

北新灣의 赤潮에 關하여

趙 昌 煥

統營水産專門大學

Red Tides in Mariculture Farms in Puksin Bay, Korea

Chang-hwan CHO

Tong-yeong Fisheries Technical College
Chungmu 650-160, Korea

ABSTRACT

Various scales of red tides have frequently occurred in the southern coastal waters of the Korean Peninsula since the late 1970's. Because most shellfish and finfish farms in Korea are located in the southern coastal waters, the impacts of red tides on the aquaculture have been increasing significantly. The Puksin Bay is one of the places where red tides have occurred almost every year since the early 1980's. During 1990~1991, mass mortalities of aquacultural species by the red tides were recorded. The causative organisms in this period were *Leplocylinus danicus* (November '90 and June '91), *Skeletonema costatum* (December '90 and August '91), *Nitzschia seriata* (August '91), and *Gymnodinium splendens* (July '91). The maximum chlorophyll-a content was 265.7 $\mu\text{g}/\ell$ in the tides. Frequent red tides are associated with the eutrophication of the bay. Some relationships between red tides' occurrence and eutrophication are herein discussed.

緒 論

북신만은 忠武市 북서쪽에 위치하는 길이 약 4 km, 폭 500~750 m인 긴 형태의 내만이다. 만내 최대 수심은 9 m, 중앙수역에서 7~8 m 경사가 완만한 해저지형을 이룬다. 流速은 만중앙부에 평균 5 cm/sec 정도이다. 만 입구는 北灣과 통하고 북만은 蛇梁島 인근 해역과 固城·紫蘭灣 등과 연결된다. 만 내에는 굴 양식 어장과 정치망 어장이 있다. 인근 해역 일대에도 굴 등의 패류 양식장과 정치망 등이 조밀하게 분포하지만 비교적 오염이 적은 해역이다. 따라서, 반폐쇄성 만인 고성만과 북신만의 오염이 심해지면 이 일대 해역이 그 영향을 받게 된다. 북신만 내측 일부는 이미 매립되었고 매립지에 인접한 해역 일부도 현재 매립중이다. 부영양화와 더불어 于瀉의 매립도 양식어장과 정치망어장의 환경을 惡化케 한다.

북신만은 半閉鎖性灣이므로 전체적으로 潮流소통이 매우 좋지 않다. 일반적으로, 內灣은 인접한 육지로부터 생활하수를 포함한 각종 폐수가 유입되므로 富營養化 현상이 현저하다. 그런 내만 환경에 양식 어장이나 축양장 또는 정치망 등이 있을 경우, 이들 동물들에 의한 自家汚染도 겹쳐 내만 환경을

더욱 악화시킨다. 수온이 높은 여름철에는 더욱 심하다.

북신만과 그 인접 해역인 북만에서의 과학적인 연구조사는 李(1977)가 미생물과 인산염을, 崔 등(1991)이 自淨能力을 그리고 수산진흥원(1978, 1983, 1987, 1989)에서 해수 유동, 환경 요인, 플랑크톤을 측정, 채집한 기록이 있다. 근래 북신만에서 赤潮가 빈발하기에 1990~1991년에 발생한 적조에 대한 조사 결과를 보고한다.

材料 및 方法

북신만에 6 개의 St.을 설정(Fig. 1)하고 1990년 11월부터 1991년 2월까지의 겨울철과 1991년 6월부터 9월까지의 여름철 기간 중 월 1~2 회 조사하였다. 플랑크톤 표본은 망지 규격 XX 13의 채집망과 van Dorn 채수기로 채집하여 현장 고정 후, 실험실에서 同定하고 量을 측정하였다. 금번 조사에서 발견된 *Gymnodinium*의 동정에는 種의 외부형태의 차이 때문에 井上·福代(1992)의 제안을 따르지 않고 Steidinger and Williams(1970), 沈 등(1981)과 韓(1981)을 참고하였으며 그 量은 클로로필-a 양으로 나타내었다. 수질조건은 van Dorn 채수기로 채수하여 常法(Strickland and Parsons, 1968)에 따라 측정하였다. 分光光度計는 Mazushida製 UV-2000S를 사용하였다. 理化學的 환경요인 특히, COD와 영양염 등은 崔(1991)의 자료를 인용하였다.

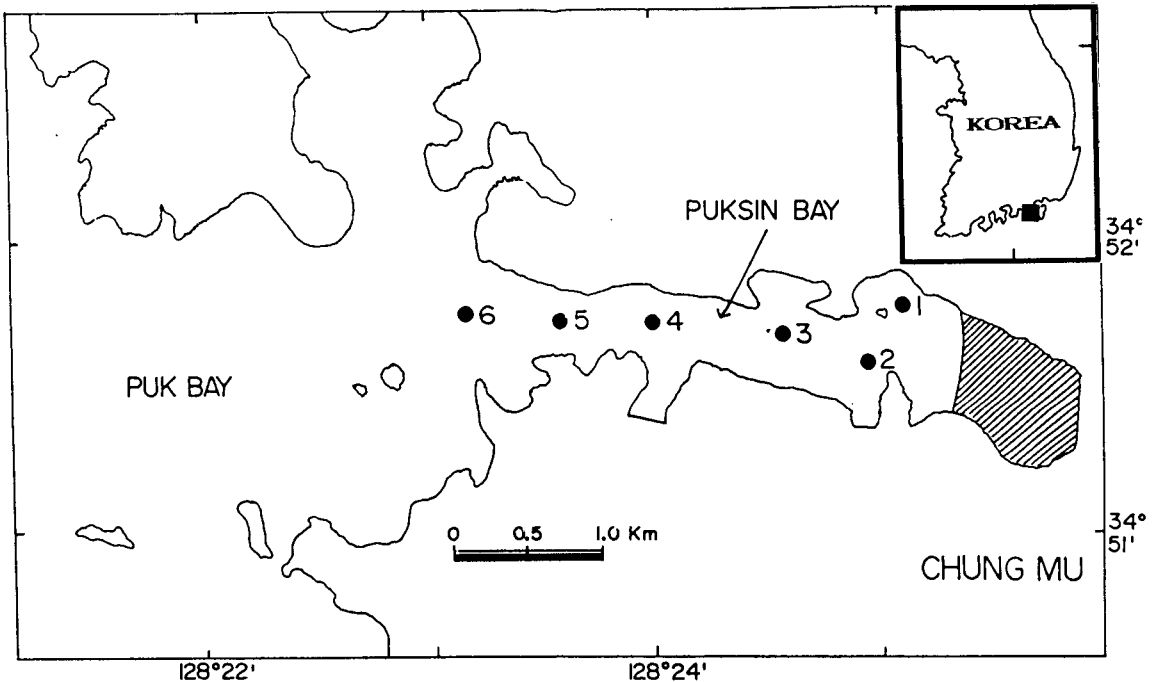


Fig. 1. The location of sampling stations in Puksin Bay, 1990~1991. The shaded area is under reclamation

結 果

1. 겨울철 赤潮

1990년 11월에는 *Leptocylindrus danicus*, 12월에는 *Skeletonema costatum*, 그리고 1991년 1월과 2월에는 *Chaetoceros* spp.가 많이 출현하였다(Table 1). 이들은 모두 硅藻類이다. *Chaetoceros* spp.는 우리 나라 연안 해역에서는 언제, 어디서나 흔하게 출현하는 종류이지만(趙 1986) 그 밖의 2種은 물이 탁한 곳, 즉 비교적 오염된 해역(馬山灣과 鎭海灣 등)에서 흔히 볼 수 있는 種이다. 특히, *S. costatum*은 우리 나라 내만 해역, 특히 수질이 불량한 내만 해역에서 적조를 일으키는 적조原因種이기도 하다. 또 *S. costatum*과 *L. danicus*는 마산만의 상승 적조 원인 종이기도 하다(朴 1980; Yoo and Lee 1980; 海洋研究所 1983).

Table 1. The composition (%) of dominant phytoplankton and chlorophyll-a contents ($\mu\text{g}/\ell$) in Puksin Bay from November 1990 to February 1991. + shows less than 1.0%

Month	Nov.	Dec.	Jan.	Feb.
	1990		1991	
<i>Asterionella</i>			+	5.5
<i>Chaetoceros</i>	7.3	9.9	80.4	85.2
<i>Leptocylindrus</i>	86.2	+		
<i>Nitzschia</i>	1.7	14.4	7.0	3.8
<i>Skeletonema</i>	2.0	73.9	9.7	4.5
<i>Gymnodinium</i>	+	+	+	+
Chlorophyll-a				
Surface	25.68	35.44	11.20	4.65
Bottom	7.41	32.13	8.76	7.45
Maen	16.54	33.78	9.98	6.05

11월의 경우, *Leptocylindrus danicus*가 84.6~89.7%로 평균 86.2%가 출현하여 거의 單獨相 적조이었다. 이 때, 표층과 저층의 클로로필-a 양은 각각 25.68 $\mu\text{g}/\ell$ 과 7.41 $\mu\text{g}/\ell$ 이었다(Table 1). 만 입구인 St. 6에서도 *L. danicus*가 만내보다는 적지만 60.0%이었다. 12월의 적조 원인 종은 *Skeletonema costatum* (73.9%)이었다. 그 밖에, *Nitzschia* spp.(主 種은 *N. seriata*)와 *Chaetoceros* spp.가 혼재한 複合相赤潮이었다. 이 때, 표층의 클로로필-a양은 23.36~53.62 $\mu\text{g}/\ell$ 로 평균 35.44 $\mu\text{g}/\ell$ 이었고 저층에서도 많아 15.68~57.48 $\mu\text{g}/\ell$ 으로 평균 32.13 $\mu\text{g}/\ell$ 이었다. 水色은 진한 綠色이었다. 1991년 1월과 2월에는 앞서의 적조 원인 종들은 사라지고 정상 해수에서 볼 수 있는 *Chaetoceros* spp.가 단연 우세하여 만 내의 모두 80~85%나 되었다. 클로로필-a 양도 감소하여 4~11 $\mu\text{g}/\ell$ 정도이었고 만 입구인 St. 6에서의 양은 더 적어 4~6 $\mu\text{g}/\ell$ 정도이었다.

2. 여름철 赤潮

1991년 6월부터 9월까지의 기간 중, 4種의 優占種이 遷移하였다(Table 2). 앞서의 겨울철에 출현하여 우점한 규조류에 渦鞭毛藻類인 *Gymnodinium splendens*가 첨가되었다. 6월 14일에는 *Leptocy-*

lindrus danicus 單一種이 우점하여 83.9~98.7%로 평균 90.1%나 된 單相赤潮이었다. 이 때 클로로필-a 양은 표층이 64.7 $\mu\text{g}/\ell$ (61.96~68.23 $\mu\text{g}/\ell$)이었고 저층은 4.2 $\mu\text{g}/\ell$ (1.38~7.89 $\mu\text{g}/\ell$)로 표층에서의 양이 절대적으로 많았다. 만 입구인 St. 6에서는 만내와 같이 *L. danicus*가 79% 정도로 우세하였다. 차이점은 만내에 *Gymnodinium splendens*가 3.7%이었는데 비해 만 입구에서는 2 배정도 많은 7.7%이었다. 만 입구의 클로로필-a 양은 표층이 만내보다 약간 많았고(73.64 $\mu\text{g}/\ell$) 저층은 오히려 적었다(2.23 $\mu\text{g}/\ell$). 6월 24 일에는 *Gymnodinium splendens*가 단연 우세하여 75% 정도(61.0~85.6 $\mu\text{g}/\ell$)였고 6월 24 일에는 4%에 불과하였던 *Chaetoceros* spp.가 11%로 증가하였다. 2 종류에 의한 복합상 적조이었다. 이 때 표층의 클로로필-a 양은 감소하여 26.1 $\mu\text{g}/\ell$ 이었고 저층은 9.4 $\mu\text{g}/\ell$ 이었다. St. 6은 만내와는 달리 *Chaetoceros* spp., *Gymnodinium splendens*, *Nitzschia seriata*가 각각 41%, 29%, 7%로 *Chaetoceros* spp.가 오히려 많았고 클로로필-a 양도 적어 표, 저층 각각 18.42 $\mu\text{g}/\ell$ 와 7.21 $\mu\text{g}/\ell$ 이었다.

Table 2. The composition(%) of dominant phytoplankton and chlorophyll-a contents($\mu\text{g}/\ell$) from July to August 1991. + shows less than 1.0%

Month Day	June		July		August	
	14	24	5	12	12	19
<i>Asterionella</i>					10.2	1.4
<i>Chaetoceros</i>	4.0	11.0	11.4	31.9	9.0	23.5
<i>Ditylum</i>	+	4.4	+	+	36.5	+
<i>Leptocylindrus</i>	90.1	+	23.6	3.9	2.5	3.0
<i>Nitzschia</i>	1.3	2.7	9.9	6.9	15.4	68.0
<i>Skeletonema</i>			7.2	1.6	23.9	2.1
<i>Gymnodinium</i>	3.7	75.3	34.5	52.1	+	+
Chlorophyll-a						
Surface	64.7	26.1	3.7	265.7	36.3	18.5
Bottom	4.2	9.4	0.9	9.5	3.8	10.7
Mean	34.4	17.7	2.3	137.5	20.0	14.6

7월 5 일에도 *Gymnodinium splendens*가 가장 많았지만 6월 24 일보다는 감소하여 34.5%이었고 *Chaetoceros* spp.는 역시 11% 정도이었다. 그러나, 6월 14 일에 많았다가 6월 24 일에는 거의 소멸하였던 *Leptocylindrus danicus*가 다시 출현하여 24% 정도나 되었다. 그리고 6월에 거의 없었던 *Skeletonema costatum*이 약 7% 출현하였다. 이 때 클로로필-a 양은 표, 저층 각각 3.7 $\mu\text{g}/\ell$ 과 0.9 $\mu\text{g}/\ell$ 로 조사 기간 중 가장 적었다. St. 6에서는 *G. splendens*가 단연 우세하여 84%나 되었다. 클로로필-a 양은 저층에서는 만내와 같았지만 표층은 많아 9.83 $\mu\text{g}/\ell$ 이었다. 7월 12 일에는 *G. splendens*(52.1%)와 *Chaetoceros* spp.(31.9%)의 복합상 적조가 있었다. 이 때 클로로필-a 양은 표층에서 265.7 $\mu\text{g}/\ell$ 이나 되었고 저층은 9.5 $\mu\text{g}/\ell$ 에 불과하였다. 반면, St. 6에는 *Chaetoceros* spp.가 단연 우세하여 90%이었고 *Gymnodinium splendens*는 1% 정도에 불과하였다. 클로로필-a 양도 적어 각각 28.9 $\mu\text{g}/\ell$ 과 10.6 $\mu\text{g}/\ell$ 이었다. 만내 표층에서 극심한 적조가 있었음을 알 수 있다.

8월 12 일에는 7월에 심했던 적조가 약해지고 *Gymnodinium splendens*는 1% 미만이었으며 *Chaetoceros* spp.도 감소하여 9%에 불과하였다. 대신, 6월과 7월에 매우 적었던 *Ditylum brightwelli*가 많아 36.5%이었다. 그 밖에, *Skeletonema costatum*과 *Nitzschia seriata*가 증가하였고 6월과 7월에 거의 없었던 *Asterionella gracialis*가 약 10% 출현하였다. 클로로필-a 양은 36.3 $\mu\text{g}/\ell$ 과 3.81 $\mu\text{g}/\ell$ 이었다. 8월 19 일에는

*D. brightwellii*가 거의 사라졌고 대신 *N. seriata*가 많아져 68.0%나 되었고 *Chaetoceros* spp.도 증가하여 23.5%이었다. 이 때 클로로필-a 양은 각각 18.5 $\mu\text{g}/\ell$ 과 10.7 $\mu\text{g}/\ell$ 이었다. 8 월중 St. 6의 중요 種의 組成과 클로로필-a는 만내와 별 차이가 없었다.

이상과 같이, 1990년 11월부터 1991년 2월까지의 기간중에는 矽藻인 *Chaetoceros* spp., *Leptocylindrus danicus*, *Skeletonema costatum* 3종류가 優占하여 *Chaetoceros* spp.를 제외한 2種이 11월과 12월에 적조 현상을 초래하였고 1991년 6~9월에는 *L. danicus*, *Ditylum brightwellii*, *S. costatum*, *Nitzschia seriata* 그리고 渦鞭毛藻 *Gymnodinium splendens*가 번갈아가며 우점하면서 크고 작은 적조 현상을 초래하였다.

考 察

북신만은 반폐쇄성 내만으로 만 내측에는 도시로부터 오염 물질이 유입되고 여름철에는 표층에서 적조가 빈발하는 등 부영양화된 해역이다(崔 등 1991). 만 안쪽 일대는 인접한 육상의 가옥과 도축장으로부터 각종 생활 하수와 축산 폐수가 유입되는 곳이므로 水質의 악화와 더불어 低質의 악화가 매우 심한 해역이다. 뿐만 아니라 만 안쪽에 매립이 진행되고 있어, 매립토의 유출과 준설토 운반시 오탁된 뽕물의 유출로 만내에 오염이 가중되고 있는 실정이다. 더구나, 만의 폭은 좁고 길이는 길어 潮流의 소통이 원활하지 못해(수산진흥원 1978) 각종 有機物質이 만내에 침강, 퇴적된다. 1976~1977년에 조사된 李(1977)의 자료에 의하면, 만 내 굴 양식장(땃목) 밑의 泥土에서 gas 발생이 많은 곳도 있다고 하였다.

북신만 내에는 굴 수하식 양식장과 정치망 어장이 있다. 그리고 만구와 연결된 北灣에는 양식장과 정치망 등이 조밀하게 분포한다. 이 만의 표층수는 지형적인 여건 때문에 바람의 영향이 적어 여름철 최고 수온 28~29 $^{\circ}\text{C}$ 까지 상승한다. 만 중앙부의 COD는 1980~1981년(수산진흥원 1938) 1.92 ppm(최고 4.57 ppm)에서 1988년(崔 등 1991) 2.11 ppm(최고 5.05 ppm)이었다. 영양염인 TIN과 TIP는 1980~1981년에 각각 9.18 $\mu\text{g} \cdot \text{at}/\ell$ (최고 16.44 $\mu\text{g} \cdot \text{at}/\ell$)과 0.54 $\mu\text{g} \cdot \text{at}/\ell$ (최고 1.02 $\mu\text{g} \cdot \text{at}/\ell$) 이었고(수산진흥원 1983) 1988년에는 TIN과 TIP가 각각 10.66 $\mu\text{g} \cdot \text{at}/\ell$ (최고 43.56 $\mu\text{g} \cdot \text{at}/\ell$)과 0.40 $\mu\text{g} \cdot \text{at}/\ell$ (최고 3.18 $\mu\text{g} \cdot \text{at}/\ell$) 이었다(崔 등 1991). COD와 영양염 모두 증가하였음을 알 수 있다. 1988년의 COD, TIN, TIP의 値로 岡市(1972)가 제안한 해역의 富營養度(기준치는 1.0)를 산출하여 보니 만 안쪽은 2.63, 만 중앙부는 1.3~1.4이었고 조류 소통이 비교적 양호한 만 입구(St. 6)는 0.45이었다. 물론 이들 값은 평균치이고 최고치로 계산하면 훨씬 높다. 1988년 여름철에 저층 용존산소는 0.1~1.31 ml/l이었다(崔 등 1991). 이들 몇가지 부영양화 指標로 보아, 북신만이 어느 정도로 오염이 심한가를 짐작할 수 있다. 水質과 低質의 오염 정도는 그 곳에 살고 있는 생물과 밀접하게 작용한다. 따라서, 富營養化가 심해지면서 크고 작은 赤潮가 빈발하고 그로 인해 생물피해를 초래하게 된다. 적조가 있었을 때 본 조사에서의 클로로필-a 양은 20 $\mu\text{g}/\ell$ 이상 최고 260 $\mu\text{g}/\ell$ 이었는데, 1988년 조사에서도 25 $\mu\text{g}/\ell$ 이상 최고 132.75 $\mu\text{g}/\ell$ 이 측정되었다(崔 등 1991).

이처럼 북신만은 부영양화가 심하게 진행중이기에, *Chaetoceros* spp.의 양이 조사 기간 중 많을 때도 기껏 23~37%에 불과하였고(정상적인 해역이라면 적어도 50% 정도 또는 그 이상 출현한다) 種多樣도 낮아 2~3種이 우점하기에 결국 적조를 발생케 한 원인이 되었다. 적조 원인 종들의 재빠른 種遷移와 막대한 現存量(클로로필-a 양)은 앞서의 과다한 영양염과 더불어 이 수역의 오염 진행 정도를 짐작케 한다. 수산진흥원(1987)에 의하면, 북신만에서는 1981년 8월 *Gymnodinium nakasakiense*와 *Skeletonema costatum*에 의한 적조가 발생한 이래 거의 매년 적조가 있었다(Table 3). 鎭海灣에서는

적조로 인해 양식 패류의 큰 피해가 있었다(趙 1979, 1981). 따라서, 북신반에서의 양식 및 정치망 등의 어업도 심히 우려된다. 증가하는 부영영화와 어장 老化를 격감시켜 양식어장을 保全할 수 있는 방안(해양산업개발연구센터 1990)의 조속한 시행이 절실히 요구된다.

Table 3. Red tides occurring in Puksin Bay from 1981~1986 (FRDA, 1987)

Date	Causative organisms	Density(cells/ml)
1981		
August 14	<i>Gymnodinium nakasakiense</i> <i>Skeletonema costatum</i>	2,730
August 24	<i>Skeletonema costatum</i>	1,057
1982		
July 15	<i>Skeletonema costatum</i> <i>Prorocentrum micans</i>	6,300~64,000
August 18	<i>Nitzschia</i> sp. <i>Skeletonema costatum</i>	1,700~3,310
August 30	<i>Nitzschia</i> sp. <i>Skeletonema costatum</i>	3,300~8,400
1984		
June 12	<i>Skeletonema costatum</i>	1,100~35,000
1985		
July 22	<i>Ileterosigma akashiwo</i>	21,300
August 1	<i>Ileterosigma akashiwo</i> <i>Prorocentrum</i> sp.	1,500
August 7	<i>Ileterosigma akashiwo</i>	1,500
October 10~12	<i>Gymnodinium splendens</i>	2,500
1986		
June 20	<i>Prorocentrum micans</i> <i>Prorocentrum minimum</i>	1,500~85,000
July 7~10	<i>Chaetoceros</i> sp. <i>Protogonyaulax</i> sp.	2,000

要 約

여러 규모의 적조 현상이 1970년대 말부터 우리나라 대부분의 패류 및 어류 양식장이 있는 남해안에서 일어나고 있다. 慶南 忠武의 北新灣도 이곳 중의 하나로 1980년대 초부터 매년 적조가 나타나고 있다. 1990~1991년 사이에 양식 생물의 대량 폐사가 이곳에 나타났고 이때의 우점 적조 생물 종은 90년 11월과 91년 6월에 *Leplocylinidrus danicus*, 90년 12월과 91년 8월에는 *Skeletonema costatum*, 그리고 91년 8월에는 *Nitzschia seriata*, 91년 7월에는 *Gymnodi-*

*nium splendens*로 기록되었으며 적조 시기의 최대 클로로필-a 량은 265.7 $\mu\text{g}/\ell$ 였다. 이렇게 빈번하게 발생하는 적조 현상은 부근 해역의 부영양화와 관계있으며 적조와 부영양화의 상관 관계에 대하여 본 논문에서 논의하였다.

謝 辭

본 연구를 수행하는데 있어 표본 채집과 클로로필-a 측정에 협조하여 준 元容仁 조교에게 사의를 표하는 바이다.

參 考 文 獻

- Steidinger, K. A. and J. Williams. 1970. Memoirs of the Hourglass Cruises, Vol. II. Mar. Res. Lab., Florida. 251p.
- Strickland, J. D. H. and T. R. Parsons. 1968. A practical handbook of seawater analysis, 2nd ed. Fish. Res. Board Can. Bulletin 167. 311p.
- Yoo, K. I. and J. H. Lee. 1980. Environmental studies of the Jinhae Bay 3. Ecological succession of phytoplanktons, 1974~1980. J. Oceanol. Soc. Kor. 15(2), 100~107.
- 岡市友利. 1972. 淺海の汚染と赤潮の發生. p. 58~76(水産學研究叢書 23, 内灣赤潮の發生機構). 日本水産資源保護協會 103p.
- 朴周錫. 1980. 韓國 南海岸의 植物性 Plankton의 出現量 및 組成과 이들의 먹이와 赤潮로서 養殖生物에 미치는 影響. 수진연구보고 23, 7~157.
- 수산진흥원, 1978. 연안어장 및 임해 공업단지 주변해역의 해수유동. 206p.
- _____, 1983. 한국 연안어장 보전을 위한 환경오염 조사연구. 사업보고 제58호, 626p.
- _____, 1987. 한국연안의 적조발생과 천이에 관한 연구. 사업보고 제69호, 163p.
- _____, 1989. 한국 연안어장 보전을 위한 환경오염 조사연구. 사업보고 제84호, 347p.
- 沈載亨·辛恩玲·崔仲基. 1981. 여수 근해의 쌍편모조류에 관한 분류학적 연구. 韓海誌. 16(2). 57~98
- 李原在. 1977. 韓國沿岸의 海洋微生物의 分布에 關한 研究. 韓水誌. 10(1), 31~36.
- 井上博明·福代康夫. 1992. 渦鞭毛藻類의學名의變更についての最近の情報. 日フ學會報. 38(2), 151~154.
- 조창환, 1979. 1978년 진해만 적조와 양식굴의 대량폐사. 韓水誌. 12(1), 27~33.
- _____. 1981. 鎭海灣의 *Gymnodinium* 赤潮에 關하여. 韓水誌. 14(4) 277~232[英文].
- _____. 1986. 韓國 沿近海岸 植物플랑크톤의 出現 및 分布樣相, 1930年代~1980年代. 韓藻誌, 1(1), 135~143.
- 崔禹政·羅琪煥·全永烈·朴清吉. 1991. 富營養化된 北灣의 溶存酸素 收支에 의한 自淨能力. 韓水誌. 24(1), 21~30.
- 韓明洙. 1981. 鎭海灣의 雙鞭毛藻類에 關한 研究. 석사학위 청구논문. 漢陽大學校. 69p.
- 해양산업개발연구센터. 1990. 제4회 공동세미나 Proceedings. 부산수산대학교. 49p.
- 海洋研究所. 1983. 赤潮 및 汚染모니터링 研究. 鎭海灣. BSPE 00048-80-7. 222p.