해양관측을 통해 획득된 과학적 지식에 기반한 과학교과서 동해 해류도

박경애¹ · 박지은² · 최병주^{3,*} · 변도성⁴ · 이은일⁴

¹서울대학교 지구과학교육과

²서울대학교 과학교육과

³군산대학교 해양학과

⁴국립해양조사원 해양과학조사연구실

An Oceanic Current Map of the East Sea for Science Textbooks Based on Scientific Knowledge Acquired from Oceanic Measurements

KYUNG-AE PARK¹, JI-EUN PARK², BYOUNG-JU CHOI^{3,*}, DO-SEONG BYUN⁴ AND EUN-IL LEE⁴

¹Department of Earth Science Education Seoul National University / RIO, Seoul 151-748, Korea

²Department of Science Education, Seoul National University, Seoul 151-748, Korea

³Department of Oceanography, Kunsan National University, Gunsan 573-701, Korea

⁴Ocean Research Division, Korea Hydrographic and Oceanographic Administration, Busan 606-806, Korea

중등학교 과학 및 지구과학 교과서의 해류도는 해양에 대한 학생들의 호기심과 관심을 유도하는 데 중요한 역할을 한다. 이 해류도들은 급변하는 기후변화와 지구상의 에너지 균형 문제와 관련이 있는 해류에 대해 학생들이 학습할 수 있는 중요한 기회를 제공할 수 있다. 그럼에도 불구하고 중등학교 교과서의 해류도들은 최근의 해류관련 과학적 지식과 비교해 볼 때 다양한 과학적 오류들을 내포하고 있었다. 이 연구는 오류가 없는 해류도를 제작하고 다양한 동해 해류도들을 하나로 통일하기 위하여 해류도 제작의 기본적인 틀과 방법을 제안하였다. 먼저 중등 과학교과서 27종의 해류도와 기존의 과학 연구 논문에서 제시한 주요 해류도 27개의 도법을 통일하였으며 동해의 난류와 한류들의 수치화된 정량적인 위치 정보를 추출하였다. 대한해협에서 대마난류의 분지 양상, 대마난류의 일본연안분지와 외해분지, 동한난류의 연안거리와 북상한계, 쓰가루해협, 소야해협을 통한 대마난류의 유출 양상과 환류, 리만한류와 북한한류의 분포 양상 등 해류도 제작을 위한 분석 항목들을 선정하였다. 해양 현장관측을 기반으로 형성된 해양학자들의 과학적 전문지식과 연구결과들을 활용하여 동해 해류도 초안을 제작한 후 이를 바탕으로 국내 학회 회원들을 대상으로 동해 해류도 초안에 대한 의견을 묻는 설문조사를 실시하였다. 또한 2013년 춘계 해양학회 특별세션을 기획하여 학회의 의견을 수집하였으며 해양학자들과의 수차례에 걸친 논의를 통하여 일련의 동해 해류도를 제작하고 수정하는 과정을 반복하였다. 최종적으로 해류도에 대한 학계 해류 전문가들의 평가와 의견을 모았으며 이를 최종해류도 제작을 위하여 해류도를 수정하는데 활용하였다. 향후 교과서 해류도 제작과정에서의 오류를 방지하기 위하여 완성된 동해 해류도 결과를 디지털화하여 위·경도 정보를 제시하였다. 이 연구는 황해와 북서태평양을 포함한 우리나라 주변해의 종합적인 해류도를 완성하기 위한 첫걸음이며 향후 중등학교 교과서 해류도 완성을 위한 해양학자들의 관심을 촉진하는 계기가 될 것으로 기대된다.

Oceanic current maps in the secondary school science and earth science textbooks have played an important role in piquing students' inquisitiveness and interests in the ocean. Such maps can provide students with important opportunities to learn about oceanic currents relevant to abrupt climate change and global energy balance issues. Nevertheless, serious and diverse errors in these secondary school oceanic current maps have been discovered upon comparison with up-to-date scientific knowledge concerning oceanic currents. This study presents the fundamental methods and strategies for constructing such maps error-free, through the unification of the diverse current maps currently in the textbooks. In order to do so, we analyzed the maps found in 27 different textbooks and compared them with other up-to-date maps found in scientific journals, and developed a map-

ping technique for extracting digitalized quantitative information on warm and cold currents in the East Sea. We devised analysis items for the current visualization in relation to the branching features of the Tsushima Warm Current (TWC) in the Korea Strait. These analysis items include: its nearshore and offshore branches, the northern limit and distance from the coast of the East Korea Warm Current, outflow features of the TWC near the Tsugaru and Soya Straits and their returning currents, and flow patterns of the Liman Cold Current and the North Korea Cold Current. The first draft of the current map was constructed based upon the scientific knowledge and input of oceanographers based on oceanic in-situ measurements, and was corrected with the help of a questionnaire survey to the members of an oceanographic society. In addition, diverse comments have been collected from a special session of the 2013 spring meeting of the Korean Oceanographic Society to assist in the construction of an accurate current map of the East Sea which has been corrected repeatedly through in-depth discussions with oceanographers. Finally, we have obtained constructive comments and evaluations of the interim version of the current map from several well-known ocean current experts and incorporated their input to complete the map's final version. To avoid errors in the production of oceanic current maps in future textbooks, we provide the geolocation information (latitude and longitude) of the currents by digitalizing the map. This study is expected to be the first step towards the completion of an oceanographic current map suitable for secondary school textbooks, and to encourage oceanographers to take more interest in oceanic education.

Key words: oceanic current map, secondary school, textbook, the East Sea, scientific knowledge

서 론

해류는 여러 가지 해양 변수들 중에서 해양의 순환을 구성하는 가장 중요한 요소 중의 하나이다. 해류는 지구상의 열적 불균형을 해소하는데 기여하고 있으며, 어장 형성 등 해양 생태계 변동에도 지대한 영향을 미치고 있다. 해류는 최근 들어 더욱 급격하게 변화하고 있는 지구온난화와 밀접한 관련이 있으며 다양한 시공간적 변동성을 보인다. 최근 연구에 따르면 1957년부터 2004년까지 지난 수십 년간의 대서양 자오면 해수 순환이 지구온난화로 인해 30%나 감소되었다(Bryden *et al.*, 2005). 또한 해류의 변화는 미래의 기후 변화를 예측하는 데도 중요한 역할을 한다. 따라서 전 지구적 규모뿐만 아니라 동해와 같은 국지적인 해역에서도 해류를 지속적으로 관측하여야 지구환경 및 지구환경의 변화를 예측하고 대비할 수 있다.

기후변화에 대한 해류의 역할이 중요해지면서 해류 교육에 대한 필요성이 커지고 있다. 해양분야 전공자들과 일반인을 위한 해류 교육도 중요하지만 학생들의 사고(reasoning)가 한층 더 성장하는 시기인 중등학교에서 과학교과서를 통한 해류 교육은 더욱 더 중요하다. 우리나라 중등학교 과학과 교육과정은 Fig. 1에 제시한 바와 같이 2013년 현재 학년에 따라서 다양하게 구성되어 있다. 제 7차 중등 교육과정이 2001년 7학년부터 2012년 12학년까지 12년에 걸쳐 오랫동안 실시되었다. 2007 개정 교육과정은 2010년에 7학년부터 점진적으로 적용되어 9학년의 경우 2014년까지 적용될 예정이다. 그러나 고등학교의 경우 10학년은 2011년부터 제 7차 교육과정에서 개정교육과정을 거치지 않고 2013년 현재 2009 개정 교육과정을 따르고 있다. 2009 개정 교육과정 중 10학년 학생들은 미래형 교육과정의 일환으로 융합과학 교과서를 선택할 수 있도록 교육과정이 구성되어 있다. 가장 오랫동안 실시되어 온 제 7차 중등 교육과정 중에서 해류에 관한 내용은 중학교 1학년 과학, 고등학교 1학년 과학, 고등학교 2학년 지구과학I에서 다루어지고 있다. 2009 개정 교육과정에서는 중학교 3학년 과학, 고등학교 과학(융합형 과학 교과서 제외), 고등학교 지구과학I 교

과서들에서 해류를 다루고 있다.

중등 교육과정 내용 중에서 해류를 이해하는 가장 기본적인 요소는 해류도이다. 그런데 중등과학 교과서들에는 서로 상이한 해류도들이 제시되어 있으며 이들 중 상당수는 과학적 사실과 다른 형태를 보이고 있어서 이에 관한 여러 가지 문제점들이 지적된 바 있다(Park *et al.*, 2011). 중등학교에서 학생들은 교과서를 통해 대부분의 해류에 관한 지식을 습득하고 있으며 과학 교과서는 교육 목표를 달성하기 위한 교과 내용을 효율적으로 구성한 교재이고 과학 수업에서 매우 중요한 요소이다(Ball and Feiman-Nemser, 1988; Tobin, 1990; Abraham *et al.*, 1992). 따라서 실제 학교 현장의 교사들과 학생들은 교수학습 활동에 있어서 교과서의 내용을 상당히 신뢰하고 의존하고 있다(Chian-Soong and Yager, 1993; Choi and Kim, 1996). 과학 교과서에 등장하는 삽화는 현행 과학 교과서에서 핵심적인 시각적 표상 요소 중의 하나이고, 다양한 삽화나 그림, 사진 자료, 도표 등을 통하여 학생들이 다양한 자연 현상을 간접적으로 경험하도록 한다(Lee, 2007; Chae, 2010). 따라서 오류가 있는 교과서의 그림은 오개념을 유발하고 강화할 가능성이 높다(Driver *et al.*, 1985; Choi and Cho, 1987; Gug, 2003; Oh, 2003). 시각 이미지는 교과서의 텍스트와 더불어 학생들에게 감각 기관으로서의 시각을 통해 환경에 대한 개념을 이해하도록 하는 시각적 인식의 기초를 제공하며(Bergmann, 2000), 궁극적으로는 교과서에 제공되는 다양한 환경 정보의 의사소통을 쉽게 해주는 시각적 언어로서의 역할을 수행한다(Cheong, 2009). 또한 시각 이미지는 텍스트의 언어적 의사소통을 보완하기 위한 시각적 의사소통의 도구로서 텍스트와 관련한 최신의 학문적 성과나 기술 발달의 결과를 교과서에 이미지로 수시 반영이 가능하다는 점에서 교수-학습의 주요 수단으로 인식되고 있다.

동해는 그 동안 ‘작은 대양(miniature ocean)’이라고 불리고 있을 정도로 다양한 해양현상이 혼재하고 있으며 해류와 순환의 모습도 대양의 해수 순환과 유사한 양상을 보여 왔다(e.g., Ichiye, 1984; Kim *et al.*, 2001). 동해는 수심이 상대적으로 낮고 폭이 좁은 대한해협, 쓰가루해협, 소야해협 및 타타르해협 등 해협들을 통

Year		2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	...
Middle School	7																→
	8																→
	9																→
High School	10																→
	11																→
	12																→

6th
 7th
 2007 Revision
 2009 Revision

Fig. 1. Changes in the secondary school science curriculum for seventh-to-twelfth grade students from 2001 to 2015.

하여 대양과 연결되어 있다(Sugimoto, 1990). 동해 남부에서는 대마난류가 대한해협을 통하여 유입되는 과정에서 세 개의 분지로 나뉘는데 우리나라 동해안을 따라 북상하는 동한난류(East Korea Warm Current, EKWC), 일본연안을 따르는 대마난류의 일본연안 분지(Nearshore Branch, NB), 동한난류와 연안분지 사이에서 사행하는 대마난류의 외해분지(Offshore Branch, OB)가 존재한다(Shimomura and Miyata, 1957; Naganuma, 1977, 1985; Kawabe, 1982; Katoh, 1994; Katoh *et al.*, 1996; Cho and Kim, 2000; Chang *et al.*, 2004). 대마난류의 여러 분지들은 계절 변화가 탁월하고 특히 외해분지는 시간적 공간적 변동성이 매우 크게 나타난다(Kawabe, 1982; Hase *et al.*, 1999). 동해 북부에서는 리만한류(Liman Cold Current, LCC), 북한한류(North Korea Cold Current, NKCC)가 러시아 연안과 북한 연안을 따라 남하하며 대마난류와 마찬가지로 강한 계절 변화를 보인다. 동해 해류의 큰 변동성처럼 그 동안 과학논문이나 서적에 실렸던 동해의 해류도를 분석해보면 다양한 양상을 가지고 있다. 일부 해류도는 과학적 측면에서 볼 때 적절하지 않은 부분이 많기 때문에 이를 교육적으로 활용하기에 적합하지 않아서 교과서에 제시할 동해 해류도에 대한 과학자들의 지식이 종합화될 필요성이 대두된다.

교육과정이 일부 변경되어 2013년 현재 7학년 학생들에게는 2009 개정교육과정이 적용되고 있고, 8학년과 9학년은 2007 개정 교육과정이 적용되고 있다. 고등학교 10학년에서 12학년까지는 2009 개정교육과정에 따른 교과서로 교수-학습이 이루어지고 있고, 10학년의 경우는 융합과학교과서를 선택적으로 사용하고 있다. 따라서 바뀐 교육과정에 따라 중등과학교과서도 재검토해야 하는 시기가 되었으며, 그 동안 여러 가지 문제점들이 제기되었던 해류도를 보완하기 위하여 해양학계의 대표적인 의견을 수렴하여 통일된 해류도를 제작해야 한다. 따라서 이 연구에서는 1) 교과서와 과학논문에서 제시하고 있는 각 해류도를 수집하고 전산화하여 디지털자료로 변환하고, 2) 동해 해류 전문가 모임의 토의 결과를 바탕으로 동해 해류도 초안을 작성하고, 3) 해류도 초안을 바탕으로 해양학계 해양 전문가에게 설문을 실시하고 그 결과를 분석하여, 4) 해양과학자들의 과학적 지식에 기반한 여러 번의 토론과 자문을 통하여 동해 해류도를 수차례 수정하여 최종적으로 중등학교 과학교과서에서 사용할 수 있는 통일된 동해 해류도를 제시하고자 한다.

Fig. 2. Oceanic current maps in the secondary school science textbooks, where the symbols note the source textbook (from Park *et al.* (2011)).

연구 자료

과학교과서 해류도

제 7차 교육과정과 2007 개정교육과정, 2009 개정교육과정 중 교육과정의 변천에 따라 여러번 재사용된 동일한 해류도를 제외하고 총 27종의 중등학교 과학 및 지구과학교과서에 제시된 각 해류도들을 수집하여 연구에 활용하였다. 사용한 교과서의 종류와 기호는 Park *et al.*(2011)를 따라서 중학교 교과서는 ‘M’을 붙이고 교과서 종류는 M1, M2, M3과 같이 뒤에 숫자를 붙였다. 고등학교 교과서는 ‘H’를 사용하고 마찬가지로 뒤에 숫자를 붙여 교과서마다 고유 기호를 만들었다. Fig. 2와 Table 1에 사용한 해류도와 교과서 정보를 각각 제시하였다.

과학논문 해류도

최근 해류를 관측하는 기술이 비약적으로 발전함에 따라 보다 정확하고 정밀하게 해류를 관측할 수 있게 되었다. 고정된 위치에서 지나가는 해수의 유속을 측정하는 오일러식 방법(Eulerian method)과 부유물 또는 부표와 같이 바다에 띄워 놓은 물체가 이동하는 위치를 측정함으로써 해수의 흐름을 알아내는 라그랑지식 방법(Lagrangian method)이 활용되고 있다. 라그랑지식 관측법으로는 표층뜰개(surface drifter), 중층 부유체(Array for Real-time Geostrophic Oceanography, ARGO) 등이 있다. ARGO 부유체는 목적 수심에

도달하면 주변의 해류장의 흐름에 따라 표류하게 되는데, 일정 시간이 흐르면 해수면으로 상승하여 그동안 관측한 수온과 염분 자료를 인공위성으로 송신한 후 다시 목적 수심으로 내려간다. 표층 뜰개는 주변 해류를 따라 이동하면서 Global Positioning System (GPS) 위성으로부터 받은 자신의 위치 정보와 관측한 수온을 인공위성의 Data Collection System(DCS)으로 보낸다. 이러한 정보들을 시계열 자료로 만들어서 추적하면 해류에 대한 정보를 생산할 수 있다. 심층 해류는 유속계(current meter)나 초음파 해류계(Acoustic Doppler Current Profiler, ADCP)를 계류하지 않고는 알기 어려웠으나 1999년부터 전 세계 국가들이 협력하여 띄우기 시작한 해양 중층 ARGO 부유체를 이용하여 중층의 해류도 간접적으로 얻을 수 있게 되었다.

해류를 간접적으로 측정하는 방법에는 해저케이블을 이용하는 방법과 인공위성이 관측한 해수면고도를 이용하여 계산하는 방법이 있다. 해협의 해저에 설치된 통신케이블 위로 해류가 지나가면 패러데이(Faraday)의 법칙에 의해 해협을 가로질러 전압차가 유도되고, 이 전압차를 이용하면 해협을 통과하는 해수 수송량을 간접적으로 계산할 수 있다. 근래에는 인공위성 고도계를 이용한 해류 측정 연구가 활발히 진행되고 있어서 우리에게 해류에 관한 정보를 실시간으로 전달해 주고 있다(Lee *et al.*, 2009; Choi *et al.*, 2012). 또한 두 지점 이상에서 관측한 수온과 염분 연직자료로부터 역학적고도를 계산하고 지형류 방정식을 적용하여 해류를 간

Table 1. Information on secondary school textbooks with oceanic current maps (modified from Park *et al.* (2011))

Course	Textbook	First Author	year	Publisher	Page	Symbol
7th grade Science	Middle school Science	Kang M.S. <i>et al.</i>	2000	Kyohak	239	M1
		Kim J.Y. <i>et al.</i>	2000	Blackbox	233	M2
		Kim C.J. <i>et al.</i>	2000	Didimdol	247	M3
		Park <i>et al.</i>	2000	Donghwa	245	M4
		So H.S. <i>et al.</i>	2000	Doosan Dong-A	227	M5
		Lee G.M. <i>et al.</i>	2000	Jihaksa	234	M6
		Lee S.M. <i>et al.</i>	2000	Kumsung	249	M7
		Chung W.H. <i>et al.</i>	2000	Kyohak	242	M8
		Choi D.H. <i>et al.</i>	2000	Daeil Doseo	241	M9
10th grade Science	High school Science	Kang M.S. <i>et al.</i>	2001	Kyohak	285	Ha1
		Kim C.J. <i>et al.</i>	2001	Didimdol	272	Ha2
		Sung M.W. <i>et al.</i>	2001	Moonwongak	301	Ha3
		Song H.B. <i>et al.</i>	2001	Hongjin P&M	292	Ha4
		Wu K.H. <i>et al.</i>	2001	Jungang Education	297	Ha5
		Lee G.S. <i>et al.</i>	2001	Daehan Texbook	-	Ha6
		Lee M.W. <i>et al.</i>	2003	Jihaksa	272	Ha7
		Lee M.W. <i>et al.</i>	2001	Kumsung	315	Ha8
		Lee Y.W. <i>et al.</i>	2001	Ezen Media	258	Ha9
		Jung W.H. <i>et al.</i>	2001	Kyohak	275	Ha10
		Cha D.W. <i>et al.</i>	2001	Chunjae Education	261	Ha11
		Hyun J.O. <i>et al.</i>	2007	KOFAC	209	Ha12
11th grade Science	Earth Science I	Kyung J.B. <i>et al.</i>	2002	Jungang Education	162	Hb1
		Kim H.S. <i>et al.</i>	2002	Chunjae Education	143	Hb2
		Wu J.O. <i>et al.</i>	2002	Kyohak	131	Hb3
		Lee G.S. <i>et al.</i>	2002	Daehan Texbook	149	Hb4
		Lee M.W. <i>et al.</i>	2002	Kumsung	178	Hb5
		Ho C.H. <i>et al.</i>	2002	Jihaksa	154	Hb6

접적으로 추산한다.

과학논문의 해류도는 다양한 해류 관측법을 바탕으로 제작되어 왔다. 해류도가 과학자들의 논문에서는 어떻게 표현되고 있는지를 조사하기 위하여 1930년대부터 최근까지의 국내외 과학논문들을 수집하였다. 수집된 해류도는 발행 연도 순으로 Fig. 3에 나타내었고, 각각의 참고문헌과 구체적인 정보는 Table 2에 제시하였다.

주로 해양 관측치를 이용하여 작성한 논문들을 수집하였고 수치 모델을 기반으로 작성된 해류도는 가능한 배제하도록 하였다. 그러나 전체적인 해류모습을 표현하고 이 연구의 논의 과정에서 반드시 필요한 소수의 논문들은 포함하였다. 많은 해류도들이 동해만을 대상으로 하지 않고 좀 더 넓은 황해, 동중국해, 북서태평양의 해류와 순환을 표현하였는데 Fig. 3의 해류도는 동해 부분만을

Fig. 3. Oceanic current maps in scientific papers and books, where each symbol from A1 to A38 notes the source paper.

Table 2. List of references of scientific research papers and books containing oceanic current maps in the East Sea. Details from A1 to A38 are in the References

Symbol	Author	Symbol	Author
A1	Shrenk (1874)	A21	Tomczak and Godfrey (2003)
A2	Wada (1916) [in Kawai (1974)]	A22	Choi <i>et al.</i> (2004)
A3	Uda (1934)	A23	Itaki <i>et al.</i> (2004)
A4, 5	Naganuma (1973)	A24	Jo and Hong (2005)
A6, 7	Naganuma (1977)	A25	Lee and Niiler (2005)
A8	Yarichin (1980)	A26	Mooers <i>et al.</i> (2006)
A9	Oba <i>et al.</i> (1991)	A27	Tian <i>et al.</i> (2006)
A10	Lee (1999)	A28	Watanabe (2007)
A11	Sugimoto and Tameishi (1992)	A29	Koizumi and Yamamoto (2010)
A12	Holloway <i>et al.</i> (1995)	A30	Lee and Niiler (2010)
A13	Hase <i>et al.</i> (1999)	A31	Mitnik and Dubina (2010)
A14	Senjyu (1999)	A32	You <i>et al.</i> (2010)
A15	Tada and Irino (1999)	A33	Zheng <i>et al.</i> (2010)
A16	Yoshikawa <i>et al.</i> (1999)	A34	Kang <i>et al.</i> (2012)
A17	Yoon and Kawamura (2002)	A35	Lim <i>et al.</i> (2012)
A18	Danchenkov (2003a, b)	A36	Minoura <i>et al.</i> (2012)
A19	Marret and Zonneveld (2003)	A37	Kim and Kim (2013)
A20	Tanaka (1983)	A38	Usami <i>et al.</i> (2013)

추출하여 나타난 것이다. 동해는 대한해협부터 북쪽의 타타르해협까지 다 포함하여야 하나 적지 않은 수 (26개)의 해류도들이 타타르해협을 제외하고 작성되어 있어서 50°N 이북의 해역에 대한 해류 정보는 많이 누락되어 있었다. 이 해류도들은 서로 다른 도법에 기초하여 작성되었기 때문에 실제 위도와 경도 좌표계에서 서로 일관되게 비교하기가 용이하지 않았다. 따라서 각 도법들을 통일하여 교과서 해류도들과 같이 비교하였다.

인공위성 고도계자료

계류 부이에 설치한 해류계와 초음파 유속계 등을 이용한 오프라인 방법에 의한 해양관측은 고정된 한 지점에서 해류의 시간적 변화는 파악할 수 있으나 공간적 변화를 볼 수 없는 한계점이 있다. 또한 표층뜨개와 같은 라그랑지 관측은 해수의 유동을 따라가면서 해류를 관측하여 주변 공간과의 시간적 차이가 있고 또 동해 전역을 관측할 수 없는 단점이 있었다. 이에 반해 인공위성 고도계 자료는 준실시간으로 해수면 높이를 관측할 수 있고 이로부터 동해 해류의 시간적 공간적 변동성을 조사할 수 있다. 그러나 이 고도계 자료 역시 다양한 문제점을 가지고 있다. 우선 동해의 대표적인 해류들이 연안을 따라 분포하는데 인공위성 고도계는 해안선으로부터 50 km 이내는 육지로 인한 간섭으로 사용할 수 없기 때문에 연안 해류는 표현하기 어렵다. 또한 동해 중앙부라고 하더라도 고도계의 궤도 간의 동서 거리가 수 백 km에 달하고 시간적으로도 동일 궤도를 대략 10일에 한 번씩 오기 때문에 주변 공간 해류장과의 동시성을 확보하기가 어렵다. Jason-2, Envisat 등 가용한 위성을 모두 사용하였다고 하더라도 인공위성의 시공간적 한계성은 여전히 문제로 남게 된다. 따라서 이 연구에서는 동해 연안이 아닌 중앙부에서 시공간적 변동성이 큰 해류장에 대한 대략적인 정보를 해양과학자들에게 제시하기 위하여 동해 중앙부에서 인공위성 자료를 해류를 이해하는 보조 자료로 활용하

였으며 실제 해류도 작성할 때에는 해양실측 자료에 비중을 두도록 하였다.

국립해양조사원은 2011년부터 2013년 현재까지 인공위성 고도계

Fig. 4. An example of oceanic currents by Korea Hydrographic and Oceanographic Administration (KHOA) using satellite altimetric data of AVISO on 20 August 2013.

자료(Archiving, Validation and Interpretation of Satellite Oceanographic data, AVISO)로부터 지형류 근사식을 사용하여(Lee *et al.*, 2009; Choi *et al.*, 2012) 매일 준실시간으로 동해의 표층 해류도를 생산하고 홈페이지를 통해 배포하고 있다(<http://www.khoa.go.kr>)(Fig. 4). 이 해류 벡터 자료를 경험직교함수(Empirical Orthogonal Function, EOF) 분석을 통하여 주요한 해류의 시공간적 변동성에 대한 개괄적 정보를 생산하여 해류도 초안을 만들 때 연구진 및 해류 전문가들이 분석 결과를 참고할 수 있도록 하였다.

연구 방법

해류도 도법 통일화 과정

Fig. 2와 3에 제시한 바와 같이 각 교과서와 과학 논문에 실린 해류도들은 전체 연구 영역도 상이하고 사용한 도법도 제각각이었다. 도법이 다를 경우 해류도를 서로 비교하고 해석하는 데 있어 시각적으로 왜곡이 생길 수 있기 때문에 제시된 해류도를 모두 동일한 도법으로 통일하여 비교하는 것이 바람직하다(Park *et al.*, 2011). 해류의 정확한 위치를 파악하기 위하여 Park *et al.*(2011)이 제시한 방법을 통하여 메르카토르(Mercator) 도법으로 통일하였다. Fig. 5에 제시한 바와 같이 교과서와 과학논문의 각 아날로그 영상 해류도들을 모두 스캔하여 일정한 형식의 파일로 저장한 후 실제 위도와 경도 정보가 있는 해안선과 스캔된 해류도의 Ground Control Point(GCP)를 분석자의 주관적인(subjective) 방법으로 선정하여 비교하고 전산 처리하여 디지털 영상정보신호로 변환하고 다항식 보간법(polynomial interpolation) 변환 방식으로 동일 도법상의 지도에 재등록하는 일련의 과정을 거쳤다. 한류와 난류를 별도로 분석하기 위하여 교과서 해류도를 보면서 난류와 한류를 구분하여 저장하였다. 동해 해류도들의 영역도 동일하지 않아 이 연구에서는 동해 해류도 영역을 128-144°E, 33-52°N로 선정하였다.

해류도 제작 세부항목

동해에는 다양한 표층 해류가 존재하지만 대양과 같이 심층 해류도 탁월하게 나타난다(Chang *et al.*, 2004; Senjyu *et al.*, 2005). 우선 표층 해류도를 작성하기 위해서는 해류의 모습을 표현하기 위하여 고려해야하는 세부 항목들을 선정할 필요가 있다. 그 동안의 과학논문과 교과서에 표현된 해류도들을 분석하여 Park *et al.*(2011)이 제시한 항목들과 유사하게 주요한 항목들을 Table 3과 같이 선정하여 일련의 기호를 붙였다(B1-B16). 세부 분석 항목으로 대마난류가 대한해협을 통과할 때 대마도를 중심으로 대마난류의 분지 모습을 어떻게 표현할 것인가(B1)? 동한 난류가 한국 동해안을 따라 북상하는데 연안으로부터 얼마나 떨어져서 북상하도록 그려야하는가(B2)? 그리고 어느 위도까지 북상하도록 하여야 하는가(B3)? 등 동한 난류에 관한 항목으로 구성하였다. 대마난류가 일본 연안을 따라 북상할 때 연안에 어느 정도 근접해야 하는지(B4), 또한 극전선 이남의 동해 남부에서 대마난류의 분지와 관련하여 어떤 모습으로 표현하고 있는지(B5)에 관한 항목도 추가하였다. B6-B8은 동해가 태평양으로 연결되는 해협 근처에서의 해류의 형상에 관한 항목으로서 대마난류가 쓰가루해협과 소야해협에서 북태평양으로 일부 빠져나가고 일부는 북상하고 있는

Fig. 5. A flow diagram demonstrating how to unify the mapping procedure of each oceanic map by using a variety of geographic mapping techniques and extracting the geolocational information of both warm and the cold currents in the East Sea (modified from Park *et al.* (2011)).

모습을 어떻게 표현할지, 쓰가루해협을 지나 북상한 대마난류가 러시아를 향하는 해류의 모습 즉 북상하는 난류의 유출과 환류(return current)를 어떻게 표현할지에 관한 것으로 구성하였다. 리만난류(B9)와 북한난류(B10)의 표현방식에 관한 사항 및 동해 북부 일본분지 위에서의 해류의 흐름(B11)도 분석항목에 두었다. B12-B16은 해류도 표현 방법에 관한 항목들로서 난류와 한류의 색상문제, 해류의 크기를 표현하는 문제, 각 해류의 이름, 해류도에 계절변화를 표현하는 문제, 그리고 심층과 중층 해류에 관한 것이다. B16은 동해의 심층 해류도 중등학생들이 학습할 필요성이 있어서 심층 해류의 표현 방식에 관한 항목도 고려하여 이를 향후 어떻게 표현하는 것이 바람직할지 논의할 수 있도록 하였다.

해양과학자의 관측자료와 전문지식 수렴과정

해류도는 실측한 해류 자료를 바탕으로 제작하는 것이 가장 바람직하지만 동해와 같이 공간적으로 넓은 해역을 모두 관측하기

Table 3. Topics and detailed contents for the analyses of oceanic current maps in the scientific papers, which has been slightly modified from Park *et al.* (2011)

Subjects	Item	Analysis Contents
Korea Strait	B1	Bifurcation of the Tsushima Warm Current in the Korea Strait
East Korea Warm Current	B2	Distances of the main axis of the East Korea Warm Water from the east coast of Korea
	B3	Northern limit of the East Korea Warm Water
Tsushima Warm Current	B4	Proximity and flow of the Tsushima Warm Current along the Japanese coast
	B5	Description of the paths of the Tsushima Warm Current in the southern region of the East Sea
Outflow through channels / Return Current	B6	Flow patterns of the Tsushima Warm Current west of the Tsugaru Strait
	B7	Flow patterns of the Tsushima Warm Current west of the Soya Strait
	B8	Return current of the Tsushima Warm Current from north of the Tsugaru Strait toward the Russian coast
Cold Current	B9	Feature of the Liman Cold Current
	B10	Feature of the North Korea Cold Current
	B11	Feature of circulation in the northern East Sea
Others	B12	Proper usage of colors corresponding to the warm and cold current
	B13	The magnitude of the current
	B14	Name of each current
	B15	Seasonal oceanic current maps
	B16	Deep or intermediate current

에는 시·공간적인 한계가 있다. 그 동안 동해를 둘러싼 우리나라, 러시아, 일본 등 여러 국제기관의 해양 전문가들이 Circulation Research of East Asian Marginal Seas(CREAMS) 프로그램을 통하여 동해 관측을 실시해오고 있으나 이 자료들을 이용해서 해류도를 제작하는 데는 턱없이 부족한 실정이다. 해류도를 제작할 수 있을 만큼 충분한 해류관측 자료가 축적되려면 다음 세대로 넘어가더라도 어려운 일이 될 가능성이 크다. 또한 해류관측의 원시자료가 공개되지 않는 경우가 대다수이기 때문에 더욱 더 많은 시간이 소요될 것으로 추정된다.

따라서 이 연구에서는 해류도 제작의 시급성을 고려하여 동해 해류도 제작을 위한 방법으로 해양과학자들의 관측자료와 전문지식 수렴과정을 거쳤다(Fig. 6). 해양과학자들은 그 동안 각자의 전문 분야에 따라 해류계 관측, 표층뜰개, ARGO, High-Frequency (HF) Radar, 인공위성 등의 해양 자료를 오랫동안 다루어 왔고, 유사 분야 다른 과학자들의 연구 결과를 숙지하고 있기 때문에 나름대로 각자 머릿속으로 구상하고 있는 잠정적인 해류도를 가지고 있을 것이다. 따라서 국내의 동해 해류와 동해 연구 전문가 집단을 구성하고, 이들의 관측자료, 과학적 지식과 소견을 바탕으로 여러 차례의 토론회를 거쳐 통일된 해류도를 만들고자 의도하였다. 전문가 토론회를 수차례 개최하여 개정 동해 해류도를 만들었고 이를 바탕으로 해양과학자들을 대상으로 하는 설문조사도 실시하였으며 이후 한국해양학회에서 특별 세션을 마련하여 토론회를 개최하여 다양한 의견을 모으고 이견을 수렴할 수 있었다. 마지막으로 서면 자문을 거치는 과정을 포함하여 여러 차례에 걸쳐 동해 해류도를 작성하고 수정하였다.

동해 해류도 초안 생산 방법

동해 해류도 초안을 생산하기 위하여 국립해양조사원 주관으로 군산대학교와 서울대학교의 후원으로 6명의 전문가를 초빙하여 토론회를 2011년 8월 31일 서울대학교에서 개최하였다. 우선 전문가들에게 그 동안 국립해양조사원이 진행해 온 국가 해류도 사업

Fig. 6. A brief diagram to show the procedure for the production of a final oceanic current map of the East Sea using oceanographers' scientific knowledge based on oceanic current measurements.

에 대한 소개를 하고, 인공위성 고도계의 해수면높이 이상치 동영상과 이로부터 계산한 동해 표층 해류를 시청하게 하였고(Fig. 4), 이후 복잡한 해류의 시·공간 변동성을 개괄적으로 이해할 수 있도록 해류벡터를 EOF 분석하여 주요한 모드를 소개하고 결과를 분석해보는 시간을 가졌다.

전문가 그룹에게 이 연구의 시급성을 알리고 중등과학교과서에 실려 있는 동해 해류도의 오류를 인지할 수 있도록 Park *et al.* (2011)의 연구 결과를 소개하고 각 해류도의 문제점을 제기하였다. 또한 기존의 과학논문에서 제시하고 있는 해류도와 교과서 해류도를 비교하여 제시함으로써 초빙된 전문가들이 현재까지 사용되고 있는 여러 가지 동해 해류도에 대하여 분명하게 문제를 인식하는 시간을 가지도록 하였다. 대마난류의 유입, 대마난류의 분지(EKWC, NB, OB), 대마난류의 유출, 한류와 심층 해류의 형성과 이동 양상, 해류도 표현 방식 등의 세부 분석 항목을 주제로 심도

Fig. 7. A flow diagram for the production of the first draft map of ocean currents in the East Sea.

있는 토론을 진행하였다. 토론회 녹취 내용을 바탕으로 해류도 초안을 작성하고자 하였으며, 두 차례의 자문단 검토 및 의견 수집을 통하여 4차 수정안까지 작성하였다(Fig. 7).

해류도의 제작과정은 우선 흰색 칠판에 동해 해저 지형도를 투영하고 전문가 의견을 따라서 대한해협을 통한 대마난류의 동해 유입부터 시작하여 Table 3에 있는 세부 항목을 고려하여 동한난류와 대마난류 사행 부분을 하나씩 시각화하기 시작하였다. 난류 부분을 완성한 후 한류 부분에 대한 토론과 함께 리만한류부터 남쪽으로 한류를 그려 넣었다. 이후 전문가들의 각기 다른 의견을 피력하는 부분도 있었는데 관측 결과를 바탕으로 한 연구논문에 가중치를 주어 칠판에 도식한 해류도를 여러 번 수정하여 완성하였다. 이를 카메라로 촬영하여 JPEG 파일을 만든 후 다시 스캔하고 메르카토르 도법으로 해류도 초안을 완성하였고, 이를 컴퓨터 그래픽 프로그램들을 통해 불규칙하고 거칠게 작성된 해류도를 다듬고 보완하는 과정을 거쳤다.

해양학계 설문 조사

완성된 동해 해류도의 초안에 대한 해양학계의 의견을 수집하

기 위하여 한국해양학회와 한국지구과학회 등 해양학계 학자들을 대상으로 설문 조사를 실시하였다. 조사한 설문지의 예시는 Appendix 1에 제시하였다. 이 설문은 과거 일반인을 대상으로 하는 설문과는 상당한 차별성을 가지고 있다. 보통의 설문은 어떤 사항에 대해 피설문자 본인의 경험이나 생각에 관하여 실제 깊은 지식이 없더라도 충분히 답변할 수 있기 때문에 응답 결과를 일반적인 통계프로그램을 통하여 분석하고 유의성을 판단하여 사용할 수 있다. 반면에 이 설문지는 동해 해류에 대한 깊은 지식이 없는 설문의 성격상 쉽게 응할 수 없는 단점을 내포하고 있었다. 실제로 20여 년 동안 동해의 순환과 해류 및 파랑을 연구해왔던 한 연구가는 이 설문을 위하여 수 시간동안 기존의 연구 결과와 논문들을 찾아서 학습한 다음에야 겨우 응할 수 있었다고 설문 후 연구진에게 알렸다. 이 설문은 해양학계 구성원들의 일반적인 의견을 청취하고자 의도하지 않았으며, 적어도 중등학교 교과서를 위한 동해 해류도 제작의 필요성에 충분히 공감하고 열의가 있으며 또 그에 상응하는 과학적 지식이 있어야만 응답을 할 수 있도록 난이도가 상당히 높게 설정되었다.

Appendix 1에 제시한 바와 같이 설문지는 중등과학교과서에 실려 있는 기존 해류도의 문제점을 지적하면서 ‘설문 응답자의 인적 사항’, ‘Part A. 기존 해류도 비교’, ‘Part B. 동해 해류 분석’, ‘Part C. 해류 모식도 표현 기법’에 대한 질문을 주관식과 객관식 문항으로 구성하였다. ‘설문 응답자의 인적 사항’에서는 설문 응답자의 소속, 연구 경력, 관련 연구 분야 등 간단한 인적 사항을 기재하도록 하여 해양연구 경력이 5년 이하의 응답자는 분석에서 제외하였다. 또한 연구진이 판단하기에 일반인 정도의 과학적 지식 수준을 보이는 경우도 자체적으로 판단하여 제외하였다. ‘Part A. 기존 해류도 비교’에서는 7차 중등 과학교과서에 수록된 해류도와 과학논문에서 수록된 대표적인 해류도를 제시하여 해양과학자들이 동해 해류에 대하여 나름대로의 생각을 정리할 수 있도록 하였다. ‘Part B. 동해 해류 분석’에서는 동해 해류도의 세부 분석 항목에 대하여 의견을 개진하도록 하였고, 응답자가 생각하는 적절한 해류도를 직접 도식하거나, 해류도 예시를 제시하는 항목을 포함하였다. 대마난류의 분기에 관하여 2개의 문항, 동한난류 3 문항, 대마난류의 외해분지 2 문항, 대마난류의 유출 및 동해 순환 2 문항, 한류 2 문항, 2011 해양조사원 해류도 종합 1 문항, 해류 모식도 표현 기법 7문항, 기타 1개 문항 등 총 20개의 문항으로 설문지를 구성하였다. ‘Part C. 해류 모식도 표현 기법’은 해류의 명칭 및 형태, 세기, 계절적 변화 등을 나타내는 방법 등에 대한 7가지 문항으로 이루어져 있다. 해류 모식도 표현 기법 문항들을 제외한 문항에서는 관측 자료 및 근거를 들도록 하였고, 객관식 문항에서는 기타 항목을 두어 자유롭게 의견을 제시할 수 있도록 설문지를 제작하였다.

설문지는 웹페이지(<http://www.ozsurvey.co.kr>)에 업로드 시켜 링크를 통해 응답자들이 온라인상에서 설문 응답을 할 수 있도록 하였고, 설문 진행 일시는 2012년 8월 13일부터 10월 31일까지로 하였다. 해양학회에는 같은 해 8월 14일, 한국지구과학회에는 8월 17일과 9월 6일, 2회에 걸쳐 각 학회 회원들을 대상으로 전자우편(e-mail)으로 공지하였으며 전체 공지 이후에도 해류 전문가들을 선별하여 4차례 추가로 설문 참여를 유도하였다.

해양과학자 최종 서면 자문과정

설문조사를 거쳐 동해 해류도 초안에 대한 수정이 이루어졌고, 이를 다시 전문가 토론회를 개최하여 수정안에 대한 검토를 실시하였다. 추후 전문가들의 의견도 추가로 수집하여 해류도를 두 차례에 걸쳐 수정하여 최종 해류도 후보를 완성하였다. 다시 이 해류도를 연구진 회의에서 결정된 13인의 전문가에게 보내어서 서면 자문을 받았다.

최종 서면 자문서에서 동해 해류도 제작의 필요성을 간단히 언급하고 동해 해류도 초안을 비롯하여 2013년 7월까지 제작된 총 7개의 수정안을 제시하고, 이 중에 가장 적절하다고 생각되는 해류도를 고른 후 동해 해류도에 대한 전반적인 의견을 개진하도록 하였다. 또한 최종 해류도의 후보군으로 두 가지를 선정하여 둘 중 어느 쪽이 더 적절하다고 보는지도 자문을 구하였다. 서면 자문은 약 3주에 걸쳐 진행하였고, 해류에 관한 연구실적과 연구현황을 고려하여 13명의 해류전문가에게 서면 자문을 의뢰하였으나 해양 관측 등으로 응답할 수 없는 전문가도 나타나 총 응답자 수는 6명이었다. 이 서면 자문을 토대로 최종적으로 동해 해류도를 완성하였다.

연구 결과 및 논의

교과서와 과학논문 해류도 도법 통일화

Park *et al.*(2011)의 방법을 따라서 현행 및 과거 중등과학 교과서에 제시되어 있는 해류도를 중 평균 해류도를 제시한 25종을 디지털 자료로 만들고 메르카토르 도법으로 변환하였다. 도법 변환 전의 경우 다른 해류도와 비교하려고 해도 각 해류의 위치와 진행 방향 등을 정량적으로 해석할 수 없어서 비교가 매우 제한적이었다. 그러나 모든 해류도를 이와 같이 하나의 도법으로 좌표 변환을 실시함으로써 교과서 각 해류도들 사이의 정량적인 특징을 분석할 수 있게 되었다. Fig. 8에 평균 해류도를 제시한 모든 중등과학 교과서들을 중학교 과학(M1-M9), 고등학교 1학년 과학(Ha1-Ha12), 지구과학I(Hb2-Hb6)의 과정별로 나누고 난류와 한류를 구분하여 디지털 수치화한 동해 해류도를 제시하였다. Fig. 8의 좌측은 난류로 우측은 한류로 구분하여 나타내었고 교과서 별로 다른 색상(Table 3의 B12)을 주어 표현하였다. 교과서의 해류도들은 동일한 해류를 경로, 크기, 위치 등 여러 측면에 있어서 서로 상이하게 나타내고 있음을 확인할 수 있다(Park *et al.*, 2011). 특히 일본본지 내의 순환은 교과서 별로 가장 큰 차이점을 보였다. 이러한 도법을 통일한 해류도는 해류의 차이점을 더욱 부각시키고 있으며, 이는 해양학계가 학생들에게 통일된 해류도를 습득히 제시할 필요가 있음을 확인하여 준다.

따라서 지금까지 많은 학자들에 의하여 관측되고 보고되어 온 해류에 관한 과학적 사실에 기반하여 이러한 교과서 해류도들의 문제점을 조사하고 분석하고 전문가들의 의견을 충분히 반영하여 해류도를 제작하고자 하였다. 과학 논문들도 교과서 논문과 동일한 과정을 거쳐 도법을 통일하였고 한류와 난류를 구분하여 수치 정보를 생산하였다. Fig. 9a는 A21에 제시된 해류도로서 도법 변환과 수치화하여 Fig. 9b와 같이 난류와 한류를 구분하여 재생하였다. 이러한 해류도는 다른 과학 논문의 해류도들과 비교하기가 용이하며 해류의 경로에 관한 좀 더 정량적인 정보를 다룰 수 있는 장점이 있다.

Fig. 8. Oceanic current maps of the East Sea for (a) warm currents and (b) cold currents in middle school science textbooks, (c) warm currents and (d) cold currents in high school science textbooks, and (e) warm currents and (f) cold currents in earth science textbooks.

Fig. 9. An example of an oceanic current map of the East Sea (a) before and (b) after the mapping procedure for the current map in the science paper (A21) (Tomczak and Godfrey, 2003).

Fig. 10. Oceanic current maps of the East Sea for warm currents: (a), (c), (e), and cold currents: (b), (d), (f) from selected scientific papers from A1 to A38.

과학논문 해류도 분석

Fig. 10은 A1-A38의 과학논문에서 제시된 해류도 중 벡터 형태 혹은 순환도 형식으로 표현된 것을 제외하고 난 후 해류로 표현하기 적절한 27개의 해류도를 대상으로 디지털화한 난류(Fig. 10a, c, e)와 한류(Fig. 10b, d, f)를 도시한 것이다. Fig. 8에 제시한 중등학교 과학 및 지구과학 교과서의 해류도에 비하여 대체적으로 해류의 폭이 좁고, 좀 더 구체적으로 표현되어 있음을 알 수 있다. 이와 같은 과학 논문 해류도들을 Table 3에 제시한 구체적인 세부 항목에 따라 분석하여 그 결과를 다음에 제시하였다.

1. 대한해협 부근 해류

동해 표층 해류의 시작은 대한해협을 통해서 유입되는 대마난류에 의해 이루어지므로 대마난류가 대한해협을 통과하기 전의 모습을 조사하여 분석하였다. 일반적으로 대한해협 부근에서의 대마난류의 수송량은 서수도가 동수도에 비해 3배 정도 더 크게 나타난다(e.g., Isoda and Yamaoka, 1991; Gordon *et al.*, 2002). 동중국해의 30.5°N, 127°E 해역에서 쿠로시오해류가 갈라져서 대한해협으로 유입되기도 하고, 제주해협을 지나 대한해협을 통해 동해 남부로 유입되기도 한다(Nitani, 1972; Lie *et al.*, 1998; Chang *et al.*, 2000; Lie *et al.*, 2000; Teague *et al.*, 2003).

각 교과서와 과학논문에서 제시한 해류도들 중 대한해협과 동해 동남부 해역의 해류도를 추출하여 Fig. 11에 나타내었다. Table 3의 분석항목 B1은 대한해협에서의 대마난류 분기를 잘 표현하는지에 대한 내용으로 Fig. 11a, b에 제시한 교과서 해류도들은 해류가 대마도에 도착하기 전에 분기하여 대한해협의 서수도와 동수도로 각각 나뉘어져서 들어가는 것으로 대부분 잘 표현하고 있었다. 반면에 Fig. 11c의 지구과학1 교과서는 모두 B1 항목을 부적합하게 표현하고 있는 것으로 판단된다. 이에 반해 과학논문에서 제시한 해류도를 보면 (Fig. 11d-f) A28을 제외한 거의 대부분의 논문에서 대마난류가 대마도를 기준으로 동쪽과 서쪽으로 각각 분기하여 동해로 유입하는 것을 표현하고 있다. 따라서 분기와 관련된 해류는 대마도 이전에 동수도와 서수도로 분기할 수 있도록 해류도에 표현하는 것이 바람직하다고 판단된다.

2. 대한해협 통과 후 해류 분지

대마난류는 대한해협을 통과한 후 시공간적으로 다양한 분포를 보인다(Kawai, 1974). 중등학교 교과서에서는 대한해협을 통과한 후 서수도로만 진행되는 경우가 2종(M9, Ha9)이 있었으며, 동수도로만 통과하여 진행하도록 도시한 경우가 9종(M2, M5, M8, Ha1, Ha5, Ha11, Hb2, Hb3, Hb4)이 발견되었다(Fig. 11a, b, c). 이는 다양한 요인이 있겠지만 최종적으로 해류도를 작성하는 과정에서 해양학적 전문 지식을 반영하지 않고 단순하게 삽화를 작성하였을 가능성이 클 것으로 판단된다. 과학논문들도 교과서 해류도들과 같이 한국 연안을 따라 흐르는 동한난류(EKWC), 일본 연안을 따라 흐르는 대마난류의 일본연안분지(NB)와 동한난류에서 분리된 대마난류의 외해분지(OB)를 다양하게 도시하고 있었다. 이러한 세 가지 분지는 대한해협을 통과하는 대마난류의 수송량 및 상대와도(relative vorticity)와 역학적으로 관련이 있다는 연구 결과들이 있다(Kawabe, 1982; Isoda and Saitoh, 1993; Lee and Niiler, 2010).

극전선 이남에서 이러한 대마난류의 시공간적 다양성 때문에 과학논문들도 서로 다른 이견을 보이고 있었다. 기존 과학논문들의 해류도를 제시한 Fig. 11d, e, f는 교과서 해류도와는 달리 대마난류가 대마도 이전에 분기되어 서수도와 동수도를 통과하고, 통과한 후 각각 한국 동해안을 따라 북상하는 동한난류, 대마난류의 일본연안분지와 외해분지 등으로 나뉘는 양상은 제대로 표현하고 있다. 또한 대부분의 과학논문들은 대한해협 동수도를 지난 후 일본 연안을 따라 북상하는 대마난류의 일본연안분지도 잘 도시하고 있는 것으로 나타났다. A38은 대한해협을 지나는 모습은 표현하지 않았으나 세 가지 분지의 모습을 표현하고 있었다.

Fig. 11. The flow patterns of the East Korea Warm Current off the east coast of Korea. Secondary school textbooks are represented by examples (a)-(c), whereas scientific articles are represented by (d)-(f).

3. 동한난류의 진행

동한난류는 일반적으로 전 계절에 걸쳐 존재한다고 알려졌지만 강한 계절 변동과 경년변동을 보이며 드물게는 봄철에 북상하지 않는다는 관측 결과도 있다(Kawabe, 1982; Kim and Legeckis, 1986; Kim *et al.*, 2002; Choi *et al.*, 2009; Lee and Niiler, 2010). 동한난류의 주축도 강한 계절변동을 보이는데 여름철에는 동한난류의 주축이 외해에 위치하는 경향이 있으며 이는 남하하는 북한난류의 세기와 관련이 있다고 한다(Lie, 1984). 따라서 해류도에 동한난류를 도시할 때 Table 3의 세부항목 B2에서 언급한 바와 같이 동한난류 주축의 연안으로부터의 거리를 고려하여야 한다. Fig. 11a-c가 보여주듯이 중등학교 과학교과서들은 동한난류의 주축거리가 과학논문에 실린 해류도(Fig. 11d-f)에 비해 통일되어 있지 않고 130-132°E 범위까지 다양하게 분포하는 것으로 나타났다. Hb2-6 교과서는 동한난류가 한국 연안을 따르지 않고 울릉도 부근으로 편향되어 북상하는 것으로 표현하고 있다. 이는 실제 동한난류 주축의 변화와 매우 상이한 결과를 보여주고 있다.

이에 반해 Fig. 12에 도시한 과학논문들도 마찬가지로 동한난류의 다양한 모습을 보여주고 있으나 거의 대부분이 우리나라 동해안과 울릉도 사이를 통과하도록 도시하고 있다. 동한난류가 연안으로부터 얼마나 떨어져 북상하고 있는지를 정량적으로 분석하기 위하여 37°N를 기준으로 동한난류 주축의 위치를 정하고 연안으로부터의 거리를 계산하였다. Fig. 13a는 각 논문의 해류도로부터 이 거리를 계산하고 거리에 따른 빈도수를 나타낸 것인데 60 km 주변에 가장 많은 9종(A14, A16, A35, A20, A21, A24, A25, A26, A37)의 과학논문이 분포한 것으로 나타났다. 두 번째는 6종(A4, A5, A11, A27, A32, A34)의 과학논문들이 80 km 부근을 지나가

Fig. 12. Features of the Tsushima Warm Current and its branches in the southern part of the East Sea from the scientific papers.

Fig. 13. A histogram showing (a) the distance from the coast of the East Korea Warm Current (along the zonal line of 37°N), (b) the northern limits of the north-eastward propagating East Korea Warm Current as a function of latitude, and (c) the north-south distances of the Nearshore Branch of the Tsushima Warm Current from the Japanese coast all derived from scientific papers with the current maps in the East Sea.

도록 도시하였다. 각 히스토그램 안의 논문들의 순서는 연안으로부터의 거리에 비례하도록 표현하였다. 즉 아래에 있는 A25는 A14 논문에 비해 연안과 가깝게 도시하였음을 의미한다. 대부분의 논문이 20-120 km 사이로 연안 주축거리를 표현하였으나 논문 A9와 A10은 연안에서 180 km 정도의 거리를 유지하면서 131°E의 동쪽으로 북상하는 것으로 도시하고 있었다. 이는 대부분의 논문들이 나타난 주축의 연안으로부터의 거리와는 상당한 차이점을 보였다. 그러나 대부분 과학 논문에서 제시한 해류도들은 대마난류를 교과서가 제시한 연안거리 보다 훨씬 연안에 가까운 상태로 북상하는 것으로 표현하여 교과서 해류도와의 차이를 보다 명확하게 드러 내었다. 이러한 동한난류 주축의 연안으로부터의 거리는 해류도 중 가장 기본적인 요소들 중 하나이므로 일련의 해류도 제작 과정에서 과학자들의 견해가 충분히 반영되도록 하였다. 대부분의 학생들은 우리나라 연안 해류를 통해 중앙부나 일본 연안에서의 해류보다 중요하게 생각하는 경향이 있고 연안 가까이 난류를 표

현하지 않을 경우 우리나라 동해안에는 난류가 없는 것으로 과학적 오류를 야기할 수 있으므로 이 세부 항목 B2는 상대적으로 중요하게 다루어져야 할 것으로 사료된다.

북상하는 동한난류는 37-38°N 부근(Lee and Niiler, 2010)에서 북한해류와 만나 극전선을 형성하며 더 이상 해안을 따라 북상하지 않고 동쪽으로 방향을 바꾸어 멀어지면서 연안으로부터 이안한다(Lie, 1984). 따라서 동한난류의 북상한계도 해류도를 제작할 때 중요한 요소로 고려되어야 한다. Table 3의 동한난류의 북상한계와 관련된 분석항목 B3에 대하여 131°E 서쪽 영역에서 동한난류의 경로가 위치한 위도를 북상한계로 정하였다. Fig. 12에서 보는 바와 같이 A13, A19, A30을 제외한 대부분의 과학논문 해류도들은 동한난류의 북단을 화살표 없이 곡선으로 동쪽을 향하도록 도시하고 있다. A24 논문은 동한만의 난수성 소용돌이를 표시하였으나 이는 소용돌이이고 해류라고 간주하기에 어려움이 있으므로 제외하였고 나머지 대부분의 과학논문의 해류도들을 대상으로 분석하였다. Fig. 13b는 동한난류의 북상한계에 해당되는 위도의 빈도수를 표현한 것이다. 37.5°N 부근까지 북상하는 경우는 11종(A4, A9, A14, A16, A20, A24, A25, A28, A30, A32, A34)으로 빈도수가 가장 많았고, 두 번째는 38°N에 5종의 논문(A5, A12, A17, A35, A38)이 그 다음으로 많았다. 이는 교과서 해류도가 제시한 이안 위도보다 0.5°N 정도 낮은 것으로 평가된다. 그러나 A13 논문은 35.5°N으로 매우 낮은 북상한계를 나타내었고, A27은 39.5°E로 가장 높은 위도 값을 보였다. 이는 동한난류의 북상한계가 매년 35°N부터 39.5°N까지 변화하기 때문이다(Kim *et al.*, 2002; Choi *et al.*, 2004).

4. 대마난류의 일본연안분지

대마난류의 일본연안분지(NB)는 대한해협을 동수도로 유입되어 일본 연안에서 수심 100 m 내외의 얇은 곳을 따라 북동쪽으로 진행하고 봄과 여름에 특히 강한 흐름이다(Kawabe, 1982; Matsuyama, 1990; Katoh, 1994; Lee *et al.*, 1997; Morimoto *et al.*, 2009). 겨울철부터 이듬 해 봄까지는 오키와(Oki spur) 또는 노토(Noto) 반도 부근까지 일본 연안을 따라가다 이후 연안에서 멀리 떨어져 북상하고 봄과 여름에는 연안에 근접하여 북상하다 쓰가루해협 부근에서 대마난류의 나머지 분지와 만난다. Fig. 12에서 볼 수 있듯이 과학논문의 해류도들은 다양한 경로를 보여주고 있으나 27개의 논문들 중 81%에 달하는 22개의 논문들이 일본 연안을 따른 일본 연안분지를 나타낸 후 쓰가루해협 부근까지 북상하도록 표현하고 있었다.

이 일본연안분지가 일본 연안으로부터 얼마나 근접하여 북상하는지 정량적으로 나타내기 위하여 경도 135°E의 해안선을 기준으로 일본연안분지 경로의 평균 위도를 계산하였다. 가장 많은 7종의 논문들(A4, A5, A12, A25, A26, A31)이 연안으로부터 60 km의 거리를 유지하는 것으로 표현하였고 90 km 정도에 4개의 논문들(A16, A17, A19, A34)이 있었다(Fig. 13b). 이외에도 연안으로부터 20 km와 30 km에도 각각 3종의 논문들이 있었다. A9와 A28 논문은 연안으로부터 130-150 km로 상당히 떨어져서 진행되는 것으로 표현하고 있어서 이는 실제 경로를 고려하지 않은 것으로 판단된다. 이에 반해 교과서 해류도 분석 결과(Park *et al.*, 2011)에 의하면 연안에 근접하지 않고 동해 중앙부로 상당히 떨어져서 통

과하는 것으로 도시하여 Fig. 12의 과학논문들이 보다 정확히 도시하고 있었다.

5. 대마난류의 외해분지

대마난류의 제 2분지에 해당하는 외해분지는 해양학자들 사이에서 다양하게 정의되었는데 공간적으로 변동이 크고 시간적으로도 강한 계절변동과 경년변동을 보인다(Kawabe, 1986; Lee and Niiler, 2010). 외해분지는 대한해협을 서수도를 통과한 후 울릉분지의 남동쪽 35.5-36.5°N에서 동한난류로부터 분리된다(Suda *et al.*, 1932; Suda and Hidaka 1932; Naganuma, 1977; Kawabe 1986). 동한난류로부터 분리된 후 대륙붕을 따라 북동쪽을 향해 흐르며 해저지형의 영향을 상대적으로 많이 받는다고 알려져 왔다(Kawabe, 1982; Lee *et al.*, 1997; Hase *et al.*, 1999). 또한 이 분지는 봄부터 발달하여 가을까지 잘 나타나며 대한해협에서 대마난류의 속도와 수송량의 증가와 관련이 있다고 보고되었다(Kawabe, 1982; Hase *et al.*, 1999).

과학논문의 해류도에 표현된 분지의 형태를 보면 대부분은 3개의 분지로 표현하였지만 2개의 분지로 표현한 경우도 있었다(Fig. 12). 동한난류와 제 2분지의 구분은 대마난류의 서수도 유입 후 서로 갈라지는 위도가 36°N 이하일 경우엔 제 2분지, 그 이상일 경우엔 동한난류로 분류하여 분석하였다. A16과 A17 논문들은 대한해협에서 해류를 명확하게 표시하고 있지는 않으나 동한난류, 대마난류의 일본연안분지와 외해분지를 확실하게 도시하고 있다(Fig. 12a). 또한 A33 논문은 대한해협의 서수도를 통과한 후 울릉도 남쪽에서 굽어쳐서 동진하는 흐름을 나타내고 있다(Fig. 12c). A22 논문은 대마난류의 외해분지를 점선으로 나타내었다(Fig. 12b). 과학논문들은 대마난류의 외해분지를 직선과 유사한 모양으로 나타낸 경우도 있었고(A4), A5와 같이 분지를 구분하지 않고 대마난류가 동해 남부에서 크게 사행하는 형상으로 표현한 논문도 발견되었다(Fig. 3, 12). 과학논문들을 통하여 대마난류의 외해분지 존재는 확인할 수 있으나 이를 도시하는 방식은 논문에 따라서 매우 다양하게 나타났다. 어떤 경우든 제 2분지에 해당하는 해류를 해류도에 표현하는 것이 바람직하다고 판단되어 이후 일련의 토론 과정에서 많은 시간을 할애하여 논의를 하였고 그 결과를 최종 해류도 제작에 반영하였다.

6. 대마난류의 유출 및 재순환

대한해협을 통해 동해로 들어온 대마난류는 세 개의 분지로 나뉘어져 동해 북동쪽을 향하여 진행하다가 쓰가루해협과 소야해협에서 대부분 태평양과 오호츠크해(Ohotsk Sea)로 유출된다(Moriyasu, 1972; Onishi and Ohtani, 1997). 일부는 홋카이도 (Hokkaido) 및 사할린(Sakhalin) 섬을 따라 계속 북상하거나 서쪽으로 휘어져서 다시 동해 북부를 재순환한다(Onishi and Ohtani, 1997; Riser *et al.*, 1999). 쓰가루해협과 소야해협 가까이에서의 대마난류의 유출 양상을 조사하기 위하여 Table 3의 분석항목 B6, B7에 대하여 과학논문들을 분석하였다. Fig. 14에서 과학논문 해류도의 대마난류의 유출 양상을 도시하여 비교가 용이하도록 나타내었다.

분석항목 B6와 관련하여 대부분의 과학논문 해류도들(A1, A2, A4, A5, A8, A9, A10, A11, A12, A14, A15, A16, A17, A19, A20, A21, A22, A23, A24, A25, A26, A28, A30, A31, A32, A33, A36,

A38)에서는 대마난류가 쓰가루해협으로 일부 유출되고 일부는 북상하는 양상을 비교적 잘 표현하였다. 그런데 이 중에서 A19와 같은 일부 해류도들은 쓰가루해협 서쪽에서 대마난류가 더 이상 북상하지 않는 것으로 표현한 경우도 있었다. 소야해협에서의 대마난류 진행에 대한 B7 항목을 만족하는 해류도들(A2, A6, A8, A12, A14, A15, A25, A26, A31, A32)은 쓰가루해협을 지나 북상한 대마난류가 소야해협에서 또 한 번 외해로 일부 유출되고 일부는 다시 북상하는 양상을 대체적으로 잘 표현하고 있었다. A13, A24, A30 논문들은 대마난류가 소야해협에서는 외해로 유출하지 않은 채 북상하는 것으로만 나타내었다. A21, A31은 타타르해협으로부터 내려온 한류가 소야해협 부근에서 대마난류와 만나 소야해협을 통해 유출되는 양상도 도시하고 있었다. 이와 같이 태평양과 오호츠크해로 유출하는 양상을 도시한 논문들과는 대조적으로 A9, A16, A19, A20, A21, A22, A23, A33, A36, A38 논문들은 쓰가루해협과 소야해협에서의 유출 이후 더 이상 북상하는 해류가 없는 것으로 도시하였다.

대마난류가 홋카이도 서쪽에서 연안에 근접하여 북상하는 경우도 있고(A9, A14, A31 등) 좀 더 서쪽으로 멀리 떨어져서 북진하는 것으로 표현한 경우(A5, A16 등)도 있었다(Fig. 3, 14). A4, A38은 이러한 계절변동을 표현하기 위하여 쓰가루해협 이북에서 홋카이도 연안을 따른 근해와 좀 더 서쪽으로 치우친 외해를 지나가는 두 개의 지류를 표현하고 있다. 그러나 대부분의 과학논문들은 단일 경로의 대마난류가 홋카이도 서쪽 연안에 좀 더 근접하여 북상하는 것으로 도시하고 있었다.

Table 3의 B8 항목은 쓰가루해협 이후 대마난류가 러시아 연안 쪽으로 재순환하는 해류에 대한 것으로서 과학논문들을 분석한 결과, A14, A17, A21, A24, A25, A26, A32 등의 논문의 해류도들은 이 재순환류를 잘 표현하고 있었다. 이 외에도 재순환과 관련하여 A11은 쓰가루해협 이후 시계 방향으로 작게 회전하는 지류를 표시하였고, A27은 유출 및 재순환 없이 북상하는 양상만을 표현하였다. Fig. 14c에 제시한 해류도들은 대체로 이런 재순환류를 나타내고 있지 않으나 Fig. 14a와 b에 제시한 해류도들은 대부분 재순환류를 나타내고 있다.

7. 동해 북부의 한류

동해 북부는 크게 두 가지 한류가 발견되는데 러시아 연안을 따라 남하하는 리만한류와 북한 연안을 따라 남하하는 북한한류가 있다. 타타르해협의 빙하가 녹으면서 생성되는 차갑고 염분이 낮은 해수가 리만한류의 기원이 된다(Martin and Kawase, 1998). 표층뜨개 자료는 리만한류가 여름철에 북한한류와 연결되어 러시아 연안에서 북한 연안으로 남쪽으로 흐름을 보여주었다(e.g., Park *et al.*, 2006). 남하하던 북한한류가 동한난류와 만난 후 북한한류는 동한난류 아래의 중층에서 대륙붕을 따라 흐르는데 동한난류와 북한한류가 겹치는 구간은 36-38°N 정도로 밝혀졌다(Kim *et al.*, 2009).

분석항목 B9, B10은 리만한류와 북한한류 양상에 대한 내용이다. 리만한류와 북한한류의 흐름을 나타낸 해류도는 27개의 과학논문의 해류도들 중 21개 논문에서 발견되었다(Fig. 15). 과학논문에서 제시한 리만한류는 대부분 1000 m 이하의 얇은 대륙붕 위에서 러시아 프리모예(Primorye) 연안에 근접하여 남하하는 것으로 표현하고 있었다. 이는 리만한류가 연안에서 상당히 떨어져 남

Fig. 14. Paths of the Tsushima Warm Current near the Tsugaru Strait and the Soya Strait in the scientific papers, where the colors represent each paper.

Fig. 15. Digitalized maps of the Liman Cold Current and the North Korea Cold Current derived from the science papers.

하하도록 표현한 교과서 해류도들과 차별되는 내용으로서 최종해류도 제작과정에서 오류가 발생하지 않도록 고려하였다. 리만한류의 남하 시작 위도를 Fig. 16과 같이 조사한 결과, 가장 많은 5종(A12, A16, A20, A22, A27)의 해류도들이 47°N 부근에서 리만한류가 시작된다고 하였으며 대부분의 해류도들은 46°N 전후의 위도에서 리만한류가 시작한다고 도시하고 있었다. 이에 반해 A21은 52°N에서 시작한다고 표현하여 다른 과학논문 해류도에 비해 가장 높은 위도에서 리만한류가 시작하는 것으로 도시하였다. 또한 매우 낮은 위도인 43°N 부근이 리만한류의 발원 해역이라고 도시한 논문도 3종(A14, A24, A37)이 있었다.

리만한류와 북한한류가 구분 가능하도록 표현한 것은 A12, A14, A16, A17, A19, A20, A21, A22, A24, A26, A31, A32, A34, A35, A36, A37 등이 있었고, 두 한류를 구분 없이 하나의 흐름으로 표현한 것은 A33 논문에서 발견되었다. 북한한류 없이 리만한류만 표현한 논문도 발견되었는데 A11, A27이 이에 해당하였으며 반대로 북한한류만 표현한 것은 A25, A30이 있었다. 이와 같이 과학논문들도 한류의 남하를 다양하게 표현하였으나 대부분의 논문들에서 러시아 연안을 따라 한류가 존재한다는 사실은 명확하게 표현하고 있었다.

리만한류와 북한한류가 구분 가능할 때, 두 한류 사이의 연결

Fig. 16. Histogram of the latitudes where the Liman Cold Current initiates in each scientific paper.

문제 역시 중요하다. A17, A21, A31, A32, A33, A36 등의 논문에서는 두 한류가 블라디보스톡 (Vladivostok) 인근에서 연결되어 남하하는 것으로 표현하고 있었고, A12, A15, A16, A19, A20,

A22, A24, A26, A35, A37 논문 등에서는 연결되지 않고 각각 독립적으로 존재하는 것으로 표현하고 있었다. 또한 일부 논문(A30)은 점선으로 표현하여 두 해류가 간헐적으로 연결됨을 표현하고 있었다. 두 해류가 여름철에는 블라디보스톡 근처에서 연결되어 나타나다가 겨울철에는 강한 북서계절풍의 영향으로 서로 분리되어(Naganuma, 1977; Yarchin, 1980) 블라디보스톡 동쪽에서 반시계방향의 순환을 형성하기 때문에 계절변동을 고려하기 어려운 해류도에서는 일부 연결하기도 하고 또 일부는 연결하지 않도록 표현한 것으로 보인다. Park *et al.*(2006)은 인공위성 표층플게 자료를 분석하여 프리모에 연안에서 4월에 시작된 리만한류가 8월까지 블라디보스톡 앞바다를 지나 북한해역까지 끊이지 않고 지속적으로 남하하는 양상을 보여주었다. 그런데 이 연구는 관측자료의 부족으로 인하여 계절변동을 고려하지 않고 하나의 해류도로 작성하고자 하였기 때문에 충분한 문헌 검토를 거치고 토론과정에서 심도 있는 논의를 하였다.

동해 북부 해류의 재순환 양상에 대하여 살펴보면(B11) Fig. 3에 나타난 바와 같이 A2, A3, A8, A10, A14, A15, A17, A18, A20, A21, A24, A25, A27, A32, A34, A35, A36, A37 논문들은 한류가 남하하다 동해 북부를 반시계방향으로 재순환하는 것으로 도시하였다. 그 중에서도 A2, A3, A10, A15, A20, A21, A24, A36 논문의 해류도들은 리만한류가 블라디보스톡에 도달하기 전에 방향을 바꾸어 일본분지를 반시계방향으로 순환하는 해류로 나타내고 있었으며, A14, A25, A32, A34, A35, A37 논문들은 북한한류만 재순환하는 것으로 표현하고 있었다. 이러한 연구 논문들의 영향을 받아 교과서의 해류도 M1, Ha4, Ha7, Ha9 등은 블라디보스톡을 중심으로 동쪽과 서쪽에 생소한 두 개의 반시계방향의 흐름을 표현한 것으로 추정된다.

과학자 토론회를 통한 동해 해류도

1. 제 1차 동해 해류도

Fig. 17은 2011년부터 진행하여 전문가 토론회를 통하여 여러 차례 개선된 7가지의 해류도를 시간 순으로 나타낸 것이다. Fig. 17a는 2011년 8월 31일에 개최된 제 1차 전문가 토론회에서 각 세부항목(Table 3)을 고려하여 해양과학자들의 의견을 수렴한 결과를 수작업으로 그린 다음 이를 다시 컴퓨터 그래픽을 통해 해류 경로의 경계를 수정한 결과이다. 대마난류가 대한해협을 통과할 때 대마도까지는 통과하고 동해로 유입된 후는 서수도와 동수도로 나누어지도록 하였다. 일본 연안을 따라 흐르는 일본연안분지는 가능한 일본 연안을 따라 쓰가루해협까지 북상하도록 하였고 일본 연안 사도섬(Sado island) 안쪽으로 흐른다는 논의도 있었으나 이는 지형적인 흐름으로 간주하여 생략하고 섬의 북서쪽으로 분류가 진행하여 쓰가루해협 근처로 진행하도록 도시하였다. 이 해협에서 일부는 태평양으로 빠져나가고 나머지는 북상하도록 하였다. Onishi and Ohtani(1997)의 관측 결과를 바탕으로 유출 수송량을 고려하여 쓰가루해협을 빠져나가는 해류와 북상하는 해류의 비는 7:3 정도로 정하여 도시하였다. 북상한 대마난류는 소야해협에 도달하기 전에 해저지형을 따라 러시아 연안을 향하여 북서쪽으로 환류하도록 표현하였다. 일부 전문가는 수치모델의 결과와 인공위성 자료의 예를 들어 환류할 때 두 가지로 나뉘어져서 다시

소야해협으로 나가는 해수와 합쳐져야 한다는 의견을 제시하기도 하였다. 따라서 이러한 의견을 반영하여 Fig. 17a의 초안에서는 이 두 지류들이 합쳐져서 소야해협을 통하여 오후츠크해로 동진하여 나가도록 도시하였다.

동한난류는 우리나라 동해안을 따라 북상하는데 이안하는 위도에 대하여 해양학자들의 의견이 분분하였으나 37°N에서 이안하여 울릉도 북쪽 38°N까지 북상 후 울릉분지 동쪽 선단까지 곡류를 그리며 남하한 후 다시 대화퇴(Yamato Rise)를 향하여 북상하고 쓰가루해협을 향하여 사행하면서 동북동진하도록 표시하였다. 울릉분지의 소용돌이는 그 동안 많은 논문들에 의해 보고된 바 있기 때문에(Ichiye and Takano, 1988; Kang and Kang, 1990; Kim *et al.*, 1991; Isoda and Saitoh, 1993; Katoh, 1994; Lie *et al.*, 1995; Lim and Kim, 1995; Mitchell, 2003; Arruda *et al.*, 2004; Shin *et al.*, 2005; Choi *et al.*, 2012) 소용돌이를 표현하기 위하여 원형의 벡터를 표기하는 것이 좋겠다는 의견이 우세하여 기입하였다. 외해분지에 대해서는 실제의 다양한 시공간적 변동성 때문에 의견 수렴이 어려웠으나 Fig. 17a에서 표시한 정도로 약하게 그려두자는 다수의 의견을 반영하여 일단 132°E까지만 표현하였다.

리만한류의 경우 해류의 시작점은 타타르해협의 해빙이 녹아 남하하기 시작하는 48°N로 정하였으며 러시아 연안을 따라 남하하면서 132.5°E까지만 진행도록 표시하여 블라디보스톡 인근 해상에서 북한한류와 서로 연결되지 않도록 하였다. 북한한류는 북한 연안을 따라 남하하여 동한난류와 36-38°N에서 만난다고 알려졌으나(Kim *et al.*, 2009) 일관된 관측 자료가 부족하여 남방한계가 명확하지 않다. 제 1차 동해 해류도에서는 북한한류가 동해안의 38°N 부근까지만 표층에서 남하하는 것으로 표현하였다.

2. 제 2차 동해 해류도

동해 해류도의 초안에 대하여 2011년 10월 19일에 개최한 토론회에서 해류 전문가들은 대마난류와 동한난류에 비하여 리만한류와 북한한류가 실제 해류 크기보다 과장되어 표현되어 있다고 수정할 것을 지적하였다. 또한 리만한류는 조금 더 높은 위도에서 시작되는 것이 좋겠다는 전문가들의 추가 의견을 반영하여 49°N부터 남하하도록 Fig. 17a를 수정하여 Fig. 17b와 같은 해류도를 작성하였다. 해류도를 제작할 때 해류의 세기(Table 3의 B13)를 어떻게 표현하여야 하는지에 관하여 토론했었는데 해류의 폭으로 세기를 나타내는 것이 바람직하다는 의견이 지배적이어서 해류의 세기는 대략적인 너비로 표현하기로 결정하여 적용하였다.

리만한류는 계절에 따라 세기의 변동이 매우 크게 나타난다(Naganuma, 1977; Martin and Kawase, 1998; Park *et al.*, 2006). 러시아 연안에서 관측된 표층플게 해류자료를 분석해보면 여름철에 강하게 러시아 연안을 따라 남하하지만 나머지 계절에는 상대적으로 약하게 나타났다. 이러한 리만한류의 강한 계절 변동성을 평균적 양상만으로 표현하고자 할 때 Fig. 17b와 같은 하나의 해류도에 표시하기가 매우 난해하였다(Table 3의 B15). 제 2차 해류도에서는 대마난류에 비해 상대적으로 폭도 좁고 세기도 약함을 나타내기 위하여 러시아 연안의 대륙붕 위로 리만한류가 지나가도록 나타내었다. 북한한류도 큰 계절 변동을 가지고 있으나(Seung, 1992) 이를 평균적으로 나타낼 때는 리만한류와 마찬가지로 대마난류에 비해 상대적으로 세기가 약하기 때문에 해류의 폭을 좁게 수정하였다.

Fig. 17. A time-series of oceanic current maps in the East Sea modified on (a) 9 Sep. 2011, (b) 19 Oct. 2011, (c) 9 Nov. 2011, (d) 23 Nov. 2011 (Choi *et al.*, 2012), (e) 24 May 2013, (f) 24 May. 2013, and (g) 26 Jul. 2013.

3. 제 3차 동해 해류도

제 2차 해류도(Fig. 17b)를 완성한 후 2011년 11월 9일 해류전문가들로부터 추가 의견을 수집한 결과 대마난류의 외해분지가 지나치게 약하게 표현되었고 이 분지를 강조하여 표시하라는 지적이 있었다. 또한 Fig. 17b에서 울릉분지의 소용돌이를 표현했는데 그렇게 될 경우 동해 전역에 크고 작은 소용돌이들이 존재하고, 또 몇몇 해역은 정해진 영역에 비교적 장기간에 걸쳐 나타나는 경향이 있으므로 다른 해역의 소용돌이도 표현하지 않으려면 형평을 고려하여 울릉분지의 해류백터를 삭제하라는 제안이 있었다. 또한 몇몇 전문가들은 쓰가루해협 근처에서 북상하여 일본분지로 환류할 때 44°N 부근의 관측 자료가 매우 빈약한데 해류도에서는 이를 지나치게 자세히 표시하고 있어서 제거하는 것이 바람직하다는 의견을 표명하였다. 따라서 이러한 제안들을 반영하여 제 3차 해류도를 작성하여 Fig. 17c에 표시하였다. 이를 Fig. 17b와 비교해 볼 때 가장 큰 차이점은 대마난류의 외해분지가 동한난류에서 이안된 후 극전선 이남 영역에서 북동쪽으로 가로지르도록 강조하여 표시한 데 있다.

4. 제 4차 동해 해류도

제 3차 해류도(Fig. 17c)에 대해 한 해양과학자는 관측 결과에 의하면 대마난류의 외해분지와 일본연안분지가 서로 만난다는 연

구결과(Katoh, 1994)를 제시하여 두 분지 사이의 관계성을 표현하는 것이 좋다고 제안하였다(2011년 11월 23일). 따라서 Fig. 17d에 나타난 바와 같이 제 3차 해류도를 일부 수정하여 제 4차 해류도를 완성하였다. 두 분지는 136°E, 35.5°N 부근에서 서로 교차하여 만나도록 한 다음에 다시 두 분지로 나뉘어져서 북상한 후 사도섬 서쪽에서 다시 합류하도록 표현하였다. 나머지 동한난류와 한류는 제 3차 해류도와 동일하도록 두었으며 수정하지 않았다.

설문조사 분석 결과

제 4차 해류도까지는 연구진에 의해 초청된 해류 전문가들 사이의 토론 내용을 바탕으로 초안을 작성하고 이를 단계별로 보완하는 과정을 거쳤다. 이 후 해양학계의 의견을 수렴하기 위하여 Appendix 1에 제시한 바와 같이 그 동안의 해류도와 전산화된 교과서 해류도들을 제시하고 Table 3에 있는 해류의 각 세부 항목에 따른 질문 문항들을 개발하여 객관식과 주관식의 혼용 설문지를 작성하고 해양학회와 지구과학회의 전자우편으로 설문 개시를 공지하였다. 설문은 모두 온라인상에서 할 수 있도록 하고 그 결과는 자동으로 저장되도록 설계하였다.

설문 응답자는 총 26명으로 설문 결과를 분석할 때 유용하게 활용하기 위하여 설문 응답자를 편의상 C1-C26으로 명명하였다. 학회 회원 수에 비하여 응답 비율이 상당히 작게 나타났으나 앞서

Table 4. Affiliation and the number of respondents who responded to questionnaire surveys on the schematic features of the warm and cold currents in the East Sea and techniques for the visualization of oceanic current maps

Criteria	Questions and Question Number	Options									
		①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	Etc.	Duplication
Fundamental personal information	Affiliation	13	0	9	0	0	-	-	-	3	-
	Research career	11	2	3	2	7	-	-	-	-	-
	Research field	21	0	3	0	3	8	6	3	2	✓
Analysis of current in the East Sea	Q1-1	0	0	10	7	5	-	-	-	5	-
	Q1-2	4	12	3	-	-	-	-	-	3	-
	Q2-3	4	14	3	-	-	-	-	-	11	✓
	Q3-1	14	9	-	-	-	-	-	-	-	-
	Q4-2	9	9	2	-	-	-	-	-	3	✓
	Q5-1	14	6	1	-	-	-	-	-	5	-
	Q5-2	6	7	7	1	-	-	-	-	4	-
Techniques of visualization for oceanic current maps	Q7	13	3	1	1	4	-	-	-	5	-
	Q8	5	17	2	5	18	-	-	-	1	✓
	Q9-1	7	12	-	-	-	-	-	-	1	-
	Q9-2	17	5	-	-	-	-	-	-	0	-
	Q9-3	5	16	1	0	-	-	-	-	0	-
	Q10-1	7	14	1	-	-	-	-	-	3	-
	Q10-2	9	10	-	-	-	-	-	-	4	-

언급하였듯이 이 설문은 생각이거나 의견을 수집하는 일반적인 설문과는 차별성이 있기 때문에 소수의 회원들이 응답하였다고 하더라도 그 내용에 따라 비중이 매우 크게 작용할 수 있다. 설문 응답자의 소속기관은 대학교 13명(52%), 정부출연 연구소 9명(36%), 기타 3명(외국소재기관 등)으로 대학교 소속의 응답자들이 과반수 이상인 것으로 나타났다(Table 4). 설문 응답 결과의 전문성과 신뢰성을 평가하기 위하여 설문자의 연구 경력을 조사한 결과 5년 미만인 응답자가 11명(44%), 20년 이상이 7명(28%), 10-14년이 3명(12%)이었다. 연구 분야에는 물리, 화학, 생물, 지질의 4개 영역 중에서 해양물리 분야가 47.73%(중복 응답 가능)로 가장 많았다(Table 4).

Appendix 1의 Part A에서는 교과서 해류도와 과학논문의 해류도들을 제시하여 응답자가 서로 비교하여 차이점이 있음을 인식할 수 있도록 하였다. Part B의 첫 번째 질문(Appendix 1의 Q1-1)인 대마난류가 대한해협을 통해 동해로 들어올 때 그 양상에 대하여 서수도와 동수도로 분기하고 대마도 직전에 분기한다는 항목에 가장 높은 응답률(37%)을 보였다. 이에 대하여 C2 응답자는 “주로 서수도를 통해 들어온 물이 EKWC를 타고 북쪽으로 이동하고, 주로 동수도를 통해 들어온 물은 NB를 따라 동쪽으로 이동하는 것으로 알고 있습니다.”라고 주관식 문항에 응답하였고, C11 응답자는 “대마도 이전 및 이후 분기 둘 다 존재하는 것 같음. 약간의 계절 변화(9-10월로 가면서 일본연안 쪽 보임) 그리고 진로에 대한 변동성이 커서 한마디로 말하기 어려우나 평균적으로는 서수도를 통한 수송량이 큰 것은 확실함.”이라고 답하였으며, C13 응답자는 “대마도 직전에 분기하나 서수도를 통과한 후에도 일부 분기하여 일본 연안류와 합류”라고 응답하였다(Table 5). 서수도와 동수도로 분기하는 유량의 비에 관한 객관식 문항(Appendix 1의 Q1-2)은 2:1 비율에 가장 높은 응답을 보였다. 기타 의견으로 6:4라는 응답이 있었고, 그 근거는 Takikawa *et al.*(2005)을 들었다.

또한 1.2-1.3:1이라고 응답한 응답자는 유량 비에 대한 근거로 Takikawa and Yoon(2005), Fukudome *et al.*(2010)을 제시하였다(Table 5).

동한난류에 대한 질문인 동한난류의 북상한계(Q2-1)에 대하여 37-41°N까지 다양한 값들이 제시되었다. 그 중에서도 38°N이라고 답한 경우가 5명으로 가장 많은 비율을 차지하였다. 37.5°N이라고 답한 응답자는 Watts *et al.*(2006)을 근거로 제시하였다. 동한난류의 주축 양상에 대한 질문(Q2-2)에 대하여 총 13명의 응답자가 다양한 응답을 하였다(Table 5). C2, C26 응답자는 계절에 따른 변동이 있지만, 경년 변화가 더 클 것이라는 의견을 제시하였다. C7, C14, C15, C19 응답자들은 여름철에 이안되는 위도가 더 낮다고 응답하였으며 C15 응답자는 그 근거로 Kim and Min(2008)을 들었다. 특히 C7 응답자의 경우 “동한난류의 이안 위도는 여름 가을철 동해안의 연안에서는 낮아지지만 연안에서 멀리 떨어진 곳에서는 좀 더 북상하는 반면, 겨울철에는 이안하는 위도가 inshore에서 여름철보다 좀 더 북상한다.”고 하였고 그 근거로는 Morimoto and Yanagi(2001)를 들었다. C13 응답자는 여름에 동한난류가 북쪽으로 확장한다고 하였다. 이 문제를 다른 시각에서 바라보는 응답자도 있었다. C11, C20, C22, C25 응답자는 각각 “아극전선까지 대한해협 유입 수송량이 이동하는 시간 고려”, “남북 온도차에 따라 사행하는 정도와 에디의 생성 고려”, “계절보다 율령분지 소용돌이 유무, 대한해협 수송량 고려”, “대한해협 유입해류와 북쪽에서 내려오는 흐름에 따라서 영향”이라고 답하였다. 반면에 C16 응답자는 뚜렷한 차이가 없을 것이라고 하였다. 북상한 동한난류가 한류와 만난 후 동쪽으로 이안할 때의 이동 양상을 묻는 Q2-3 문항에서는 두 번째 사행형성 항목이 가장 많은 응답(14명)을 보였다. 항목 (2), (3) 또는 (1), (2), (3)이 모두 복합적으로 작용한다는 기타 의견을 제시한 응답자가 8명이 있었다(Table 5).

제 2분지(OB)의 존재 여부를 묻는 문항(Q3-1)에서 14명의 응

Table 5. An example of responses to the subjective inquiry questions on the first draft of the current map in the East Sea

Question	Respondent	Contents	References and others
Q1-1	C11	•대마도 이전 및 이후 분기 둘 다 존재하는 것 같음. 약간의 계절 변화 (9-10월로 가면서 일본연안 쪽 보임) 그리고 진로에 대한 변동성이 커서 한마디로 말하기 어려우나 평균적으로는 서수도 쪽 수송량이 큰 것은 확실함.	•참고문헌 제시는 당장은 어려우나 일련의 일본학자들의 분석 결과 여럿 있음.
	C13	•대마도 직전에 분기하나 서수도를 통과한 후도 일부 분기하여 일본 연안류와 합류	• Ph.D thesis of Kim (2007) (정밀 수치 모델)
Q1-2	C15	•6:4	•Takikawa <i>et al.</i> (2005)
	C16	•1.2~1.3:1 이므로 1:1 이 적당함	•Takikawa and Yoon (2005) •Fukudome <i>et al.</i> (2010)
Q2-1	C2	•40°N	•표층 뜰개 및 ARGO 플로트 자료에 서 얻은 수온/염분 분포
	C15	•37.5°N	•Watts <i>et al.</i> (2006)
Q2-2	C7	•동한난류의 이안 위도는 여름 가을철 동해안의 inshore에서는 낮아지지만 offshore에서는 좀 더 북상하는 반면, 겨울철에는 이안위도는 inshore에서 여름철보다 좀 더 북상한다.	•Morimoto and Yanagi (2001)
	C15	•북한한류의 영향이 강해지는 여름철에 이안 되는 위도가 더 낮아짐	•Kim and Min (2008)
Q3-2	C7	•봄에서 가을 동안 강한 경압성을 갖으며 일본 offshore의 대륙사면을 따라 발생	•Hase <i>et al.</i> (1999)
	C15	•Oki Spur에서 북동방향으로	•Watts <i>et al.</i> (2006)
Q4-1	C26	•4:2:1	•Na <i>et al.</i> (2009)
Q6	C2	•본 해류 모식도는 상당히 잘 만들어졌다고 생각합니다. 몇 가지 수정할 부분은 지적한다면, (1) 리만한류가 블라디보스톡 앞에서 남쪽으로 이안하는 부분을 추가, (2) 쓰가루-쓰야 사이 일본분지 내부로 들어가는 해류의 경우 2000 m 등수심선을 따라 이동하도록 수정, (3) Yamato Rise.	•논문이 in press 상태이지만, http://dx.doi.org/10.1016/j.dsr2.2012.07.032 의 그림 14를 참고
	C7	•동해 해류는 남부의 고기압성자이러뿐 아니라, 북부의 저기압성자이러도 강한 계절적변동성을 갖습니다. •또한 메조 스케일의 변동성을 갖는 해류들도 존재하는게 동해해류의 특징입니다. 예를 들면, 여름철리만-북한 한류 시스템과 대륙연안을 따라 남하하는, counter current dipole.	•Yoon and Kim (2009) •Kim and Yoon (2010)
	C15	•북한한류의 끝을 좀 더 남쪽으로(36도 부근)하면서 동한난류 밑으로 그려지게 하면 좋을 것 같음 •외해 분지류가 Oki Spur 근처에서 조금 더 크게 meandering하는 형태가 좋을 것 같음.	•Kim and Min (2008)

답자가 존재한다고 대답하였고, 9명의 응답자는 존재하지 않는다고 응답하였다. 제 2분지가 존재한다고 응답한 경우는 봄에서 가을 동안 강한 경압성을 가지며 일본 대륙사면을 따라 발생하고 (C7), 오키에서 북동방향으로(C15), 독립된 형태로 대마난류 제 1분지와 평행하게 진행(C26)한다고 설명하였다. C2 응답자는 제 2분지가 존재한다고 응답했지만 표층뜰개 자료를 근거로 기타 의견에 “표층 뜰개 자료를 유심히 살펴보면, 연안을 따르지 않고 외해로 나가는 흐름이 일시적으로 존재하는 것을 볼 수 있습니다. 이 흐름은 대부분 NB와 합류하든지 아니면 그대로 Yamato Rise를 지나서 극전선과 합류할 수도 있습니다. 그러나 해류라고 명명하기 위해서는 일정 정도의 항상성이 보장되어야 합니다. 그렇지 않다면 모두 명명하기 어려울 정도로 정말 다양한 해류가 존재할 수 있겠지요. 이 2분지가 해류로서 명명되기 위해 필요한 항상성이 있는지, 얼마나 흔히 발견될 수 있는 해류인지는 아직 명확하지 않는 것 같습니다.” 라고 응답하였다.

대마난류의 유출과 재순환에 대한 질문인 Q4-1 문항에서는 4:4:2, 2:1:1, 5:3:2, 4:3:3, 7:1:2, 3:2:1 등의 다양한 답변이 나왔다. 이 중 4:2:1이라고 답한 C26 응답자는 Na(2009)를 근거로 들었다(Table 5). C2 응답자는 “해협으로 유출되는 양은 대한해협으로 들어오는 양과 같고, 재순환하는 양은 일본분지 순환의 강도에 비례”하는

것이라며 이런 식의 유출 및 재순환에 대한 비율을 따지는 것이 의미가 없고, 재순환이 계산된 예 또한 없다고 하였다. Q4-2 문항은 대마난류 동해 재순환의 시작점을 묻는 것으로 (1) 쓰가루 해협 전후, (2) 소야해협 전후 항목에 각각 9명이 응답하였다. 기타 의견으로 C2 응답자는 “쓰가루해협에서 소야해협으로 가는 해류는 일본분지 순환과 연결되어 있기 때문에 재순환의 시작을 이야기하기 어렵습니다. 다만 일부는 2000 m 등수심선을 따라 일본분지로 들어가고 일부는 소야해협을 지나 타타르해협까지 올라가는 것으로 생각합니다.”고 밝혔다.

한류에 대한 질문으로 리만한류의 남하 한계와 형태를 묻는 Q5-1번 문항에서 14명의 응답자가 (1) 북한한류의 시작점까지 표층에서 남하한다고 응답하였다. C23 응답자의 경우 리만한류와 북한한류의 구분이 모호하다고 기타의견을 제시하였다. Q5-2번 문항인 북한한류 끝 부분의 형태는 (1) 동한난류와 만나는 지점까지 남하, (2) 동한난류와 만난 후 동쪽으로 이안, (3) 동한난류와 만난 후 표층에서 심해로 들어가 동해안 남부까지 남하가 각각 6, 7, 7 명으로 비슷하게 나왔다. C11 응답자는 기타 의견에서 “북쪽에서 내려오는 물은 남쪽으로 내려올 수밖에 없고 일부 강한 해류를 따라 동쪽으로 흐르면서 섞여 쓰가루로 나갈 것이며 동한난류가 이안 후 북상하다가 meandering해서 남쪽으로 깊숙이 이동하는 것

(비교적 steady함)은 북쪽으로부터 밀고 내려오는 찬물이 많다는 것을 암시함. 이 물은 깊은 channel을 따라 울릉분지까지 이르고 울릉분지에 찬물이 많이 쌓이면 등밀도선을 위로 들어 올려 대한 해협 통해 남해로 간헐적으로 흘러나와 (주로 여름에) 섞이는 것으로 생각됨.”이라고 상세히 밝혔다.

Appendix 1에 제시한 Q6 문항은 2011년 국립해양조사원 동해 해류도(3차 해류도, Fig. 17c)에서 수정해야 할 사항을 기재하는 것과 관련된 문항이었다. 12가지의 다양한 의견들이 제시되었는데 C2 응답자는 상당히 잘 만들어진 해류도라면서 “(1) 리만한류가 블라디보스톡 앞에서 남쪽으로 이안하는 부분을 추가, (2) 쓰가루-쓰야해협 사이에서 일본분지 내부로 들어가는 해류의 경우 2000 m 등수심선을 따라 이동하도록 수정, (3) 동한 난류의 경우 Yamato Rise 북단으로 이동하도록 수정할 것”이라는 의견을 제시하였다. 응답자는 “동해 해류는 남부의 고기압성 순환뿐 아니라, 북부의 저기압성 순환도 강한 계절적 변동성을 갖습니다. 또한 중 규모 변동성을 갖는 해류들도 존재하는 것이 동해 해류의 특징입니다. 예를 들면, 여름철 리만-북한 한류 시스템과 대륙연안을 따라 남하하는 경압성 해류나, 겨울철 북한한류와 대륙 사이에 형성되는 counter current와 dipole의 소용돌이 등”이라고 답하였다. 그 근거로는 Yoon and Kim(2009)와 Kim and Yoon(2010)을 들었다.

계절에 따른 해류의 변화를 나타내는 방식에 대한 물음(Part C의 Q7)에 대하여 기타 응답을 중복 포함하여 (1) 여름과 겨울 모식도로 구분을 선택한 응답자가 13명으로 가장 많았다. 기타 의견으로 C2 응답자는 “겨울철 바람 패턴이 매우 특별하기 때문에 여름철과 겨울철의 경우 특히 북쪽 해역에서의 해류가 크게 달라집니다. 그러나 남쪽의 경우에는 대한해협에서 들어오는 해류의 양상과 남부지역의 지역적 바람장의 특성, 그리고 밀도 구조 등 해류를 변화시키는 요인이 다양하기 때문에 계절적인 특성이 나타나기 어려울 것 같습니다.”라고 의견을 제시하였다. 문항 Q8은 해류를 표현하는 방식에 대한 질문으로 (2) 곡선의 폭으로 해류의 유량 표현, (5) 한류와 난류 구분의 항목을 각각 17명, 18명이 선택하여 곡선의 폭으로 해류의 유량을 표현하면서 한류와 난류를 구분하는 방식의 해류도를 가장 적합하게 생각하는 응답자가 많은 것으로 나타났다.

Part C의 Q9-1번에서 대마난류 2분지의 공식 명칭으로 적합한 것을 물었을 때 (2) 대마난류의 외해분지(OB)를 12명이 선택하여 가장 많은 선택을 받았다. 기타 의견으로는 C23 응답자의 “외국 연구자들의 명명을 고려해야함”이 있었다. 리만한류의 한국어 명칭(Q9-2)은 리만한류가 17명으로 리만해류보다 5명 더 많았고, 리만한류의 영어 명칭(Q9-3)은 (2) Liman Cold Current가 16명으로 가장 많은 지지를 받았다. Q10-1번은 표층 해류와 심층 해류를 함께 표시하는 안에 대한 질문으로 (2) 심층 해류도(Table 3의 B16)를 따로 제시하지는 항목에 14명의 응답자가 답을 하여 가장 많은 선택을 받았다. 반면에 C2 응답자는 모식도가 복잡해지지 않는 범위에서 함께 표기하는 것이 이상적이라고 밝혔다. Q10-2번 심층 해류 표현 방식은 (1) 표층 해류와 다른 색으로 표현이 9명, (2) 표층 해류는 실선, 심층 해류는 점선으로 표현이 10명으로 거의 비슷하게 나타났다. 또한 Q10-1번에서는 C25 응답자가, Q10-2번에서는 C11 응답자가 심층 해류를 표시하기에 아직 신뢰성 있는 연구가 부족하다는 축적되지 않았다는 기타의견을 제시하였다.

해류도 제작에 관한 종합적인 의견에는 C25 응답자의 “제한된 정보로 너무 많은 것으로 제시하거나 규정하려는 것으로 보임. 모델연구가 아닌 관측 자료를 더 많이 확보하여 제시한 것이 필요할 것으로 보임.”, C26 응답자의 “본 설문에서 제시된 해류도가 비교적 평균적인 동해의 해류를 잘 반영한다고 생각합니다. 다만 경년 변동이 심한 것을 감안하여 동한난류의 복상 한계를 어떤 범위로 표현하는 것은 어떻게 생각합니다.” 등이 있었다.

동해 해류도 제작에 있어서 이 설문조사는 자료조사와 의견 수렴의 끝이 아니라 토론의 발판으로 삼아 이후 토론 과정을 진행하였다. 해양학을 전공한 학자라 하더라도 전공분야가 달라 해류에 관하여 깊은 지식을 갖고 있지 않다면 답하기 어렵고 전문가들도 설문에 참여하기 위해서는 수 시간 동안의 공부 후에 답할 수 있는 고난이도 설문이어서 응답자 수가 절대적으로 부족해 보일 수 있다. 한 설문자의 예를 들면 이 설문조사의 필요성을 인지하고 10분가량 소요됨을 예상하여 설문조사에 응답을 시작하였지만 두 번째 문항에서 응답에 어려움을 느끼고 개인적으로 수 시간을 투자하여 다시 학습한 후 겨우 응답을 마칠 수 있었다고 한다. 단순히 의견을 묻고 다수결에 의해 결과가 결정되는 일반적인 설문조사와는 달리 이 설문조사는 관측자료와 응답자 개인의 축적된 과학적 지식을 동원하여 논리적으로 의견을 제시하고 답해야 하며 근거와 참고문헌까지 제시하여야 하는 문항으로 이루어져 있어서 응답자들의 열의가 뒷받침되어야 진행될 수 있었던 것으로 판단된다. 설문 결과 중에서도 논문이나 관측자료 등 근거 자료를 제시한 응답자에게 보다 큰 비중을 두어 해류도 제작에 반영하였다. 이와 같이 설문지 문항의 어려움에도 불구하고 열의를 가진 여러 전문가들이 적극적으로 참여하여 동해 해류에 대한 지식을 모을 수 있었고, 소수의 응답 인원에도 불구하고 수집한 의견들은 질적으로 매우 우수한 것으로 평가된다.

해양학계 의견 수렴결과

Fig. 17d에 있는 제 4차 해류도 수정안이 생산된 상태에서 여러 해양학자들의 의견을 청취하기 위하여 2013년 5월 24일 한국 해양학회의 춘계 학술발표회에서 “동해, 황해, 북서태평양 순환과 해류(모식)도”라는 이름으로 특별 세션을 개설하였다. 이 세션에서는 우리나라 주변해의 해류에 대한 다양한 연구결과들이 제시되었는데 중등학교 과학교과서의 동해 해류도 분석과 해류도 제작에 대한 제언과 동해와 북서태평양 해류도 초안 작성에 관한 연구진의 보고가 있었으며, 이어서 국립해양조사원 해류제작 활동, 북서태평양 순환 모식도와 모델결과, 대마난류의 계절 변동성, 황해-동중국해의 해양순환과 해류: 관측 중심, 동해 평균 표층 해류 및 계절 변동, Geostationary Ocean Color Imager(GOCI) 자료를 이용한 한반도 주변해역 해류벡터도 작성에 관한 주제 발표가 3시간에 걸쳐 이루어졌다. 이후 토론회에서는 해양학자들의 자유로운 의견 교환과 열띤 토론으로 이어졌다. 토론회의 내용을 Table 6에 요약하였다. 토론회 발언자는 편의상 D1-D10으로 나타냈다.

해양학자 D1은 해류도 생산할 때 표층들개 자료가 중요하며 우리나라에서 만든 해류도가 국제적으로 공인받을 수 있도록 노력해야 한다고 밝혔고, D2는 해양학의 저변을 확대하기 위하여 이 토론회와 같은 논의가 꼭 필요하다는 의견을 제시하는 등 해류도

Table 6. Contents of major comments on a proposed oceanic current map of the East Sea during the 2013 spring meeting of Korean Society of Oceanography

Scientist	Comments
D1	•Drifter 자료가 중요. •우리나라에서 만든 해류도가 국제적 공인 받을 수 있도록 노력
D2	•해양학의 저변을 넓히기 위해 이와 같은 논의가 꼭 필요
D3	•비전문가 및 학생들을 위해 통일된 해류도 필요. 전문가를 대상으로는 아직 알려지지 않은 부분에 대하여 표시. 정부의 협조와 학회의 협의 필요
D4	•교과서에 실을 수 있는 표준화된 해류도는 필요하며 어렵지 않게 만들 수 있음 •전문가를 대상으로 할 때 통일된 해류도를 만드는 예는 다른 나라에서 잘 못 봤음
D5	•공인된 해류도 무의미
D6	•해양조사원에 해류도 관련 민원이 많이 들어오지만 해류도를 제시하는데 어려움 •해양 물리학자들의 협조 필요
D7	•평균 해류도와 순환도의 개념 차이를 이해해야 함
D8	•관측으로부터 얻은 해류 벡터와 순환 모식도(schematic map) 사이의 정의를 정확히 해야 함 •모델의 결과는 관측이 뒷받침되어야 함
D9	•모식도라는 말이 일반인에게 어려워 쉬운 단어 사용을 제안
D10	•일본과 중국에서 이미 이루어 놓은 일로 이번 기회에 통일된 해류도 결실을 이루어야 함

제작의 필요성을 강조하였다. D3은 비전문가와 학생들을 위한 통일된 해류도가 필요하지만, 전문가를 대상으로 하는 해류도도 어떤 식으로든 만들어지는 것이 좋겠다고 하였으며 이를 위해서는 학회 내에서의 협이가 지속적으로 이루어져야 하며 정부의 협조가 필요하다고 하였다. 해양학자 D4는 교과서에 실을 수 있는 표준화된 해류도는 필요하지만, 전문가를 대상으로 하는 통일된 해류도를 만드는 예는 다른 나라에서 보지 못했다는 의견을 밝혔고, D5 역시 공인된 해류도는 무의미하다 의견을 제시하여서 복잡한 동해의 해류를 통일하자는 의견에 부정적인 입장을 보였다. 이에 대해 D6은 해양조사원과 같은 국가기관에 해류도와 관련된 민원이 많이 발생하지만 마땅한 해류도를 제시하는 데에 어려움이 많고 조속히 해류도가 완성되어 일반인들의 수요에 부응할 수 있도록 해양학자들의 협조가 필요하다고 피력하였다.

해류도의 이름에 대한 토론도 이어졌는데 D7은 평균 해류도와 순환도의 개념 차이를 이해하는 것이 중요하다고 하였으며, D8도 관측으로부터 얻은 해류 벡터와 순환 모식도 사이의 정의를 정확히 해야 하며 모델의 결과보다 현장(*in-situ*) 해류 관측이 뒷받침되어야 한다고 하였다. 또한 D9는 모식도라는 말이 일반인에게 어려울 수 있으니 쉬운 단어의 사용을 제안하였다. D10은 일본과 중국에서 이미 이루어 놓은 일로 이번 기회에 통일된 해류도 결실을 이루어야 한다는 의견을 제시하였다. 이 외에도 많은 해양학회 회원들의 발언이 있었다. 대체적으로 교과서를 위한 통일된 해류도 제작의 필요성과 시급성에는 동감하나, 전문가 혹은 과학 연구를 위한 해류도를 통일하는 작업에 대해서는 좀 더 논의가 필요하다는 의견이 주를 이루었다. 중등과학 교과서의 해류도가 가지는 문제점에 대해서는 참석한 모든 해양학자들은 해류도를 통일할 필요가 있다고 충분히 공감하였으며 시급히 시행하는 것이 좋다는 의견을 제시하였다.

또한 용어에 관해서도 해류도 및 해류 모식도 또는 해수 순환도라는 다양한 명칭이 학자들 사이에서 거론되었으나 중등과학 교과서는 교육과정을 반드시 따라야하고 교육과정 내에 있는 용어를 사용하여야 하기 때문에 모식도라는 이름보다는 해류도라는 용

어를 사용할 수밖에 없다는 사실에 대부분의 학자들은 동의하였고 이 연구에서 ‘해류도’로 사용하기로 결정하였다.

전문가 서면지문 결과

설문조사와 해양학회 특별 토론회를 통해 해양학자들의 의견을 수렴하여 Fig. 17e와 17f에 제시한 두 개의 해류도로 서면 지문을 실시하였다. 총 12명의 해양과학자들에게 지문을 요청하였고 이 중에서 6명이 응하였다. 이들의 지문 내용을 크게 동해 북부, 동해 남부로 나누어 분석하였으며 기타 표현 방식, 가장 적절하다고 생각되는 해류도에 대한 제안, 그리고 기타에 자유롭게 의견을 개진한 내용도 Table 7에 요약하였다. 6명의 해류전문 해양학자들의 편의상 E1-E6으로 나타냈다.

우선 극전선 이북의 동해 북부 해역의 해류에 대하여 최종 후보군에서 북한한류와 리만한류를 나누어 연안에 근접하여 남하하는 것으로 표현하였는데, 이에 대해 해양학자 E1과 E2는 북한 연안으로 흐르는 해류와 블라디보스톡 남쪽으로 소규모 표층 순환을 이루는 해류를 나누어 표현해야 한다고 지적하였다. E3 역시 동해 북부에서 반시계 방향의 순환을 제시하지 않을 경우 일반인들이 일본 분지 내에 순환이 없는 것으로 착각할 우려가 있다고 하였다. 또한 E2는 동해 북부에 소규모 순환을 넣지 않을 경우 북한한류와 리만한류를 매우 가깝게 연결해야 한다고 의견을 제시하였다. 이와 유사하게 E4도 리만한류와 북한한류는 반드시 서로 분리할 필요가 없다고 주장하였다. 이에 대해 나머지 해양학자들은 수정본에 대하여 대체로 동의하였다.

북한한류의 경우 E3은 북한한류가 동한난류와 합류하는 해역에서 동한난류가 이안할 때 북한한류도 일부 이안하는 것을 짧게 표시하는 것이 좋다고 제안하였으며, 북한한류가 동한난류 하부에서 연안을 따라 남하하는 현상을 점선 등으로 표시하는 안을 제시하였으나 다른 전문가들은 다른 의견을 제시하지 않았다.

동해 남부에서의 동한난류에 대하여 E5는 대한해협 서수도를 통과하는 표층물개는 전체의 약 20% 내외이며 7차 수정안(Fig. 17g)에 표현된 동한난류의 경로는 일반적인 경로는 아니라고 주장

Table 7. Summary of comments by oceanographers of an advisory committee for oceanic current map in the East Sea

Topic	Comments	Scientist
동해 북부 순환	• 블라디보스톡 남쪽으로 표층 흐름이 존재하므로 러시아 연안을 따라서 흐르던 흐름이 북한 연안으로 흐르는 해류와 블라디보스톡 남쪽으로 아마도 천되 쪽으로 흐르는 해류로 나뉘어지는 것으로 표현되어야 함	E1
	• 북쪽 LCC와 NKCC를 연결하지 않는 것은 블라디보스톡 남쪽에 소규모 순환을 넣는 경우인데, 이 그림에서는 동해 북부의 작은 순환이 없기 때문에 LCC와 NKCC를 매우 가깝게 연결하긴, 아래 그림과 같은 북부의 소규모 순환을 넣어주는 것이 좋음	E2
	• 동해 북부에서는 boundary를 따른 리만한류와 북한한류만 표시되어 있어 일반인들이 boundary를 제외한 일본분지 내에는 순환이 없는 것으로 착각할 우려가 있음.	E3
	• 반 시계 방향 순환의 존재가 적절하게 표시될 필요가 있음.	
북한 한류	• LCC와 NKCC를 반드시 분리하여야 할 필요가 있는지? 해류명이 달라 분리하였다면 TWC와 EKWC도 분리하여 표현해야 함.	E4
	• 동한난류와 북한한류 confluence 해역에서 동한난류 이안 시 북한한류도 일부 이안하므로 푸른색 화살표가 이를 짧게 표시하는 것이 좋을 것 같음.	E3
	• 북한한류가 동한난류 하부에서 연안을 따라 계속 남하하는 것도 점선 등으로 표시할 것인지는 자체 결정하시기 바람.	
동해 남부	• 그림 f, g에 그려진 EKWC는 서수도를 통과한 뜰개의 약 20% 내외로 일반적인 경로는 아니라고 생각됨.	E5
	• OB를 굵게 그리고 EKWC로 명명 하고 EKWC로 되어있는 해류는 가늘게 그리고 아극전선(subpolar front)으로 표현하는게 적당	
	• (f)의 경우 일반인에게 모드라는 개념으로 표현했을 때 동한난류는 항상 두 개의 큰 해류로 구분 이 안하여 동쪽으로 흐르는 것으로 인식할 가능성이 있음.	E4
	• 동한난류의 separate latitude가 너무 북쪽임.	
대마난류의 일본연안 분지	• 울릉도 북쪽 위도 38도 부근에서 이안 후 울릉도 주변을 시계방향으로 사행하면서 울릉 난수성 소용돌이를 만듦. 이 첫 번째 사행이 가장 amplitude가 큼.	E3
	• 이를 고려할 때 동한난류 관련해서는 참고자료 (a)가 가장 유사해 보이며, 단지 동한난류 이안 위도는 다소 낮출 필요가 있음.	
	• 일본 연안을 따라 흐르다 수가루 해협을 통해 나가는 TWC 자체가 여름철에만 관측되는 해류이기 때문에 OB로 명명된 것은 의미가 약하다고 사료됨.	E5
	• TWC는 가늘게 가능하면 점선으로 그리기.	
대마난류의 외해분지	• 선택을 해 달라고 요청한 두 개 해류도에서는 OB가 너무 과장되어 있음.	
	• OB는 그 존재는 동해 남서부에서 확실하게 인지되지만 유로(path)의 변동성이 큰 것으로 알려져 있고, 북동진하면서 동한난류의 사행 및 NB와의 interaction이 일어남.	E3
	• 전반적으로 모르는 내용이 많은데 해류도에서는 굉장히 강조되어 있음. 존재 여부 정도만 표시하는 것이 좋을 것 같음(참고도 (a), (b)와 같이).	
해류도와 순환도	• 동해 남서부의 경우 표층 해류는 소용돌이 유무, 대한해협 쪽의 해황에 따라 해류 축의 공간적 변화가 있기 때문에 평균해류도는 현상에 대한 상징적 표현도 포함하여야 할 것	E4
	• 해수순환도와 해류도는 조금 차이가 있다고 봄. 순환도는 모두 연결하는 것이 일반적임. 지금 표현하는 것은 표층해류 모식도이고 심층 해류도를 함께 표시한 순환모식도 작성도 권장함(예, Minoura et al., 2012, Deep-Sea Res)	
	• 화살표의 굵기가 아마도 각 해류의 세기(수송량? 유속?)를 표현하는 것 같은데, 아직 밝혀진 내용이 많지 않은데(동한난류와 NB의 수송량 차이, NKCC/LCC 수송량 혹은 유속 등등) 너무 과장되어 있음.	E3
	• 해류명에 'warm', 'cold'를 빼는 경향도 있음. Tsushima Warm Current를 Tsushima Current, LCC를 LC 등	E4
표현	• 일반인들을 위한 것이면 해류의 이름도 한글로 표시	
	• 해류 이름에서 일본 연안을 따른 북동향류를 TWC(대마난류)로 표기하였는데, 대마난류는 대한해협으로 유입되는 해류를 일컫고, 동해 유입 후 분지가 되며, 일본연안을 따른 분지는 Nearshore Branch로 불림.	E3
	• 대한해협의 붉은색이 시작되는 부근에 대마난류를 표시하고, 일본 연안을 따른 분지는 Nearshore Branch(연안분지)로 표시할 것을 제안함.	
기타 의견	• 현재 모식도는 변동이 심하여 평균장을 제대로 정의하기 어려운 동해 남부지역에 집중	E1
	• 지난 15년간의 350여개의 뜰개 궤적을 분석한 결과 그림과 같은 해류도를 얻음. 여기에 그린 해류는 비교적 강한 해류(30 cm/s 이상)가 많이 취한 궤적을 따라 그림. 참고로 지금 추진되고 있는 동해 책자에 수록될 해류도(전문가용?) 첨부함.	E5

하면서 대마난류의 외해분지를 굵게 그린 후 이를 동한난류로 명명하고 현재 동한난류로 표현된 해류는 보다 가늘게 그리며 아극전선(Subpolar Front)을 표현하는 것이 좋겠다고 제안하였다. E4

는 7차 수정안(Fig. 17f)에서의 동한난류를 표현하는 방식은 일반인들이 동한난류는 항상 두 개의 큰 해류로 구분되어 동쪽으로 흐르는 것으로 인식할 가능성이 있음을 우려하였다. E3은 동한난류

의 이안하는 위도가 현재 너무 북쪽으로 표현되어 있다고 하였다. 또한 동한난류는 울릉도 북쪽 위도 38°N 부근에서 이안 후 울릉도 주변을 시계방향으로 사행하면서 울릉분지의 난수성 소용돌이를 만드는데 이 첫 번째 사행의 진폭이 가장 크므로 이를 고려할 때 1차 수정안(Fig. 17a)이 가장 적절해 보이며, 단지 동한난류의 이안 위도를 다소 낮춰야 한다고 주장하였다. E5는 일본연안분지는 여름철에만 관측되는 해류이므로 대마난류의 한 분지로 명명하는 것은 의미가 약하다고 사료되며, 일본연안분지를 가는 점선으로 표현하는 것을 제안하였다. 대마난류의 외해분지를 두고, E3은 6, 7차 수정안(Fig. 17e, f)이 너무 과장되어 있으며 그 존재는 확실히 인지되지만 동한난류의 사행 및 대마난류의 외해분지와 상호작용을 하는 등 경로의 변동성이 크며 아직까지 전반적으로 밝혀지지 않은 내용이 많으므로 1, 2차 수정안과(Fig. 17a, b) 같이 존재 여부 정도만 표시하는 것이 좋을 것 같다는 의견을 제시하였다.

해류도를 표현하는데 있어서 E4는 동해 남서부의 표층 해류는 소용돌이 유무와 대한해협 쪽의 해황에 따라 해류 축의 공간적 변화가 있기 때문에 평균해류도는 현상에 대한 상징적 표현도 포함하여야 한다고 하였다. 또한 ‘순환도’는 모두 연결하는 것이 일반적이므로 해수순환도와 해류도는 조금 차이가 있으며 현재 제작 중에 있는 동해 해류도는 표층 해류도이므로 Minoura *et al.*(2012)와 같은 심층 해류도도 함께 표시할 수 있는 순환모식도를 작성하기를 권장하였다. E3은 동한난류와 일본연안분지의 수송량 차이, 북한난류와 리만난류의 수송량 혹은 유속 등 아직 밝혀진 내용이 많지 않는데 화살표의 굵기가 각 해류의 세기(수송량 혹은 유속)를 표현한 것이라면 너무 과장되어 표현되었다고 하였다.

해류의 명칭에 대해서도 의견을 모은 결과, E3은 일반인들을 위한 해류도에서는 해류의 이름을 한글로 표시할 것을 제의하였다. 또한 7차 수정안(Fig. 17g)에서 “일본 연안을 따른 북동향류를 TWC(대마난류)로 표기하였는데, 대마난류는 대한해협으로 유입되는 해류를 일컫고, 동해 유입 후 분지가 되어 일본연안을 따른 분지는 Nearshore Branch이기 때문에 대한해협의 붉은색이 시작되는 부근에 대마난류를 표시하고, 일본 연안을 따른 분지는 Nearshore Branch(일본연안분지)로 표시할 것을 제안”하였다. E4는 최근 해류명에 ‘warm’, ‘cold’등을 빼는 경향도 있다는 것을 언급하여 해류 명칭에 대한 재고를 당부하였다.

제시한 해류도 중에서 E1, E4, E6은 Fig. 17(g)가 7개의 해류도 중에 가장 적절하다고 생각된다고 하였으나 E1은 현재 해류도는 변동이 심하여 평균장을 제대로 정의하기 어려운 동해 남부지역에 집중되어 있다고 보고하였다. E5는 표층들개 궤적을 분석한 결과를 제시하였고 E2는 현재의 해류도에 심층 해류도 부분적으로 그리는 것이 바람직하다는 의견을 제시하였다.

지문의견을 반영한 동해 해류도

앞서 분석한 바와 같이 동해 물성연구와 해류 연구와 관련된 연구 결과들에서 동일한 현상에 대해서 유사한 견해를 가진 학자들도 있는 반면에 서로 상이한 의견을 제시한 학자들도 있었다. 이러한 서로 다른 관점은 그 동안 동해 관측이 간헐적이고 제한적으로 이루어져 해류도에 나타낼 만큼 해류 관측 자료가 충분히 축적되지 않았기 때문에 발생한 것으로 보인다. 또한 동해 순환은 계절적 변동성과 경년 변동성이 매우 강하기 때문에 다양한 공간

적 변화를 보이는 극전선 이남에서는 해류를 나타내기 더욱더 난해할 가능성이 있다. 따라서 최종 자료회의에서 나온 의견을 바탕으로 Fig. 17g를 다시 수정하고, 과학자들의 의견이 해류 관측 자료나 논문에 근거하지 않을 경우 연구진의 토의와 문헌 검토과정을 거쳐 다시 한 번 더 수정하여 최종 해류도를 확정하였다.

1. 해류도 명칭

해류도의 제목으로 동해 해류도, 동해 해수순환도, 동해 해류 모식도, 동해 표층해류 모식도 등 다양한 명칭들이 제안되었다. 앞서 언급한 바와 같이 이 연구의 주요한 목적이 일반인과 중등과 학교과서에 제시할 해류도를 확정하기 위함이기 때문에 현행 교육과정에서 채택한 용어를 사용하는 것이 바람직하다. 현행 교육과정에는 바닷물의 지속적인 흐름을 나타내는 그림을 해류도로 정의하고 있다. 해류모식도라는 용어는 일반인과 중등학교 학생들에게 생소하므로 모식도란 용어는 일단 사용하지 않기로 결정하였다. 또한 해수순환도란 용어도 제안되었는데 이 역시 교육과정에서 해류도라고 명시되어 있어서 선택하지 않았다. 따라서 이 연구에서 다루고 있는 동해 해류는 주로 표층 해류이나 중등과정에서 채택하고 있는 용어를 고려하여 이 해류도의 최종 명칭은 ‘동해 해류도’로 정하였다.

2. 해류 명칭

중등과학교과서에 사용되는 해류의 명칭(Table 3의 B14)은 한글로 표기하는 것이 바람직하다. 그러나 이 연구 결과에서는 해류 명칭을 일단 영어로 기재하기로 하며, 중등학교용은 한글로 별도로 표기하기로 하였다. 대마난류의 명칭과 삽화 상의 위치에 대해 언급한 자문 내용을 고려하여 Fig. 18에서 대한해협 유입 직전에 ‘TWC’를 표기하였으며 제 7차 수정안에 ‘TWC’라고 표기한 곳에서는 대마난류 일본연안분지의 약어인 ‘NB’를 표시하였다. 또한 대화퇴 가까이 표기한 ‘EKWC’에 대해서 동한난류가 대마난류의 한 분지이고 남쪽에서 북상한 대마난류와 결합되는 경우도 있으므로 적절치 않은 것으로 판단하여 삭제하였다.

극전선 이북에 표시한 러시아 연안을 따라 남하하는 해류는 학자들마다 논문마다 리만해류(Liman Current, LC), 리만난류(Liman Cold Current, LCC)로 서로 혼용하여 사용하고 있다. 영어로 된 논문에서는 Liman Current라는 용어를 사용하는 빈도가 우세하나(Uda, 1934; Holloway *et al.*, 1995; Martin and Kawase, 1998; Riser *et al.*, 1999) 한글로 표기된 논문에서는 리만난류란 표현이 더 우세한 것으로 나타났다. 예를 들면 국내 논문 Park *et al.*(2011)은 리만해류, Choi and Wang(1997), Suh *et al.*(1999), Kim and Kim(2000)는 리만난류라고 명명하였고 앞서 요약한 바와 같이 일련의 토론 과정에서 리만난류가 우세하게 나타나서 동해 해류도에서는 ‘Liman Cold Current’라고 표시하였다. 해양과학 용어사전(Korean Society of Oceanography, 2005)에는 리만해류라고 표기되어 있다. 또한 북한해류에 대해서 국문 영문 모든 논문들에서는 북한해류라고 하지 않는 것으로 나타났다. 영문 명칭에 있어서도 해양과학용어사전에서는 북한해류를 ‘North Korea Cold Current’로 동한난류는 ‘East Korean Warm Water’로 각각 다르게 표기하고 있어서 수정이 필요하다고 판단된다. 이 연구에서는 북한해류와 동한난류의 영문 명칭을 ‘North Korea Cold

Fig. 18. The ocean current map of the East Sea corrected with the assistance of comments from oceanographers on the map shown in Fig. 17g.

Current'와 'East Korea Warm Current'로 각각 사용하였다.

극전선 이남의 해류의 명칭에 대해서는 거의 모든 국영문 논문들이 대마난류(Taushima Warm Current; TWC)와 동한난류(EKWC)라고 표현하며 대마해류 혹은 동한해류라고 표현하지 않았다. 영문 이름들에서도 극전선 이남의 난수지역 해류들에 대해서는 모두 'warm'이라는 물성의 일부를 표현하고 있다. 따라서 한류도 난류와 형평을 맞추기 위하여 이 연구에서는 한류인 경우 'cold'라는 표현을 유지하는 것이 타당하다고 판단하였다. Fig. 18에서 보는 바와 같이 'warm'과 'cold'를 넣어서 리만한류와 북한한류, 영문으로는 LCC와 NKCC라고 해류를 명명하였다. 각각에 대한 약어는 Fig. 18의 좌측 상단에 알파벳 순서로 표시하였다.

3. 일본분지 중심층 해류

수치모델로 동해 순환을 모사한 결과들은 극전선 이북 일본분지 내에는 표층부터 심층까지 반시계방향의 순환이 뚜렷이 재현됨을 보여주었다(e.g., Yoon, 1991; Yoon and Kawamura, 2002). Senju *et al.* (2005)은 일본분지 내에 심해 계류부이를 설치하고 유속 자료를 생산하여 분석한 결과도 반시계방향의 순환을 명확히 제시하였다. Park and Kim (2013)은 ARGO 자료를 이용한 동해북부 일본분지 700-800 m 중층에 반시계방향의 순환이 존재한다고 보고하였다. 그러나 일본분지내의 표층 순환에 대한 관측은 매우 제한적으로 이루어져왔다. 앞서 토론과정과 자문 결과에 의하면

일본분지내의 해수 순환을 넣지 않게 될 경우 중등학교 학생들이 지나치게 단순화된 동해 해류를 학습하게 될 경향이 있다고 우려를 표시하였다. 따라서 이 연구에서는 여름철을 제외하면 일본분지의 물성은 수직적으로 큰 변화가 없는 상태를 유지함을 고려하여 표층 순환을 표시하기로 결정하였고 Fig. 18에 제시한 바와 같이 중층과 심층의 해류도 포함할 수 있으므로 회색으로 해수 순환을 표시하였다.

엄밀히 말하자면 일본분지내의 반시계방향으로 순환하는 해수의 일부는 울릉도 동쪽에서 울릉분지를 향하여 남하하는 경향이 있는데 이는 그 동안의 심층 계류부이시스템을 통하여 수차례에 걸쳐 관측되고 보고된 바 있다(Chang *et al.*, 2002). 그러나 이들이 해류도에 표현하기에는 너무 지역적인 현상인 것으로 판단되어 이 부분은 생략하기로 하였다. 또한 일본분지에서 야마토분지로 연결되는 중층 이하의 흐름도 존재하는데(Senju and Sudo, 1993; Senju and Sudo, 1994) 이 역시 동일한 이유로 생략하는 것이 타당하다고 판단된다.

4. 북한한류

자문 내용 중에 리만한류와 북한한류가 서로 분리되어 있지 않게 붙여서 표현하라는 제안이 있었다. 여름철 표층뜨개 자료와 논문들을 보면 리만한류가 블라디보스톡 인근에서 분리되지 않고 북한 연안을 향하여 연속적으로 남하하는 것을 볼 수 있다(Nishida, 1935; Nishida, 1936; Nishida, 1938; Nishida, 1942; Park *et al.*, 2006). 여름철 표층뜨개 궤적을 따르면 두 해류가 연결되도록 하는 것이 바람직하지만, 기존 해류도들을 조사해보면 상당히 많은 수의 논문에서 서로 분리되도록 표현하고 있다(Lee, 1999; Holloway *et al.*, 1995; Choi *et al.*, 2004). 특히 겨울철 블라디보스톡을 통한 강한 북풍계열의 바람이 불어 올 경우 리만한류는 북한한류와 분리되어 존재한다(Yoon and Kawamura, 2002). 따라서 이 연구에서는 두 한류시스템이 간헐적으로 연결되는 것으로 보고 파란색 점선으로 연결하여 표현하였다(Fig. 18).

북한한류가 남하하면서 동한난류와 만나 일부 동쪽으로 이동하는 해수의 흐름이 있다는 지적에 따라 Fig. 18에 북한한류로부터 동진하는 작은 파란색 화살표를 연결하였다. 또한 북한한류가 동한난류와 만난 후 동한난류 아래로 파고들어 남하하고 동해안에 냉수가 간헐적으로 나타난다는 기존 연구결과들(Lie, 1984; Lie and Byun, 1985; Min, 1994; Yun *et al.*, 2004; Kim *et al.*, 2009)과 자문 내용을 고려하여 이 연구에서는 파란 실선으로 표시한 북한한류의 남쪽 선단에 회색 점선을 연결하여 한국 연안을 따라 중층으로 남하하는 북한한류계수를 표현하였다(Fig. 18). 중층과 심층의 해류도 일부 대변할 수 있도록 회색을 사용하였고, 몇몇 연구 논문들(Kim and Kim, 1983; Cho and Kim, 1994; Kim, 1999; Yun *et al.*, 2004)에서 이 한류를 발견하여 보고하고 있으나 발생 횟수가 빈번하게 변하고 유동적인 양상을 보이기 때문에 점선으로 표현하였다. 점선은 대마난류의 외해분지의 경우에도 적용하였는데 이는 공간적 변동성이 심함을 표현한 것이다(Fig. 18).

5. 동한난류의 이안

동한난류가 연안에 근접하여 북상하도록 한 것에 대해서 자문 위원들은 아무런 의견도 제시하지 않아 동한난류는 비교적 만족

스럽게 도시된 것으로 판단된다. 동한난류의 북상한계에 대해서 37°N와 38°N의 이견이 있었고 제 7차 수정안에서 동한난류가 지나치게 북상하도록 그려졌다는 지적에 따라 모양은 유사하되 북방한계는 37.5°N로 보다 남쪽에서 이안하도록 조정하였다. 또한 한 자문위원은 동한난류가 울릉도 주변에서 다시 남하하여 난수성 소용돌이를 형성한다는 의견을 제시하면서 해류도 초안이 가장 적절하다고 재수정할 것을 요구하였다. 난수성 소용돌이(warm eddy)는 봄철 해수면온도 영상에 뚜렷이 표현되지만 마찬가지로 강한 계절적 변동을 가지고 있기 때문에 이에 대한 절충안으로서 동해안으로부터 이안한 동한난류가 울릉도를 선회하는 해역에 작은 화살표를 기입하여 소용돌이 순환을 표시할 수 있도록 하였다(Fig. 18).

6. 대마난류의 외해분지

동해 해류도의 논의 시작부터 최종 서면자문까지 가장 열띤 토론이 이어진 부분이 대마난류의 외해분지에 관한 내용이다. Fig. 17에 제시한 해류도 초안부터 제 7차 해류도까지 38°N 이남의 외해분지가 다양하게 표현되어 있는 것을 보면 상당한 변동성을 유추할 수 있고 학자들 사이에도 얼마나 많은 이견이 있었는지 쉽게 확인할 수 있다. 매번 토론회에 참석하는 과학자들의 견해에 따라 계속 조정이 이루어졌으나 최종 서면 자문과정에서 제 7차 해류도보다는 해류도 초안에 제시한 대마난류의 외해분지가 가장 적절하게 표현되었다고 수정하라는 권고를 받기도 하였다. 인공위성 해수면온도 영상자료와 해양조사원에서 제작·배포하고 있는 인공위성 고도계 기반의 해류도를 보면 극전선 이남에서는 강한 시간적·공간적 변동성이 발견된다(Kato, 1994). 이러한 심한 변동성으로 인하여 대마난류의 외해분지를 주요한 하나의 경로만으로 나타내기가 용이하지 않았다. 그 동안의 토론회 내용과 일련의 자문 내용들을 종합하여 동한난류의 일부가 36°N 부근에서 이안할 때 대마난류의 외해분지의 초기에는 실선으로 표시하고 이후 북동진하는 곳에서는 점선으로 표시하였다(Fig. 18). Fig. 18은 서면 자문 내용을 바탕으로 과학논문들을 다시 검토하여 제 7차 해류도를 수정한 것으로서 최종 동해 해류도를 완성하는데 활용하였다.

중등학교 교과서용 동해 해류도

Fig. 17의 동해 해류도에서 출발하여 해양학자들의 자문을 반영하여 Fig. 18과 같은 해류도를 작성하였으나 그 동안 동해에서의 해류 관측이 국지적으로 이루어져서 동해 전체 영역을 모두 망라하지 못하여서 자문에 응한 학자들의 과학적 지식도 관측자료 외 수치모델링이나 다른 자료를 통하여 형성되었을 가능성이 있다. 따라서 학자들의 관측과 지식에 한계가 있을 수 있어서 해양 관측에 바탕을 둔 국내외 논문들 결과를 재검토하여 Fig. 18을 수정하여 최종 동해 해류도를 작성하고자 하였다.

우선 리만난류와 북한난류 연결은 자문 내용과 같이 관측을 기반으로 한 논문들을 재검토한 결과 두 해류가 연결되기도 하고 분리되기도 하여 두 해류 사이를 점선으로 연결함으로써 간헐적으로 서로 연결되어 있음을 나타내었다. 북한난류는 동한만에서 지나치게 북한 연안으로 근접한 것으로 표현되어 있어서 1000 m 등수심선을 따라 남하하도록(Lee and Niiler, 2005) Fig. 18의 위치에서 동쪽으로 이동하였다(Fig. 19). 북한난류가 동한난류와 만나

는 부분에서는 한 지류가 동쪽으로 흘러가게 해야 한다는 자문 결과가 있었지만 지엽적인 해류로 간주하여 최종해류도에서는 생략하였다. 같은 이유로 동한난류와 만나서 중층으로 남하하는 북한난류도 삭제하였다.

동한난류는 한국의 동해안을 따라 북쪽으로 흐르다 약 37-39°N에서 이안하여 일부가 울릉도 주변에서 다시 남쪽으로 흘러 울릉 분지에 난수성 소용돌이를 형성하는데 봄철 인공위성해수면온도 영상에 뚜렷이 나타난다(Isoda and Saitoh, 1993). 그러나 이 역시 시·공간적 변동도 심하고 다소 지엽적인 해류로 판단하여 최종 해류도에서 삭제하였다(Fig. 19). 대마난류 외해분지는 동한난류로부터 약 36°N 부근에서(Suda *et al.*, 1932; Suda and Hidaka, 1932; Kawabe, 1986) 이안하나 Fig. 18에서 이보다 약간 북쪽에서 이안하는 것으로 표현하였기 때문에 위치를 약간 남쪽으로 조정하였다(Fig. 19). 또한 Fig. 18에서 일본연안분지는 실제보다 해류의 폭이 과장되어 있어 그 너비를 2/3 정도로 축소하였다.

기존 연구논문들(Fig. 3, 14)에서 대마난류가 홋카이도 서쪽에서 북상할 때 지나가는 경로를 조사한 결과 연안에 인접한 해류와 외해로 떨어진 두 개의 분지를 도시하고 있었다. 수치화된 해류도를 이용하여 44°N의 등위도선 상에서 대마난류가 지나가는 경로의 정도들을 조사한 결과 가장 많은 6종(A9, A11, A25, A26, A32, A33)의 논문이 140.4°E를 지나가는 것으로 도시하고 있었고 139°E(A4, A5, A17)에서 141.2°E(A4, A38)까지 다양하게 분포하였다. A4와 A38은 연안과 외해 두 개의 해류들 동시에 도시하여 계절변화를 표현한 것으로 보인다. 따라서 이 연구에서는 이들 경로의 정도값 평균을 구하여 대마난류가 홋카이도 연안을 지날 때 140.2°E를 따라 지나가도록 수정하였다. 또한 소야해협을 지나 태평양으로 나가는 해류는 Fig. 18에서 과도하게 사할린섬 방향으로 치우쳐 표현되어 있어 과학논문(A12, A14, A21, A30, A33 등)의 연구결과를 바탕으로 홋카이도 연안에 근접하여 동진한 후 연이어 남동진하도록 도시하였다(Fig. 19).

Fig. 18에서 연한 회색으로 표현한 일본분지 내의 반시계 방향 해류에 대하여 그 동안 중층과 심층에서는 ARGO 부유체 자료와 해류 관측자료를 비롯하여 수치모델(Yoon, 1991; Yoon and Kawamura, 2002)도 반시계방향의 흐름을 보고하였다(Senju *et al.*, 2005; Park and Kim, 2013). 동해 표층 순환을 조사하기 위하여 National Oceanic and Atmospheric Administration(NOAA)의 Atlantic Oceanographic and Meteorological Laboratory(AMOL)에서 제공하고 있는 인공위성 표층뜨개 자료를 이용하여 산출한 동해의 장기 평균한 표층 해류의 분포도를 활용하였다(Fig. 20). 이 자료는 바람에 의한 에크만 효과를 보정한 자료이기 때문에 바람에 의한 영향도 제거한 상태이며, 137°E, 42°N을 중심으로 일본분지 내의 반시계방향의 순환도 명확하게 나타내고 있다. 이 해류 자료는 모든 뜰개 자료를 활용하여 계산한 해류의 평균장이기 때문에 여름철 해류보다는 겨울철 블라디보스톡을 중심으로 남향하는 상대적으로 강한 해류가 잘 표현되어 있다. 이 해류장을 Fig. 18의 일본분지 내의 해류 양상과 비교해보면 Fig. 18이 서쪽으로 편향되어 있는 것을 알 수 있다. Fig. 3의 A8과 A14 등의 논문들도 역시 지나치게 서쪽의 해수 순환을 위주로 표시한 것을 볼 수 있는데, 이는 이 논문들이 중·심층의 순환을 표현하고 있기 때문으로 판단된다. 이 연구에서는 동해의 표층에 좀 더 가중치를 두

Fig. 19. The final version of the ocean current map of the East Sea integrating all expert comments, scientific results from current measurements, and scientific knowledge of oceanographers from a variety of journal articles based on in-situ current measurements.

Fig. 20. Spatial distribution of long-term averaged surface current (ms^{-1}) vectors in the East Sea from satellite surface drifters for the period of 1979-2012.

이 해류도를 작성하고자 하였기 때문에 Fig. 20에서 제시한 뜰개 자료에 의한 해류를 따르는 것이 더 적절한 것으로 보인다. 따라서 이 연구에서는 일본분지 내의 서쪽의 순환을 Fig. 18에서 도시한 것보다 경도 1° 정도 동쪽으로 이동하여 나타내었다.

결론 및 제언

중등 과학 교과서에서 해류도와 같은 대표적인 삽화는 학생들로 하여금 바다에 대한 관심을 가지도록 유도할 수 있고 우리나라 해류와 해양환경에 대한 이해를 고취할 수 있게 하는 중요한 역할을 한다. 그런데 오류를 포함한 교과서의 삽화는 학생들이 잘못된 과학적 지식을 습득하도록 하여 올바른 과학적 개념의 형성을 저해하는 요인이 되기도 한다. 그 동안 중등학교 과학 및 지구과학 교과서의 해류도들을 연구 논문의 결과들과 비교해 보면 널리 알려진 과학적 사실과 상당한 차이를 보이고 있어 중등학교 교과서를 위한 해류도 제작의 필요성이 대두되고 있었다.

그럼에도 불구하고 그 동안 학계에서도 각 연구자들의 목적에 따라 다양한 형태의 해류도를 작성하여 사용해 왔기 때문에 하나의 해류도를 제시하기 용이하지 않았다. 또한 해류 관측은 수온이나 염분 등 기본적인 해수 물성 관측에 비하여 상대적으로 적게 관측되었기 때문에 관측치를 바탕으로 한 해류도 제작의 어려움이 더욱 가중되었다. 동해의 일부 해역에는 계류부이가 설치되어 해류의 시계열 자료를 확보할 수 있었으나 이를 이용해 동해 전역의 해류의 분포도를 작성하기에는 자료가 턱없이 부족하였다. 또한 과학논문마다 사용한 해류 관측기기도 서로 달라 정확도 높은 해류도를 제작하기 매우 어려운 환경이 지속되었고 앞으로도 단기간 내에 동해 전체 해역을 망라하는 해류 관측은 요원한 상태이다. 이러한 문제점과 어려움을 해결하기 위하여 이 연구는 장기간에 축적된 과학논문들을 수집하여 분석하고, 오랜 경험과 연구로 동해 해류에 대하여 풍부하게 과학적 지식을 축적한 해양학자들을 활용하여 학계의 의견을 수렴을 통한 동해 해류도를 작성하고자 하였으며, 이를 토대로 중등학교 과학 교과서를 위한 통일된 동해 해류도를 제작하고자 하였다. 이를 위하여 현 시점에서 학계가 할 수 있는 해류도 제작 방법의 틀을 제안하고 실행하여 대표적인 동해 해류도를 제시하였다.

이 연구에서 제시한 동해 해류도는 여러 단계의 수정을 거치면서 학계의 의견을 수렴하였으나 한계점을 가지고 있다. 우선 동해의 해류는 경년변화와 함께 계절변동이 탁월하여 이를 단일 해류도에 반영하기 용이하지 않았다. 대표적으로 리만한류는 여름에는 블라디보스톡 앞 바다를 따라 북한한류까지 연결되어 남하하지만 겨울에는 강한 북서계절풍에 의하여 두 해류가 연결되지 않고 반시계방향의 환류를 형성한다. 이에 대하여 이 해류도에서는 리만한류와 북한한류의 연결 부분을 점선으로 표시하여 계절적 변화가 있음을 나타내기는 하였지만 하나의 해류도 안에 이러한 계절변화를 표현하기에는 어려움이 있었다. 또한 동한난류와 대만난류의 일본연안분지와 외해분지도 해류의 세기와 경로의 계절변동성과 경년변동성이 강하지만 해류도에는 평균적인 양상만을 반영할 수밖에 없었다. 따라서 이후 지속적인 해류 관측이 이루어져서 적어도 여름철과 겨울철의 2개의 동해 해류도가 제작되어야 계절에 따른 시간 변동성을 표현할 수 있을 것이다.

동해의 최대 수심은 약 3700 m에 달하기 때문에 표층과 중층 및 심층의 해수들은 서로 상호 작용하면서 순환하고 있다. 이 연구가 제시한 해류도는 주로 표층에 국한한 해류를 나타내고 있으나 중층 및 심층 해류도 역시 동해 순환의 주요한 요소이므로 향후 지속적인 관측으로 3차원 해류도를 작성할 필요가 있다. 중등학교 학생들도 지구온난화와 대양의 대순환과 더불어 작은 대양인 동해에서 일어나는 3차원 순환에 대해서도 흥미가 지대할 것으로 예상된다. 따라서 좀 더 지속적이고 집중적인 해류 관측이 이루어진다면 이를 토대로 동해 해류의 양상을 입체적으로 도시할 수 있을 것으로 사료된다.

동해 해류도의 표현 방식에 있어서 해저 지형의 중요성을 고려하여 수심 2000 m 등수심선을 먼저 그리고 그 위에 한류와 난류를 파란색과 빨간색으로 각각 표현하였다. 좀 더 정확한 해류도를 제작하려면 해류도 상에서 해류의 너비는 실제 해류의 폭에 비례하도록 도시하고, 해류의 세기는 푸른색과 붉은색 계통 내에서 색상의 명암이나 채도를 달리하여 표현하는 것이 바람직할 것이다. 그러나 앞서 언급한 바와 같이 현재 학계 수준을 감안하면 가능하지 않은 해역이 대부분이었기 때문에 이 연구의 해류도에서는 단일한 파란색과 빨간색 등 단순한 색상을 제한적으로 사용할 수밖에 없었다. 향후 많은 해류 자료가 축적되면 해류 세기의 변화를 색상의 변화로 표현하여 좀 더 발전적인 동해 해류도를 생산할 수 있을 것으로 기대된다.

중등학교 과학 교과서의 해류도에 많은 오류가 포함된 것은 사실이지만 집필진들도 과학논문이나 참고자료를 활용하여 심혈을 기울여 해류도를 제작하였을 것으로 추정된다. 이 과정에서 기존의 과학논문의 해류도들이 서로 다른 도법을 바탕으로 제작되어서 표준화되어 있지 않았기 때문에 교과서 해류도들은 몇 번의 교과서 집필 과정을 거치면서 실제 과학논문에 있는 해류도와는 상이한 해류도로 바뀌었을 가능성이 높다. 이는 해류를 도시화하는 과정에서 동해에 대한 과학적 지식이 부족한 일러스트레이터들이 해류도 제작을 주도함으로써 발생한 문제로 판단된다. 이러한 문제점에 대처하기 위하여 이 연구의 해류도들은 통일된 도법을 바탕으로 수치화된 위도 및 경도 좌표 정보를 동해 해류도 그림과 함께 웹사이트(<http://www.khoa.go.kr>)를 통하여 제공할 수 있기 때문에 다른 도법으로 언제든지 환산이 가능하다. 다양한 도법에 맞춰 난류와 한류의 위치 정보를 그려 밑바탕이 되는 교과서 해류도의 초안을 만든 후 이를 참고하여 일러스트레이터들은 다시 작업을 할 수 있을 것으로 기대된다. 향후 해당 분야의 전문가들은 각 교과서에서 제시한 해류도들을 철저히 검토하여 교과서에서 발견되는 삽화들의 과학적 오류들을 제거하는데 기여하여야 할 것이다.

과학의 발전과 교과서의 내용은 서로 간에 시간적 차이가 있을 수밖에 없다. 학계에서의 지식이 과도하게 빠른 속도로 발전해 나갈 경우 학생들은 오래된 과학적 사실을 학습할 가능성이 있다. 따라서 학계와 교육계의 유기적 연결이 필요하며 가능한 그 시간을 줄여나가는 것이 바람직하다. 이 연구에서 제시한 동해 해류도는 현재 국내의 논문을 바탕으로 한 과학적 지식의 현주소를 나타낸다. 학계에서는 연구를 기획하고 실행할 때 교육적 측면에서 중등학교 과학교육에의 효과도 고려하여 진행할 필요가 있을 것이다. 미래 해양과학을 위한 인재를 양성하기 위해서 학계는 학생

들의 해양에 대한 호기심과 관심 등 해양에 대한 정의적 특성을 지속적으로 유도할 수 있는 방안을 마련해야 하며 교육계의 수요에 관심을 가지고 신속하게 처리하여 지원하여야 하고 이 연구에서 다룬 해류도와 같은 교과서 삽화들을 좀 더 적극적으로 활용하여야 할 것이다.

이 연구의 동해 해류도에 대하여 여러 차례에 걸쳐 학계의 의견을 수렴하는 과정에서 비록 만장일치는 아니었지만 상당수 긍정적인 평가를 받았다. 연구 진행 초기에 대부분의 해양학자와 전문가들은 중등 교과서 해류도의 중요성에 대한 인식이 매우 저조하였다. 이후 연구 진행과정에서 접촉한 해류 및 해양 전문가들은 이러한 연구의 필요성에 대하여 충분히 공감하게 되었다고 표명하였으며 향후 진행과정에 대해서도 깊은 관심과 지지를 나타내었다. 앞으로 보다 정확한 해류도를 제작하기 위해서는 동해 전체 해역에 대하여 양질의 관측이 지속적으로 이루어져야한다. 이 연구에서는 학계의 현재 연구 수준을 고려하여 동해 표층 영역에 국한된 해류도를 제시하였지만 동해가 우리나라 주변 해역과 북서태평양의 해류와 연결되어 있으므로 황해 및 북서태평양 전체에 대해서도 교과서 해류도를 시급히 제작할 필요가 있다. 이 연구는 우리나라 주변해의 종합적인 해류도를 완성하기 위한 첫걸음이며 향후 교과서 해류도 완성을 위한 해양학자들의 관심을 촉진하는 계기가 될 것으로 기대된다.

사 사

이 연구는 해양 자료의 교육적 활용을 위하여 국립해양조사원 해류도제작 사업에 의해 지원되었습니다. 해양수산부의 EAST-1 사업에 의해서도 일부 지원되었습니다. 논문을 세밀히 심사해주신 두 심사위원님께 감사드립니다. 동해해류도 제작을 위한 토론회와 설문에 적극적으로 응해 주신 분들과 자문을 해 주신 모든 분들께 감사의 말씀을 올립니다.

참고문헌(References)

- Abraham, M.R., E.B. Grzybowski, J.W. Renner and E.A. Marek, 1992. Understanding and misunderstanding of eighth graders of five chemistry concepts found in textbook. *J. Res. Sci. Teach.*, **29**: 105–120.
- Arruda, W.Z., D. Nof and J.J. O'Brien, 2004. Does the Ulleung eddy owe its existence to β and nonlinearities?. *Deep-sea Res.*, **51**: 2073–2090.
- Ball, D.L. and S. Feiman-Nemser, 1988. Using textbooks and teachers' guides: a dilemma for beginning teachers and teacher educators. *Curriculum Inquiry*, **18**: 401–422.
- Bergmann, I., 2000. How to grasp environmental complexities? photographic narratives and environmental concept formation. *Australian. J. Environ. Educ.*, **15/16**: 9–16.
- Bryden, H.L., H.R. Longworth and S.A. Cunningham, 2005. Slowing of the Atlantic meridional overturning circulation at 25°N. *Nature*, **438**: 655–657.
- Chae, D.H., 2010. Pre-service secondary teachers' responses on definitions, illustrations, experiments of "adiabatic change" in Earth Science I textbooks. *J. Korean Earth Sci. Soc.*, **31**(7): 762–771.

- Chang, K.-I., M.-S. Suk, I.-C. Pang and W.J. Teague, 2000. Observations of the Cheju Current. *J. Korean Soc. Oceanogr.*, **35**: 129–152.
- Chang, K.-I., N. Hogg, M.-S. Suk, S.-K. Byun, Y.-G. Kim and K. Kim, 2002. Mean flow and variability in the southwestern East Sea. *Deep-Sea Res.*, **49**: 2,261–2,279.
- Chang, K.-I., W.J. Teague, S. Lyu, H. Perkins, D. Lee, D. Watts, Y. Kim, D. Mitchell, C. Lee and K. Kim, 2004. Circulation and currents in the southwestern East/Japan Sea: overview and review. *Prog. Oceanogr.*, **61**: 105–156.
- Cheong, C., 2009. An analysis of visual images in ‘global warming’ unit of secondary school environment textbooks. *Environ. Educ.*, **22**(3): 112–124. (in Korean with English abstract)
- Chian-Soong, B. and R.E. Yager, 1993. The inclusion of STS material in the most frequently used secondary science textbooks in the U.S. *J. Res. Sci. Teach.*, **30**: 339–349.
- Cho, Y.-K. and K. Kim, 1994. Two modes of the salinity minimum layer in the Ulleung Basin. *La mer*, **32**(3): 271–278.
- Cho, Y.-K. and K. Kim, 2000. Branching mechanism of the Tsushima Current in the Korea Strait. *J. Phys. Oceanogr.*, **30**: 2788–2797.
- Choi, B.H. and O. Wang, 1997. Modeling of Circulation for the East Sea Using Reduced Gravity Models. *J. Korean Soc. Coast. Ocean Eng.*, **9**(3): 105–114.
- Choi, B.-J., D.B. Haidvogel and Y.-K. Cho, 2004. Nonseasonal sea level variations in the Japan/East Sea from satellite altimeter data. *J. Geophys. Res.*, **109**: C12028, doi:10.1029/2004JC002387.
- Choi, B.-J., D.B. Haidvogel and Y.-K. Cho, 2009. Interannual variation of the Polar Front in the Japan/East Sea from summertime hydrography and sea level data. *J. Mar. Syst.*, **78**: 351–362.
- Choi, B.-J., D.-S. Byun and K.-H. Lee, 2012. Satellite-altimeter-derived East Sea surface currents: estimation, description and variability pattern. *J. Korean Soc. Oceanogr.*, **17**(4): 225–242.
- Choi, K.H. and S.J. Kim, 1996. The development of evaluating framework for a science textbook in a secondary school. *J. Korean Assoc. Res. Sci. Educ.*, **16**: 303–313.
- Choi, S.-I. and H.-H. Cho, 1987. An analysis of misconceptions about the concepts of cell-division, reproduction and fertilization in high school biology textbook I. *J. Korean Assoc. Res. Sci. Educ.*, **7**: 19–31.
- Danchenkov, M.A., D.G. Aubrey and K.L. Feldman, 2003a. Oceanography of area close to the Tumannaya river mouth (the Japan Sea). *Pacific Oceanogr.*, **1**(1): 61–69.
- Danchenkov, M.A., S.C. Riser and J.-H. Yoon, 2003b. Deep currents of the central Sea of Japan. *Pacific Oceanogr.*, **1**(1): 6–15.
- Driver, R., E. Guesne and A. Tiberghien, 1985. Children’s ideas in science. Open University Press, Philadelphia, USA, 208 pp.
- Fukudome, K.-I., J.-H. Yoon, A. Ostrovskii and T. Takikawa, 2010. Seasonal volume transport variation in the Tsushima Warm Current through the Tsushima Straits from 10 years of ADCP observations. *J. Oceanogr.*, **66**: 539–551.
- Gordon, A.L., C.F. Giulivi, C.M. Lee, H.H. Furey, A. Bower and L. Talley, 2002. Japan/East Sea intrathermocline eddies. *J. Phys. Oceanogr.*, **32**: 1960–1974.
- Gug, D.S., 2003. An analysis of 10th grade science textbook as an origin of misconception on greenhouse effect concept. *J. Korean Assoc. Res. Sci. Educ.*, **23**: 592–598. (in Korean with English abstract)
- Hase, H., J.-H. Yoon and W. Koterayama, 1999. The current structure of the Tsushima Warm Current along the Japanese Coast. *J. Oceanogr.*, **55**: 217–235.
- Holloway, G., T. Sou and M. Eby, 1995. Dynamics of circulation in the Japan Sea. *J. Mar. Res.*, **53**: 539–569.
- Ichiye, T. and K. Takano, 1988. Mesoscale eddies in the Sea of Japan. *La Mer*, **26**: 69–79.
- Ichiye, T., 1984. Ocean hydrodynamics of the Japan and East China Seas. Elsevier Oceanography Series 39, Amsterdam, Netherlands, 423 pp.
- Isoda, Y. and H. Yamaoka, 1991. Flow structure of the Tsushima Warm Current passing through the Tsushima Straits. *Bull. Coast. Oceanogr.*, **28**, 183–194.
- Isoda, Y. and S.-I. Saitoh, 1993. The northward intruding eddy along the east coast of Korea. *J. Oceanogr.*, **49**: 443–458.
- Itaki, T., K. Ikehar, I. Motoyama and S. Hasegawa, 2004. Abrupt ventilation changes in the Japan Sea over the last 30 ky: evidence from deep-dwelling radiolarians. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol.*, **208**: 263–278.
- Jo, G.-D. and C.-H. Hong, 2005. Descriptive physical oceanography. Pukyung National Univ. Books, Pusan, 323 pp.
- Kang, H.E. and Y.Q. Kang, 1990. Spatio-temporal characteristics of the Ulleung Warm Lens. *Bull. Korean Fish. Soc.*, **203**: 407–415.
- Kang, Y.S., S. Jung, Y. Zuenko, I. Choi and N. Dolganova, 2012. Regional differences in the response of mesozooplankton to oceanographic regime shifts in the northeast Asian marginal seas. *Prog. Oceanogr.*, **97**: 120–34.
- Katoh, O., 1994. Structure of the Tsushima Current in the southwestern Japan Sea. *J. Oceanogr.*, **50**: 317–338.
- Katoh, O., K. Teshima, K. Kubota and K. Tsukiyama, 1996. Downstream transition of the Tsushima Current west of Kyushu in summer. *J. Oceanogr.*, **52**: 93–108.
- Kawabe, M., 1982. Branching of the Tsushima Current in the Japan Sea, part I. data analysis. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, **38**: 95–109.
- Kawabe, M., 1986. Study on the Kuroshio and the Tsushima Current-variations of the current path. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, **42**: 319–331. (in Japanese with English abstract)
- Kawai, H., 1974. Transition of current images in the Japan Sea. In: The Tsushima Warm Current-ocean Structures and Fishery, edited by Japan. Soc. Sci. Fish., Koseisha-Koseikaku, Tokyo, pp. 7–26. (in Japanese)
- Kim, C.H. and K. Kim, 1983. Characteristics and origin of the cold water mass along the east coast of Korea. *J. Oceanogr. Soc. Korea*, **18**(1): 71–83.
- Kim, K. and R. Legeckis, 1986. Branching of the Tsushima Current in 1981–1983. *Prog. Oceanogr.*, **17**: 265–276.
- Kim, K., K.-R. Kim, D.H. Min, Y. Volkov, J.-H. Yoon and M. Take-matsu, 2001. Warming and structural changes in East (Japan) Sea: a clue to future changes in global oceans. *Geophys. Res. Lett.*, **28**: 3293–3296.
- Kim, K., K.-R. Kim, J. Chung, H. Yoo and S. Park, 1991. Characteristics of physical properties in the Ulleung Basin. *J. Oceanol. Soc. Korea*, **26**: 83–100.

- Kim, K., Y.-K. Cho, B.-J. Choi, Y.-G. Kim and R.C. Beardsley, 2002. Sea level variability at Ulleung Island in the East (Japan) Sea. *J. Geophys. Res.*, **107**(C3): doi: 10.1029/2001JC000895.
- Kim, M.-K. and K.-T. Kim, 2000. Studies on the seaweeds in the islands of Ullungdo and Dokdo: decrease of algal species compositions and changes of marine algal flora. *Algae*, **15**(2): 119–124. (in Korean with English abstract)
- Kim, T. and J.-H. Yoon, 2010. Seasonal variation of upper layer circulation in the northern part of the East/Japan Sea. *Cont. Shelf Res.*, **30**(12): 1283–1301.
- Kim, T.-H. and G. Kim, 2013. Factors controlling the C:N:P stoichiometry of dissolved organic matter in the N-limited, cyanobacteria-dominated East/Japan Sea. *J. Mar. Syst.*, **115**(16): 1–9.
- Kim, Y.H. and H.S. Min, 2008. Seasonal and interannual variability of the North Korean Cold Current in the East Sea reanalysis data. *Ocean Polar Res.*, **30**(1): 21–31. (in Korean with English abstract)
- Kim, Y.H., 1999. Physical characteristics of the North Korean Cold Water and currents off Jumunjin. M.S. Thesis, Seoul National University, Seoul, 90 pp.
- Kim, Y.H., K.I. Chang, J.J. Park, S.K. Park, S.H. Lee, Y.G. Kim, K.T. Jung and K. Kim, 2009. Comparison between a reanalyzed product by 3-dimensional variational assimilation technique and observations in the Ulleung Basin of the East/Japan Sea. *J. Mar. Syst.*, **78**(2): 249–264. doi:10.1016/j.jmarsys.2009.02.017.
- Kim, Y.J., 2007. A study on the Japan/East Sea oceanic circulation using an extra-fine resolution model. Ph.D. Thesis, Kyushu University, Kyushu.
- Koizumi, I. and H. Yamamoto, 2010. Paleooceanographic evolution of North Pacific surface water off Japan during the past 150,000 years. *Mar. Micropaleontol.*, **74**: 108–118.
- Korean Society of Oceanography, 2005. Terminology dictionary for oceanic science. Academy Press, Seoul, 749 pp. (in Korean)
- Lee, D.-K. and P. Niiler, 2005. The energetic surface circulation patterns of the Japan/East Sea. *Deep-Sea Res.*, **52**: 1547–1563.
- Lee, D.-K. and P. Niiler, 2010. Surface circulation in the southwestern Japan/East Sea as observed from drifters and sea surface height. *Deep-Sea Res.*, **57**: 1222–1232.
- Lee, D.-K., J.C. Lee, S.-R. Lee and H.-J. Lie, 1997. A circulation study of the East Sea using satellite-tracked drifters 1: Tsushima Current. *J. Korean Fish. Soc.*, **30**: 1021–1032.
- Lee, K.Y., 2007. Comparative analysis of the function and structure of photographs and illustrations used in high school earth science textbooks of the 6th and 7th national curriculum. *J. Korean Earth Sci. Soc.*, **28**: 811–824. (in Korean with English abstract)
- Lee, S.H., D.-S. Byun, B.-J. Choi and E. Lee, 2009. Estimation of the surface currents using mean dynamic topography and satellite altimeter data in the East Sea. *J. Korean Soc. Oceanogr.*, **14**: 195–204 (in Korean).
- Lee, S.U., 1999. Record for oceanic features in the seas adjacent to Korea. Jibmoondang, Seoul, 334 pp. (in Korean)
- Lie, H.-J., 1984. Coastal current and its variation along the east coast of Korea. In: Ocean Hydrodynamics of the Japan and East China Sea, edited by Ichiye, T., Elsevier Science Publishers, Amsterdam, pp. 399–408.
- Lie, H.-J. and S.-K. Byun, 1985. Summertime southward current along the east coast of Korea. *J. Oceanogr. Soc. Korea*, **20**(2): 22–27. (in Korean with English abstract)
- Lie, H.-J., C.-H. Cho, J.-H. Lee, P. Niiler and J.-H. Hu, 1998. Separation of the Kuroshio water and its penetration onto the continental shelf west of Kyushu. *J. Geophys. Res.*, **103**: 2963–2976.
- Lie, H.-J., C.-H. Cho, J.-H. Lee, S. Lee and Y. Tang, 2000. Seasonal variation of the Cheju Warm Current in the northern East China Sea. *J. Oceanogr.*, **56**: 197–211.
- Lie, H.-J., S.-K. Byun, I. Bang and C.-H. Cho, 1995. Physical structure of eddies in the southwestern East Sea. *J. Korean Soc. Oceanogr.*, **30**: 170–183.
- Lim, B. and K. Kim, 1995. A numerical study on the interaction of the Ulleung Warm Eddy with topography and lateral boundary. *J. Oceanol. Soc. Korea*, **30**: 565–583.
- Lim, S.H., J.J. Chan, I.S. Oh and J.J. Park, 2012. Climatology of the mixed layer depth in the East/Japan Sea. *J. Mar. Syst.*, **96**(7): 1–4.
- Marret, F. and K.A.F. Zonneveld, 2003. Atlas of modern organic-walled dinoflagellate cyst distribution. *Rev. Palaeobot. Palyno.*, **125**(1): 1–200.
- Martin, S. and M. Kawase, 1998. The southern flux of sea ice in the Tatarskiy Strait, Japan Sea and the generation of the Liman Current. *J. Mar. Res.*, **56**: 141–155.
- Matsuyama, M., 1990. The structure of the nearshore branch of the Tsushima Current on the shelf off the San'in Coast in summer. *J. Oceanogr.*, **46**: 156–166.
- Min, H.S., 1994. A study on the variation of the bottom water temperature in the Korea Strait. M.S. Thesis, Seoul National University, Seoul, 53 pp.
- Minoura, K., K. Akaki, N. Nemoto, S. Tsukawaki and T. Nakamura, 2012. Origin of deep water in the Japan Sea over the last 145 kyr. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol.*, **25**(8): 339–341.
- Mitchell, D.A., 2003. Upper current structure and variability in the southwestern Japan/East Sea. Ph.D. Thesis, University of Rhode Island, Providence, RI, 159 pp.
- Mitnik, L.M. and V.A. Dubina, 2010. Interpretation of SAR signatures of the sea surface: a multi-sensor approach. In: Oceanography from Space, edited by Barale, V., J.F.R. Gower and L. Alberotanza, Springer, New York, pp. 113–130.
- Mooers, C.N.K., H.S. Kang, I.K. Bang and D.P. Snowden, 2006. Some lessons learned from comparisons of numerical simulations and observations of the JES circulation. *J. Oceanogr. Soc.*, **19**: 87–95.
- Morimoto, A. and T. Yanagi, 2001. Variability of Sea Surface Circulation in the Japan Sea. *J. Oceanogr.*, **57**(1): 1–13.
- Morimoto, A., Y. Isoda, T. Tameishi and S. Moriwaki, 2009. Seasonal variation in Tsushima Warm Current paths over the shelf off the San'in coast, Japan. *J. Cont. Shelf Res.*, **29**: 1437–1447.
- Moriyasu, S., 1972. The Tsushima Current. In: Kuroshio-its Physical Aspects, edited by Stommel, H. and K. Yoshida, University of Tokyo Press, Tokyo, pp. 353–369.
- Na, H., Y. Isoda, K. Kim, Y.H. Kim and S.J. Lyu, 2009. Recent observations in the straits of the East/Japan Sea: a review of hydrography, currents and volume transports. *J. Mar. Syst.*, **78**(2): 200–205.
- Naganuma, K., 1973. On discussions on the existence of the third

- branch of the Tsushima Current. Newsl. Japan Sea Reg. Fish. Res. Lab., **266**: 1–3. (in Japanese)
- Naganuma, K., 1977. The oceanographic fluctuations in the Japan Sea. *Mar. Sci. (Kaiyo Kagaku)*, **9**: 137–141. (in Japanese with English abstract)
- Naganuma, K., 1985. Characteristics of oceanography in the western part of Japan Sea. *Bull. Japan Soc. Fish. Oceanogr.*, **47**: 60–63. (in Japanese)
- Nishida, K., 1935. Results of the drift bottle experiments in the Japan Sea. *Umi to Sora.*, **15**: 212–216. (in Japanese).
- Nishida, K., 1936. Results of the current measurements in the southern sea of Tyosen and the western part of the Japan Sea, on board the R.M.S. “Misago-maru” in June–Sept. 1932. *Annual Rept. Hydro. Obs. Fish. Exp. Sta.*, **7**: 15–62. (in Japanese)
- Nishida, K., 1938. Oceanographic investigations during June–July, 1933, in the Japan Sea offshore along the east coast of Tyosen on board the R.M.S. “Misago-maru”. *Annual Rept. Hydro. Obs. Fish. Exp. Sta.*, **8**: 23–29. (in Japanese)
- Nishida, K., 1942. Research conducted during December, 1934, on board the R.M.S. “Misago-maru”, in the neighbouring seas of the Korean Gulf. *Annual Rept. Hydro. Obs. Fish. Exp. Sta.*, **9**: 136–159. (in Japanese)
- Nitani, H., 1972. Beginning of the Kuroshio. In: Kuroshio: physical aspects of the Japan current, edited by Stommel, H. and K. Yoshida, University of Washington Press, Seattle, USA, pp. 129–163.
- Oba, T., M. Kato, H. Kitazato, I. Koizumi, A. Omura, T. Sakai and T. Takayama, 1991. Paleoenvironmental Changes in the Japan Sea During the Last 85,000 Years. *Paleoceanography*, **6**(4): 499–518.
- Oh, W.G., 2003. Student’s conceptions and constructivistic science education. *Bull. Sci. Educ.*, **19**: 1–18. (in Korean with English abstract)
- Onishi, M. and K. Ohtani, 1997. Volume transport of the Tsushima Warm Current, west of Tsugaru Strait bifurcation area. *J. Oceanogr.*, **53**: 27–34.
- Park, J.J. and K. Kim, 2013. Deep currents obtained from Argo float trajectories in the Japan/East Sea. *Deep-Sea Res.*, **85**: 169–181.
- Park, K.-A., J.-E. Park, K.-S. Seo, B.-J. Choi and D.-S. Byun, 2011. Analysis of oceanic current maps of the East Sea in the secondary school science textbooks. *J. Korean Earth Sci. Soc.*, **32**(7): 832–859.
- Park, K.-A., K. Kim, P.C. Cornillon and J.Y. Chung, 2006. Relationship between satellite-observed cold water along the Primorye coast and sea ice in the East (Japan) Sea. *Geophys. Res. Lett.*, **33**: L10602, doi:10.1029/2005GL025611.
- Riser, S.C., M.J. Warner and G.L. Yurasov, 1999. Circulation and mixing of water masses of Tatar Strait and the northwestern boundary region of the Japan Sea. *J. Oceanogr.*, **55**: 133–156.
- Senjyu, T. and H. Sudo, 1993. Water characteristics and circulation of the upper portion of the Japan Sea Proper Water. *J. Mar. Syst.*, **4**: 349–362.
- Senjyu, T. and H. Sudo, 1994. The upper portion of the Japan Sea Proper Water; its source and circulation as deduced from isopycnal analysis. *J. Oceanogr.*, **50**: 663–690.
- Senjyu, T., 1999. The Japan Sea Intermediate Water; its characteristics and circulation. *J. Oceanogr.*, **55**: 111–122.
- Senjyu, T., H.R. Shin, J.-H. Yoon, Z. Nagano, H.-S. An, S.-K. Byun and C.-K. Lee, 2005. Deep flow field in the Japan/East Sea as deduced from direct current measurements. *Deep-Sea Res.*, **52**: 1726–1741.
- Seung, Y.H., 1992. A simple model for separation of the East Korean Warm Current and formation of the North Korean Cold Current. *J. Oceanol. Soc. Korea*, **27**: 189–196.
- Shimomura, T. and K. Miyata, 1957. The oceanographical conditions of the Japan Sea and its water systems, laying stress on the summer of 1955. *Bull. Japan Sea Reg. Fish. Res. Lab.*, **6**: 23–97. (in Japanese)
- Shin, H.R., C.W. Shin, C. Kim, S.K. Byun and S.C. Hwang, 2005. Movement and structural variation of warm eddy WE92 for three years in the western East/Japan Sea. *Deep-Sea Res.*, **52**: 1742–1762.
- Shrenk, L.I., 1874. On the currents of the Okhotsk, Japan and adjacent seas. *Mem. Emperor Acad. Sci.*, **23**(2): 1–112.
- Suda, K. and K. Hidaka, 1932. The results of the oceanographical observations on board R.M.S. ‘Syunpû Maru’ in the southern part of the Japan Sea in the summer of 1929, part 1. *J. Oceanogr. Imperial Mar. Observ.*, **3**: 291–375.
- Suda, K., K. Hidaka, Y. Matsudaira, E. Kurashige, H. Kawasaki and T. Kubo, 1932. Results of the third oceanographical observations in the main region of the Japan Sea. *J. Oceanogr. Imp. Mar. Obs.*, **4**: 1–173. (in Japanese)
- Sugimoto, T. and H. Tameishi, 1992. Warm-core rings, streamers and their role on the fishing ground formation around Japan. *Deep-Sea Res.*, **39**(1): 183–201.
- Sugimoto, T., 1990. A review of recent physical investigations on the straits around the Japanese Islands. In: The Physical Oceanography of Sea Straits, edited by Pratt, L.J., Kluwer Academic, Amsterdam, Netherlands, pp. 191–209.
- Suh, Y.S., B.G. Mitchell and K.S. Lim, 1999. Communication : a recurring eddy off the Korean northeast coast captured on satellite ocean color and sea surface temperature imagery. *Korean J. Remote Sens.*, **15**(2): 175–181. (in Korean with English abstract)
- Tada, R., T. Irino and I. Koizumi, 1999. Land-ocean linkages over orbital and millennial timescales recorded in Late Quaternary sediments of the Japan Sea. *Paleoceanography*, **14**(2): 236–247.
- Takikawa, T. and J.-H. Yoon, 2005. Volume transport through the Tsushima Straits estimated from sea level difference. *J. Oceanogr.*, **61**: 699–708.
- Takikawa, T., J.-H. Yoon and K.-D. Cho, 2005. The Tsushima Warm Current through Tsushima Straits Estimated from Ferryboat ADCP Data. *J. Phys. Oceanogr.*, **35**: 1154–1168.
- Tanaka, S., 1983. Variation of pelagic fish stocks in waters around Japan. In: Proceedings of the Expert Consultation to Examine Changes in Abundance and Species Composition of Neritic Fish Resources, edited by Sharp, G.D. and Y.J. Csirke, FAO Fisheries Report 291(2), San Jose, 553 pp.
- Teague, W.J., G.A. Jacobs, T.Y. Ko, K.-I. Chang and M.-S. Suk, 2003. Connectivity of the Taiwan, Cheju, and Korea Strait. *Cont. Shelf Res.*, **23**: 63–77.
- Tian, Y., H. Kidokoro and T. Watanabe, 2006. Long-term changes in the fish community structure from the Tsushima warm current

- region of the Japan/East Sea with an emphasis on the impacts of fishing and climate regime shift over the last four decades. *Prog. Oceanogr.*, **68**: 217–237.
- Tobin, K., 1990. Research on science laboratory activities: In pursuit of better questions and answers to improve learning. *Sch. Sci. Math.*, **90**: 403–418.
- Tomczak, M. and J.S. Godfrey, 2003. Regional Oceanography: an Introduction 2nd edn., Daya Publishing House, Delhi, 390 pp.
- Uda, M., 1934. The results of simultaneous oceanographical investigations in the Japan Sea and its adjacent waters in May and June, 1932. *Japan Imp. Fish.*, **5**: 57–190.
- Usami, K., T. Ohi, S. Hasegawa and K. Ikehara, 2013. Foraminiferal records of bottom-water oxygenation and surface-water productivity in the southern Japan Sea during 160–15 ka: associations with insolation changes. *Mar. Micropaleontol.*, **101**: 10–27.
- Watanabe, Y., 2007. Latitudinal variation in the recruitment dynamics of small pelagic fishes in the western North Pacific. *J. Sea Res.*, **58**: 46–58.
- Watts, D.R., M. Wimbush, K.L. Tracey, W.J. Teague, J.-H. Park, D.A. Mitchell, J.-H. Yoon, M.-S. Suk and K.-I. Chang, 2006. Currents, eddies, and a "fish story" in the southwestern Japan/East Sea. *Oceanogr.*, **19**(3): 64–75.
- Yarichin, V.G., 1980. Steady state of the Japan Sea circulation. In: Problems of Oceanography, edited by Pokudov, V., Hydrometeoizdat, Leningrad, Russia, pp. 46–61.
- Yoon, J.-H. and H. Kawamura, 2002. The Formation and Circulation of the Intermediate Water in the Japan Sea. *J. Oceanogr.*, **58**: 197–211.
- Yoon, J.-H. and Y.-J. Kim, 2009. Review on the seasonal variation of the surface circulation in the Japan/East Sea. *J. Mar. Syst.*, **78**: 226–236.
- Yoon, J.-H., 1991. The seasonal variation of the East Korean Current. *Rep. Res. Inst. Appl. Mech. Kyushu Univ.*, **38**: 23–36.
- Yoshikawa, Y., T. Awaji and K. Akitomo, 1999. Formation and circulation processes of intermediate water in the Japan Sea. *J. Phys. Oceanogr.*, **29**(8): 1701–1722.
- You, Y., K.-I. Chang, J.-Y. Yun and K.-R. Kim, 2010. Thermocline circulation and ventilation of the East/Japan Sea, part I: water-mass characteristics and transports. *Deep-Sea Res.*, **57**: 1221–246.
- Yun, J.-Y., L. Magaard, K. Kim, C.-W. Shin, C. Kim and S.-K. Byun, 2004. Spatial and temporal variability of the North Korean Cold Water leading to the near-bottom cold water intrusion in Korea Strait. *Prog. Oceanogr.*, **60**: 99–131.
- Zheng, P.-N., D.-X. Wu, X.-P. Lin and X.-T. Li, 2010. Interannual variability of Kuroshio Current and its effect on the nearshore branch in Japan/East Sea. *J. Hydrodyn.*, **22**(3): 305–311.

2013년 10월 28일 원고접수

2013년 11월 25일 수정본 접수

2013년 11월 26일 수정본 채택

담당편집위원: 박재훈

Appendix 1. An example of the inquiry questionnaire for the oceanic current map of the East Sea

『우리나라 주변해역 해류도 제작』

동해 해류도 제작을 위한 설문지

귀하의 발원을 기원합니다.

본 설문지는 국립해양조사원 해양과학조사연구실에서 수행하는 “우리나라 주변해역 해류도 제작 연구” 중 동해 해류도 제작의 일환입니다.

본 연구의 목적은 국립해양조사원에서 그동안 수행하였던 동해 해류 자료 분석 결과를 토대로 학제 및 학제 간 연구의 이점을 반영한 동해 해류도(모식도)를 제작한다. 이를 위해 국내외의 지식을 수집한 동해 해류도를 제작하는 것입니다.

동해 해류에 대하여 그 동안 많은 연구가 이루어져 왔으나, 아직까지도 국내 해양학계에서는 아직까지 동해 해류도가 없고, 공개된 자료는 한정적이며 동해 또는 해역의 자료를 수집하기에는 많은 어려움이 있습니다.

귀하의 귀중한 답변은 동해 해류도 제작의 성공적인 수행을 위하여 매우 중요합니다. 과학 연구 결과와 가장 근접하는 우리나라 주변해역의 종합적인 해류도 제작의 토대를 마련하는데 많은 도움이 될 것입니다. 관측 자료 및 기타 기존 연구 수행에 있어서는 정당한 그 자료와 연구를 근거로 밝혀주시고, 앞서 시간을 할애하여 설문에 응답해 주신 여러분의 의견을 존중하여 반영하여 동해 해류도를 제작하겠습니다.

백해신 와중에 더 큰 도움을 주시 다시 한 번 감사의 말씀을 올립니다.

2012년
국립해양조사원 해양과학조사연구실

☞ 담당 : 변도성 연구사
전화 : 02-000-0000
팩스 e-mail : jseun@snu.ac.kr

설문 응답자의 인적 사항

소속기관 ① 대학교 ② 기업연구소 ③ 정부출연(원) ④ 공공(민) ⑤ 학교(원) 기타 ()

연구경력 ① 5년 미만 ② 5-9년 ③ 10-14년 ④ 15-19년 ⑤ 20년 이상

관련 연구 분야 (복수 응답 가능) ① 해양 물리 ② 해양 생물 ③ 해양 화학 ④ 해양 고밀(조류, 해류) ⑤ 원격 탐사 ⑥ 해양 지질 ⑦ 관측(CTD, 레저 채집) ⑧ 부이, 표층탐색기 기타()

Part A. 기존 해류도 비교

다음은 중등 과학고과서에서 수록된 해류(모식도)(A)와 과학 (B)에 수록된 대표적인 해류도입니다. 기존에 제작된 다양한 해류도를 보시고 양자 곁을 가지하시기 바랍니다.

(A) 교과서 제시 (B) 과학 논문 제시

연구 논문 해류 모식도 (a) Lee and Niller, 2005, (b) Moores et al., 2006, (c) Lee and Niller, 2010, (d) Uda, 1934 (한국해양학회지, 1992, 1999)

Part B. 동해 해류 분석

아래의 그림은 중등 과학고과서에서 수록된 해류도를 수치화(digitize)하여 교과서별로 나타낼 것입니다. 그림에 나타난 해류도를 참고하시어 아래의 질문에 답하여 주시기 바랍니다. 관측 자료 또는 근거가 있는 경우는 제시해주시면 감사하겠습니다.

Fig. 1과 관련된 질문입니다. [Q1-2]

Fig. 1. 대한해협에서의 대만류 유입과 동한류의 분상

[Q1. 대만류의 분기]

Q1-1. 대만류가 대한해협을 통해 동해로 들어올 때 서수도와 동수도로 분기하는 모습에 대하여 다음 중 어느 형태가 옳다고 생각하십니까?
① 서수도를 통해서만 유입 ② 동수도를 통해서만 유입 ③ 대만도 지역적 분기 ④ 대만도 지역적 분기 ⑤ 대만도 유출 후 분기
기타 ()

☞ 관측 자료 또는 근거:

Q1-2. 서수도와 동수도로 분기하는 유형의 비는 어느 정도라고 생각하십니까?
① 1:1 ② 2:1 ③ 3:1
기타 ()

☞ 관측 자료 또는 근거:

[Q2. 동한류]

Q2-1. 동한류(동해안 가에서)의 북상 한계를 어디까지라고 생각하십니까?
(“N”)
☞ 관측 자료 또는 근거:

Q2-2. 동한류를 주축의 이안 양상이 계절에 따라 어떻게 변한다고 생각하십니까?
()
☞ 관측 자료 또는 근거:

Q2-3. 북상한 동한류가 한류와 만난 후 동쪽으로 이안할 때 이동 양상이 어떻게 되고 생각하십니까? (중복선택 가능)
(1) 극저속 유출, 모도(0.0~1.0) 이하로, 대만류 1.0~2.0 이하
② meandering 형성 ③ eddy 형성
기타 ()

☞ 관측 자료 또는 근거:

Fig. 2와 관련된 질문입니다. [Q3]

Fig. 2. 다양한 형태로 표현되는 대만류의 분지

[Q3. 동해 중앙부에서의 해류 분기 (대만류)]

Q3-1. 대한해협에서 동해로 유입되는 대만류 분지의 개수와 형태를 서로 다르게 보는 관측이 있습니다. 제 2분지(Offshore Branch)가 존재한다고 생각하십니까?
① 예 ② 아니오

Q3-2. 3-1에서 ① 예라고 선택하신 경우 어느 형태의 해류로 제 2 분지(Offshore Branch)를 표현하는 것이 적합하다고 생각하십니까?
()
☞ 관측 자료 또는 근거:

Fig. 3와 관련된 질문입니다. [Q4]

[Q4. 대만류의 유출 및 동해 순환]

Q4-1. 대만류가 북상할 때 쓰가루 (Tsugaru) 해협과 소야(Soya) 해협에서 유출되는 양과 저수준을 하는 대만류 유출의 비율은 얼마라고 생각하십니까?
()
☞ 관측 자료 또는 근거:

Q4-2. 대만류가 동해를 저수준하기 시작하는 지점은 어느 곳이라고 생각하십니까(중복 응답 가능)?
① 쓰가루 해협 전후 ② 소야 해협 전후 ③ 대만도 해협 전
기타 ()

☞ 관측 자료 또는 근거:

Fig. 3. 대만류의 유출 및 동해 순환

[Q5. 한류의 형성과 남하]

Q5-1. 다음 중 어느 항목이 리만현의 남하현의 형태에 적합하다고 생각하십니까?
① 북한현의 시작점까지 표층에서 남하 ② 심층으로 가라앉아 유출 분기까지 남하 ③ 표층에서 meandering
기타 ()

☞ 관측 자료 또는 근거:

Q5-2. 다음 중 어느 항목이 북한현의 끝 부분의 형태에 적합하다고 생각하십니까?
① 동한류와 만나는 지점까지 남하 ② 동한류와 만난 후 동쪽으로 이안 ③ 동한류와 만난 후 표층에서 심해로 들어와 동해안 남부까지 남하 ④ 동한류와 만나는 지점 동쪽으로 meandering
기타 ()

☞ 관측 자료 또는 근거:

[Q6. 종합]

Q6. 다음의 국립해양조사원에서 2011년 제작한 동해 해류 모식도에서 수정되어야 할 사항은 세 가지에 주시기를 바랍니다.

동해 해류 모식도 (2011. 국립해양조사원)

Fig. 5. 동해 해류 모식도 (2011. 국립해양조사원)

☞ 관측 자료 또는 근거:

Part C. 해류 모식도 표현 기법

[Q7. 계절변화]

Q7. 계절에 따른 해류의 변화를 나타내는 방식에 대한 질문입니다. 다음 중 가장 적절하다고 생각되는 형태는 무엇입니까?
① 여름과 겨울로 구분 ② 봄 여름 가을 겨울 4계절로 구분 ③ 월 단위로 구분 ④ 계절 구분 없이 하나의 모식도로 통일 ⑤ 동해 해류는 계절변화가 크지 않고 연안 현상이 상대적으로 크므로 동한류가 강한 해와 약한 해로 구분
기타 ()

[Q8. 해류 표시]

Q8. 다음 중 해류를 표현하는 방식으로 적절하다고 생각되는 항목은 무엇입니까? (중복선택 가능)
① 곡선의 폭으로 해류의 유속 표현 ② 곡선의 폭으로 해류의 유량 표현 ③ 유량 및 유속 표현 없이 일정한 두께로 표현 ④ 이 곡선에서의 유속비율로 표현 ⑤ 해류의 난류 구분
기타 ()

[Q9. 해류 명칭]

Q9-1. 다음 중 대만류 제 2분지의 공식 명칭으로 가장 적절하다고 생각되는 것은 무엇입니까?
① 대만류 제 2분지 ② 외해(Offshore branch)
기타 ()

Q9-2. 다음 중 리만현의 공식 명칭으로 가장 적절하다고 생각되는 것은 무엇입니까?
① 리만현 ② 리만현 ③ 리만현
기타 ()

Q9-3. 다음 중 리만현의 공식 명칭으로 가장 적절하다고 생각되는 것은 무엇입니까?
① 리만현 ② 리만현 ③ 리만현
기타 ()

[Q10. 해류 표시]

Q10-1. 해류 모식도에 표층해류와 심층해류를 함께 표시하는 안에 대하여 어떻게 생각하십니까?
① 함께 표시 ② 표층해류만을 따로 표시 ③ 심층해류만을 따로 표시 ④ 심층해류는 표시할 필요가 없음
기타 ()

Q10-2. 만약 심층해류를 함께 표층해류와 함께 표현한다면 어떤 표현방식이 좋다고 생각하십니까?
① 표층해류와 다른 색으로 표현 ② 표층해류는 실선, 심층해류는 점선으로 표현 ③ 기타 ()

[Q11. 기타의견]

해류 모식도 제작과 관련하여 가능한 많은 의견을 부탁드립니다. 또한 필요한 경우 동해 해류 모식도를 직접 그려서 jseun@snu.ac.kr로 보내주시면 반영하겠습니다.

설문에 의해 주시 감사드립니다.