장기 관측된 선박장착 ADCP 자료를 이용한 조류성분 추출 방법

Method for Extracting Tidal Currents From Long-term Vessel-mounted ADCP data

서정길*, 장경일*, 남수용*, 정은호**, 정영화**

* : ㈜지오시스템리서치

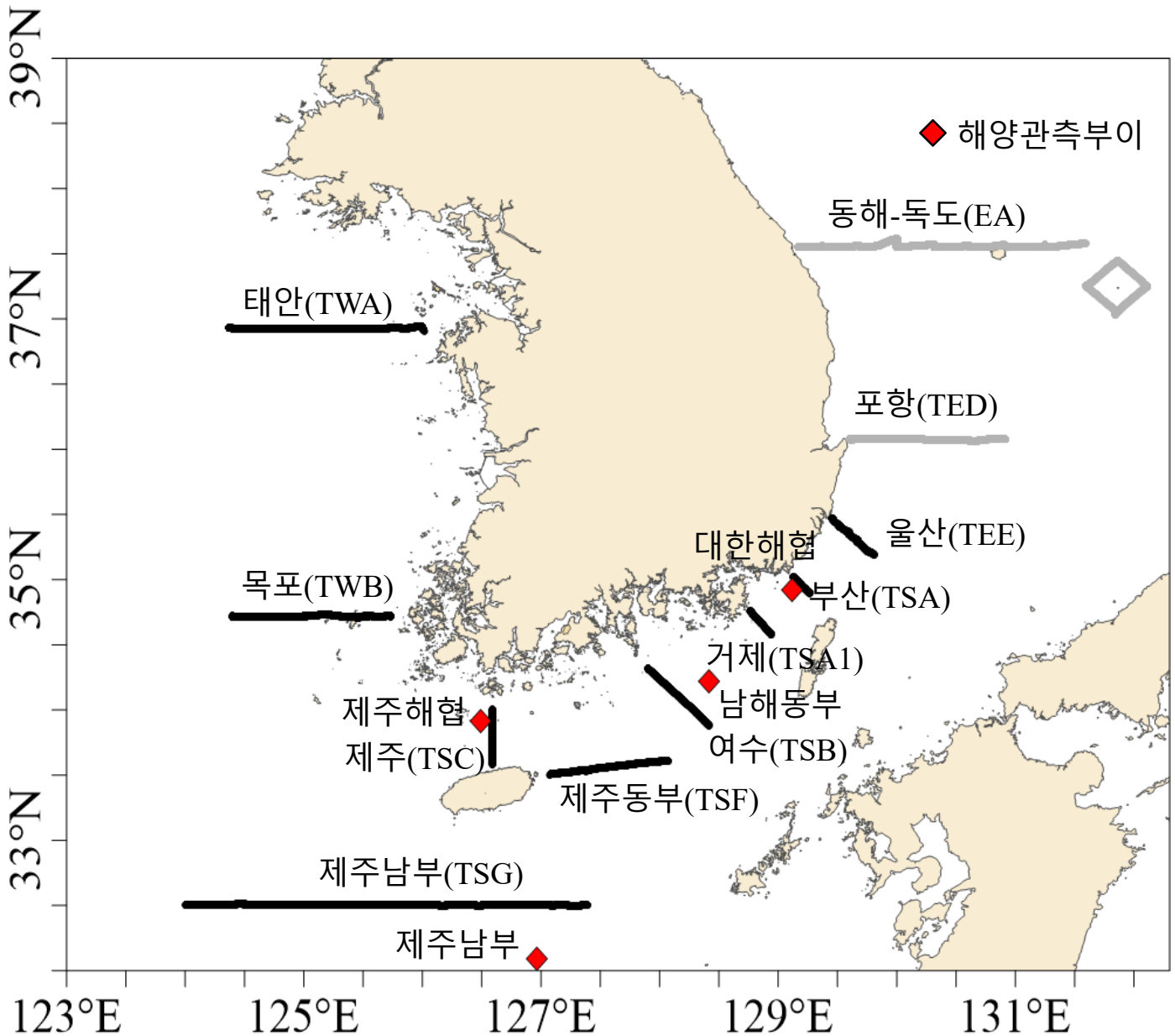
** : 국립해양조사원

자료 및 방법

- 자료:
  - 국립해양조사원(KHOA : Korea Hydrographic and Oceanographic Agency)의 한국연안 해류조사 자료 중 2013년~2018년에 남해와 서해에서 선박장착 ADCP를 이용하여 관측한 9개 관측선의 표층(수심 18~19 m) 자료

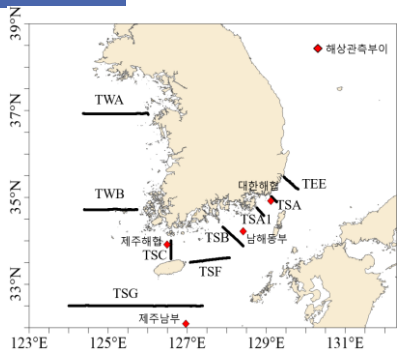
- 방법:
  - 각 자료 세트가 M_2분조(반일주조)와 평균값(상수)의 합으로 이루어져 있다고 가정 후 공간에 따른 최소자승법을 적용 조화분해하여 M_2 조류성분 추출
- 분석한 M_2 조류성분을 인근 부이자료와 KHOA 수치조류도 자료와 비교

한국연안 해류조사 관측 line(2018년 3분기)



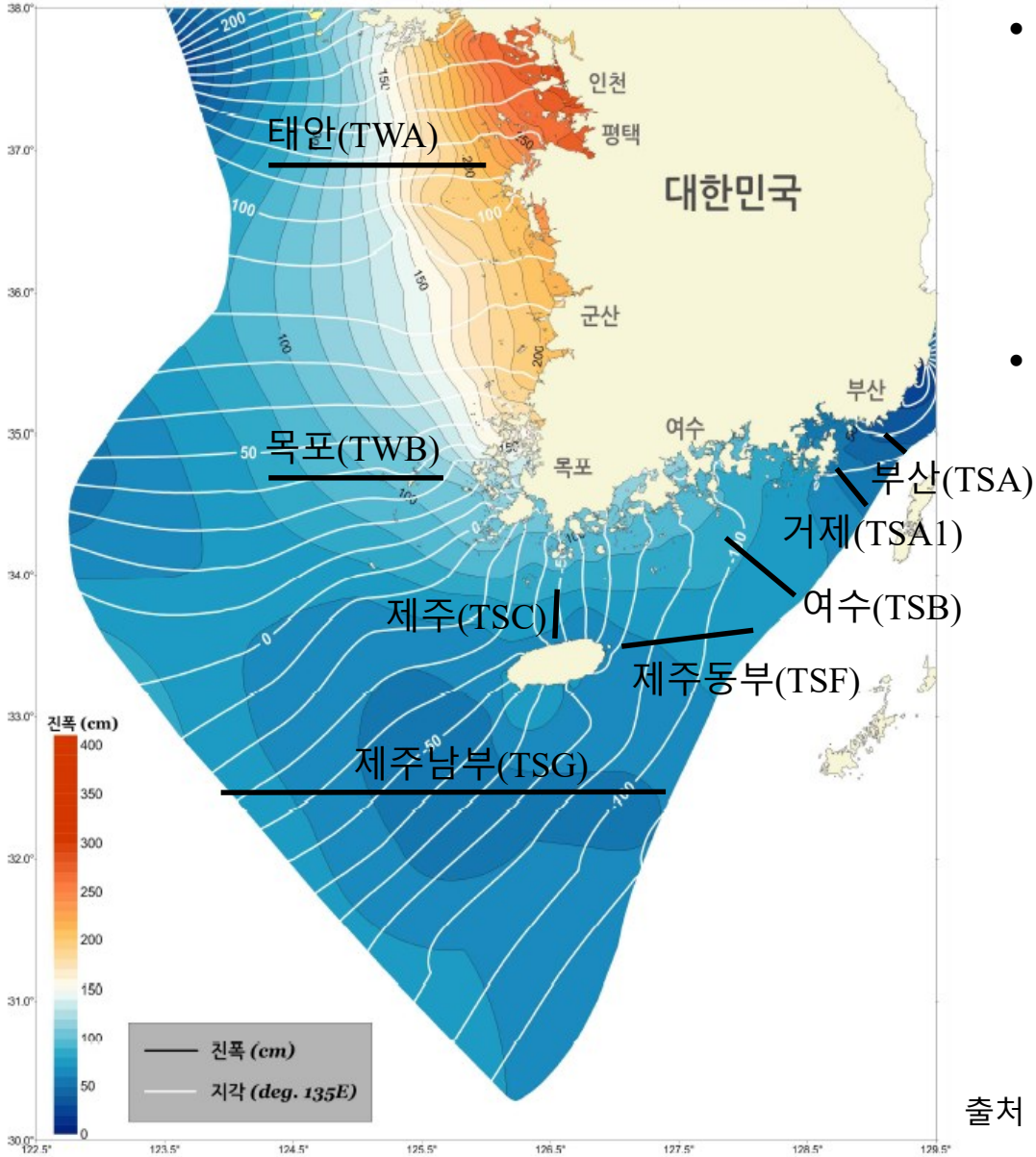
한국연안 해류조사

- 1997년 대한해협 서수도에서 25시간 연속횡단관측을 시작으로 동해와 남해에서 2011년까지 연속횡단관측 실시
- 2012년부터 관측선에서의 1회 관측으로 전환, 2016년 관측선 변경
- 2013년 ~ 2018년 자료 이용 분석



연도	2013				2014				2015				2016				2017				2018				누적관측시간		분기당관측시간	
분기	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	종합	노드별	최소	최대
TSA	■	■	■	■	■		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	28.5	28.4	1.0	2.5
TSB	■	■	■	■	■		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	77.0	55.0~60.6	3.2	5.2
TSC	■	■	■	■	■		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	60.9	60.5	2.0	5.0
TSA-1														■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	15.6	15.6	1.1	1.7
TSF													■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	59.8	24.4~53.4	4.4	6.7
TSG													■		■		■		■		■		■		86.9	12.4~31.4	15.9	18.8
TEE	■	■	■	■	■		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	56.8	56.8	2.3	4.4
TWA													■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	92.7	29.3~64.1	6.9	8.4
TWB													■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	81.8	32.7~65.9	6.0	8.4

등조시도와 관측선



- 태안(TWA), 제주남부(TSG) 관측선과 같이 연안과 외해에 걸친 관측선은 M_2 조류성분의 지각 및 진폭이 변화
- 관측선의 관측위치에 따라서 변화하는 조류성분을 고려한 분석이 필요함

출처 : 한국연안 조석·조류 조화상수집(2012)

분석 방법

- 최소자승법을 이용한 조류 분석의 수식은 아래와 같음
- 기본 fitting 수식 $u(\vec{r},t) = u_0(\vec{r}) + \sum_{i=1}^{N}[b_i(\vec{r})\cos(\omega_i t) + c_i(\vec{r})\,sin(\omega_i t)]$
- i 는 조석분조의 index이며, N은 사용할 총 조석분조의 개수
- 상수 부분($\mathrm{u_0}(\vec{r})$, $\mathrm{b_i}(\vec{r})$, $\mathrm{c_i}(\vec{r})$)은 공간에 대한함수로 표현하여 아래와 같이 나타냄

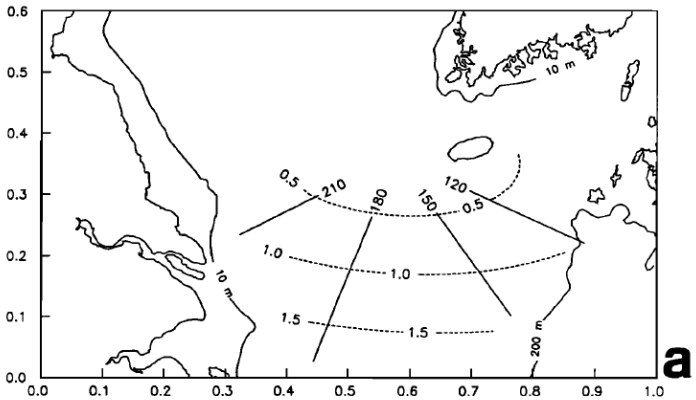
$$[u_0(\vec{r}), b_i(\vec{r}), c_i(\vec{r})] = \sum_{j=1}^{L}[\alpha_j, \beta_j, \gamma_j]\exp\{-[\frac{(x - x_j\ )^2}{\sigma_x^2} + \frac{(y - y_j\ )^2}{\sigma_y^2}]\}$$

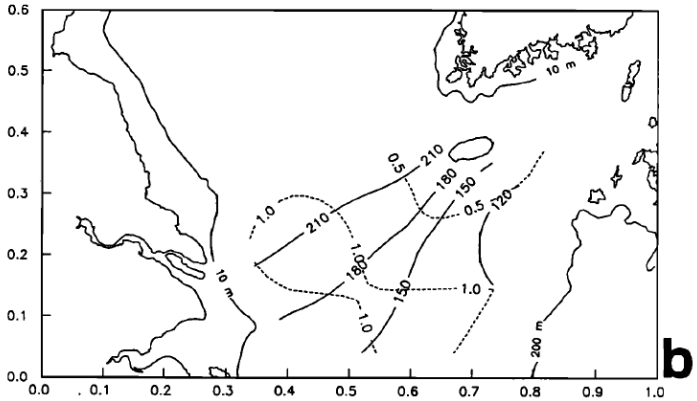
- 각 라인별로 누적관측시간을 고려 0.5도 간격으로 노드 설정, σ_x, σ_y는 50km로 설정
- 가우시안 공간함수의 장점(Wang et al. (2000))
  - 각 노드는 자료의 인근 지역의 영향만 받음
  - 공간에 따라 다른 length scale 적용이 가능함
  - Bihamonic Green 함수에 비해서 노드 위치 및 개수가 분석에 미치는 민감도가 낮음

분석 방법(기존 연구)

- 기본 fitting 수식 $u(\vec{r},t) = u_0(\vec{r}) + \sum_{i=1}^{N}[b_i(\vec{r})\cos(\omega_i t) + c_i(\vec{r})\,sin(\omega_i t)]$

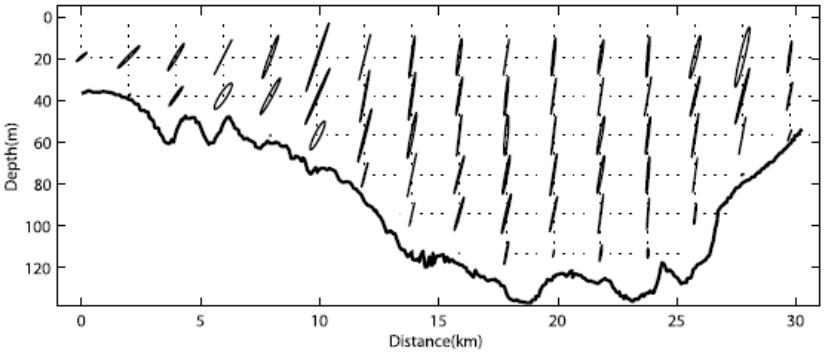
출처 : Candela et. al.(1992)





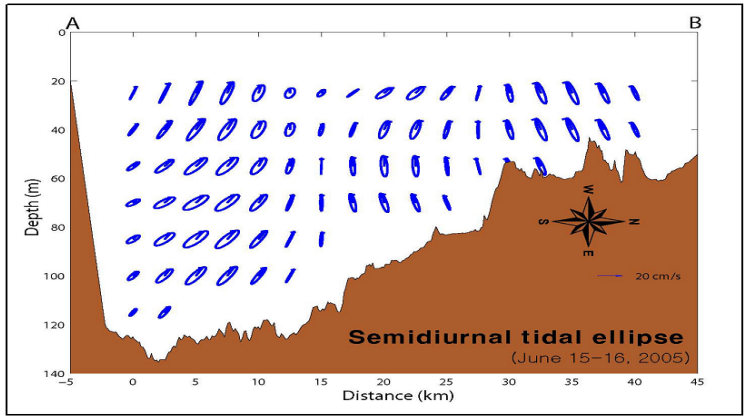
- Polynomial 함수(a), Biharmonic 함수(b)를 이용하여 수송량에 대한 반일주조 분조의 등조류도.

출처 : Wang et. al.(2004)



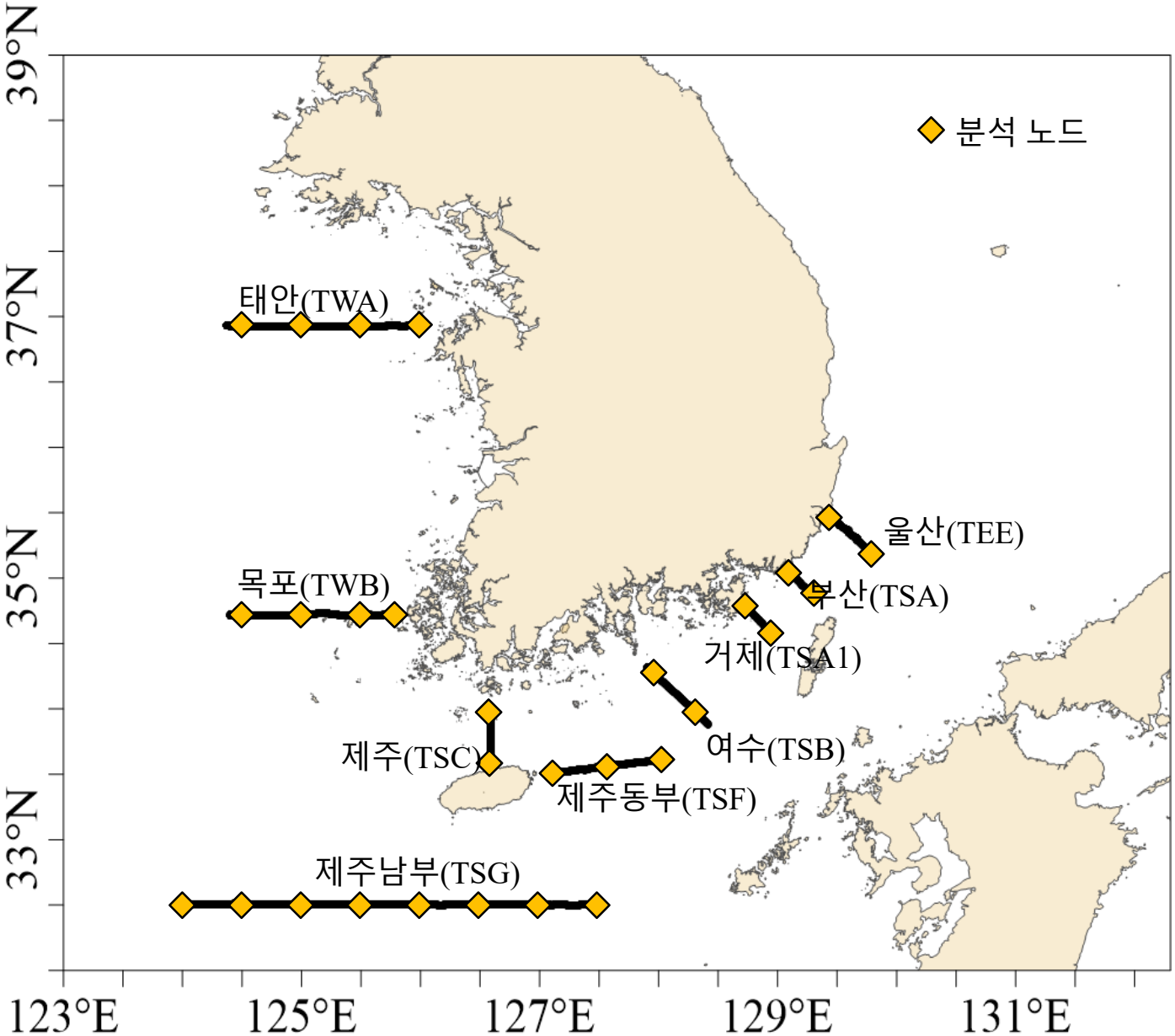
- 대만 해협의 Penghu channel에서 Gaussian 함수를 이용하여 분석한 반일주조 분조의 조류타원도

출처 : 2006년 수로기술연보



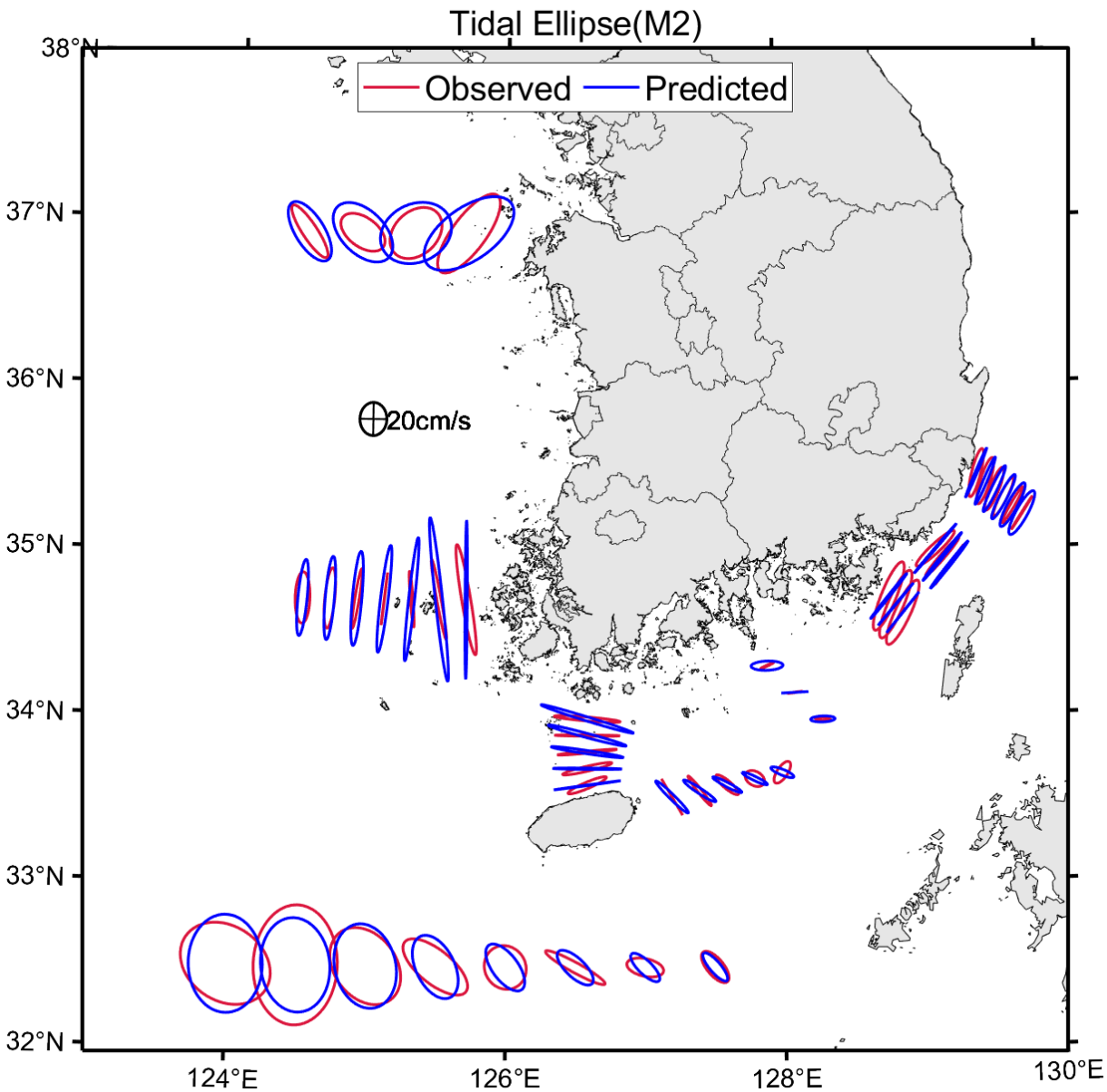
- 2005년 2분기 제주 측선 25시간 왕복관측 자료를 이용하여 분석한 반일주조 분조의 조류타원도

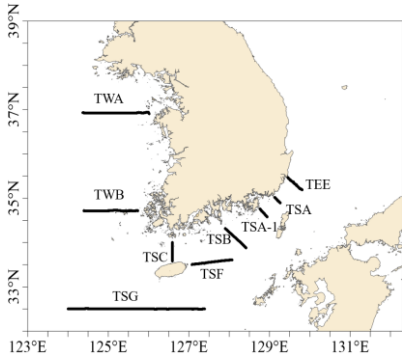
분석 방법



- 각 라인별로 노드간 간격 최대 0.5도

분석 결과





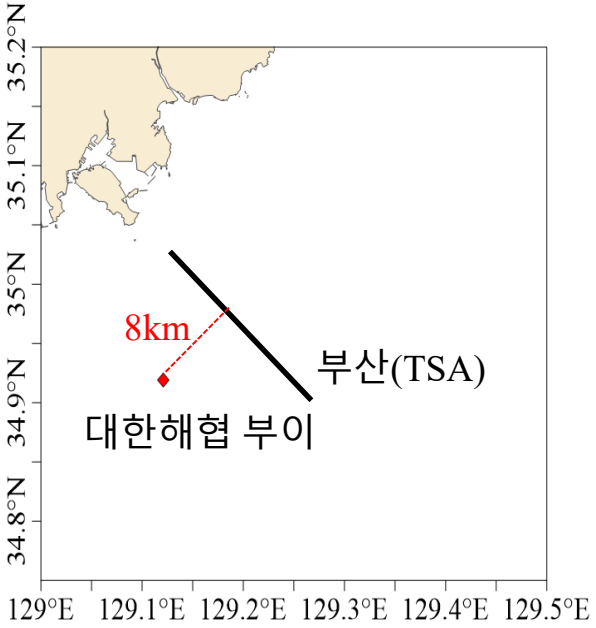
- 파란원 : 수치조류도 자료에 기반한 조류타원도
- 붉은원 : ADCP 자료 분석에 따른 조류타원도

TSA Line(부산)와 부이(대한해협)자료 비교

- 2013년~2018년 과거누적 자료를 이용한 조화분해 결과(129.20°E 노드위치)

M_2	부이 (2018년)	수치조류도	ADCP	차이 (ADCP-부이)	차이 (ADCP-수치조류도)
장축길이(cm/s)	25.82	40.80	33.62	7.80	-7.18
단축길이(cm/s)	-0.38	-1.46	3.21	3.59	4.68
기울기(°)	37.29	43.97	41.90	4.61	-2.07
지각(°)	87.15	98.29	79.20	-7.95	-19.09

- 부이와 관측선의 최단거리는 약 8km
- 반일주조 조류의 회전 방향이 부이 및 수치조류도와 다르게 나타나며, 장축 길이는 부이보다는 7cm/s 정도 길고 수치조류도에 비해서는 7cm/s 정도 짧다

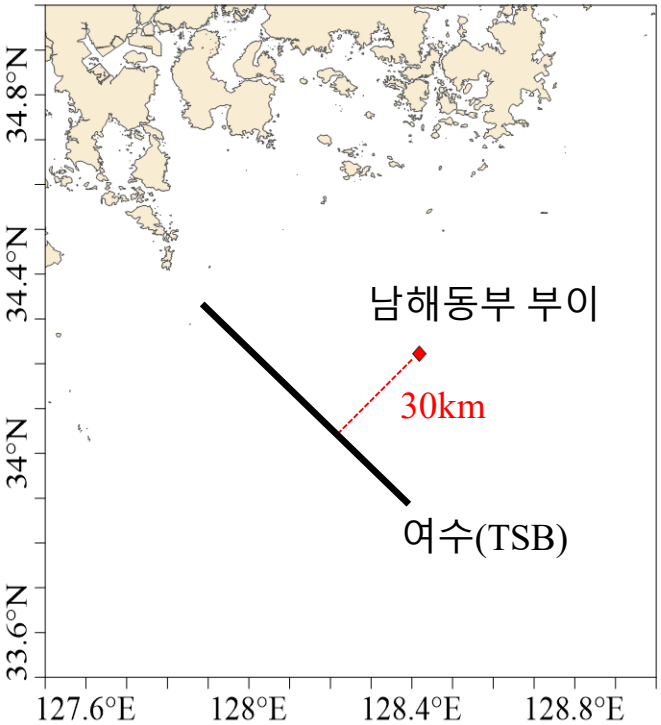


TSB Line(여수)와 부이(남해동부)자료 비교

- 2013년~2018년 과거누적 자료를 이용한 조화분해 결과(128.10°E 노드 위치)

M_2	부이 (2018년)	수치조류도	ADCP	차이 (ADCP-부이)	차이 (ADCP-수치조류도)
장축길이(cm/s)	14.65	19.77	10.58	-4.07	-9.19
단축길이(cm/s)	-2.94	-0.03	0.32	3.26	0.35
기울기(°)	5.88	1.94	5.63	-0.25	3.69
지각(°)	114.35	144.75	132.17	17.82	-12.58

- 부이와 관측선의 최단거리는 약 30km
- 반일주조 조류의 회전방향이 수치조류도 및 부이와 다르며 장축의 크기가 더 작게 나타남. 기울기는 부이와 유사함.
- 해당 해역은 연안과 외해의 조류특성 측선을 따라서 차이가 나는 것으로 분석되었으며, 그로 인해 ADCP 분석 값에서 오차가 발생하는 것으로 판단됨.

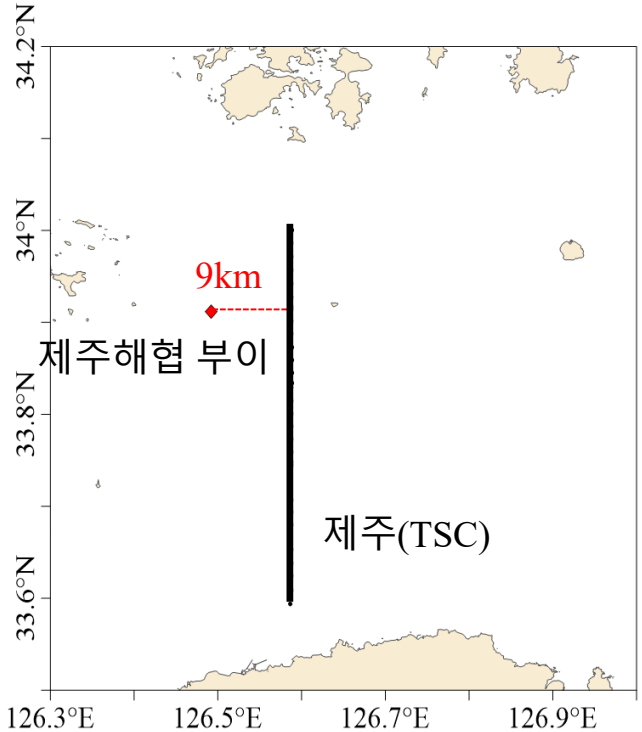


TSC Line(제주)와 부이(제주해협)자료 비교

- 2013년~2018년 과거누적 자료를 이용한 조화분해 결과(33.9°N 노드 위치)

M_2	부이 (2018년)	수치조류도	ADCP	차이 (ADCP-부이)	차이 (ADCP-수치조류도)
장축길이(cm/s)	42.68	57.97	47.16	4.48	-10.82
단축길이(cm/s)	1.43	2.57	0.72	-0.71	-1.85
기울기(°)	160.54	167.48	179.55	19.01	12.07
지각(°)	35.07	38.37	45.71	10.64	7.34

- 부이와 관측선의 최단거리는 약 9km
- 반일주조의 조류의 장축의 길이는 부이 관측값과 4.5cm/s 차이가 나며 수치조류도 경우에 비해서 10cm/s 정도 작게 나타남. 기울기가 약 12~19도 차이가 나며 지각도 약 7~10도 차이가 나타남.

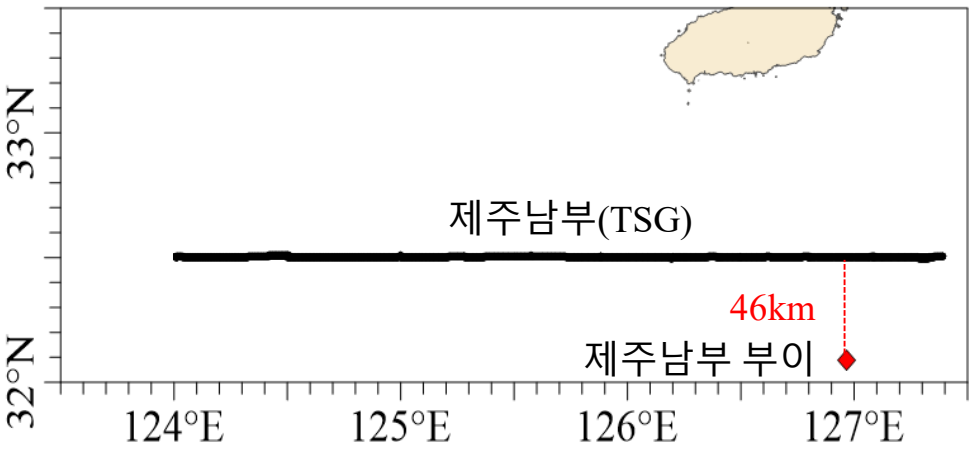


TSG Line(제주남부)와 부이(제주남부)자료 비교

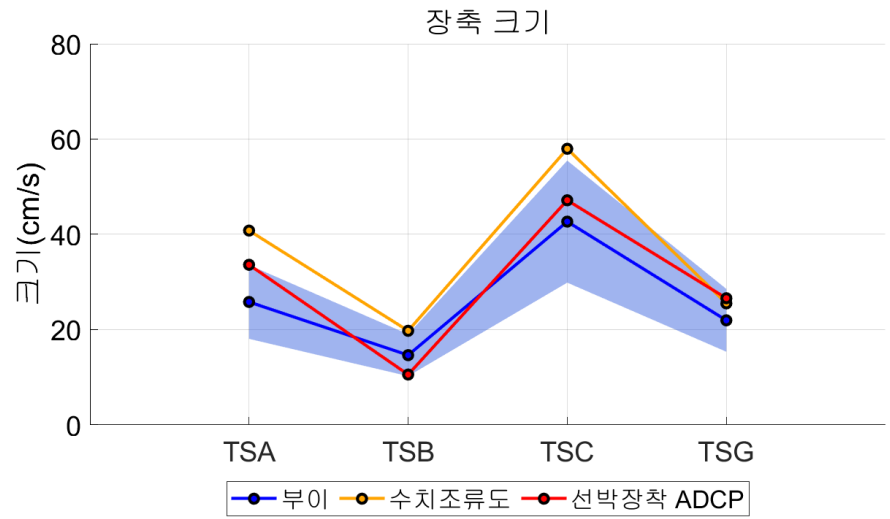
- 2013년~2018년 과거누적 자료를 이용한 조화분해 결과(127°E 노드 위치)

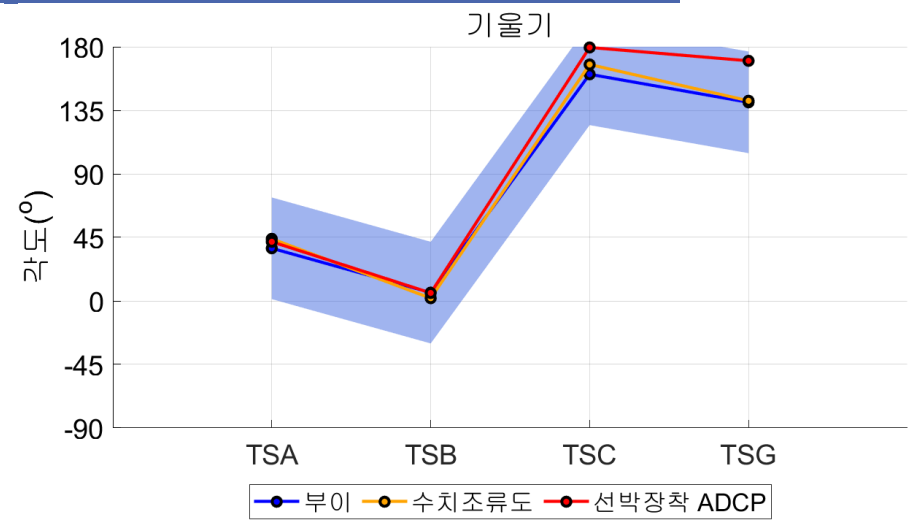
M_2	부이 (2018년)	수치조류도	ADCP	차이 (ADCP-부이)	차이 (ADCP-수치조류도)
장축길이(cm/s)	21.96	25.52	26.60	4.64	1.08
단축길이(cm/s)	-9.77	-8.82	-10.70	-0.93	-1.88
기울기(°)	140.66	141.77	170.09	29.43	28.32
지각(°)	357.66	1.97	317.35	-40.31	-44.61

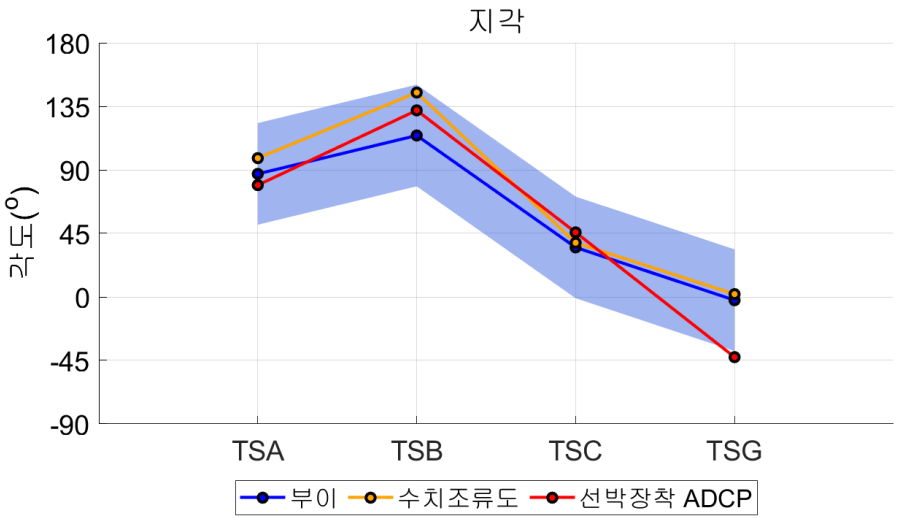
- 부이와 관측선의 최단거리는 남북으로 약 46km
- 반일주조 조류의 경우, 장축과 단축의 길이가 부이 및 수치조류도 결과에 비해 크게 나타나며 기울기가 약 29도 차이를 보여 더 동서방향이며 나며 지각은 약 40도 선행함.



결론







- 인근 시계열 해양부이와 수치조류도 자료와 선박장착 ADCP 자료 비교시 장축의 길이는 선박장착 ADCP가 부이와 약 10~30% 차이를 보이며, 지각은 8도~40도 차이를, 기울기는 0~25도의 차이를 보이며, 관측자료에 유사한 값으로 분석됨

결론, 토의 및 향후계획

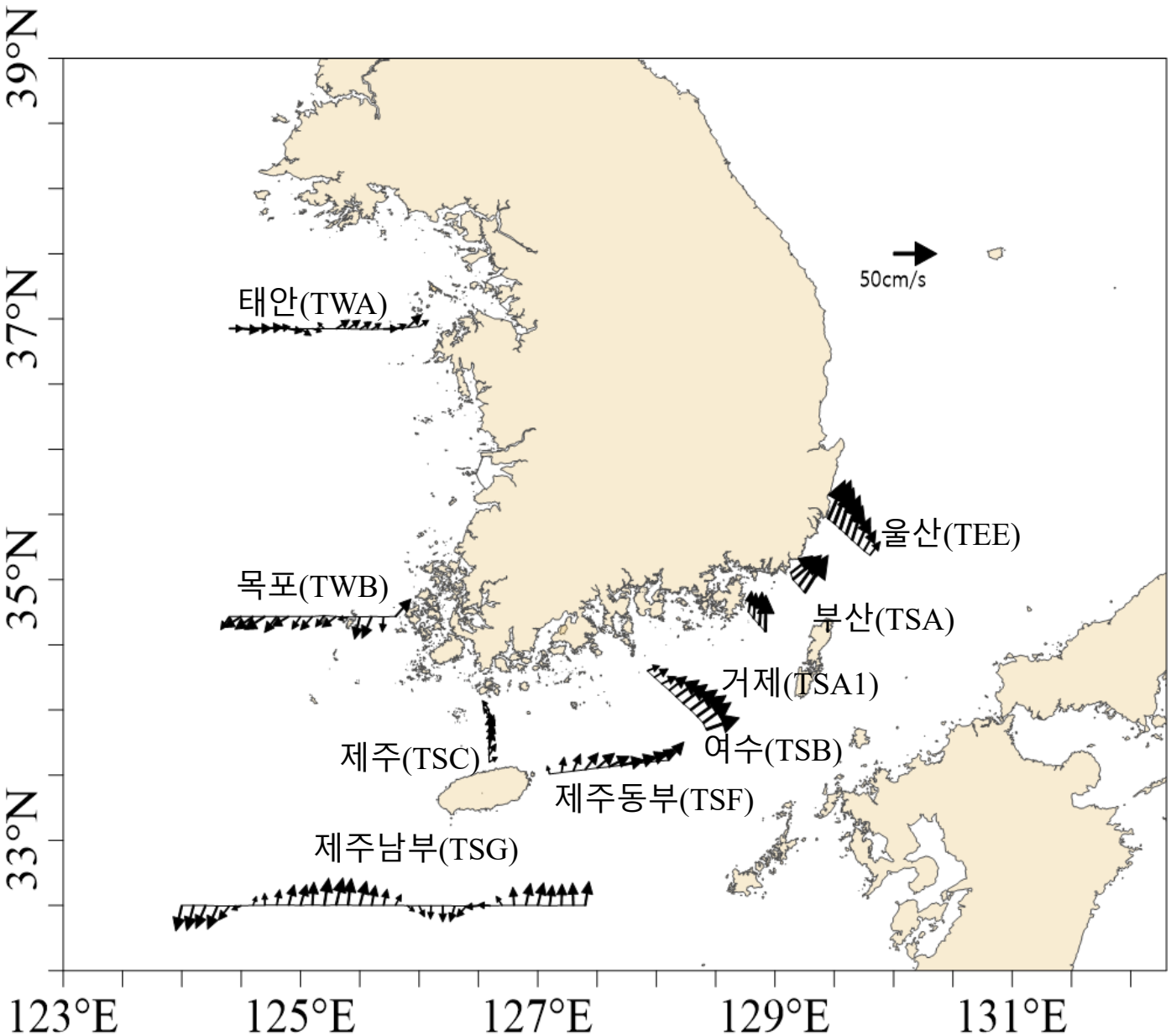
- 관측선별 12시간 미만으로 획득된 선박장착 ADCP 자료로부터 조류 (M_2) 성분을 추출하기 위하여 2013~2018년 기간 축적된 자료를 활용
- 관측선의 길이가 길거나 연안과 외해에 걸친 관측선 상에서의 공간적인 조류특성을 고려한 분석 방법 (노드를 지정 후 가우시안 함수를 이용한 최소자승법 조화분해) 이용
- 8km~46km 떨어진 인근 시계열 해양부이 자료로부터 추출한 M_2 성분과 비교 시 장축의 길이는 10%~30%의 차이를 보임. (동일 위치에서 해양부이에 의한 자료와 수치조류도의 차이는 해역별 큰 차이 (2%~70%)를 보임) 이러한 차이는 해양부이 위치와의 차이 및 본 연구에서 사용한 방법에 의한 오차일 수 있음. 보다 장기적인 자료 축적 시 향상된 결과의 도출이 가능하며, K_1분조에 대한 추출도 가능할 것으로 사료됨.
- 층별 조류성분 산출과 잔차류 분석은 향후 분석 정리 중임.

국립해양조사원

GeoSR
(주)지오시스템리서치
www.GeoSR.com

감사합니다

분석 결과



- 2013~2018년 평균 잔차류 벡터도

수치조류도와 부이자료 비교

국립해양조사원
GeoSR
(주)지오시스템리서치
www.GeoSR.com

- 수치조류도와 부이비교(대한해협)

M_2	부이 (2018년)	수치 조류도	차이
장축길이(cm/s)	25.82	41.08 (40.80)	15.26
단축길이(cm/s)	-0.38	-0.76 (-1.46)	-0.38
기울기(°)	37.29	40.14 (43.97)	2.85
지각(°)	87.15	98.61 (98.29)	11.46

- 수치조류도와 부이비교(남해동부)

M_2	부이 (2018년)	수치 조류도	차이
장축길이(cm/s)	14.65	23.31 (19.77)	8.66
단축길이(cm/s)	-2.94	-4.08 (-0.03)	-1.14
기울기(°)	5.88	11.38 (1.94)	5.50
지각(°)	114.35	126.93 (144.75)	12.58

- 수치조류도와 부이비교(제주해협)

M_2	부이 (2018년)	수치 조류도	차이
장축길이(cm/s)	42.68	56.60 (57.97)	13.92
단축길이(cm/s)	1.43	1.88 (2.57)	0.45
기울기(°)	160.54	164.44 (167.48)	3.90
지각(°)	35.07	38.30 (38.37)	3.23

- 수치조류도와 부이비교(제주남부)

M_2	부이 (2018년)	수치 조류도	차이
장축길이(cm/s)	21.96	27.39 (25.52)	5.43
단축길이(cm/s)	-9.77	-12.51 (-8.82)	-2.74
기울기(°)	140.66	137.45 (141.77)	-3.21
지각(°)	357.66	356.16 (1.97)	-1.50

- ()는 관측선에서 비교하였던 수치조류도의 조화상수값으로 위치에 따른 차이는 적음.