

제주도 염지하수 수질의 시공간적 변화

김성수* · 김대권¹ · 손팔원² · 이창훈³ · 하동수³

국립수산과학원 환경관리과, ¹남해수산연구소, ²양식환경연구소, ³자원조성연구소

Temporal and Spatial Variations of Water Quality of the Coastal Saline Groundwaters in Jeju Island

Seong-Soo Kim*, Dae-Kweon Kim¹, Pal-Won Son², Chang-Hun Lee³ and Dong-Soo Ha³

Marine Environment Management Division, NFRDI, Busan 619-902, Korea

¹*South Sea Fisheries Research Institute, NFRDI, Yeosu 556-823, Korea*

²*Aquaculture Environment Institute, NFRDI, Tongyeong 210-861, Korea*

³*Resources Enhancement Institute, NFRDI, Jeju 690-192, Korea*

We have investigated water quality of the coastal saline groundwaters utilized for fish farms in Jeju Island. The water quality investigation included the spatial observations for 75 fish farms during March-May, 1994 and the bi-monthly observations for both coastal saline groundwaters and seawaters at four fish farms from August 1994 to December 1995. Water temperature of the saline groundwaters ranged from 16 to 18°C over the study period. Salinity of the saline groundwaters varied between 20.60 ppt and 34.02 ppt, slightly lower than that of the coastal seawaters(26.47~34.53 ppt). This salinity variation must be associated with local precipitation conditions in Jeju Island. The oxygen saturation for most saline groundwater samples was lower than 80%, ranging from 24.7 to 89.8%. The COD and pH values for the saline groundwaters were similar to those for the coastal seawaters. The concentrations of DIP for the saline groundwaters varied between 0.021 mg/L and 0.121 mg/L, and seasonal variation of DIP in the saline groundwater ranged from 0.014 to 0.077 mg/L, which were higher than that of the coastal seawaters(0.000~0.015 mg/L). Nitrate in the saline groundwaters accounted for more than 90% of the DIN. The maximum concentrations of ammonia, nitrite, nitrate and DIN in the saline groundwaters were 0.085, 0.012, 2.294 and 2.309 mg/L, respectively. These concentrations of the saline groundwaters were considerably lower than those affected culture organisms. Overall, the saline groundwaters utilized for fish farms in Jeju Island appear to maintain good waterquality for fish farms.

Keywords: Water quality, Saline groundwater, Seasonal variation, Fish farms, Jeju island

서 론

제주도 주변해역은 대마난류, 황해난류, 황해저층냉수 및 중국대륙연안수 등 한류와 난류세력이 교차되는 해역이며, 전 연안역에 암초지대가 잘 발달해 있다. 이 암초지대에는 미역과(Alariaceae)와 모자반과(Sargassaceae) 등 해조류를 구성하는 대형 해조류가 군락을 형성하고 있어서 각종 어류 및 패류의 산란과 생육장으로서 좋은 해양환경 조건을 갖추고 있다. 그러나, 여름철에는 중국 동부연안에 위치한 대하천(양자강, 황하강)으로부터 엄청난 양의 담수가 유입되어 제주도 연안을 저염화시킨다(Kim et al., 1998). 특히, 1996년에는 표층수의 염분 농도가 25 ppt 이하인 중국대륙 연안수가 제주도 서북부 해안의 마

을어장까지 접근하여 마을어장에 서식하는 패류와 성게류 등이 대량 폐사하여 52억여원의 수산피해를 입혔다(조 등, 1996). 제주도 연안해역은 하계의 경우 연안해수의 수온이 28°C 이상으로 상승하기 때문에 연안해수를 이용하는 육상 양식장에서는 고수온에 의한 피해를 받을 수 있으며, 겨울철에는 사육수의 가온을 위한 전력 소비로 인하여 생산단가를 높이는 결과를 초래하게 된다.

한편, 제주도 해안의 지하 약 30~70 m의 대수층내에는 비교적 고염분이 함유된 해수(염지하수)가 부존하고 있다(Park, 1994). 이 염지하수는 연중 17°C 내외로 거의 일정한 수온을 유지하고 있으므로 여름철 고수온기와 겨울철 저수온기에 자연해수와 혼합하여 사용하므로써 육상양식장의 사육생물 성장에 적합한 적정 수온으로 맞춰줄 수 있다(Chun and Rho, 1991). 또한, 태풍 등 급변하는 해양조건하에서도 안정적으로 양식용수를 공급할

*Corresponding author: sengsu@nfrda.re.kr

수 있으며, 바닷물을 인수하는데 따른 해안 주변의 경관을 파괴할 우려가 없으므로 육상수조식 양식에 중요한 역할을 하고 있으며, 해산어 양식의 경쟁력 확보 차원에서도 매우 중요시 되고 있는 수자원이다(김과 손, 1995).

1986년부터 개발되기 시작한 제주도의 육상수조식 양식장은 연안해수와 염지하수를 동시에 사용하는 대단위 육상수조식 양식업이 성행하고 있으며, 최근에는 점차 증가하는 추세이다. 따라서, 이 염지하수를 효과적으로 사용할 때 그 이용범위는 매우 넓고, 경제성도 충분한 것으로 생각된다. 이와 같은 중요성에도 불구하고 육상수조식 양식장의 사육수로 사용되는 염지하수의 수질특성에 관한 연구는 전무한 실정이며, 현재까지 제주도 지하수 및 염지하수의 주요 이온에 대한 연구가 몇 편 있을 뿐이다(Kim et al., 1992; Koh et al., 1992; Oh and Park, 1994; Park, 1994; Oh et al., 2000; Kim et al., 2001).

따라서, 본 연구는 양식어업인들이 염지하수를 효율적으로 이용하게 함은 물론 양식용수로서의 적합성을 파악하기 위하여 제주도 전 연안을 대상으로 염지하수 수질의 지역별·계절별 변동 특성에 대해 고찰하였다.

재료 및 방법

1994년 3월에서 5월까지 제주도 전 연안에서 염지하수를 사용하는 양식장 중 75개 지역(Fig. 1)에서 염지하수 시료를 채취하였으며, 대표적으로 제주도 동북부(구좌읍 김녕리), 동남부(성산읍 신산리), 남부(서귀포시 보목동) 및 서부(한림읍 귀덕리) 지역에서는 1994년 8월부터 1995년 12월까지 격월로 염지하수와 연안수에 대해 현장관측 및 시료를 채취하였다(Fig. 1). 수온, 수소이온농도(pH) 및 용존산소(DO)는 현장에서 수질측정기(YSI 3800)로 측정하였으며, 염분은 염분계(Minisal 2100)로 측정하였다. 화학적산소요구량(COD, chemical oxygen demand)

분석용 시료는 채수 즉시 냉동보관하였으며, 영양염 분석용 시료는 현장에서 유리섬유여과지(GF/F)로 여과한 다음 냉동보관하였다.

화학적산소요구량은 알칼리성 과망간산칼륨법으로 정량하였다. 영양염류 중 암모니아질소는 Indophenol 청범, 아질산질소는 sulfanilamide와 naphthylethylenediamine을 이용한 비색법으로, 질산질소는 Cu-Cd 칼람을 이용한 아질산환원법으로, 용존 무기인(DIP, dissolved inorganic phosphate)은 몰리브덴 청범으로 비색 정량하였다(국립수산진흥원, 1985). 또한, 용존 무기질소(DIN, dissolved inorganic nitrogen)는 암모니아질소, 아질산질소 및 질산질소의 합으로 나타내었다. 부유물질(SS, suspended solid)은 상기와 같이 영양염 전처리에 사용한 GF/F여과지를 이용하여 시료수 여과 전후의 중량 차이로부터 계산하였다.

결 과

지역별 수질변화

염지하수의 지역별 수질변동 양상을 파악하기 위하여 염지하수를 이용하는 양식장 중 제주도 전 연안의 총 75개 양식장(Fig. 1)을 16개 마을단위로 구분하였으며, 각 지하수공의 특징을 Table 1에 나타내었다. 조사한 모든 지하수공들은 1987년부터 1993년 사이에 개발되었으며, 지하수공의 수는 마을에 따라 1(보목)개소에서 13개소(표선)까지 마을별로 차이가 많았다. 조사된 지역의 공간적 위치를 보면, 제주도 동북부의 조천읍 북촌, 구좌읍 김녕, 월정, 한동, 동남부의 성산읍 신양, 온평, 신산, 신천, 신평, 표선면 표선, 남원읍 신흥, 남원, 위미, 서귀포시의 보목, 서북부의 한림읍 귀덕과 애월읍 애월 지역이다. 또한, 모든 자료는 지하수공의 수와 관계없이 마을단위로 평균한 값을 이용하였다.

제주도 지역의 염지하수공 개발은 1986년부터 시작되어 현

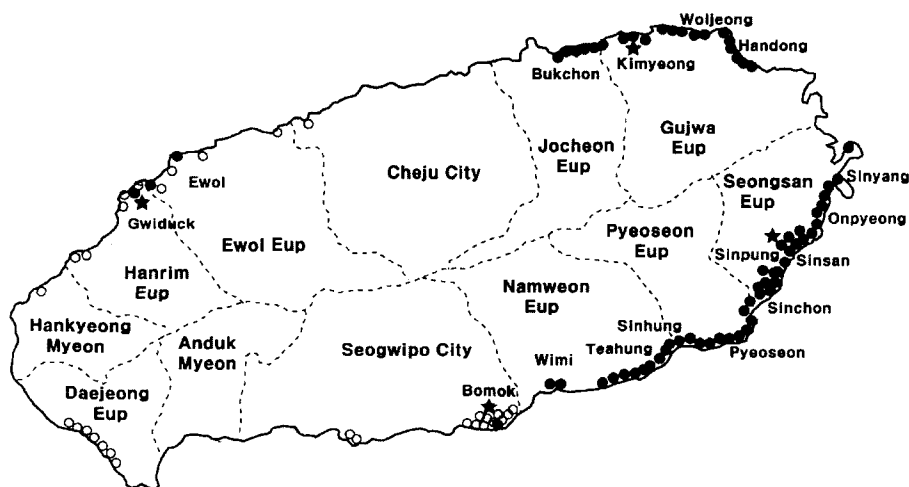


Fig. 1. Sampling site and location of fish farms. Open circles represent fish farms use of coastal seawater, filled circles represent fish farms use of saline groundwater, and stars represent the sampling sites for bimonthly.

Table 1. Characteristics of saline groundwater wells in Jeju Island

Area	Devlop. Year	Well No.	Well Dia. (m)	Ground Depth (m)	Area	Devlop. Year	Well No.	Well Dia. (m)	Ground Depth (m)
Bukchon	'90~'91	3	200~400	40~48	Sinchon	'88~'91	7	200	48~70
Kimyeong	'8~'7	2	200	32~40	Pyeoseon	'87~'90	13	150~200	40~66
Woljeong	'90~'91	3	150~200	40~60	Sinhung	'89~'92	4	150~200	48~60
Handong	'88~'91	7	150~200	40~72	Teahung	'89~'91	8	200	40~60
Sinyang	'89~'90	3	200	53~58	Wimi	'88	2	200	40~50
Onpyeong	'87~'93	9	150~250	50~60	Bomok	'90	1	250	45
Sinsan	'89~'90	5	200	40~60	Gwiduck	'87	2	150~200	50
Sinpung	'87~'91	3	200~250	60~70	Ewol	'87~'91	3	150~200	47~60

채까지 계속 증가하는 추세이며, 1998년 12월 현재 623개공이 개발되어 있다(Kim et al., 2001). 또한, 조사된 염지하수공의 구경은 대부분 200 mm 전후였고, 깊이는 40~60 m의 지하에서 채수하고 있었다(Table 1).

염지하수의 수온은 14.5~18.4°C(평균 16.7±1.5°C)로 지역별 변동 폭은 그다지 크지 않았다. 평균값의 지역별 변화를 보면, 서귀포시 위미와 보목에서 각각 최대값과 최소값을 보였으며, 다른 지역에서는 대체적으로 제주도 동북부 및 동부에 위치한 구좌읍의 김녕, 월정, 한동과 성산읍의 온평에서 다소 낮았다(Fig. 2). Park(1994)의 보고에 의하면, 인접한 지역이라도 수온에 다소 차이가 있으며, 지하수공의 깊이에 따라서도 약 1°C 정도 변할 수 있는데, 이는 염지하수가 대수층에 부존하고 있어서 지질자체의 지열에 의한 영향을 받고 있기 때문이라고 한다.

염지하수내 염분은 23.22~34.34 ppt로 남동부에 위치한 표선과 태흥에서 각각 최소값과 최대값을 나타내었다. 평균값은 제주도 동남부 및 남부에 위치한 신양, 표선, 신흥, 보목에서 다소 낮았으며, 모든 지역의 평균 농도는 30.0 ppt 이상으로 일반 연안수와 큰 차이를 보이지 않았다(Fig. 2). 일반적으로 염지하수는 대수층에 부존하고 있기 때문에 그 지역의 강우량에 영향을 받으며, 연안과 인접해 있어서 조석에 의한 영향도 받을 수 있다. 현재까지 제주도내 지하수의 수위변동에 대한 연구(Koh et al., 1992; Oh and Park, 1994; Park, 1994; Oh et al., 2001)에서 동북부 및 동남부 지역(김녕에서 표선까지의 지역)은 조석의 영향을 현저히 받고 있는 반면에, 서부지역은 주로 강수량에 의존하고 있다고 보고된 바 있다. 또한, 동북부지역에 위치한 김녕은 인접한 지역인 중달 및 성산지역에 비해 조석의 영향을 훨씬 더 많이 받는데, 이는 김녕이 개방해(open sea)의 성격을 가지며, 지층구조 역시 사구층이 발달해 있기 때문이라고 한다. 특히, 동부지역의 경우 지하수의 염분농도는 해안에서 멀어질수록 낮아진다고 한다. 따라서, 동일한 마을에서도 해안에서의 거리에 따라 염분의 농도가 현저히 달라질 수 있음을 알 수 있다. 그러나, 본 조사에서는 조석을 고려하지 않고 시료를 채취하였으므로 지역에 따른 염분변화 원인을 명확히 알 수 없었다.

수소이온농도는 7.50~8.17(평균 7.87)로 평균값이 가장 낮은 성산읍 온평(7.50~7.80)을 제외하면 지역별 차이가 작았으며,

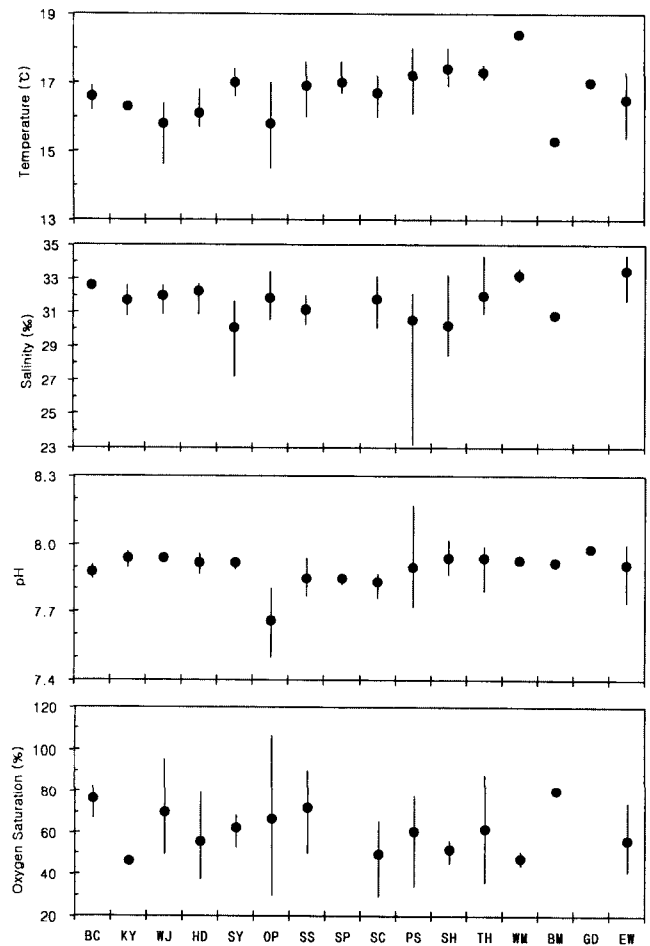


Fig. 2. Regional variations of temperature, salinity, pH, oxygen saturation at saline groundwater during March-May, 1995. BC=Bukchon, KY=Kimyeong, WJ=Woljeong, HD=Handong, SY=Sinyang, OP=Onpyeong, SS=Sinsan, SP=Sinpung, SC=Sinchon, PS=Pyeoseon, SH=Sinhung, TH=Teahung, WM=Wimi, BM=Bomok, GD=Gwiduck, EW=Ewol.

연안수에 비해 그다지 큰 차이를 보이지 않았다. 특히, 성산읍 온평에서 가장 낮은 값을 보이는 것은 이 지역의 염분농도가 인접지역인 신양과 신산에 비해 낮은 것으로 보아 상부층의 담수체와 혼합되었기 때문인 것으로 생각된다(제주도, 1999).

용존산소포화도는 29~106%로 같은 마을에서도 염지하수공

에 따라 큰 차이를 보였으며, 대부분의 염지하수에서 80% 이하의 불포화 상태를 보였다. 특히, 평균값이 60% 이하인 지역도 많아 연안수보다도 용존산소량이 낮았다(Fig. 2). 제주도에 부존하고 있는 지하수의 평균 연령이 16년(2~53년)인 점을 감안할 때 염지하수의 연령 역시 비교적 길 것으로 판단된다(제주도, 2001). 따라서, 염지하수 중 용존산소포화도가 현저히 낮은 것은 염지하수가 대수층에 비교적 장기간 존재하는 동안에 유기물 분해 등에 의해 산소가 소비된 결과라고 생각된다.

화학적산소요구량의 농도는 ND~2.01 mg/L로 같은 마을에서도 양식장별로 차이가 다소 컸지만, 모든 지역의 평균농도는 1.20 mg/L 이하로 비교적 낮은 값을 보였다. 평균농도는 김녕, 한동, 태흥 및 귀덕에서 상대적으로 높은 것을 제외하면 대부분의 지역에서 0.70 mg/L 이하로 낮았으며, 수질 I 등급 수준을 유지하였다(Fig. 3).

부유물질의 농도는 0.3~38.2 mg/L로 지역별 차이가 다소 컸지만, 표선에서 위미까지의 지역에서 비교적 높은 농도를 보였으나 다른 지역에서는 평균농도가 10.0 mg/L 이하로 낮았다. 또

한, 태흥과 위미의 일부 지역에서 수질 II등급을 초과하는 것을 제외하면 대부분 양호한 상태를 보였다. 특히, 동남부지역(표선~위미)에서 상대적으로 높은 것은 대수층 상부에 형성되는 담수와 해수의 점이대의 특이성 때문인 것으로 생각된다(제주도, 1999; 2001).

용존무기인의 농도는 0.021~0.121 mg/L로 지역별 차이가 다소 크며, 한동, 온평, 표선 등에서는 같은 마을이라도 변동 폭이 다소 큰 반면에 다른 지역에서는 변동 폭이 작았다. 평균농도는 대체적으로 동북부 및 동부에 위치한 북촌에서 온평 사이의 지역에서 상대적으로 높았으며, 거의 모든 염지하수의 용존무기인 농도가 수질 II등급을 훨씬 초과하였다(Fig. 3). 특히, 평균농도의 지역별 차이가 다른 성분에 비해 그다지 크지 않은 것은 용존무기인이 다른 영양염에 비해 토양에 대한 흡·탈착이 잘 이루어지기 때문인 것으로 생각된다(Kim et al., 1992).

용존무기질소 중 암모니아질소는 0.000~0.082 mg/L(평균: 0.028 mg/L), 아질산질소는 0.000~0.008 mg/L(평균: 0.002 mg/L), 질산질소는 0.029~1.053 mg/L(평균: 0.341 mg/L)로 암모니아질소와 아질산질소는 농도도 낮았으며, 지역별 차이도 그다지 뚜렷하지 않았다. 그러나, 질산질소가 용존무기질소 중 차지하는 비율은 거의 모든 염지하수에서 90% 이상을 차지하였다. 용존무기질소의 농도는 0.064~1.074 mg/L로 지역별 차이도 컸으며, 같은 마을에서도 염지하수공별 차이가 컸다. 평균농도는 표선, 신흥, 태흥, 보목에서 0.420 mg/L 이상으로 비교적 높았으며, 대부분의 염지하수공에서 수질II등급을 훨씬 초과하였다(Fig. 3). 지하수내 질산질소는 지표의 비점원오염원 및 해수의 유입에 의해 공급되는데 동남부지역에서 용존무기질소의 농도가 높게 나타나는 것은 염분농도가 높은 관정에서 상대적으로 높은 값을 보이는 것으로 보아 해수유입에 따른 원인인 것으로 추정된다.

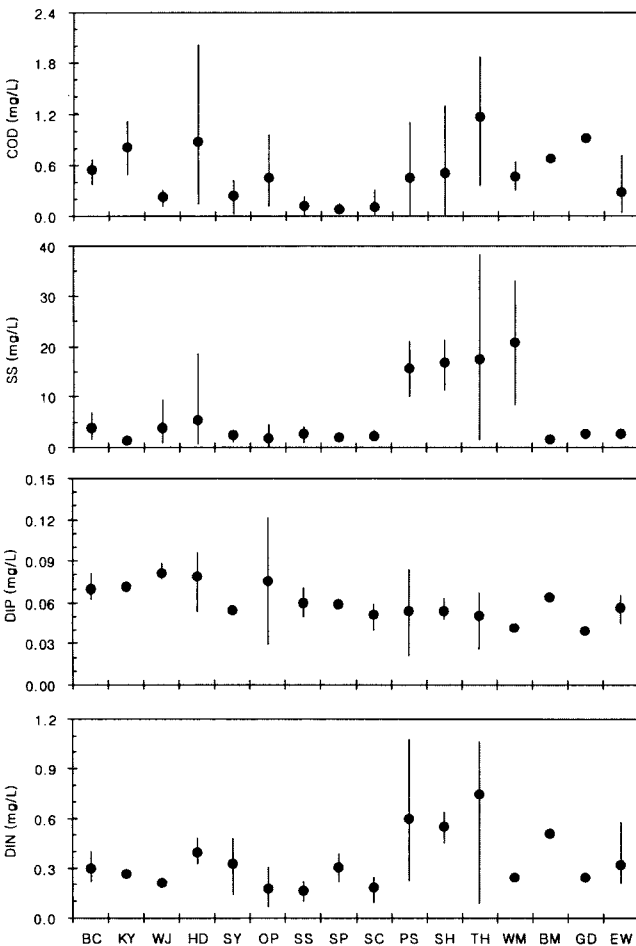


Fig. 3. Regional variations of chemical oxygen demand(COD), suspended solid(SS), dissolved inorganic phosphate(DIP), dissolved inorganic nitrogen(DIN) at saline groundwater during March-May, 1995. Each abbreviation is indicated as that in Fig. 2.

수질의 계절 변동

염지하수 수질의 계절변동 특성을 살펴보기 위하여 75개소 염지하수 중 대표적으로 제주도 동북부의 구좌읍 김녕리, 동부지역인 성산을 신산리, 남부지역인 서귀포시 보목리, 서부지역인 한림읍 귀덕리에 위치한 염지하수와 연안해수 중 각 성분의 평균농도와 변동폭을 Table 2에 수록하였으며, 계절 변동양상을 Fig. 4와 5에 나타내었다.

염지하수의 수온 변동폭은 16.5~18.8°C로 계절변동양상이 뚜렷하지 않았으며, 연평균값은 16.8~18.0°C로 지역별 차이는 크지 않았지만 김녕과 보목에서 각각 최소값과 최대값을 나타내었다. 그러나, 연안수의 변동폭은 12.1~28.6°C로 염지하수 보다 계절별 차이가 매우 컸으며, 온대해역의 전형적인 계절변동양상을 보였다. 반면에, 연안수의 연평균값은 19.7~20.7°C로 지역별 차이가 염지하수 보다 작았다. 이처럼 염지하수 수온의 지역별 차이를 보이는 것은 지하수공의 깊이(김녕: 32 m, 신산: 60 m, 보목: 45 m, 귀덕: 60 m)에 따른 원인과 그 지역의 지열

Table 2. The range and average contents of water quality in saline groundwater and coastal seawaters at four fish farms in Jeju Island

Area	Kimyeong		Sinsan		Bomok		Gwiduck	
	SGW	CSW	SGW	CSW	SGW	CSW	SGW	CSW
Temp. (°C)	16.5-17.4 (16.8)	12.1-27.4 (19.7)	16.9-18.2 (17.6)	14.5-27.2 (20.1)	16.8-18.8 (18.0)	14.8-28.6 (20.7)	17.0-18.2 (17.6)	13.6-26.4 (20.0)
Salinity ppt	32.43-33.54 (32.98)	26.47-33.90 (32.05)	20.60-32.97 (28.43)	31.98-34.53 (33.58)	29.27-34.02 (31.17)	31.08-34.46 (33.49)	33.22-33.70 (33.45)	30.54-34.50 (32.73)
pH	7.32-8.33 (7.94)	7.72-8.28 (8.22)	7.77-8.08 (7.90)	8.10-8.28 (8.18)	7.34-7.95 (7.70)	8.11-8.34 (8.19)	7.77-8.16 (7.99)	7.79-8.33 (8.16)
DO (ml/L)	2.09-3.70 (2.85)	4.02-12.19 (6.53)	2.15-4.50 (3.51)	3.40-6.28 (5.06)	1.36-3.22 (2.40)	3.63-6.61 (5.28)	1.61-2.83 (2.49)	3.56-7.76 (5.38)
COD (mg/L)	0.05-1.62 (0.43)	0.05-2.25 (1.02)	0.08-0.78 (0.33)	0.10-2.07 (0.81)	0.16-2.15 (0.60)	0.34-1.68 (0.84)	0.03-2.15 (0.52)	0.33-2.46 (0.99)
NH ₄ -N (mg/L)	0.007-0.025 (0.016)	0.001-0.052 (0.021)	0.001-0.083 (0.021)	0.000-0.030 (0.014)	0.002-0.085 (0.022)	0.001-0.069 (0.019)	0.007-0.028 (0.019)	0.002-0.061 (0.023)
NO ₂ -N (mg/L)	0.001-0.006 (0.003)	0.001-0.028 (0.007)	0.000-0.007 (0.003)	0.000-0.014 (0.004)	0.001-0.012 (0.004)	0.000-0.007 (0.004)	0.001-0.006 (0.003)	0.000-0.011 (0.003)
NO ₃ -N (mg/L)	0.089-0.282 (0.202)	0.014-0.512 (0.110)	0.109-1.550 (0.571)	0.004-0.186 (0.076)	0.291-2.295 (0.834)	0.017-0.373 (0.154)	0.070-0.635 (0.218)	0.019-0.274 (0.105)
DIN (mg/L)	0.113-0.294 (0.220)	0.022-0.567 (0.137)	0.119-1.568 (0.593)	0.015-0.202 (0.095)	0.309-2.308 (0.860)	0.036-0.443 (0.177)	0.092-0.661 (0.240)	0.039-0.334 (0.131)
PO ₄ -P (mg/L)	0.042-0.073 (0.061)	0.005-0.025 (0.012)	0.041-0.077 (0.060)	0.000-0.015 (0.006)	0.014-0.068 (0.043)	0.007-0.051 (0.016)	0.016-0.046 (0.034)	0.005-0.038 (0.016)
SS (mg/L)	1.9-17.4 (6.8)	1.3-14.9 (5.8)	1.2-15.5 (5.9)	1.0-12.8 (5.1)	0.7-19.7 (5.4)	0.3-16.0 (5.2)	1.1-16.4 (6.2)	1.0-27.6 (6.9)

효과 때문이라고 생각된다(Park, 1994; 제주도, 1999).

염분은 염지하수(20.60~34.02 ppt)가 연안수(26.47~34.53 ppt)보다 변동폭이 다소 컸으며, 염지하수의 연평균 값은 김녕과 귀덕의 경우 연안수 보다 높은 반면에, 보목과 신산에서는 연안수 보다 낮았다. 계절변동 양상을 보면, 연안해수의 경우 1994년과 1995년 모두 8월에 32.0 ppt 이하로 저염을 보였으나, 다른 계절에는 변동양상이 뚜렷하지 않았다. 이와 같이, 하계에 제주도 연안수의 염분이 낮은 것은 중국대륙 연안수가 제주도 연안으로 확장되기 때문이라고 생각된다(Kim and Rho, 1994; Kim et al., 1998). 그러나, 염지하수의 경우 김녕, 보목, 귀덕에서는 모든 시기에 29.3 ppt 이상으로 농도도 비교적 높았으며, 계절변화 양상도 그다지 뚜렷하지 않았다. 반면에, 신산에서는 1995년 6월 이후 현저히 낮아져서 8월에는 20.6 ppt로 최저값을 보인 후 다시 높아지는 경향을 보였다. 이처럼, 1995년 6월 이후에 염지하수의 염분값이 매우 낮은 것은 1995년 7월 이 지역의 강수량이 평년에 비해 약 500 mm 정도 많았기 때문인 것으로 판단된다.

수소이온농도는 염지하수가 7.69~8.08(평균: 7.80~7.97)로 연안수의 7.92~8.38(평균: 8.20~8.27) 보다 낮았으며, 변동 폭은 비슷하였다. 염지하수 및 연안수의 계절변화 양상은 뚜렷하지 않았으며, 평균값은 연안수의 경우 귀덕에서, 염지하수는 보목에서 최소값을 보였으나 지역별 차이는 크지 않았다.

용존산소포화도의 연변동 폭은 염지하수(24.7~89.8%)가 연안수(69.4~149.3%) 보다 작았으며, 신산의 일부 측정값을 제외하면 모든 염지하수에서 60% 이하로 연중 현저히 불포화상태

를 보였다. 계절변화 양상은 염지하수와 연안수 모두 뚜렷하지 않았으나 대체적으로 겨울과 가을에 낮았으며, 여름에 높아지는 경향을 보였다(Fig. 4).

화학적산소요구량의 연변동 폭은 염지하수(0.05~2.15 mg/L)와 연안수(0.05~2.46 mg/L)가 비슷하였으나, 평균농도는 염지하수(0.43~0.60 mg/L)가 연안수(0.84~1.02 mg/L) 보다 다소 낮았다. 계절별로는 연안수의 경우 대체적으로 가을 및 겨울에 다소 높아지는 경향을 보였으나, 염지하수는 보목과 귀덕의 1995년 10월에 다소 높은 값을 보이는 것을 제외하면 시기별 차이가 뚜렷하지 않았으며, 몇몇 자료를 제외하면 대부분 수질II 등급 이내로 양호한 상태를 보였다.

부유물질의 연변동 폭은 염지하수(0.7~19.7 mg/L)와 연안수(0.3~27.6 mg/L)가 비슷한 수준이었으며, 평균농도 역시 비슷하였다(Table 2). 계절별로는 지역에 따라 다소의 차이가 있으나 연안수와 염지하수 모두 대체적으로 1994년 10월과 12월 및 1995년 8월과 10월에 비교적 높은 농도를 보였으나, 다른 시기에는 10.0 mg/L 이하로 농도도 낮았고 지역별 차이도 작았다.

용존무기인의 연변동 폭은 염지하수(0.014~0.077 mg/L)가 연안수(0.000~0.051 mg/L) 보다 컸으며, 평균농도 역시 염지하수(0.034~0.061 mg/L)가 연안수(0.006~0.016 mg/L) 보다 높았다. 또한, 연안수의 용존무기인 농도는 귀덕의 1994년 8월과 보목의 1995년 12월 측정값을 제외하면 0.018 mg/L 이하로 매우 낮았다. 그러나, 염지하수에서는 일부 측정값을 제외하면 대부분 0.031 mg/L 이상으로 매우 높았다. 이처럼, 염지하수의 용존무기인이 연안수에 비해 현저히 높은 것은 앞에서 언급한 바와

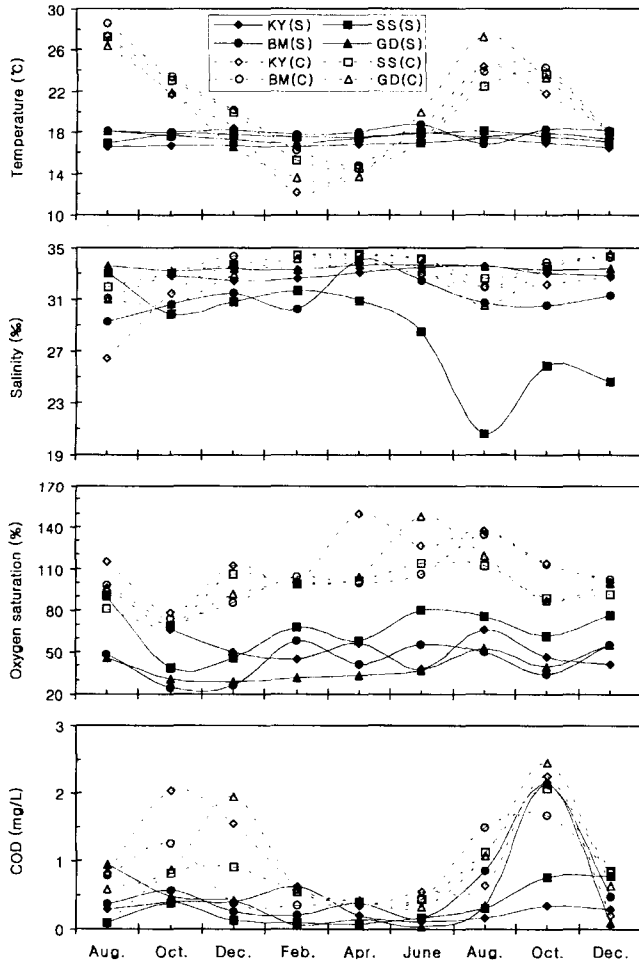


Fig. 4. Seasonal variations of temperature, salinity, COD, oxygen saturation at saline groundwater and coastal seawater from August 1994 to December 1995. KY=Kimyeong, SS=Sinsan, BM=Bomok, GD=Gwiduck.

같이 용존무기인이 다른 성분에 비해 토양에 대한 흡·탈착이 용이하기 때문인 것으로 생각된다(Kim et al., 1992).

암모니아질소의 변동폭은 염지하수가 0.000~0.085 mg/L(평균: 0.016~0.022 mg/L)로 연안수의 0.000~0.068 mg/L(평균: 0.014~0.023 mg/L)와 비슷하였다(Table 2). 염지하수와 연안수 모두 일부 측정값을 제외하면 계절별·지역별 차이가 뚜렷하지 않았으며, 대부분 용존무기질소에 대한 비율이 10% 이하로 매우 낮았다.

아질산질소의 변동폭은 염지하수가 0.000~0.012 mg/L(평균: 0.003~0.004 mg/L)로 연안수의 0.000~0.028 mg/L(평균: 0.003~0.007 mg/L)보다 다소 작았다(Table 2). 아질산질소 역시 암모니아질소와 마찬가지로 일부 측정값을 제외하면 대부분 용존무기질소에 대한 비율이 10% 이하로 매우 낮았으며, 계절별·지역별 차이도 뚜렷하지 않았다.

질산질소의 변동 폭은 염지하수(0.070~2.294 mg/L)가 연안수(0.003~0.512 mg/L)보다 훨씬 컸으며, 평균농도 역시 염지하수

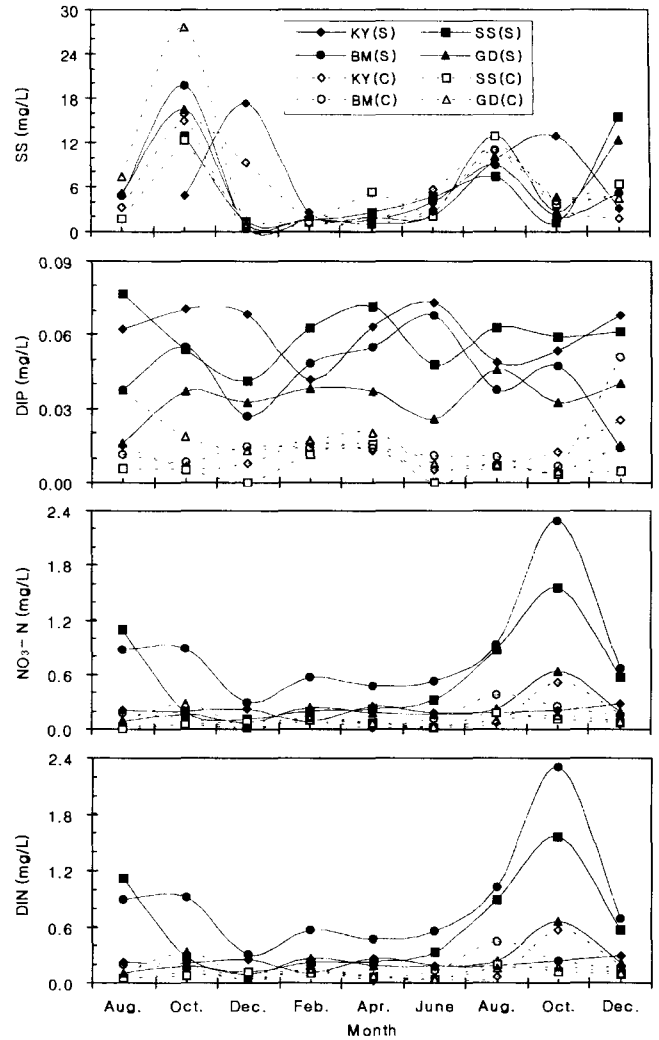


Fig. 5. Seasonal variations of SS, PO₄-P, NH₄-N, NO₃-N at saline groundwater and coastal seawater from August 1994 to December 1995. Each abbreviation is indicated as that in Fig. 4.

(0.202~0.834 mg/L)가 연안수(0.076~0.154 mg/L)보다 훨씬 높았다. 계절변동 양상을 보면, 신산과 보목의 염지하수에서 1995년 10월에 현저히 높은 농도를 나타내었으며, 특히 보목에서는 연중 연안수 보다 훨씬 높은 농도를 보였으나, 계절변동 양상은 뚜렷하지 않았다(Fig. 5).

용존무기질소의 계절변동양상은 용존무기질소 중 질산질소가 차지하는 비율이 대부분 80% 이상이기 때문에 질산질소와 매우 유사한 계절변동 양상을 보였다. 이를테면, 염지하수의 변동폭은 0.113~2.309 mg/L로 연안수(0.021~0.443 mg/L) 보다 변동폭이 훨씬 컸으며, 평균농도 역시 염지하수(0.220~0.860 mg/L)가 연안수(0.132~0.176 mg/L) 보다 현저히 높았다. 특히, 신산과 보목에서는 다른 지역에 비해 매우 높은 농도를 보였으며, 계절별로는 두 지역 모두 1995년 10월에 매우 높았다(Fig. 5). 이와 같이, 특정시기에 높은 농도를 보이는 점과 특히 보목리에서 다른 지역에 비해 약 1.5~3.9배 정도 높은 것은 본 자료만

으로는 정확히 알 수 없으나, 신산의 경우 일시적인 강우량의 증가에 의한 것으로 생각되며, 보목리는 신산과는 다른 수문지 질학적 특성 때문인 것으로 추정된다.

고 찰

양식에 사용하는 사육수의 수질은 어류에 스트레스를 주고, 어류의 성장률을 저하시키는 물론 사육어류의 사망원인이 될 수 있으므로 사육수의 수질은 매우 중요하다고 할 수 있다.

수질인자 중 수온은 어류의 성장, 번식, 영양대사, 삼투압 조절 및 면역 등과 같은 생리학적 요인을 좌우하는 중요한 변수가 된다(Ishioka, 1980; Davis and Parker, 1990; Ryan, 1995). 특히, 급격한 수온의 변화는 어체의 생리조건을 변화시키거나 체내 항상성(homeostasis)을 붕괴시킬 수 있다(Barton and Iwama, 1991; Pickering, 1992; Chang et al., 1999). 본 조사결과 염지하수의 수온범위는 14.5~18.4°C(평균: 16.7±1.5°C)로 지역적인 차이가 매우 작았으며, 4개 지역의 연변동쪽 역시 16.5~18.8°C로 매우 작았다. 그러나 연안수의 수온은 12.1~28.6°C(평균: 19.7~20.7°C)로 지역별 차이는 작았지만 연변동 쪽이 매우 컸다. 제주도의 육상양식장에서 양식되는 어종은 넘치가 주종을 이루고 있으며, 넘치 양성시 성장 적정수온은 15~26°C이지만 성장과 생존율을 고려하면 21°C 전후가 적합하고, 먹이섭취 한계수온은 10~27°C로 알려져 있다(유, 2000). 또한 부화가 능 수온은 10~24°C, 부화 적정수온은 14~19°C이며, 기형율은 15°C에서 가장 낮고, 24°C에서 가장 높다. 따라서, 염지하수와 연안수를 적절히 혼합하여 이용하면 여름철 고수온기 및 겨울철 저수온기에 수온 변화에 따른 양식생물에 대한 악영향을 최소화시킬 수 있으며, 겨울철에 온도를 높이거나 여름철에 온도를 낮추기 위해 전력을 소비하지 않아도 된다는 큰 장점을 가지고 있다고 생각된다.

어류양식장에 사용되는 양식수의 염분농도는 어란과 자치어의 삼투압 조절능력과 관련하여 발생, 성장 및 발달에 영향을 미치며, 심할 경우 폐사를 일으키기도 한다(隆島·羽生, 1989). 또한, 이와 노(1986)는 부화 직후의 감성돔 치어의 경우 염분농도가 14.1‰에서도 48시간까지 생존율이 78%였지만 성장할수록 염분에 대한 내성이 강해진다고 하였으며, 10 ppt 이상의 염분차가 생길 경우 계속적으로 폐사 개체가 출현한다고 하였다. Chun and Rho(1991)는 전장 20 mm 정도의 넘치 치어의 경우 염분농도가 20 ppt 이상의 갑작스런 변화에서는 1~3일 사이에 폐사하였으나, 단계적으로 적응시킬 경우에는 감성돔 치어와 마찬가지로 14.1 ppt까지도 생존 가능하였으며, 부화후 200일째의 치어에서는 7.6 ppt에서도 5일까지 생존한다고 하였다. 특히, 1996년도 여름철에는 중국 양자강에 기원한 저염수(염분농도 25 ppt 이하)가 제주도 서부연안에 접안하여 어·패류를 폐사시켜 많은 수산피해를 일으켰다(조 등, 1996; Kim et al., 1998). 또한, 본 연구에서 조사한 75개 염지하수공의 염분농도는

23.22~34.34 ppt 이었으며, 연변동 쪽은 20.60~34.02 ppt이었다. 따라서, 1996년과 같은 자연재해에 의한 수산피해를 줄이기 위해서는 염지하수를 연안수와 적절히 혼합하여 사용하는 것이 바람직하다고 생각된다.

염지하수 중 수소이온농도는 연안수 보다는 다소 낮았으나 양식생물에 영향을 줄 정도는 아닌 것으로 판단된다. 또한, 김녕리 연안수에서 다소 높은 값을 보이는 것은 이 시기의 용존 산소포화도가 현저히 과포화되어 있는 것으로 보아 식물플랑크톤의 광합성에 의한 영향인 것으로 생각된다. 특히 염지하수 중 용존산소포화도는 대부분의 염지하수에서 80% 이하로 불포화되어 있으며, 60% 이하인 염지하수도 많았다. 대표지역의 염지하수내 용존산소포화도 역시 대부분 60% 이하로 연중 현저히 불포화 상태를 보였다. 따라서, 이러한 문제를 해결하기 위해서는 폭기 등의 조작으로 간단히 포화상태를 유지할 수 있으므로 어류양식에 영향을 주지 않을 것으로 판단된다.

사육중인 어류의 성장에 지장을 초래하지 않는 무기질소의 농도는 틸라피아의 경우 암모니아질소가 10 mg/L(김, 1983)이었고, 뱀장어의 성장에 영향을 주지 않는 암모니아질소와 아질산질소의 농도는 두 성분 모두 10 mg/L(Yamagata and Niwa, 1979; 1982)이었다. 해산어류인 감성돔 사육에서 최초의 폐사 개체가 출현하는 암모니아질소의 농도는 10.4 mg/L이었으며, 넘치 및 황점볼락 치어는 암모니아질소가 0.17 mg/L, 아질산질소가 0.33 mg/L, 질산질소가 34.06 mg/L 이하일 경우 90% 이상의 생존율을 보였다(Chang et al., 1995a, b). 또한, 넘치의 자어는 초기에 0.3~1.1 mg/L(Kim et al., 1997) 이하에서도 폐사를 일으킬 수 있다고 한다. Daniels et al.(1987)은 해산어류인 spotted seatrout 자어에 영향을 주는 아질산질소의 독성에 대해서 24-h LC₅₀은 980 mg/L이라 보고하였으며, 아질산질소의 독성이 약화되는 것은 해수 중 Ca²⁺, Cl⁻ 이온의 농도가 높는데 기인한다고 하였다(Crawford and Allen, 1977).

Chang and Yoo(1988)는 순환여과식 사육시스템에서 해산어류인 넘치 치어를 사육한 결과 아질산질소 0.006~0.33 mg/L, 질산질소 3.89~34.06 mg/L의 범위에서도 90% 이상의 높은 생존율을 보였다. 川本(1977)은 질산질소의 농도 300 mg/L일 경우 문어에게는 피해를 주지만 어류에게는 아무런 영향이 없다고 보고하였다. 또한, 인산인과 부유물질의 농도는 어류의 성장에 영향이 크지 않다고 한다.

본 조사결과, 75개 지역의 염지하수 중 암모니아질소의 최대값이 0.082 mg/L(평균: 0.028 mg/L), 아질산질소의 최대값은 0.008 mg/L(평균: 0.002 mg/L), 질산질소의 최대값은 1.053 mg/L(평균: 0.341 mg/L)이었고, 용존무기질소의 최대값은 1.075 mg/L(평균: 0.371 mg/L)이었다. 따라서, 제주도 전역에서 사용하는 염지하수의 암모니아질소와 아질산질소의 최대농도가 Kim et al.(1997)이 넘치 치어에 영향을 줄 수 있는 농도 보다는 훨씬 낮았다.

또한, 4개 지역의 염지하수에 대한 연변동 쪽은 암모니아질

소가 0.000~0.085 mg/L(평균: 0.020 mg/L), 아질산질소가 0.000~0.012 mg/L(평균: 0.003 mg/L), 질산질소가 0.070~2.295 mg/L(평균: 0.456 mg/L)이었으며, 용존무기질소는 0.092~2.308 mg/L(평균: 0.478 mg/L)이었다. 따라서, 염지하수의 질소화합물의 농도는 비점원오염원에서 일시적으로 과다 유입될 경우를 제외하면 기존의 연구결과들 보다 현저히 낮은 수준으로서 넘치치어를 사육하여도 사육수의 수질에 의한 직접적인 폐사는 일어나지 않을 것으로 판단된다.

요 약

제주도 연안에 인접한 육상양식장에서 사용하는 염지하수의 수질상태를 파악하기 위하여 1994년 3월부터 5월까지 75개 양식장의 염지하수공을 선정하여 수질을 측정하였고, 계절변동특성을 파악하기 위하여 1994년 8월부터 1995년 12월까지 4개 양식장(김녕리, 신산리, 보복동, 귀덕리)의 염지하수와 연안수의 수질을 격월별로 측정하였다.

전체 염지하수의 수온은 14.8~18.4°C였고, 계절변동 폭은 16.5~18.8°C였다. 염지하수 중 염분의 전체범위는 23.22~34.34 ppt이며, 계절변동 폭은 20.60~34.02 ppt로 연안수(26.47~34.53 ppt)보다 다소 큰데, 이는 일부지역 염지하수의 염분 농도가 강우량의 영향을 받았기 때문이다. 용존산소포화도는 대부분의 염지하수공에서 80% 이하(24.7~89.8%)로 불포화상태를 보였으며, 대체적으로 겨울과 가을에 낮았다. 염지하수의 화학적산소요구량과 수소이온농도는 대체적으로 연안수와 비슷하였으며, 시기별 변화가 뚜렷하지 않았다.

전체 염지하수 중 용존무기인의 범위는 0.021~0.121 mg/L였고, 계절변동폭은 0.014~0.077 mg/L로 연안수(0.000~0.051 mg/L)보다 높았다. 질소화합물 중 질산질소가 대부분의 염지하수에서 90% 이상을 차지하고 있다. 또한, 암모니아질소, 아질산질소, 질산질소 및 용존무기질소의 최대값은 각각 0.085 mg/L, 0.012 mg/L, 2.294 mg/L 및 2.309 mg/L로 양식생물에 영향을 줄 수 있는 농도 보다 현저히 낮았다. 따라서, 제주도내 염지하수의 수질은 양식수로서 매우 적합한 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 국립수산과학원 경상연구과제인 “제주연안 지하해수에 관한 연구”의 일부로 수행되었습니다. 본 원고에 대해 익명의 두 분 심사위원이 세심한 심사와 지적들은 논문의 질을 높일 수 있는 좋은 기회가 되었기에 이에 감사드립니다.

참고문헌

- Barton, B. A. and G. K. Iwama, 1991. Physiological changes in fish from stress in aquaculture with emphasis on the response and effects of corticosteroids. *Annu. Rev. Fish Disease*, **1**: 3-26.
- Chang, Y. J., C. S. Ko and H. S. Yang, 1995a. Comparison on seedling production of marine fishes between recirculating and running seawater system. *J. of Aquaculture*, **8**: 117-131 (in Korean).
- Chang, Y. J., M. R. Park, D. Y. Kang and B. K. Lee, 1999. Physiological responses of cultured olive flounder(*Paralichthys olivaceus*) on series of lowering seawater temperature shaply and continuously. *J. Kor. Fish. Soc.*, **32**: 601-606 (in Korean).
- Chang, Y. J., S. H. Kim and H. S. Yang, 1995b. Culture of the olive flounder(*Paralichthys olivaceus*) in a semi-closed recirculating seawater system. *J. Kor. Fish. Soc.*, **28**: 457-468 (in Korean).
- Chang, Y. J. and S. K. Yoo, 1988. Rearing density of a flounder, *Paralichthys olivaceus* juveniles in a closed recirculating seawater system -Possibility of high-density rearing-. *J. of Aquaculture*, **1**: 13-24 (in Korean).
- Chun, J. C. and S. Rho, 1991. Salinity tolerance of eggs and juveniles of flounder, *Paralichthys olivaceus*(Temminck et Schlegel). *J. of Aquaculture*, **4**: 73-84 (in Korean).
- Crawford, R. E. and G. H. Allen, 1977. Seawater inhibition of nitrite toxicity to chinook salmon. *Trans. Am. Fish. Soc.*, **106**: 105-109.
- Daniels, H. V., C. E. Boyd and R. V. Minton, 1987. Acute toxicity of ammonia and nitrite to spotted seatrout. *Prog. Fish. Culture*, **49**: 260-263.
- Davis, K. B. and N. C. Parker, 1990. Physiological stress in striped bass: effect of acclimation temperature. *Aquaculture*, **91**: 349-358.
- Ishioka, H., 1980. Stress reactions in the marine fish-I. Stress reactions induced by temperature change. *Bull. Japan Soc. Sci. Fish.*, **46**: 523-532.
- Kim, H. S., H. Y. Kim and P. Chin, 1997. Effects of ammonia on survival and growth of the flounder larva, *Paralichthys olivaceus*. *J. Kor. Fish. Soc.*, **30**: 488-495 (in Korean).
- Kim, I. O. and H. K. Rho, 1994. A study on china coastal water appeared in the neighbouring seas of Cheju Island. *Bull. Kor. Fish. Soc.*, **27**: 515-528 (in Korean).
- Kim, J. Y., Y. K. Oh and A. P. Ryu, 2001. Study on the salinization in groundwater of the eastern area of Cheju Island. *J. Kor. Environ. Sci. Soc.*, **10**: 47-58 (in Korean).
- Kim, S. H., S. J. Shin, S. S. Oh, Y. C. Song, S. M. Oh, S. S. Lee, J. N. Koh, H. J. Koh and Y. K. Koh, 1992. A survey on the fluctuation of dissolved solids into the groundwater in Chejudo. *Cheju Island Health Environ.*, **3**: 201-215 (in Korean).
- Kim, S. S., W. J. Go, Y. J. Jo, P. Y. Lee and K. A. Jeon, 1998. Low salinity anomaly and nutrient distribution at surface waters of the south sea of Korea during 1996 summer. *J. Kor. Soc. Oceanogr. The Sea*, **3**: 165-169 (in Korean).
- Koh, G. W., Y. K. Ko, S. H. Kim, S. S. Oh, W. B. Park and S. Yoon, 1992. Study on the subsurface geologic structure, groundwater level fluctuation and groundwater quality of the eastern area of Cheju Island. *Report of Cheju Island Helth Environ.*, **3**: 15-43 (in Korean).
- Oh, Y. K. and G. S. Park, 1994. A study on the chemical characteristics of ground-seawater in the eastern coast of Cheju Island. *Bull. Mar. Resour. Res. Inst. Cheju Nat. Univ.*, **2**: 77-88

- (in Korean).
- Oh, Y. K., K. H. Kim and S. P. Ryu, 2000. Physicochemical characteristics of groundwater salinization in the eastern area of Cheju Island. *J. Kor. Environ. Sci. Soc.*, **9**: 253–259 (in Korean).
- Park, G. S., 1994. A study on the chemical characteristics of ground-seawater in the coastal of Cheju Island. M.S. thesis, Cheju National University, pp. 50 (Korean).
- Pickering, A. D., 1992. Rainbow trout husbandry: management of the stress response. *Aquaculture*, **100**: 125–139.
- Ryan, S. N., 1995. The effect of chronic heat stress on cortisol levels in the Antarctic fish, *Pagothenia borchgrevinki*. *Experientia*, **51**: 768–774.
- Yamagata, Y. and M. Niwa, 1979. The toxicity of nitrite to eel. *Suisanzoshoku*, **27**: 5–17(in Japanese).
- Yamagata, Y. and M. Niwa, 1982. Acute and chronic toxicity of ammonia to eel *Anguilla japonica*. *Bull. Japan. Soc. Sci. Fish.*, **48**: 171–176 (in Japanese).
- 국립수산진흥원, 1985. 해양오염 및 적조조사지침. 예문사, pp. 297.
- 김대권, 손팔원, 1995. 제주연안 염지하수에 관한 연구. 남해수산연구소 사업보고서, pp. 69–76.
- 김인배, 1983. 무여과순환수탱크이용 *Tilapia*의 고밀도사육실험. *한국수산학회지*, **16**: 59–67.
- 유성규, 2000. 천해양식. 부산, 구덕인쇄사, pp. 531–545.
- 이정식, 노섬, 1986. 감성돔, *Mylio macrocephalus*(Basilewsky)의 종묘생산에 관한 연구, 제주대학 해양자원연보, pp. 1–15.
- 제주도, 1999. 제주도 지하수 순환시스템 조사, pp. 446.
- 제주도, 2001. 제주도 수문지질 및 지하수자원 종합조사(I), pp. 378.
- 조영조, 고우진, 김성수, 김창길, 김호상, 1996. 한국남해 해양조사. 남해수산연구소 사업보고서, pp. 460–473.
- 川本信之, 1997. 魚類生理. 恒星社厚生閣, 東京, pp. 605.
- 隆島史夫, 羽生功, 1989. 水族繁殖學. 水産養殖講座 4, 綠書房, pp. 222–237.

원고접수 : 2002년 4월 8일

수정본 수리 : 2003년 1월 6일

책임편집위원 : 권혁주