

Landsat TM 영상과 GIS를 이용한 광양만 해수의 수질특성분석

조화룡 · 조명희 · 김병석

경북대학교 지리교육학과 교수
경일대학교 도시정보지적공학과 부교수
대학원 석사과정수료

1. 서론

인구가 많은 도시와 공장지역에 인접한 연안해역은 수질 오염이 문제가 되고 있다. 이러한 수질 오염 감시에는 바다색을 지표로한 원격탐사 기술의 응용이 가능하다.

필자들은 1996년~1999년 기간에 걸쳐 각각 탐지된 9시기의 Landsat TM 영상으로 한반도 남서해안의 바다물 색조를 분석 해본 결과 다수의 영상에서 광양만과 광양만에 서 외해로 나오는 출구 즉, 여수반도 및 돌산도와 남해도 사이의 좁은 해역(이하 '광양만 입구 수로지역으로 부르기로 한다) 에서의 바다물 빛이 주변지역과 아주 다른 특색을 보이고 있었다. 그 원인이 무엇인가를 알아보기 위하여 국립수산진흥원 해양환경 조사과에서 주기적으로 실시한 14가지 수질 검사자료를 분석해서 대조해 보았다. TM영상의 촬영일자와 수질검사 일자가 일치하지 않기 때문에 TM영상기에서 나타나는 특이한 색조와 수질검사의 결과를 바로 연결시켜 결론을 내릴수는 없다. 그러나 수질검사의 결과를 기초로 등치선도를 그렸을 때 광양만과 그 입구수로지역에 높은 수치를 보이는 요소의 분포패턴과 TM 영상에서 특이한 물빛을 보이는 지역의 분포패턴을 비교하여 유사할때 이들이 서로 상관관계가 있다는 가정으로 본 논문을 분석되었다. 그러나 보다 정확한 분석을 위해서는 TM영상이 촬영되는 시간에 맞춰 배를 띄워 수질검사를 실시하고 대조하여 분석하는 것이 바람직하다고 본다.

2. 영상분석

본 연구에서 분석된 한반도 서남해안의 Landsat TM 영상은 표 1과 같이 9개 시기에 각각 촬영된 것이다. 이들 영상을 각각 5/3/2 band에 Red, Green, Blue의 색조를 부여하여 False color를 만들어 분석한 결과 9개 영상 중 5개 영상(96년 9월 26일, 98년 3월 24일, 98년 10월 2일, 98년 11월 3일, 99년 3월 11일에 탐지된 영상)에서 광양만과 그 입구 수로지역의 바다 물빛이 주변 바다와 다른 Green 빛을 띄고 있는 것을 볼 수 있었다.

표 1. Landsat의 영상탐지 시기

Satellite	Sensor	Date	Cloud Coverage	Path-Row
Landsat-5	TM	1996. 09. 26	00	115-36
		1997. 08. 28	50	
		1997. 09. 29	20	
		1998. 01. 19	30	
		1998. 03. 24	10	
		1998. 09. 16	20	
		1998. 10. 02	00	
		1998. 11. 03	00	
		1999. 03. 11	10	

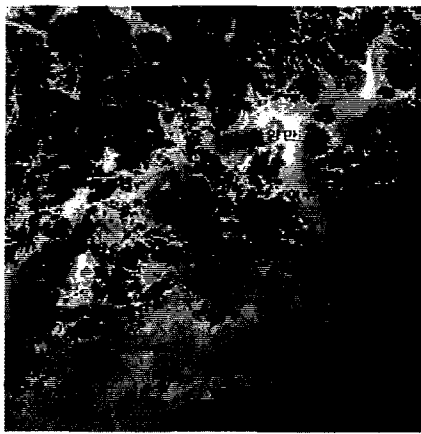


그림 1 Landsat TM False Color Composite Image (1996. 9. 26, band 5/3/2)

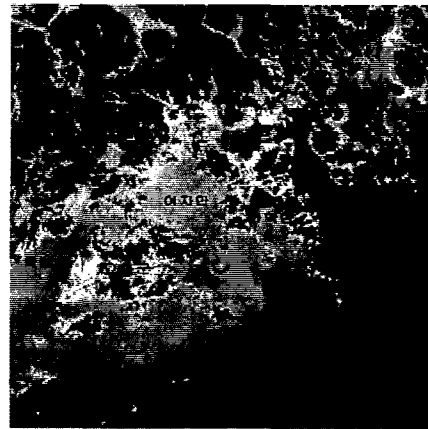


그림 2. Landsat TM False Color Composite Image (1998. 10. 2, band 5/3/2)

그림 1, 2는 이들 5시기에 탐지된 영상 중에서 대표적인 2개의 영상을 나타낸 것이다. 먼저 96년 9월 26일 영상(그림 1)을 살펴보면 광양만에서 여수항 동쪽 및 돌산도 동쪽을 거쳐 금오도 동북쪽까지 계속되는 어두운 Green 색을 띤 대상의 해역이 관찰된다. 즉 이 어두운 Green색 지대는 광양만과 광양만입구수로지역의 서쪽에 중심을 두고 있으며, 동쪽의 일부지역은 다른 색조를 보이는 구역도 있다. 여수항 남쪽 대경도 및 소경도 부근 지역도 앞에 언급된 지역만큼 농도가 짙지는 못해도 옅은 Green 색을 띄고 있으며, 가막만 안쪽의 짙은 색채는 만의 바깥 부분의 밝은색 지대보다 수심이 오히려 깊은 지대이기 때문에 청색이 짙게 나타나고 있지만 부분적으로 Green의 요소를 포함하고 있는 것을 알 수 있다.

False color에서 이와 같은 색채를 나타내게 하는 band가 어떤 band 인가를 알아보기 위하여 7개 band의 band별 흑백영상을 만들어 검토해본 결과 band 3(0.63~0.67 μ m)영상에서 이 패턴이 두드러지게 나타내고, band 2(0.52~0.60 μ m)에서도 부분적으로 나타났다.

그림 2는 1998년 10월 2일 탐지된 영상이다. 이 영상에서도 역시 광양만에서 광양만

입구수로를 거쳐 금오도 말단부에 이르기까지 녹색지대를 발견할 수 있다. 그러나 섬진강 하류를 중심으로 여수항 동쪽부근까지 흰색의 지대가 이 Green색 지대를 덮고 있는데 이것은 섬진강의 부유하중 때문인 것으로 판단되었다. 즉 군산측후소의 기록에 의하면 이 영상이 탐지되기 직전인 1998년 9월 29일에 강수량이 60mm, 30일에 121.7mm, 10월 1일에 4.8mm의 많은 강우가 있어 섬진강의 강물이 홍수상태로 늘어났을 것이 예상되며, 이때의 탁도가 높은 담수가 유입됨으로서 하구부근 해수의 탁도를 높여서 나타난 결과로 보인다. 그밖에도 Green색 지대는 남해도 북쪽지역과 여자만의 내만지역에도 정도는 약하지만 나타나고 있다.

band별 흑백사진에서 이와 같은 Green지대의 분광특성을 보면 band 2에서는 주변바다보다 Green 지대가 어두운 색조로 나타났고, band 3에서는 주변바다보다 밝은 색으로 나타났다.

바다색은 바다에 입사한 태양광이 물분자, 부유토사, 플랑크톤과 같은 입자에 의해 어떤 선택적 흡수 혹은 산란을 받는가에 따라 결정된다. 즉 해수중에 부유물질이 적으면 빛이 깊은 곳까지 투과하여 산란되어 되돌아오기 때문에 바다의 색깔은 청색으로 된다. 그러나 부유물질이나 식물플랑크톤이 증가함에 따라 입사광이 산란되는 수심이 얕아지며, 따라서 바다색은 청색에서 녹색으로 심하면 황색으로 변한다. 플랑크톤의 경우 클로로필(Chlorophyll)이 0.45 μ m와 0.65 μ m의 빛을 선택적으로 흡수하는 것으로 알려져 있다 (일본 리모트센싱 연구회, 1992).

3. 수질분석

연구지역의 수질분석은 국립수산진흥원 해양환경조사과에서 조사한 자료를 이용했다. 조사지점은 광양만 6개지점, 여수연안 5개지점, 남해도 남안 4개지점, 가막만과 그 입구 지역에 5개지점, 여자만에 3개지점 득량만에 3개지점, 고흥연안에 6개지점으로 총계 32개 지점이다. 수질조사는 96년에 2회(9월, 11월), 97년에 4회(2월, 5월, 8월, 11월), 98년에 4회(2월, 5월, 11월) 실시되었다. 수질조사 항목은 표 2에서 볼 수 있는 것과 같이 14항목에 걸쳐 조사되었다(표 2). 이렇게 조사된 수질조사자료를 조사시기별·항목별로 각각 해도에 기입하여 총 126매(9회×14항목)의 등치선도를 작성했다.

표 2. 수질조사 항목

기호	단위	내용	기호	단위	내용
Tr	m	투명도	Oil	mg/ℓ	유분
WT	℃	수온	PO4'-P	μ m	총인
Sal	‰	염분	NH4-N	μ m	암모니아성 질소
pH	-	수소이온농도	NH2-N	μ m	아질산성 질소
DO	mg/ℓ	용존산소	NO3-N	μ m	질산성 질소
COD	mg/ℓ	화학적산소요구량	DIN	μ m	용존무기질소
SS	mg/ℓ	부유물질	Chl-a	μ m/ℓ	클로로필

pH 즉, 수소이온농도는 지역차가 거의 없게 나타났다. Tr 즉 투명도는 외해쪽이 높고 내만쪽이 낮은 일반경향을 보였다. DO 즉 용존산소량은 지역차가 두드러지게 나타나

지 않았다. Oil 즉 유분은 여수항 연안에 약간 높은 정도를 보이지만 그 밖에 지역특색은 별로 나타나지 않았다. Sal 즉 염분은 겨울철에 있어서 지역차가 거의 나타나지 않지만 여름철에는 외해보다 내만이 낮고 외해가 32%인대 반해 광양만은 26~28%로 특히 낮게 나타났다. 이것은 여름철에 섬진강을 통하여 다량의 담수가 유입되기 때문으로 그와 같은 결과가 나타난 것으로 판단된다. WT 즉 수온은 겨울철에 있어서 외해의 수온이 높고 내만의 수온이 낮으며 여름철은 이와 반대의 경향을 보이는 것이 일반적이다. 이것은 얕은 수심의 물이 외기의 기온 변화에 민감하게 변화하는데 대하여 수심이 깊은 물은 기온 변화에 민감하지 못하여 나타난 결과로 판단된다. 이와 같은 일반경향에 추가하여 광양만과 여수만 연안지역의 겨울철 수온이 인접만에 비하여 약간 높은 경향을 보인다. 이것은 광양만 지역의 많은 공업활동과 관련이 있는 것이 아닌가 사료된다.

SS 즉 부유물질은 광양만 지역이 여름에 주로 높게 나타나지만 항상 그런 것은 아니다. 이것도 아마 여름철에 섬진강의 흙탕물이 유입되는 것과 관련이 있을 것으로 보인다.

NO₂-N 즉 아질산성질소는 광양만과 여수만 연안지역이 다소 높은 경향을 보이거나 두드러진 것은 아니다.

이상의 8개 항목은 부분적으로 광양만 지역이 높은 수치를 보이는 항목도 있지만 대개는 일반경향을 보이며, 위성영상에서 보이는 Green색의 패턴과 직접적인 관계가 있는 것으로는 보이지 않는다. 그러나 다음 6항목은 광양만과 여수연안 수역이 다른 지역에 비하여 두드러지게 높은 수치를 보이며 그 분포패턴도 위성영상의 Green 패턴과 상당히 닮고 있다. 따라서 이를 6개 항목에 대해서는 각각 전형적인 2시기에 대하여 분포도를 그림 3~그림 14에 나타내었다.

PO₄-P 즉 총인은 97년 11월과 98년 11월 조사자료에서 득량만, 여자만, 가막만 및 고흥연안, 남해도남안 지역은 대개 1 μ m 이하의 수치를 보이지만 광양만과 여수만 연안지역을 1 μ m 이상이고 특히 광양만에는 4 μ m를 넘는 지점도 나타나고 있다. 광양만에서 여수연안 해역을 지나 남해도남안 수역의 금오도까지 계속되는 분포패턴도 위성영상의 Green 패턴과 닮았다. NO₃-N 즉 질산성 질소는 96년 11월의 경우 광양만과 여수연안의 서안은 2 μ m 이상으로 주변바다의 대부분이 1 μ m 이하인데 비하여 훨씬 높고 특히 오동도 부근은 5.95 μ m로 최고치를 보인다. 97년 11월의 경우는 96년 보다 전반적으로 높은 수치를 보이지만 광양만은 주변바다보다 훨씬 더 높은 10 μ m 이상의 수치를 보이고 8 μ m 이상의 수치를 보이는 지역은 여수연안 서쪽 반을 따라 금오도 앞까지 계속되고 있다. 이 두 그림에서 모두 높은 수치를 보이는 지대가 여수연안 서쪽을 연하여 남하하고 금오도까지 이르는 패턴은 위성사진의 Green 패턴과 아주 흡사하다. NH₄-N 즉 암모니아성 질소는 96년 9월의 경우 고흥연안은 1 μ m이하이지만 득량만, 여자만, 가막만등 내만은 상대적으로 높아 1~2 μ m 이다. 그러나 광양만과 여수연안 및 남해도남안까지 띠를 이루는 지대는 2 μ m 이상이고 특히 광양만에는 4.42 μ m를 보이는 지점도 있다. 96년 11월은 동년 9월 보다 평균적으로 더 높은 수치를 보인다. 먼바다인 고흥연안은 1 μ m 이하이고 득량만, 여자만, 남해도남안은 대부분 5 μ m 이하이다.

그러나 광양만, 여수연안, 가막만 안쪽은 5 μ m 이상이고 특히 광양만 남안 및 여수연안 서안은 10 μ m 이상의 최대치를 보인다.

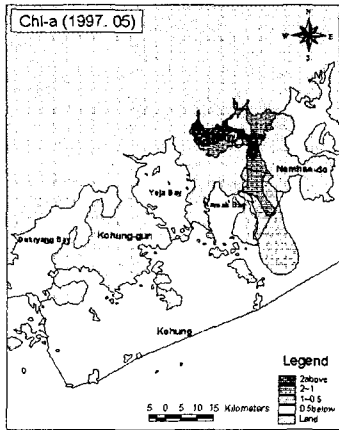


그림 3. 고흥만 연안의 Chl-a 분포도(1997. 05)

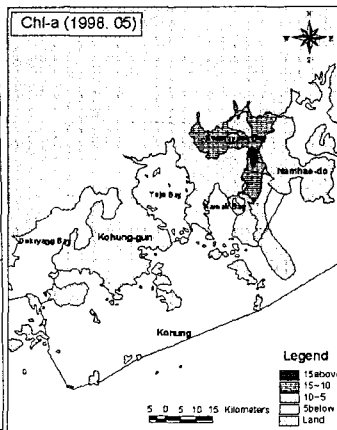


그림 4. 고흥만 연안의 Chl-a 분포도(1998. 05)

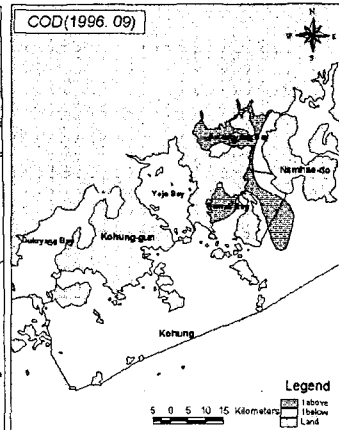


그림 5. 고흥만 연안의 COD 분포도(1996. 09)

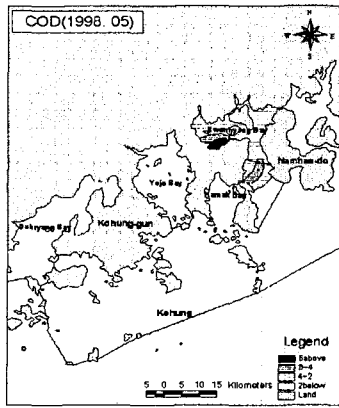


그림 6. 고흥만 연안의 COD 분포도(1998. 05)

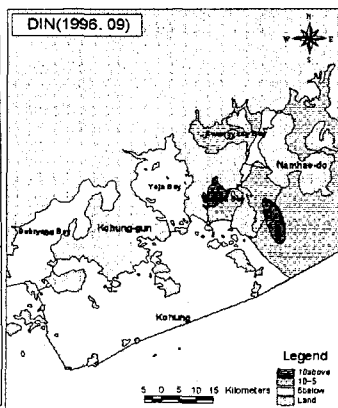


그림 7. 광양만 연안의 DIN 분포도(1996. 09)

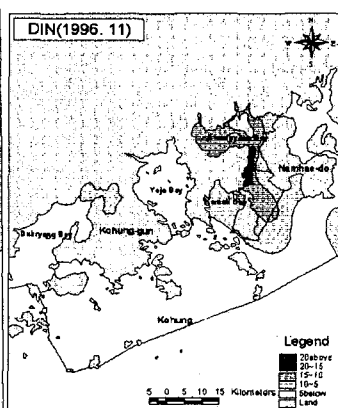


그림 8. 광양만 연안의 DIN 분포도(1996. 11)

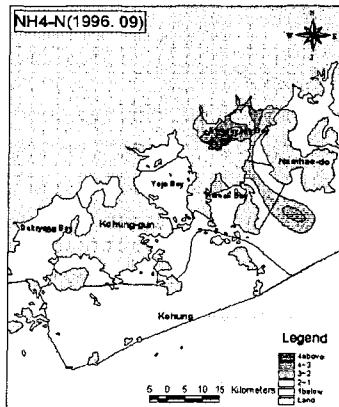


그림 9. 광양만 연안의 NH4-N 분포도(1996. 09)

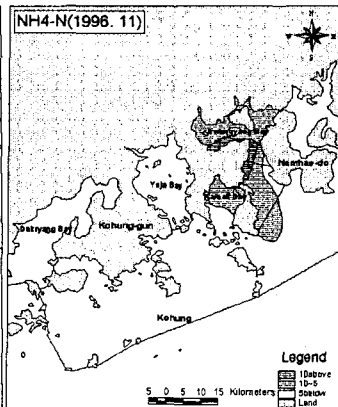


그림 10. 광양만 연안의 NH4-N 분포도(1996. 11)

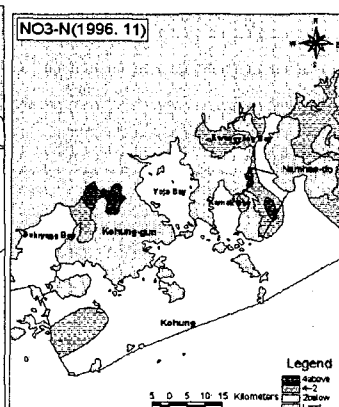


그림 11. 광양만 연안의 NO3-N 분포도(1996. 11)

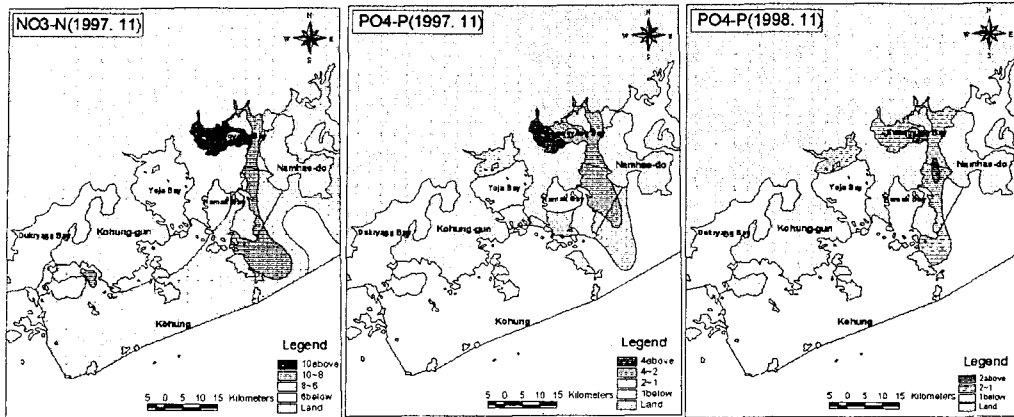


그림 12. 광양만 연안의
NO3-N 분포도(1997. 11)

그림 13. 광양만 연안의
PO4-P 분포도(1997. 11)

그림 14. 광양만 연안의
PO4-P 분포도(1998. 11)

DIN 즉 용존무기질소는 96년 9월의 경우 득량만, 고흥연안, 여자만은 $2\mu\text{m}$ 이하이다. 그러나 광양만, 여수연안, 가막만, 남해도남안은 대부분 $5\mu\text{m}$ 이상이다. 가장 높은 수치를 보이는 해역은 가막만 안쪽과 돌산도 동쪽해역으로 $10\mu\text{m}$ 를 넘는다. 96년 11월의 경우도 9월의 패턴과 비슷하다. 그러나 가막만과 남해도 남안이 9월에 비해 상대적으로 낮은 수치를 나타내고 가장 높은 수치는 오동도 부근으로 무려 $40.08\mu\text{m}$ 를 보인다.

Ch-a 즉 클로로필은 97년 5월의 경우 대부분의 해역이 $0.5\mu\text{g}/\text{l}$ 이하의 수치를 보이는데 대하여 광양만과 여수연안 및 남해도남안 서부해역은 $0.5\mu\text{g}/\text{l}$ 이상에서 $2.6\mu\text{g}/\text{l}$ 까지 높은 수치를 나타낸다. 98년 5월도 97년과 같은 패턴을 보이나 그 수치가 전반적으로 높은 수치를 보인다. 즉 광양만 입구는 $15\mu\text{g}/\text{l}$ 를 넘고, 광양만과 여수연안해역 북서부는 $10\mu\text{g}/\text{l}$ 을 넘는 높은 수치를 보인다. 그러나 여자만, 득량만, 가막만, 고흥연안 해역은 모두 $5\mu\text{g}/\text{l}$ 이하의 낮은 수치를 보인다. COD 즉 화학적 산소요구량은 96년 9월의 경우 광양만, 여수연안, 가막만 안쪽에서만 $1\mu\text{g}/\text{l}$ 이상의 높은 수치를 보이고 그 밖의 해역은 모두 $1\mu\text{g}/\text{l}$ 이하의 수치를 보인다. 98년 5월의 경우 다른 해역은 모두 $2\mu\text{g}/\text{l}$ 이하인데 대하여 광양만과 여수연안은 $2\sim 6\mu\text{g}/\text{l}$ 의 높은 수치를 보인다.

4. 토 의

앞장에서 살펴본 영상분석과 수질분석의 결과를 종합해 보면 Landsat TM 영상에서 광양만과 그 입구 수로 지역의 녹색 및 검은 녹색의 물빛을 띠는 지역의 분포 패턴과 수질 분석 결과 높은 수치를 보이는 지역의 분포 패턴이 유사한 모습을 보이는 수질 요소는 PO4-P, NH4-N, NO3-N, DIN-N, Chl-a, COD의 여섯으로 나타났다.

이들 여섯가지의 요소 중에서 인(PO4)이나 질소 화합물(NH4, NO3, DIN)은 물에 녹아 있어도 무색하며, COD는 화학적 산소 요구량이기 때문에 TM영상에 다른 색조를 나타내게 하는 원인이 되지 못한다. 색조에 영향을 주는 것은 오직 엽록소 즉 클로로필의 농도이다. 이 클로로필도 그 자체의 색깔도 부분적으로 TM영상에 반영되었겠지만,

그 보다도 물속에 식물성 플랑크톤이 많으면 입사광이 산란되는 수심이 낮아지기 때문에 TM영상에서 다른 색조를 보일수 있다.

광양만과 그 수로지역에 클로로필의 농도가 높게 나타나는 것은 무슨 이유 때문일까? 인이나 질소 산화물은 바로 식물플랑크톤의 영양분이 되기 때문에 이들 화합물의 농도가 짙으면 바다물에 부영양화 현상이 나타나 식물플랑크톤이 급속히 번성하여 클로로필의 양이 급속도로 증가된다. 화학적 산소 요구량 즉 COD는 플랑크톤의 농도가 높기 때문에 높게 나타날 수밖에 없다.

그러면 왜 이 지역에 인 산화물과 질소 산화물의 농도가 높게 나타날까? 광양만은 섬진강이라는 큰 강이 이 만으로 유입된다. 그래서 이 강 유역 분지의 생활폐수, 농업용수가 이 만으로 유입된다. 또 이 만 주위에 포항제철 광양제2공장과 여천 공업단지가 입지해 있고, 이와 같은 공업단지가 형성되면서 만 주변에 인구밀도가 매우 높아졌다.

종합적으로 이들 6개 요소의 상관관계는 다음과 같이 추정할 수 있다. 물색을 녹색 및 검은 녹색을 띠게 하는 근본원인은 클로로필 즉 Chl-a의 농도가 짙기 때문이며, 이 해역에 클로로필을 높게 한 원인은 PO4-P, NH4-N, NO3-N, DIN-N의 농도가 높아 부영양화 된 때문이다. 또 클로로필이 높기 때문에 결과적으로 화학적 산소요구량 즉 COD가 높게 나타나는 것으로 해석 된다.

5. 결 론

1. Landsat TM영상의 false color에서 광양만과 그 입구 수로지역의 물빛이 주변 바다보다 녹색 및 검은 녹색을 띠는 경향이 두드러지게 나타났다(9번 탐지된 영상 중에서 5번).

2. 수질 검사자료를 지도화 해 본 결과 높은 수치를 나타내는 지역의 분포가 해면 색조 분포패턴과 유사한 모습을 보이는 수질 요소는 PO4-P, NH4-N, NO3-N, DIN-N, Chl-a, COD들이었다.

3. 바다 물색을 녹색 및 검은 녹색을 띠게한 원인은 클로로필의 농도가 짙기 때문이며, 이 해역에 클로로필 농도가 높아진 것은 산화 인, 질소 화합물들의 농도가 광양만 해수가 부영양화 되었기 때문으로 판단되었다.

4. 광양만의 부영양화는 섬진강의 유입, 대규모 공업단지 입지, 높은 주거지 밀도와 관련이 깊은 것으로 해석되었다.

참 고 문 헌

- 김영섭, 서애숙, 조명희, 1998. 원격탐사 개론, (주)동화기술, 373p.
국립수산진흥원, 1998. 한국해양환경 조사연보, 국립수산진흥원, 3, 105p.
이광우, 양한섭, 1999. 화학해양학, 청문각, 332p.
장선덕 외, 1999. 연안해양학, 시그마프레스, 426p.

- 가민호, 2000. "인공위성 원격탐사 정보의 활용", 대한원격탐사학회지, 16(3), pp. 261-279.
- 조명희, 김병석, 김창길, 서영상, 2000, "위성원격탐사와 GIS를 이용한 인공어초시설지 적지선정기법", 대한원격탐사학회 춘계학술대회논문집, pp.69-76.
- Ekstrand S., 1992. "LANDSAT TM Based Quantification of Chlorophyll-a During Algae Blooms in Coastal Waters.", International Journal of Remote Sensing, 13(10), pp. 1913-1926.
- Huh O. K., Moeller C. C, Menzel W. P, Rouse L. J, and Roberts H. H, 1996, Remote Sensing of Turbid Coastal and Estuarine Waters"A Method of Multispectral Water-Type Analysis, Journal of Coastal Remote Sensing., 12(4), pp. 984-995.
- Janet N. and Kim C. G., 1995. "Remote Sensing for Marine Environmental Monitoring: A SINGAPORE CASE STUDY." Asian-Pacific Remote Sensing Journal , 7(2), pp. 27-36.
- Jeong J. C. and Yoo S. J, 1999. "The Analysis Errors of Surface Water Temperature Using Landsat TM", Journal of the Korean Society of Remote Sensing, 15(1), pp.1-18.
- Mulhearn, P. J., 1995, Landsat Reflectivities Versus Secchi Disc Depths, International Journal of Remote Sensing, 16(2), pp. 257-268.
- Myung-Hee Jo,Byung-Suk Kim,Ae-Sook Suh, 2000, "Coast Environmental Suitability for artificial Reef using Satellite Remote Sensing and GIS", Proceedings of The Third International Symposium on Advance Environmental Monitoring, pp.21-25.
- Myung-Hee Jo, Byung-Suk, Young-Sang Suh, Yasuhiro Sugimori, 2000, "A Suitability Analysis for Artificial Reef Facility Using Satellite Remote Sensing and GIS", Proceedings of the Fifth Pacific Ocean Remote Sensing Conference, pp. 710-713.
- Novo, E. M., Hansom J. D, and Curran P. J, 1989. "The Effect of Sediment Type on the Relationship Between Reflectivities and Suspended Sediment Concentration", International Journal of Remote Sensing, 10(7), pp. 1283-1289.
- Rimmer J., Collins, C. and Pattiaratchi C. B., "Mapping of Water Quality in Coastal Waters Using Airborne Thematic Mapper Data", International Journal of Remote Sensing, 8(1), pp. 85-102.
- Sanae M. and Kazuo N., 1999. "Inverse Estimation of Multi-Substance Concentration Based on a Radiative Transfer Theory for Remote-Sensing Analysis of Coastal and Ocean Environments", Journal of the Japan Society of Remote Sensing, 19(2), pp. 50-63.
- Tassan, S., 1987. "Evaluation of the Potential of the Thematic Mapper for Marine Application", International Journal of Remote Sensing, 8(10), pp. 1455-1478.