)	+1.06(2030)	-0.91(0248)	+0.92(0906)	-0.80(1512)
Neap	tide	T-1	0.75(1226)	2.35(1926)	0.64(0132)	2.09(0656)	0.64(1308)
(July 31	(m)	T-2	0.85(1214)	2.13(1915)	0.83(0106)	1.88(0705)	0.81(1242)
- Aug. 1)	vel.(m/s)	C-2	-0.52(1236)	+0.72(1842)	-0.44(0148)	+0.67(0736)	-0.41(1318)

\* Tide measures upper D·L(datum level), velocity measures at the 0.6 h, negative velocity denotes westward flow and ( ) means observation time.

Table 1에 나타난 바와 같이 조사기간 중에 조위는 수로 서쪽(T-1)이 동쪽(T-2)보다 22~55cm 크게 나타났고, 이 조위차로 수로의 유속이 결정된 것으로 생각된다. 서쪽과 동쪽에서 고조와 저조가 나타나는 시간차는 대략 10분 이내이었다. 한편, 최강유속이 나타나는 시기는 수로 동쪽(T-2)을 기준으로 고·저조시의 30분 전후에 나타났다.

Fig. 2는 대조기의 양 정점의 조위변화와 유속의 변화를 나타내었는데, 대체로 고조시에 최강유속이 나타나는 진행파(progressive wave)의 성질을 보여 충무수로의 특징을 잘 나타낸다. 수로의 서쪽의 조차가 크기 때문에 고조시에는 수로 서쪽의 수면이 높았고, 저조시에는 수로 동쪽의 수면이 높았다. 그리고 고조와 저조 사이의 평균수면 부근에서 양쪽 수면의 높이가 일치하였다.

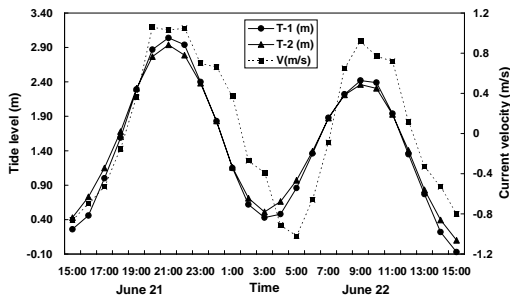


Fig. 2. Tide level and current velocity during the spring tide in the Chungmu Channel.

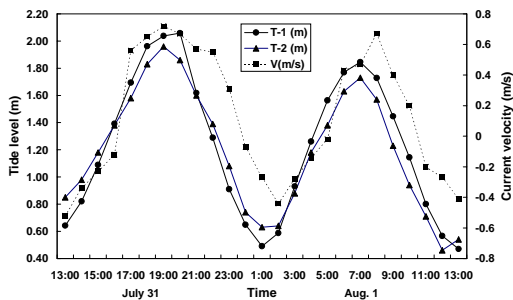


Fig. 3. Tide level and current velocity at the neap tide in the Chungmu Channel.

## 2. 유속계수 C 의 산정

협수로에서의 강한 조류는 수로 양 쪽의 수위차에 의해 생성되는 수리류(hydraulic currents)로 볼 수 있으며, 조석파에 의한 조류와 구별할 수 있다. 中野(1968)에 의하면 2개의 해역을 연결하는 협수로에서는, 수로 양쪽의 조위차에 의해 조류가 생기고, 계류는

수로 서쪽의 조위가 높을 때는 동류하고 최강유속은 고조 때에 나타나 1.06 m/s에 달하였다. 반대로 저조 때에는 수로 동쪽의 조위가 높아 서류하고 최강유속은 0.91 m/s를 기록하였다. 고·저조의 중간시점에서 양쪽의 조위는 일치하고 이 때에 조류가 일시 정지하는 계류가 되어 유속이 0이 되었고 계류 후에는 유향이 바뀌는 형태가 반복되었다. 조석파에 의한 조류는 위상차가 90. 를 보이지만 본 연구대상해역인 충무수로에서는 조석과 조류곡선의 위상이 거의 일치하였다.

Fig. 3은 소조기의 조위변화와 유속의 변화를 나타내었는데 대조기에 비해 조차와 유속이 다소 작았고 조위에 따른 유속의 변동형태는 대조기와 거의 일치하는 양상을 나타내었다. 고조시에 동류의 최강유속이 0.72 m/s를 기록하였고 저조시에는 서류의 최강유속이 0.52 m/s를 나타내었으며 평균수면부근에서 계류가 나타났다.

양쪽의 조위가 같아질 때 발생한다. 협수로에서 조류의 속도는 Torricelli의 정리에 의해 다음 식으로 표현된다.

$$u = C\sqrt{2gh} \dots\dots\dots (1)$$

여기서, u는 수로에서의 유속, g는 중력가속도, h는 양 해역의 조위차, C는 유속계수로서  $0 < C < 1$  되는 값이다. 유속계수 C를 알면 협수로에서 양쪽의 조위의 관측으로 유속을 구할 수 있다.

Table 1에서 대·소조기의 고조와 저조시의 조위차와 최강유속을 사용하여 유속계수 C를 계산한 결과를 Table 2에 나타내었다.

대조기에 유속계수 C는 0.37 ~ 0.65의 값을 나타내었고 소조기에는 C가 0.23 ~ 0.37의 값을 나타내었다. 편차가 큰 값을 배제한 C의 평균치는 대조기에 0.40, 소조기에는 0.35를 나타내었다.

Table 2. The calculated values of the velocity coefficient in the Chungmu Channel

Tide		low	high	low	high	low	mean
Spring	tide difference(m)	0.28	0.27	0.10	0.28	0.22	0.19
	velocity(m/s)	-0.86	+1.06	-0.91	+0.92	-0.80	0.91
	coefficient(C)	0.37	0.46	0.65	0.39	0.39	0.40
Neap	tide difference(m)	0.10	0.22	0.19	0.21	0.17	0.15
	velocity(m/s)	-0.52	+0.72	-0.44	+0.67	-0.41	0.55
	coefficient(C)	0.37	0.35	0.23	0.33	0.23	0.35

충무수로에서 유속의 실측치와 유속계수 C로 구한 계산치를 Fig. 4~Fig. 5에 나타내었다. 대조기에 실측치와 계산치는 변동형태가 거의 유사하게 나타났으며 계산치가 실측치에 비해 다소 작은 값을 보였다. 소조기에도 계산치의 편차가 다소 크게 나타났지만 전반적으로 계산치는 실측치와 잘 일치하였다.

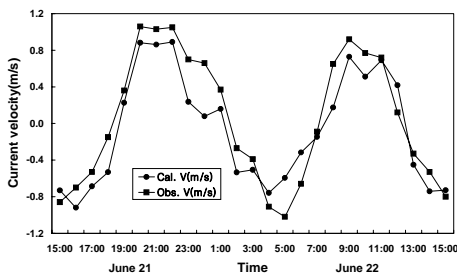


Fig. 4. Observed velocity and calculated velocity at spring tide in the Chungmu Channel.

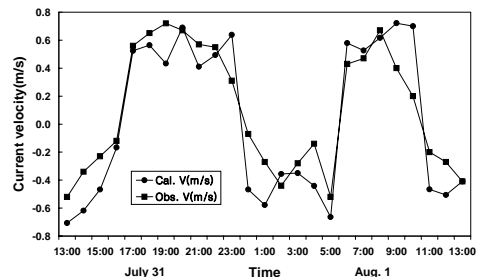


Fig. 5. Observed velocity and calculated velocity at neap tide in the Chungmu Channel.

### 3. 충무수로 인접해역의 조류형태 및 유량계산

충무수로 인접해역의 유동특성을 조사하기 위하여 소·대조기에 C-1, C-3 정점에서 연속 유속관측을 실시하였다. St. C-1에서 소조기에 ACM-16 유속계를 사용하여 관측한 결과는 Fig. 6과 같다. 이것은 2001년 10월 9일~10일까지 관측한 결과인데 고·저조시 부근에서 계류가 되었고, 계류 전후로 유향이 바뀌는 모습이 뚜렷하였다. 창조·낙조시의 최강유속은 각각 St. C-1에서 15~20 cm/s, St. C-3에서는 18~22 cm/s를 나타내었다.

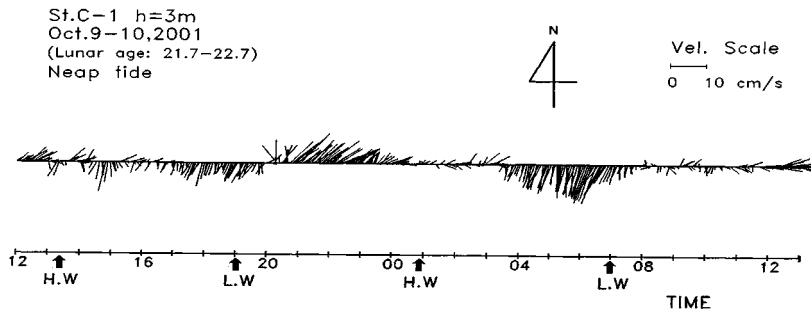


Fig. 6. Stick diagram of observed velocity at St. C-1 during neap tide.

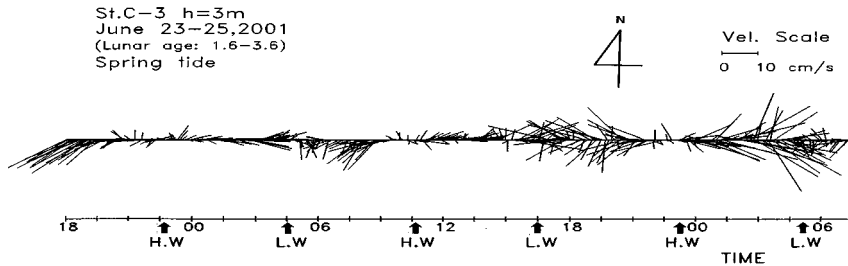


Fig. 7. Stick diagram of observed velocity at St. C-3 during spring tide.

Fig. 7은 2001년 6월 23일 ~25일의 대조기에 St. C-3에서의 유속의 관측결과이다. 다소간의 시차를 보이지만 고·저조시 부근에서 계류가 나타나고 계류 전후에 유향이 변하는 형태를 확인할 수 있었다. 이것으로 충무수로 인접해역은 조석파에 의한 조류의 양상을 나타내고 충무수로에서는 양 해역의 조위차에 의한 조류특성을 나타내는 것을 알 수 있었다.

충무수로에서 동·서류가 반복되어 왕복조류의 형태를 보이지만 실질적으로 충무수로에서 서편 해역의 해수가 동편 해역으로 이루어하는 형태를 보인다. 수로에서 한 방향의 유량은 다음 식으로 계산할 수 있다.

$$Q = \int_0^{T/2} A V dt \dots\dots\dots (2)$$

여기서, A는 수로의 단면적, V는 수로의 평균유속, T는 조석주기이다.

(2)식으로 계산한 충무수로에서의 대·소조기의 동서류 유량은 Table 3과 같다(박 등, 1991).

Table 3. Estimated tidal transport and sea water exchange in the Chungmu Channel

Tide		spring	neap
Volume of transport (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )	eastward(Q <sub>E</sub> )	13.5	8.8
	westward(Q <sub>W</sub> )	8.2	7.0
exchange rate(%)		39.2	20.5

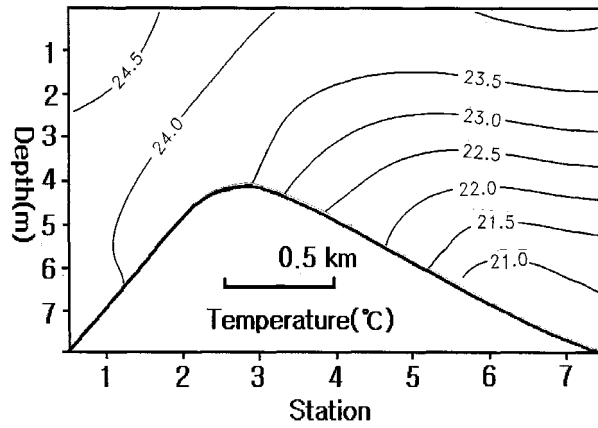
Table 3에서와 같이 충무수로에서 대조기에 동류유량과 서류유량은 각각 13.5×106m<sup>3</sup>, 8.8×106m<sup>3</sup>로 동류유량이 서류유량보다 많았고, 소조기에도 각각 8.2 ×106m<sup>3</sup> , 7.0×106 m<sup>3</sup> 로 동류유량이 많았다. 동류유량과 서류유량의 차이에 대한 동류유량의 비율 ( $\frac{Q_E - Q_W}{Q_E} \times 100$ )로 계산한 해수교환율은 대·소조기에 각각 39.2%, 20.5%를 나타내었다.

#### 4. 충무수로에서의 수괴구조

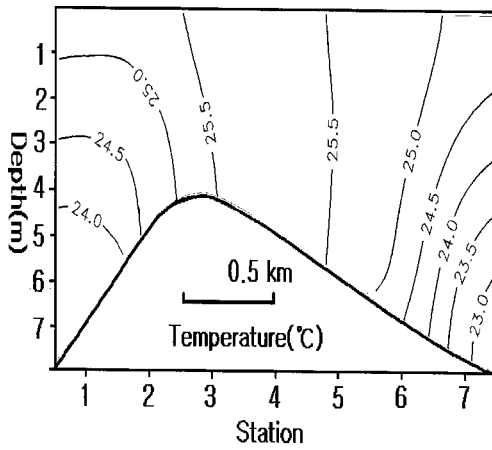
충무수로에서의 조류특성에 의해 형성되는 수괴구조를 파악하기 위하여 2001년 8월 1일 소조기에 충무수로의 St. 1~7에서 CTD를 사용하여 수온과 염분의 연직분포를 측정하였다. 측정결과는 Table 4 그리고 Fig. 8과 Fig. 9에 나타내었다. 조시별로 1) 저조후 3시간 2) 고조 3) 고조후 3시간의 수온과 염분의 분포이며 수온차는 약 3℃, 염분차는 약 0.6‰를 보였다. 그림에서와 같이 수로에서의 수온과 염분의 연직분포는 조위와 유속과 밀접한 상관관계를 가지고 있었다. 유속이 빠른 고조시에는 상하층의 혼합이 원활하여 등온 및 등염분선이 거의 연직방향으로 위치하는 강혼합형을 나타내었고, 유속이 느린 고조와 저조의 중간시점에는 등온 및 등염분선이 거의 수평방향으로 위치하여 성층화된 형태를 보여주었다.

Table 4. Vertical structures in temperature and salinity in the Chungmu Channel

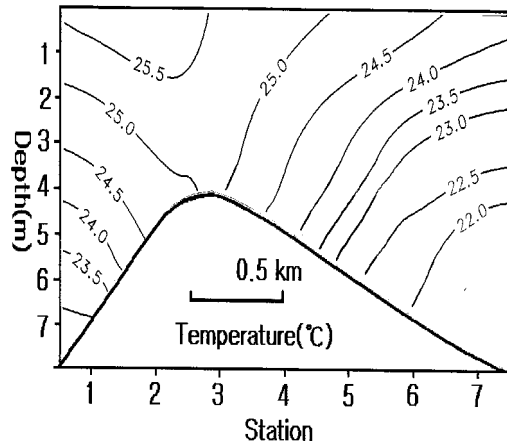
Tide	St.	Temperature(℃)							Salinity(‰)						
		1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7
L.W+3	upper	24.8	24.5	24.1	23.8	24.0	24.0	24.0	32.8	33.0	33.0	33.0	33.0	32.9	32.9
	lower	24.0	23.6	23.7	22.6	21.6	20.8	20.6	33.2	33.1	33.2	33.1	33.2	33.7	34.0
H.W	upper	25.2	25.2	25.5	25.6	25.3	25.0	24.8	32.6	32.6	32.5	32.5	32.6	32.7	32.7
	lower	23.0	24.5	25.3	25.6	25.4	24.5	23.0	33.4	33.3	32.5	32.4	32.5	32.6	33.4
H.W+3	upper	25.5	25.7	25.5	25.3	25.0	24.8	24.8	32.8	32.6	32.6	32.7	32.5	32.7	32.6
	lower	23.0	24.8	25.2	24.2	22.8	22.0	21.8	33.8	33.4	33.0	32.8	32.6	33.0	33.0



(1) 3 hours after low water



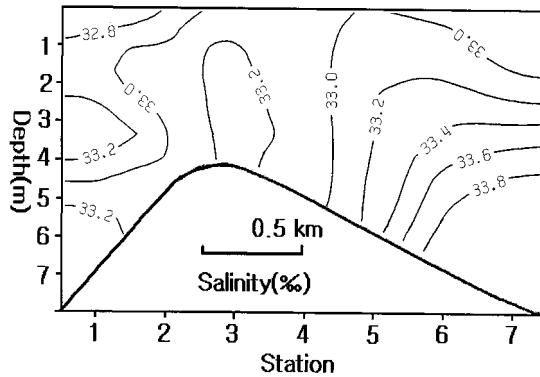
(2) high water



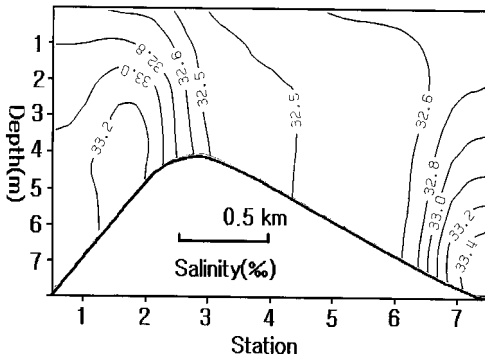
(3) 3 hours after high water

Fig. 8. Vertical distributions of temperature in the Chungmu Channel.

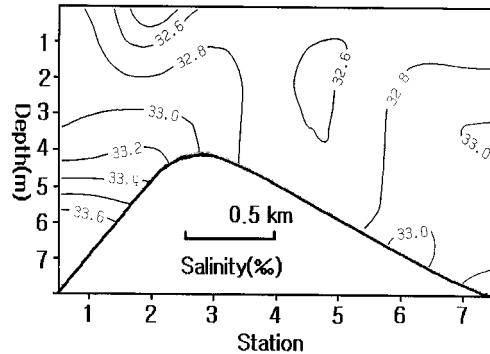
협수로의 수리 특성과 수괴구조



(1) 3 hours after low water



(2) high water



(3) 3 hours after high water.

Fig. 9. Vertical distributions of salinity in the Chungmu Channel.

IV. 결 론

협수로에서의 조류특성과 수괴구조를 파악하기 위하여 조위계, 유속계 그리고 CTD를 이용하여 관측한 결과에 의한 충무수로에서의 수리특성을 요약하면 다음과 같다.

1. 충무수로에서의 조류의 양상은 조석파에 기인하지않고 수로 양단의 조위차에 의하여



결정되었다. 조석과의 경우 조석과 조류의 위상차가 약 90°를 나타내지만 이곳 수로에서 조석과 조류의 위상은 거의 일치하는 수리류(hydraulic current)의 특성을 나타내었다. 대조기에 평균수면보다 수면이 높을 때는 동류하였고 고조시에 1.06 m/s의 최강유속이 나타났으며 수면이 낮을 때는 서류하였고 저조시에 0.91 m/s의 최강유속을 보였다. 또한 양수면이 같아지는 평균수면부근에서 계류가 나타났다. 소조기에도 대조기와 흐름의 양상은 같았고, 최강유속은 고조시와 저조시에 각각 0.72 m/s, 0.52 m/s를 나타내었다.

2. 협수로에서의 유속은  $u = C\sqrt{2gh}$  로 결정되며, 충무수로에서의 유속계수  $C$ 는 대조기에 0.37 ~ 0.65의 값을 나타내었고 소조기에는 0.23 ~ 0.37의 값을 나타내었다. 편차가 큰 값을 배제한  $C$ 의 평균치는 대조기에 0.40, 소조기에는 0.37을 나타내었다. 유속계수  $C$ 로 계산한 유속과 실측한 유속을 비교한 결과는 잘 일치하였다.

3. 충무수로에서 평균수면보다 수위가 높을 때는 동류하고 평균수면보다 낮을 때는 서류하는 형태를 보이기 때문에 동류유량이 서류유량보다 크게 나타났다. 동류량과 서류량의 차이에 대한 동류량의 비율( $\frac{Q_E - Q_W}{Q_E} \times 100$ )로 계산한 해수교환율은 대·소조기에 각각 39.2%, 20.5%를 나타내었다. 충무수로에서의 수괴구조는 이러한 수로의 수리특성에 의해 결정되며 유속이 강한 고조시에는 상하층의 혼합이 원활하여 강혼합형의 구조를 보였고, 유속이 약한 고·저조시의 중간시점에서는 성층화된 양상을 나타내었다.

## V. 참 고 문 헌

국립해양조사원, 조석표, 2001, pp. 225.

김두성, 충무항일대 조류관측결과, 수로기술연보, 1976, pp. 147-172.

김복기·한형균, 충무해역의 해수유동에 관하여, 수진연구보고, 30, 1982, pp. 31-48.

박병수·장충식, 협수로에서의 해수교류기구에 관한 연구, 통수논문집, 27, 1991, pp. 21-26.

김종화·장선덕·김해룡, 마산만의 해수교환율, 한국어업기술학회지, 22(3), 1986, pp. 29-35.

장선덕·김차겸·이종섭, 진해만조류의 현장관측 및 수리모형실험, 한국수산학회지, 26(4), 1993, pp. 346-352.

中野猿人, 海峽や水道における流動その他の現象, 沿岸海洋研究ノート, 6(2), 1968, pp. 9-10.

Mazda, Y., Water exchange and Material exchange through a Strait due to Tidal Flow, 日本海洋學會誌, 40, 1984, pp. 19-28.

David T. Pugh, Tides, Surges and mean sea-level. John wiley & sons, 1987, pp. 244-246.

Hogo B. Fischer, Mixing in inland and coastal waters. Academic press, 1979, pp. 264-266.

## The Characteristics of Tidal Current and Water Mass in the Narrow Channel

### 1. Tidal Current and Water mass in the Chungmu Channel

Byung-Soo PARK

(Gyeongsang National University, Institute of Marine Industry)

#### **abstract**

The flow pattern and water mass structure in the Chungmu channel were investigated using the field observations during June and July, 2001.

The currents in the channel may be regarded as a hydraulic current decided by difference of tide levels between two sides in the channel. The strongest current in the channel occurs around in high water and low water.

The coefficient  $C$  to be determined the characteristics of velocity in the channel was obtained from an equation,  $u = C\sqrt{2gh}$  and ranges from 0.37 to 0.65 in the Chungmu Channel at the spring tide and from 0.23 to 0.37 at the neap tide.

Eastward tidal transport is usually larger than that of westward transport in Chungmu the Channel. Sea water exchange rates are 39.2% in spring tide and 20.5% in neap tide respectively.

The water mass structure in the channel is changed by the speed of the tidal current. The water mass is well mixed at the high water when the current is strong and is stratified at slack water when the current is weak.