

해중에서의 빛과 소리의 전파

최 영 박 / 고려대 명예교수 · 이학박사

바다 속의 빛의 분포는 바다의 생산과 직접관계 한다. 그리고 어류를 위시한 여러 생물의 생리나 생태와 깊이 관계되는 중요한 문제이다.

▶ 수중과 공중의 차이

빛의 장이라 하는 면에서 바다를 보면 해중과 대기중과는 매우 큰 차이가 있다. 대기 중에서 있어서는 수평선도 볼 수 있고 수평선 건너편의 배도 볼 수가 있다.

즉, 10수mile의 앞까지 볼 수가 있으므로 대기 중에 있어서 빛의 감쇄는 매우 작다고 말할 수 있다. 이에 반해 해중에서는 가장 이상적인 상태에서도 수10m정도 밖에 볼 수 없다. 결국 해중에 있어서는

빛의 감쇄가 매우 크고 이것이 첫째로 들 수 있는 해중과 대기중과의 큰 다른 점이다.

둘째로 들 수 있는 큰 차이는 파장분포이다. 대기 중에서의 파장은 290~3,000nm($\text{nm}=10^{-9}\text{m}$)의 넓은 범위의 빛이 존재하고 있으나 해중에서는 380~760nm의 좁은 범위내의 빛만 존재한다. 이 범위보다도 단파장측의 자외부나 장파장측의 적외부도 바다의 극하 표층에서 흡수되고 만다(이중 적외부는 수온을 상승시키는데 사용된다). 따라서 해중을 투과하는 빛은 380~760nm의 범위의 빛으로서 마치 사람들이 밝다고 생각되는 범위(가시광)와 일치한다. 거기에서 이 가시광의 범위 중 파장에 의해

감쇄의 정도가 크게 다르게 된다.

▶ 해중에서의 빛의 감쇄

해중에 있어서 빛의 감쇄는 물 자신에 의한 것만이 아니고 해중에 많이 포함되는 현탁물(플랑크톤)등의 생물, 이의 분해생성물인 유기현탁물, 하천이나 대기 등에서 운반되어온 무기 현탁물이나 용존 유기물에 의해 생기게 된다.

빛의 감쇄는 흡수와 산란에 의하지만 물 자신과 현탁물이나 용존 유기물에 의한 흡수와 산란은 명백히 다르다.

예컨대 푸른빛(450nm)과 붉은 빛(700nm)에 대비해서 간단하게 말해선 물 자신에서 흡수는 붉은 빛쪽이 푸른빛 쪽보

다도 매우 크다. 이들이 종합 적 결과로서 물 자신에 의한 감쇄는 붉은 빛쪽이 푸른 빛쪽 보다도 상당히 크게 된다. 이 에 대해 현탁물에서는 흡수는 푸른 빛쪽이 붉은 빛쪽보다도 매우 크고 산란에는 영향을 주 지 못한다. 따라서 용존 유기 물에 의한 감쇄는 푸른빛 쪽이 붉은 빛쪽보다 크게 된다. 또 한 해수중의 소금 등의 용존유 기물은 빛의 감쇄에 어떠한 영

水 型		波 長 (nm)															
		310	350	375	400	425	450	475	500	525	550	575	600	625	650	675	700
		투과율(%/10m)															
外 洋 水	I	22	54	68	76	80	83	83.5	76	65	53	41	9.5	4.7	2.7	1.5	0.4
	IA	16	46	60	68	73	77	78	73	62	51	39	9.1	4.5	2.5	1.4	0.3
	IB	11	37	52	60	66	70	72	66	58	49	37	8.6	4.3	2.4	1.3	0.3
	II	2.5	17	30	38	44	51	54	50	47	41	32	7.4	3.5	1.8	0.9	0.2
	III	0.2	4	11	16	20	26	31	32	31	30	23	5.2	2.4	1.2	0.5	0.1
沿 岸 水	1				0.6	2.7	8.2	18	25	27	30	22	5.0	2.5	1.1	0.6	0.2
	3					0.5	2.1	5.5	11	13.5	15	12	3.7	1.8	1.0	0.4	
	5						0.4	1.4	2.7	4.5	5	3.7	1.8	0.8	0.4	0.2	
	7								0.3	0.7	1.0	1.0	0.8	0.5	0.2		
	9										0.2	0.3	0.3	0.2			

〈표-1〉 (a) 각 수형에 있어서 표층수의 아래 방향조도(照度)의 파장 투과율

水深 (m)	外 洋 水					沿 岸 水				
	I	IA	IB	II	III	1	3	5	7	9
0	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
1	44.5	44.1	42.9	42.0	39.4	36.9	33.0	27.8	22.6	17.6
2	38.5	37.9	36.0	34.7	30.3	27.1	22.5	16.4	11.3	7.5
5	30.2	29.0	25.8	23.4	16.8	14.2	9.3	4.6	2.1	1.0
10	22.2	20.8	16.9	14.2	7.6	5.9	2.7	0.69	0.17	0.052
20						1.3	0.29	0.020		
25	13.2	11.1	7.7	4.2	0.97					
50	5.3	3.3	1.8	0.70	0.041	0.022				
75	1.68	0.95	0.42	0.124	0.0018					
100	0.53	0.28	0.10	0.0228						
150	0.056			0.00080						
200	0.0062									

투과율을 T로하면 $T=E_2/E_1$ (여기서 E_1 : 표층의 조도, E_2 : 10m길이의 조도

〈표-1〉 (b) 수형별 아래 방향 조도의 백분율 300~2500nm)

향도 주지 않는다.

이와 같은 것에서 흑조(黑潮)와 같이 현탁물이나 용존 유기물이 적은 물은 물 자신에 의한 산란이 크게 되는 까닭에 사람들의 눈에 푸르게 보이고 연안 물과 같이 현탁물이나 용존유기물이 많은 곳에서는 이들에 의한 푸른빛의 흡수가 크게 기여하는 까닭에 사람의 눈에서는 초록에서 황색, 나아가서는 갈색의 장파장 측으로 이동한 색으로 보이게 된다.

▶ 해중에서의 광학적 성질

해중의 광학적 성질이란 전술한 현탁물이나 용존유기물을 포함한 해수의 흡수나 산란

의 성질을 말한다. 현탁물이나 용존유기물의 양이나 질은 해양 양이나 수괴(물 덩어리)에 따라 다르므로 각각의 해역이나 수괴는 고유(固有)의 성질을 가지고 있다.

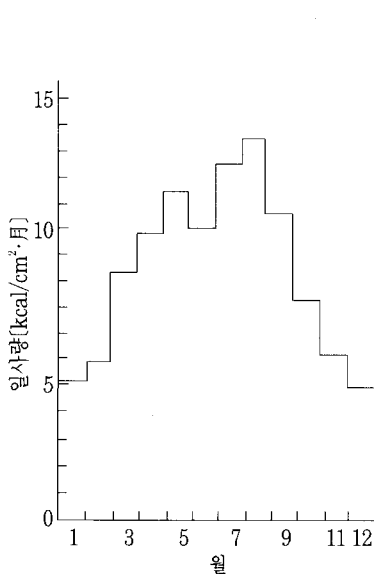
즉 흑조(일본열도를 따라 태평양을 흐르는 난류)나 친조(일본이나 우리나라 동해안 남쪽으로 흐르는 한류)는 각각의 광학적 성질이 있으며 이들의 광학적 성질이 바다 속의 빛의 장을 결정하고 있다.

〈표-1〉은 여러 해역을 바다 속의 빛의 투과를 파장별로 측정해서 물 덩어리의 광학적 분류를 도표화한 것이다. 해중의 빛의 투과를 알고 싶을 경우 매우 편리하다. 또한 이것으로

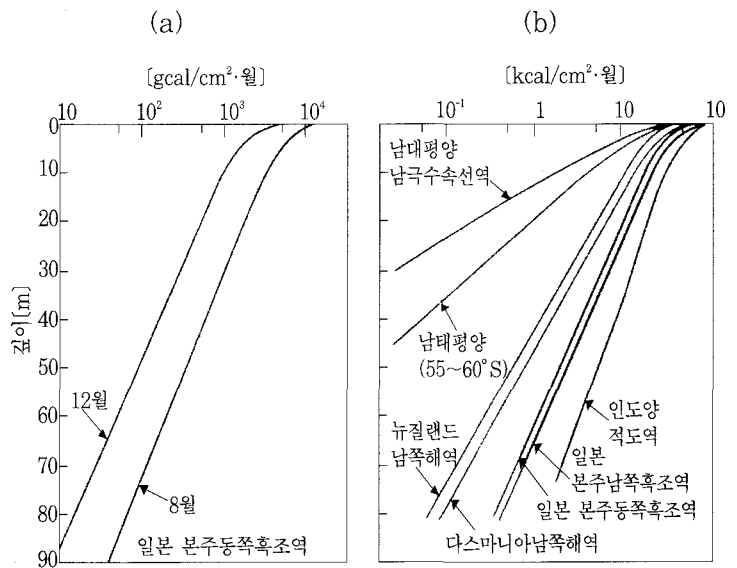
어떤 해역의 몇m 깊이에서 몇%의 빛이 미치는가는 그 해역의 광학적 성질만 알면 간단하게 구할 수 있다.

흑조역은 외양수 IB, 친조역이나 외양수 II로 되어 있다. 빛은 거리에 대해서 지수 함수적으로 감쇄하므로 해면의 빛의 양은 웬만하면 0으로 되지 않으며 일반적으로 해양에 있어서는 해면의 빛량의 1%로 감쇄하는 깊이를 「보상심도」(식물플랑크톤의 빛합성에 의한 산소의 생산량과 호흡에 의한 산소의 소비량이 같게 되는 깊이)라고 부른다. 또한 이 깊이보다 얇은 것을 유광층(有光層)이라고 한다.

〈표-1〉(b)부터 해면의 빛량



〈그림-1〉 해면 일사량(일본 本州 동쪽 黑潮域)



〈그림-2〉 해중 도달일사 에너지량(a와 b에서는 단위가 다른 것에 주의)



흑조(黑潮)와 같이 현탁물이나 용존유기물이 적은 물은 물 자신에 의한 산란이 크게되는 까닭에 사람들의 눈에 푸르게 보이고 연안 물과 같이 현탁물이나 용존유기물이 많은 곳에서는 이들에 의한 푸른빛의 흡수가 크게 기여하는 까닭에 사람의 눈에서는 초록에서 황색, 나아가서는 갈색의 장파장 쪽으로 이동한 색으로 보이게 된다.



의 1%의 길이는 흑조역에서는 약 70m, 친조역에서는 약 45m, 일본의 동경만에서는 10m 이상 얕은 것을 알 수 있다.

▶ 해중의 에너지 도달률

다음으로 현실 면에서 해중으로는 얼마정도의 일사 에너지량이 투과하는가에 대해 취급해 본다. 여기에는 먼저 해면에 도달되는 일사량에 대해 알 필요가 있다.

해면에서의 일사량은 위치나 계절이나 기후에 따라 변화하는데 예컨대 일본이나 우리나라 근해의 흑조해역에서는 맑게 갠 날로 여름철이면 약 700cal/cm²/일, 겨울철이면 약 300cal/cm²/일이다. 이것은 기후에 따라 감소하는데 50~60년의 구름량 자료에 의해 계산한 것이 <그림-1>과 같다.

해면에 도달한 빛은 약 5%가 해면에 반사하고 95%가 해중으로 투과한다. 해중투입량을 알면 <표-1>의 광학적 수형별 상대조도에서 각 길이의 일사에너지량을 간단하게 구할 수가 있다. 해중에 있어서 일사 에너지량과 길이와의 관계는 <그림-2>와 같이 된다. <그림-2>의 a는 계절적 변화의 한 예이다. b는 여러 해역의 몇 개의 길이에 어느 정도의 일사에너지가 도달하는 것을 알 수 있다.

▶ 해중에서의 소리

우리가 여름철 해수욕을 할 때 머리를 바다 속에 넣어보면 여러가지 소리가 들린다. 잠수를 해보면 그 음이 어떤 곳에서 들려오는가를 알 수 있을는지 모른다.

파도가 밀어닥치는 물가에

서 움직이고 있는 모래의 이동도 소리를 낸다. 모터 배도 큰 소리를 낸다. 그리고 바다 속만이 아니고 예컨대 남방의 산호초 섬의 종유동과 바다로 연결되고 있는 것도 있으며 산중에서 바다의 소리를 들을 수도 있고 해안의 해조음(海潮音)의 크기에서 파장이 높은가 작은가를 알 수가 있다.

여기서는 바다에 관한 여러 소리 중에서도 해중을 전파하는 소리를 이용하는 계측기술을 주로 논하기로 한다.

라디오나 TV는 대기 중에서 전도되는 전파를 이용한다. 인공위성이나 우주관측위성의 신호도 전파에 의해 보내진다. 그런데 대기가 없는 진공의 우주공간까지 보내지는 전파도 수중으로 전파되기는 불가능하다.

빛이나 파장이 짧은 것을 전파라 할 수 있는데 투명도가 높고 맑은 바다나 호수에서도 50m정도 밖에 빛은 도달하지 않는다. 심해는 암흑의 세계라고 말하고 있으나 전파에 대해서도 같은 것이라고 말할 수 있다. 이 까닭에 통상 우리들이 사용하고 있는 전파에 관한 기술은 해중에서는 거의 쓸모가 있는 것이 되지 못하고 있다. 하지만 음(音)은 수중에서도 잘 전도된다.

대기 중에서 음을 이용한 기술은 수중에서도 통용된다.

▶ 해수중의 음속

해수 중에서는 소리 즉, 음은 대기중의 음속의 약 4.5배의 속력, 즉 매초당 1,500m의 속력으로 전파된다. 해수중의 음의 속력은 해수의 온도, 압력, 염분에 따라 다르며 대략적으로 말하면 온도가 1℃ 높게 되면 4.6m/초의 율로 증대한다. 또한 압력이 1kg/cm²증가하면 0.16m/초의 율로 증가하며 염분이 1퍼밀(1/1000)증가하면 1.5m/초의 율로 증대한다.

염분에 대해서는 해역에 따라 다르나 수평방향이나 연직방향에서도 그 변화의 폭은 작고 약 1퍼밀 정도로 생각하면 좋다.

그런데 수온은 장소에 따라 크게 변화한다. 예컨대 흑조를 횡단하면 길이 수 100m쯤까지의 흑조의 수온은 약 50km 떨어지면 10℃정도나 다르다. 이 경우 하류를 향해서 우측 쪽이 고온이다. 또한 표면에서 30℃의 수온에서도 1,000m층에서는 4℃로 된다. 이와 같이 심도와 함께 수온은 낮게 되므로 음속은 당연히 작게 된다.

한편 심도가 크게 되면 압력이 증대하고 따라서 음속은 크게 된다. 음속의 크기는 이들이 효과를 위해 약 1,000m층에서 극소 값으로 되고 약 1,450m/초로 된다. 6,000m층에서는 속력이 증가해서 약 1,530m/초이다. 이와 같은 해수중의 음속에 대해서는 일정거리를 전파하는데 필요로 하는 시간을 측정하는 음속계를 해중에 내리게 해서 실증하던가 실험실에서 온도, 압력, 염분을 바꾸어서 측정하기도 한다.

▶ 음향측심기의 탄생

해중에서는 음속이 장소에 따라 다르므로 음의 굴절이 일어난다. 말하자면 천연의 렌즈가 있는 것이 된다. 신기루를 향해서 대포를 쏘는 것이 무의미한 것과 같이 예컨대 잠수함을 겨냥하기 위해 정확한 위치

를 알고자 한다면 해중에서의 음속 분포를 아는 것이 중요한 것이 된다.

해양관측에서 해수온도 측정에 사용되고 있는 간편한 수온수심 기록계(BT, XBT)는 원래 이를 위해 개발된 것이다. 사용해서 버린 XBT는 머리털과 같은 크기의 에나멜선을 수 100m의 길이를 감아서 수납한 사미스타 온도계로서 항해중의 관측선이나 헬리콥터에서 투하해서 사용한다.

‘타이타닉’ 호가 빙산에 충돌해서 침몰한 비극적인 사건은 누구나 잘 알고 있다. 이는 1912년 4월의 사건이다. 실은 이 사고가 해양음향 기술의 실용화를 촉진한 사유가 되었다. 당시의 선박은 혼란된 눈만을 믿고 운항하였는데 밤이나 안개가 짙을 때는 눈을 감고 고속도로로 달리는 위험한 상태였다. 빙산은 수면 아래에 있는 부분이 크므로 음을 발사해서 빙산의 반사 파를 검출하고 이 거리를 측정하는 것이 1914년에 미국인 ‘헷센덴’에 의해 시행되었다. 3km앞의 빙산의 위치를 측정하는 실험중에 그는 해저로부터의 반사 음도 검출하는 것이 가능한 것을 알게되어 음향측심기가 동시에 발명되었다. 그래서 이들 음파를 사용해서 해중의 물체

를 검출하는 기술은 제1차, 2차 세계대전에서 급속하게 진보했다. 잠수함이나 어뢰가 사용되게 되어 이에 대항하는 기술로서 상당한 발전을 이루게 되고 동시에 학술연구나 수산업 등에도 매우 왕성하게 이용되었다.

헷센덴은 약 1,000Hz의 가청음을 사용해서 실험을 하여 주파수의 높은 소리를 사용하면 감쇄는 크나 분해능이 높게 되므로 심해의 측심에는 약 10kHz의 음파가 사용된다. (파장은 약 15cm이다)

50kHz의 음파를 사용하면 어망이 수중에 어떻게 넓어지고 있는가를 알 수 있고 고기무리가 있으면 당연히 금출가능하다. 어군 탐지기는 오늘날 소형어선에도 장치하고 있으며 대형의 크기를 한 마리씩 셀 수 있게 되었다.

한편 음파의 주파수를 수 kHz로 내리면 해저 아래의 퇴적물 구조도 조사 가능하다. 이것은 해저 유전 탐사에 넓게 이용되고 있다.

종래의 음향측심기는 1개의 서치라이트와 같은 것이나 다수의 서치라이트를 가지고 넓은 범위의 지형을 탐사하는 '밀치나로빔'도 개발되었다.

얻어진 자료를 계산기로서 처리함으로써 달리는 것만으

로도 해도를 자동적으로 그릴 수 있게 되었다.

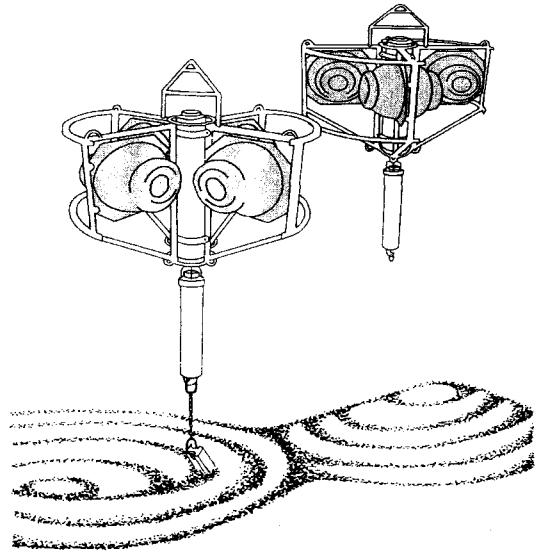
주파수가 높은 어탐기록에 수 100m층에서 강한 메아리가 나타나는 경우가 있다. 이것을 '고스트'(유령)라고 부르고 있는데 이는 미소한 플랑크톤 집단

의 반사이다. 나아가서 주파수를 높이면 해수의 작은 온도차나 해수에 운반되는 미소한 입자가 음파를 산란하게 된다.

산란(散亂)파는 '도플러' 효과(해가 완전히 저문 모양)를 위해 발사한 소리와 다른 주파수가 되므로 이 주파수의 차이에서 유속을 측정할 수 있다. 도플러 유속계는 선속계(船速)로서 사용되며 또한 수면하부 100m까지의 유속을 측정하기 위해 사용된다.

<그림-3>은 도립음향측심기이다. 이 기기는 해저에 계류해서 해면까지의 음속의 차이를 이용해서 흑조의 위치를 자동적으로 측정코자 하는 것이다.

측기는 음향절리장치를 작



<그림-3> 도립음향측심기

동해서 부상·회수한다. 관측선에서 음향 신호를 보내는 음향절리장치도 음향기술의 응용이다.

도립식 음향측심기와 잠음계 측기를 조합한 측기가 있는데 1970년대에 미국에서 개발된 것이다. 바람이 강하면 해면에서 분쇄되는 파도의 소리가 크게 되므로 그 잡음의 크기에서 풍속을 측정코자 하는 것이다. 6,000m의 심해저에서 해면상태를 알 수 있다는 것이다. 박쥐는 25kHz까지의 음파를 이용하면서 빛이 없는 동굴 중을 날아 다니고 있다. 앞으로 빛이나 전파가 도달하지 않는 해중에서도 음파가 사용되고 새로운 계측기가 발명될 것으로 전망된다.㉔