

朝天沿岸域의湧泉水와海水流動 및環境要因의 帶狀分布에 대한考察

朴 庸 向
(海洋科學大學 海洋學科)

On Spring Waters Along the Jocheon Coast, Coastal Water Movements and
the Channel-like Distribution of Environmental Factors.

Young-hyang PARK

(Dept. Oceanography, College of Ocean Sciences)

Spring waters of a flux of 17×10^3 (m^3/day) from a group of 9 shore-line springs near Jocheon elementary school and of 42×10^3 (m^3/day) from a group of 6 springs near Sinchon port have been estimated to flow out into the sea. The most interesting and exploitable springs may be the three springs (No. 13, 14, 15) inside Shinchon port and the three springs (No. 4, 5, 6) in front of Jocheon elementary school which well up fresh waters respectively of 33×10^3 and 9×10^3 (m^3/day). The spring water temperature stays around $15.5^\circ C$ all along the year with a minute seasonal variation of $\pm 0.5^\circ C$. Spring waters in winter and spring times are warmer than sea waters by more than $1^\circ C$ and they spread out offshore through a surface layer. While during summer time, they are colder than sea waters by a maximum of $12^\circ C$ (Aug.) and consequently play a role as a cold water source. In this season, coastal waters affected by an outflow of spring waters reveal lower salinity and temperature and greater density compared to surrounding waters and spread out through a bottom layer. In Jocheon coastal area appears a cyclonic residual eddy caused by an interaction of the alternating tidal currents with a headland of Sinheung-Ri. With the appearance of the cyclonic eddy, a quasi permanent offshore current may be developed in front of Jocheon and Shinchon ports. The existence of the offshore current might well be confirmed by a channel-like distribution of coarser bottom sediments, nutrient salts and phytoplanktons. This offshore current has to be considered in the future as the most important natural channel for flushing out the coastal pollutant materials into the offshore area.

序 論

제주도는 화산섬 특유의 地質特性때문에 降雨에 의한

流水는 일시에 地表로 흘러내리거나 또는 地下로 침투되어 地下水資源을 형성하며, 해안선의 곳곳에서는 伏流된 지하수가 湧出되어 바다로 유입된다. 제주도內 생활용수, 농업용수 및 공업용수 등에 필요한 水源別 이

용에 있어서 湧泉水가 $278 \times 10^3 (ml/day)$, 지하수가 $211 \times 10^3 (ml/day)$, 그리고 表流水가 $37 \times 10^3 (ml/day)$ 로서 제주도 전체 用水의 약 절반을 용천수에 의존하고 있으며 앞으로는 $156 \times 10^3 (ml/day)$ 정도의 용천수가 개발 이용될 전망이다. (농업진흥공사, 1980, 1982; 강효율 등, 1983).

조천 및 신촌 해안에는 약 20여개에 달하는 群小湧泉水가 散在하며, 이 湧泉水들은 주민들의 세척용수로서 극히 일부만이 이용되고 대부분은 계속 海水로 흘러들어가고 있다. 이들 용천수에 대한 연구는 지역적 水資源의 개발 이용면에서도 중요하지만, 용천수의 유입에 의해 연안해역의 환경변화를 야기시키기 때문에 연안해수유동과 더불어 연안환경보전이라는 측면에서 매우 중요시 되어야 하겠다. 본 연구에서는 1983년에 실시한 "제주 조천지구 해양관광단지 조성에 따른 해양학적 기초조사" (고등, 1984)의 결과를 토대로 조천 및 신촌 해안에 산재하는 용천수의 流出量, 용천수 水溫의 계절변화와 연안해수유동 및 이에 관련된 환경요인의 帶狀分布에 대해 고찰하고자 한다.

湧泉水의 流出量

본 연구의 대상이 된 湧泉은 총 15개 지점으로서 朝天國校를 중심으로 한 9개 지점의 湧泉群과 신촌항을 중심으로한 6개 지점의 湧泉群으로 大別할 수 있으며, 이들의 대략적인 위치는 Fig. 1과 같다.

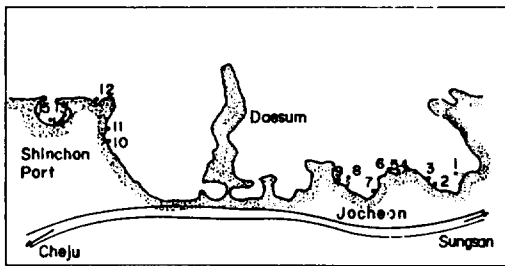


Fig. 1. Location of springs on the coast of Jocheon.

정확한 용천수의 유출량을 알기 위해서는 특정설비 (四角 또는 三角 Notch)를 이용하여 단위시간당 湧出되는 流量을 산출하여야 하나 (한정삼, 1983), 본 연구에서는 용천수 유출량의 개략적 만을 구할 목적으로 다음과 같이 매우 原始的인건 하나 비교적 타당성이 있다고 판단되는 방법을 이용하였다. 즉 水路가 비교적 잘 정리된 용천수 우물의 排水口에서 작은 종이쪽지나

벼운 浮游物質을 이용하여 배수구를 통해 바다로 빠져나가는 용천수의 개략적인 流速(V)를 계산하고, 배수구의 횡단면적(S)를 측정할 다음 流出量(F)를 산출해 내었다: $F=V \times S$.

漲潮時 즉 海水面이 상승하는 동안은 배수구를 통한 용천수의 유속측정이 불가능하기 때문에 유출량조사는 干潮後 海水面이 어느정도 하강한 後부터 실시하였다. 漲潮時의 용천수 유출량은 海水面 상승에 의한 地下水面의 경사가 상대적으로 낮아지기 때문에 落潮時의 유출량에 비해 미약하리라고 추정할 수 있겠다. 따라서 상기 방법으로 산출된 수치는 용천수 유출량 추정치의 최대 한계치라고 볼 수 있다. 용천수 조사는 83년 3월부터 매월 1회 정기적으로 실시하였으나 여러가지 시행착오로 3, 5, 6, 7월의 총 30개 자료만이 有用했으며 산출된 유출량은 Table 1과 같다.

Table 1. Estimated flux of spring waters on the coast of Jocheon
- : no measurement

Group	Spring St.	Flux of Spring ($10^3 ml/day$)			
		March	May	June	July
Jocheon	1	-	neglected	-	-
	2	-	2.0	-	-
	3	-	0.8	-	-
	4	-	2.9	3.5	-
	5	-	2.8	1.7	-
	6	-	3.3	-	-
	7	-	1.9	-	-
	8	-	0.5	1.0	-
	9	-	3.0	-	-
Sinchon	10	1.0	dried	-	-
	11	1.9	0.1	-	-
	12	5.9	1.4	-	2.1
	13	4.1	1.6	5.1	-
	14	5.3	0.6	1.4	4.1
	15	23.8	7.6	26.7	23.2

조천지역의 湧泉群(1~9)에서는 $0.5 \sim 3.5 \times 10^3 (ml/day)$ 의 유출량을 갖는 소규모 湧泉들로 구성되어있다. 이중 조천국교 앞 해안에 밀집되어있는 4, 5, 6의 세 湧泉에 의한 총 유출량은 5월의 경우 $9 \times 10^3 (ml/day)$ 로서 조천지역 湧泉群의 총 유출량 $17.2 \times 10^3 (ml/day)$ 의 약 절반에 해당된다. 반면에 신촌지역 湧泉群(10~15)에서는 최고 $42 \times 10^3 (ml/day)$ 의 용천수가 나오며, 약 80%의 용천수가 신촌항 내부에 있는 13, 14, 15에서 유출되고 이중에서 15가 가장 중요한 湧泉으

로서 이것 하나만으로도 신촌지역 총 유출량의 약 60%를 차지하고 있다. 이들 신촌항 내부의 세 湧泉에 의한 총 유출량은 3, 6, 7월의 경우 평균 $33 \times 10^3 (m^3/day)$ 이고 5월의 경우는 아의 약 3분의 1인 $10 \times 10^3 (m^3/day)$ 에 이른다. 이와같이 용천수 유출량은 위치뿐만 아니라 계절에 따라서도 많은 변화를 나타내는데 5월은 다른 달에 비해 유출량이 현저히 감소된 용천수 고갈기 임을 알 수 있다. 특히 신촌지역 湧泉群에서는 평균 3배 이상의 용천수 고갈 현상을 나타내었다.

해안가의 용천수 유출량은 地下水面과 海水面과의 높이 차이에서 기인하는 水平壓力傾度에 따라 변화할 것으로 판단된다. Ghyben-Hertzberg 理論에 의하면 平均海面 下部에 저수된 지하수의 深度, h_s 와 平均海面으로부터 地下水面까지 높이, h_f 사이에는 다음과 같은 관계식이 성립된다: $h_s = h_f \cdot \rho_f / (\rho_s - \rho_f)$. 여기서 海水密度, $\rho_s = 1.025 g/cm^3$ 와 地下水密度, $\rho_f = 1.000 g/cm^3$ 를 취하면 $h_s = 40 h_f$ 라는 관계식을 얻는다(Todd, 1959; Fig 2참조). 제주도과 같은 섬에서의 h_s 는 강우에 의한 지하수의 공급량, 지하수 개발에 따른 지하수의 소모량, 섬의 크기, 지층의 투수성 및 潮汐運動과 대기압 변화 등에 의하여 변하게 된다(Todd, 1959; Fig. 3 참조). 섬의 연안 근처에서의 지하수 개발에 의한 과잉취수로 인하여 地下水面이 海面 이하로 떨어지면 지하수와 해수 사이의 평형관계가 파괴되어 해수가 지하수 속으로 침입하게 되며 생활용수로서 지하수의 가치를 잃게 된다. 조천 및 신촌지역의 용천수 유출량의 변화가 상기 열거한 원인중 어느 요인에 의해 변화되는 가는 본 연구 결과에 의해서 판단하기 어려우며, 장차 보다 정밀한 용천수 조사가 필요하다고 판단된다.

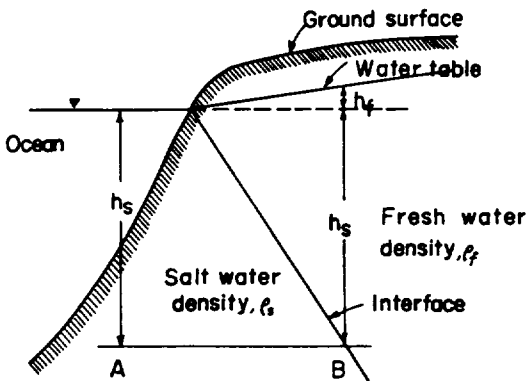


Fig. 2. Schematization of fresh and salt water distributions in an unconfined coastal aquifer. After Todd(1959).

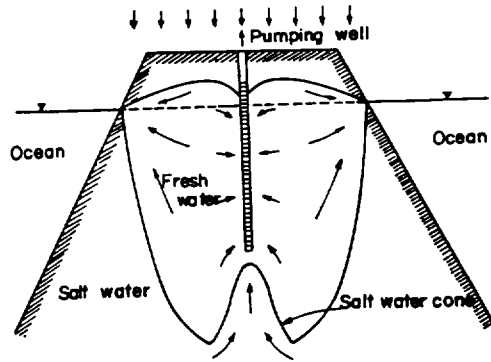


Fig. 3. Fresh water lens in an oceanic island with a pumping well. After Todd(1959).

湧泉水의 水温

조사지역의 용천수 수온은 지역 및 계절에 따라 변화가 거의 없으며 연중 평균수온 $15.5^\circ C$ 를 유지하고 계절에 따른 변화폭은 $\pm 0.5^\circ C$ 정도로 극미하다(Fig. 4). 반면에 조사기간 중에 관측된 표면해수 온도는 3월의 $14^\circ C$ 에서 점차 상승하여 8월에 $28^\circ C$ 의 최고 수온을 나타내며 9월 이후는 다시 차츰 강하하기 시작한다.

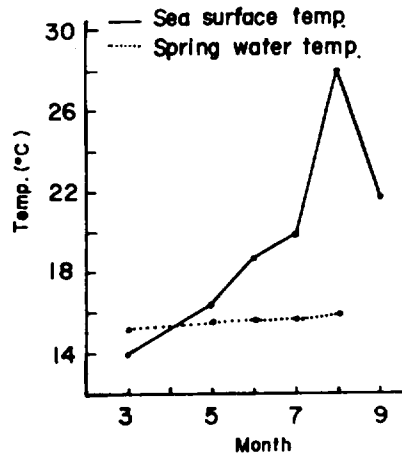


Fig. 4. Monthly variation of spring water and sea surface temperatures.

따라서 용천수는 冬春季에는 주위 해수에 비해 $1^\circ C$ 이상의 상대적 高溫을 유지하고 5월 이후 특히 8월에는 주위 해수와의 溫度差가 최고 $12^\circ C$ 에 달하는 冷水의 역할을 한다고 볼 수 있다. 冬季 및 春季는 용천수 유

입에 의해 희석된 연안수가 주위해수에 비해 低鹽, 高溫, 低密度를 나타내고 신촌과 조천포구 앞에서 外海 쪽으로 表層을 따라 이동 확산된다 (Fig.5). 반면에 夏季에는 용천수 수온이 상대적으로 매우 낮기 때문에 용천수 유입의 영향을 받는 연안수는 주위해수에 비해 低鹽, 低溫, 高密度를 나타내고 신촌과 조천포구 앞에서 外海 쪽으로 底層을 따라 이동 확산되는 것으로 판단된

다. 이의 좋은 예로서, Fig. 6의 6월의 표층수온과 20 m 층의 수온을 비교해 볼 때, 표층수온분포에서는 조천과 신촌포구 앞 해역에서 용천수 유입에 의한 저온의 분포가 나타나지 않지만 20 m 층 수온분포에서는 17°C 이하의 저온의 물이 신촌과 조천포구에서 외해 쪽으로 확산되고 있음을 알 수 있다.

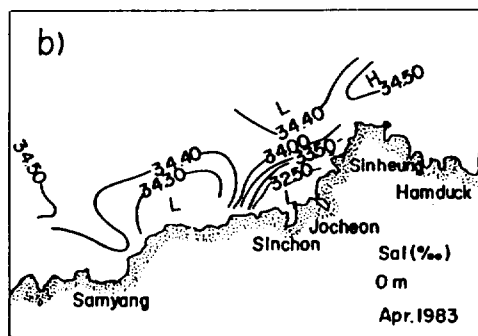
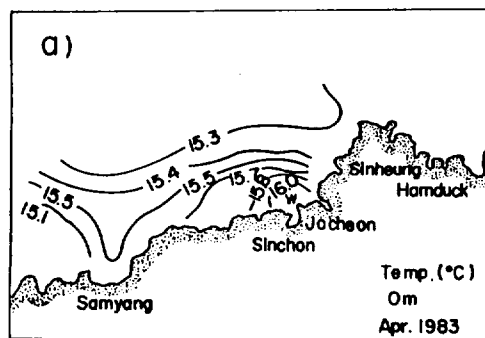


Fig. 5. Horizontal distribution of (a) surface temperature and (b) salinity along the coast of Jocheon-Samyang in April 1983.

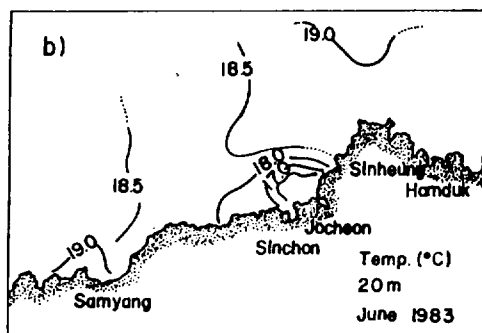
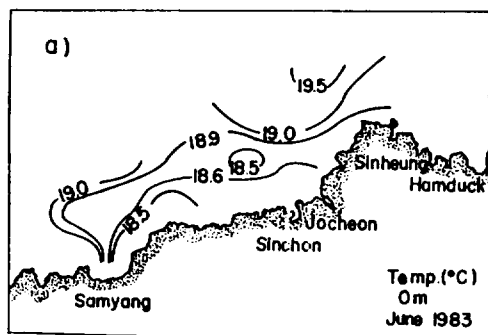


Fig. 6. Horizontal distribution of (a) surface temperature and (b) temperature at 20m in June 1983.

沿岸海水流動과 環境要因의 帶狀分布

83년도 조천연안 해수유동조사에는 총 3 차에 걸쳐 5개의 海流板을 海面下 3 m에 표류시키고 Sextant와 Compass를 이용하여 해류판의 표류위치를 대략 1시간 간격으로 추적 조사하였으며, 제 1, 2차 해류판실험 결과는 그림 7, 8과 같다. 제 1차 실험 (Fig.7)은 6월 18일 漲潮時에 수행되었으며, 해류판은 제주항 低潮時 (11 h 20)를 전후해서 투하되었고 총 3시간 (B)에서 5시간 (A) 정도 추적되었다. 漲潮時 해수유동의 특

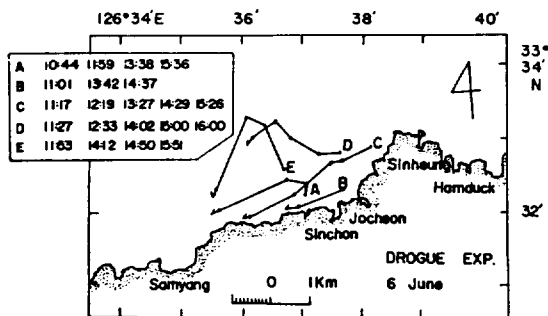


Fig. 7. 1st drogue experiment during flood tide in June 1983.

性은 1km 이내의 연안과 보다 外海쪽에서의 양상이 매우 다르게 나타나는 점이다. 즉 해안에서 부터 1km 이내에 투하시킨 해류관 A, B, C는 연안에 평행하게 표류하는 반면 이보다 外海쪽에 투하한 해류관 D, E는 제주항 低潮後 3 시간 까지는 外海쪽(NW)로 이동하였다가 그후 연안에 평행 또는 연안쪽을 향해 표류하였다. 평균유속은 0.3~0.8 kts 로 추산되었으며 低潮後 4 시간 부근에 最强流速이 나타났다. 제 2차 실험(Fig. 8)은 9월 19일 落潮時에 수행되었으며, 해류관은 제주항 高潮時(09h 07) 약 한시간 後부터 투하되었고 총 1시간(E)에서 3시간(B) 정도 추적되었으며 이 이후는 이날의 짙은 안개로 모두 소실되었다. 총 해류관 추적시간이 충분치 못했기 때문에 단정하기는 곤란하지만, 落潮時 해수유동은 전체적으로 커다란 左旋回渦流(Cyclonic eddy)의 양상을 나타내었다. 즉 조천포구 앞에서 투하된 해류관 B는 연안을 따라 北東 방향으로 표류하다가 신흥리 岬에 이르러 外海쪽(NW)으로 이동하였으며, 해류관 C, E는 처음부터 外海쪽으로 표류하였다. 1, 2차 해류관 실험결과를 종합해 볼 때 조천과 신흥포구 앞 해역에는 外海쪽으로 흐르는 恒流(NW; 0.3~0.5 kts)가 존재할 가능성이 농후하며, 이것은 돌출된 신흥리 岬에 의한 地形性 殘差渦流(residual eddy induced by coastal irregularity) 때문이라고 생각된다. 즉 연안에 평행한 往復性 潮流를 가정할 때 岬의 돌출부 부근에서의 해저 마찰력의 증가와 流線의 外海쪽으로 이탈 등에 의해 岬의 좌측역에는 左旋回渦流(cyclonic eddy)가, 우측역에는 右旋回渦流(anti-cyclonic eddy)가 생길 수 있으며 이러한 와류들은 반대 방향의 潮流운동에 의해 상쇄되지 않고 殘差渦流(residual eddy)로서 계속 존재할 수 있게 된다(Johns, 1983; Fig. 9). 조천과 신흥포구 앞 해역에서 外海쪽으로 흐르는 恒流의 가능성은 해저퇴적물의 粒度分布에서 더욱 더 확실해지는 것 같다. 즉 조천 및 신흥포구에서 外海쪽으로 떠 모양의 gravelly Sand(gS)의 組粒質 퇴적물이 분포하고 있는데(Fig. 10), 이것은 연안에서 外海쪽으로 비교적 강한 해수의 유동과 관련시켜 생각해 볼 수 있겠다. 만일 이와같은 帶狀의 恒流가 존재할 경우, 이것은 용천수 및 陸水에 의해 희석된 연안수와 연안오염물질, 영양염, 식물성플랑크톤 등 연안환경요인들의 이동 확산에 있어서 매우 중요한 流出經路의 역할을 하게 될 것이다. Fig. 11은 8월 신흥과 조천 앞 연안에서 外海로 뻗어 나가는 B. O. D. 7ppm 이상의 연안수의 帶狀流出을 나타내고 있는데, 이것은 조사 前日과 當日에 많은 비가 내려 조천과 신흥 쪽에서 나온

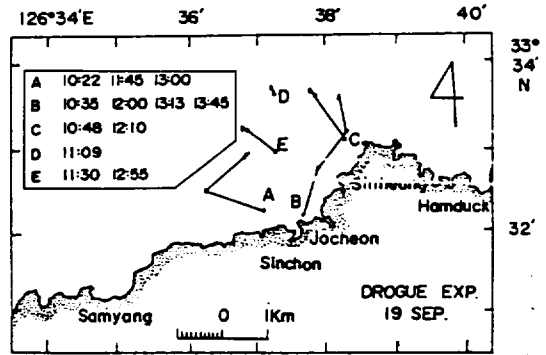


Fig. 8. 2nd drogue experiment during ebb tide in September 1983.

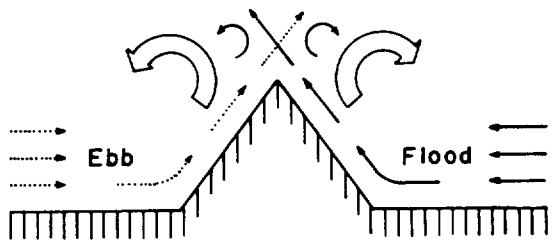


Fig. 9. Possible mechanism for the generation of headland eddies. After Johns (1983).

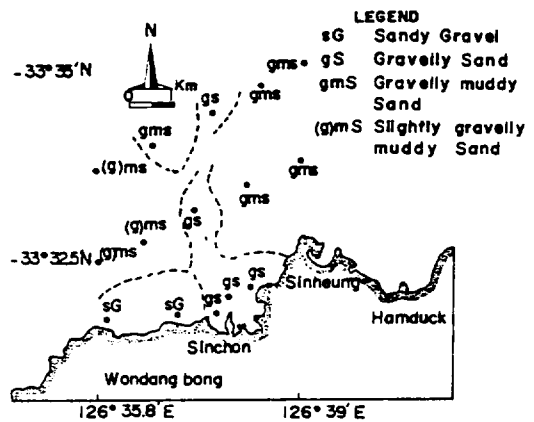


Fig. 10. Distribution of grain size of bottom sediments.

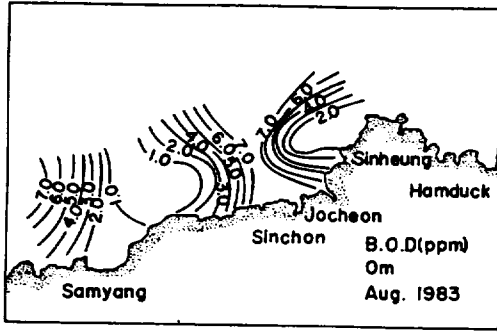


Fig. 11. Horizontal distribution of B. O. D. of surface waters in August 1983.

B.O.D가 높은 陸水가 外海쪽으로 빠져나가기 때문이라고 생각된다. Fig. 12의 11월의 질산염-질소의 수평분포에 있어서도 조천 연안쪽의 $9 \mu\text{g-at/l}$ 의 高濃度 물이 外海쪽으로 그 영향을 미치고 있다. 표층해수의 식물성 플랑크톤의 現存量도 종종 外海쪽으로 帶狀 확산을 보이는데, Fig. 13은 그 대표적인 예라고 할 수 있다. 이상의 결과를 종합해 볼 때 湧泉水, 陸水, 粗粒質 퇴적물, 영양염 및 식물성 플랑크톤과 같은 연안 환경요인들이 조천 및 신촌 연안에서 外海쪽으로 帶狀分佈를 나타내고 있는데, 이것은 地形性 左旋回 殘差渦流에 의해 결과되는 北西 방향의 恒流와 밀접한 관련이 있을 것으로 판단된다.

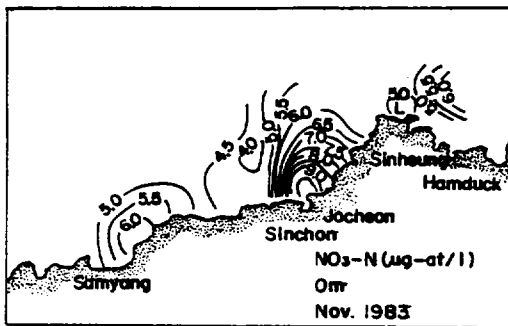


Fig. 12. Horizontal distribution of nitrate contents of surface waters in November 1983.

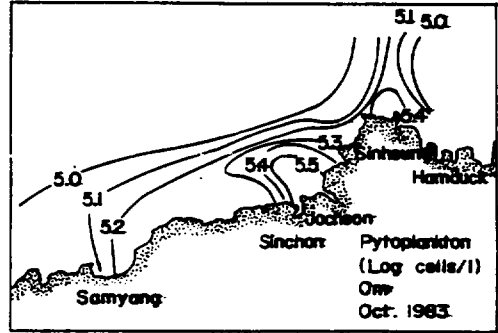


Fig. 13. Horizontal distribution of phytoplankton standing crops of surface waters in October 1983.

要 約

朝天國校를 중심으로 한 9개 지점의 湧泉群에서는 약 $17 \times 10^3 (ml/day)$ 의 湧泉水가, 신촌항을 중심으로 한 6개 지점의 湧泉群에서는 최고 $42 \times 10^3 (ml/day)$ 의 湧泉水가 湧出되어 바다로 流入되는 것으로 추정된다. 用水로서 개발 이용 가능성이 높은 용천수는 최고 $33 \times 10^3 (ml/day)$ 를 용출하는 신촌항 내부에 있는 13, 14, 15의 세 용천수와, $9 \times 10^3 (ml/day)$ 를 용출하는 조천국교 앞의 4, 5, 6의 세 용천수인 것으로 판단된다. 용천수 수온은 연평균 15.5°C 를 유지하고 계절에 따른 변화폭은 $\pm 0.5^\circ\text{C}$ 정도로 미약하다. 冬季 및 春季의 용천수는 주위해수보다 1°C 이상 高溫이고, 용천수 유입에 의해 희석된 연안수는 주위해수에 비해 低鹽, 高溫, 低密度를 나타내어 신촌과 조천포구 앞에서 外海 쪽으로 表層을 따라 이동 확산된다. 반면에 夏季의 용천수는 주위해수에 비해 8월의 최고 12°C 가 낮은 冷水 역할을 하기 때문에 용천수 排出口 근처의 연안수는 주위해수에 비해 低鹽, 低溫, 高密度를 나타내고 주로 底層을 따라 이동 확산된다. 조천연안역은 往復性 潮流와 신흥리 岬의 돌출된 해안지형과의 相互作用에 의해서 左旋回 殘差渦流 (cyclonic residual eddy)가 생기며, 이에 따라 조천과 신촌포구 앞 해역에서 外海 쪽으로 흐르는 恒流가 존재할 수 있다. 이와같은 恒流는 粗粒質 퇴적물, 영양염 및 식물성 플랑크톤의 帶狀分佈에서 그 존재 가능성이 더욱 더 확실시되며, 장차 조천 및 신촌연안의 오염물질 流出經路로서 중요한 역할을 할 것으로 판단된다.

謝 意

본 논문의 도안과 원고정리를 도와준 제주대학교 해양학과 대학원생 윤용훈 군에게 충심으로 감사한다.

參 考 文 獻

한정상. 1983: 지하수학 개론. 박영사, p.511.
Johns, B. 1983: Physical Oceanography of Coastal and Shelf Seas. Elsevier Oceanography Series, 35, p. 470.

강효율·임원길. 1983: 제주도의 지하수 부존특성과 개발전망에 대하여. 제주대학교 해양학과 졸업논문, p.40.
고유봉·박길순·박용항·윤정수·양성기·전득산. 1984: 제주조천지구 해양관광단지 조성에 따른 해양학적 기초조사. 미발표. p.133.
농업진흥공사. 1980: 제주도 지하수 개발현황과 전망. 미발표. pp.22-26.
_____. 1982: 제주도 지하수 개발보고서. 미발표
Todd, D. K. 1959: Ground Water Hydrology. John Wiley & Sons, Inc., p.336.