

제4장 해양

제1절 동해

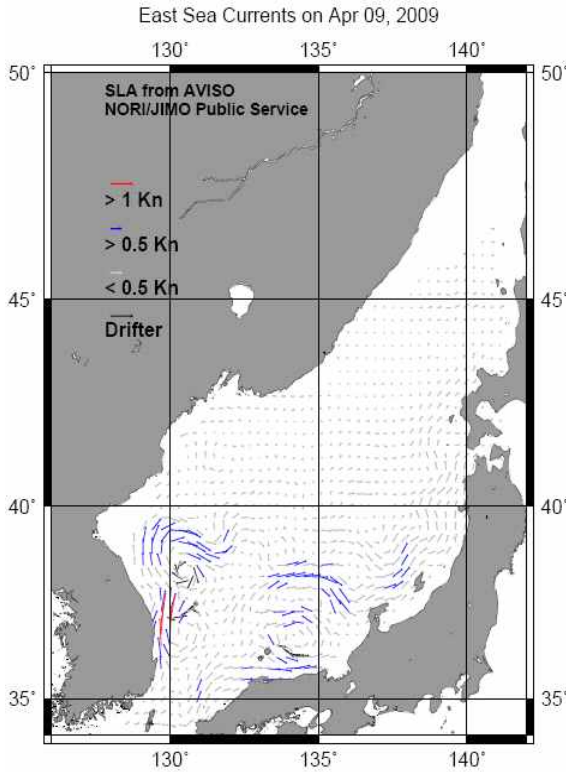
1. 개요

동해는 한반도·러시아 및 사할린섬·일본열도로 둘러싸인 연해(緣海)로 남북길이 1,700km, 동서길이 1,110km 정도이며, 면적 1,007,600km², 용적 1,698,300km³, 최심부 4,049m, 수온범위 1~27℃이다. 신생대 제3기말에 대단층 운동으로 함몰하여 생성된 해분(海盆)으로 태평양과는 쓰가루해협(津輕海峽), 동중국해와는 대한해협(大韓海峽), 오호츠크 해와는 라페루즈해협(일명 宗谷海峽)과 타타르해협을 통해 연결된다. 대륙붕은 약 21만km²로 전체 넓이의 약 1/5 정도이다. 전체적으로 동부보다 서부가 깊고 남부보다 북부가 깊다.

해저지형은 북위 40° 선을 기준으로 북부가 단순하고 남부는 복잡하다. 동해의 남부 중심에는 울릉도(37°-29'N, 130°-55'E)와 독도(37°-14'N, 131°-52'E)가 있고, 일본 측 서남부에는 오키제도가 있다.

2. 해류

동해는 대한해협을 통해 유입된 고온·고염의 대마난류와 동해 북부로부터 연안을 따라 남하하는 저온·저염의 북한한류 영향을 받는다. 이 두 해류는 계절이나 기상조건에 따라 유입량 및 유입경로가 변하며, 북위 37~38° 부근의 한국 동해안 해역에서 만나는데, 그 결과 동해연안 해황은 공간적인 변화가 매우 심하고 다양한 특성을 보인다. 북한한류는 수온범위가 1~5℃이고 염분 도는 34.05% 이하이다. 북한한류는 늦은 겨울이나 봄철부터 남하하기 시작하면서 수송량이 증가하다가 3~5월경에 감소한 후 다시 증가하여 8~9월경에 최대인 계절 변동을 보인다.



● 2009년 4월 동해 해류도(한국해양연구소)

평균 3~5cm/sec로, 영일만으로 유입·유출되는 해류는 미약하지만 만의 흐름에 영향을 미친다. 영일만 인근에서의 전체 흐름경향을 보면 북진하는 흐름과 호미곶 부근에서 북서쪽으로 휘돌아 진행하는 흐름으로 나누어지며, 북서방향의 흐름은 달만갑 부근에서 다시 북진한다. 영일만의 해류는 이 북서방향 해류의 일부로, 그 크기가 만 입구의 해류에 비해 매우 작다.

3. 해양의 물리·화학·생물학적 요인

동해안의 표층 수온은 기온 변화와 동반하여 나타나는 변화 외에도 앞서 설명한 두 해류의 변동 등 해수순환에 의해서도 영향을 받는다. 지구온난화의 영향으로 지난 100년간 한반도 기온이 1.5℃ 상승하면서 1968~2007년까지 지난 40년간 동해의 수온 또한 표층과 50m수층에서 각각 1.3℃, 0.1℃ 상승하였고, 100m수층보다 깊은 수심의 수온은 오히려 낮아져 100m수층은 1.1℃, 300m수층은 0.8℃, 500m수층은

북한한류의 수송량은 경년 변동 폭(經年變動幅)이 계절 변동 폭보다 크며, 연안 역으로부터 35km 이내의 좁은 해역을 통해 남하한다. 이러한 북한한류의 분포는 하계 동해남부 해역에 주기적으로 발생하는 냉수대의 출현과 관련 있다. 그리고 한·난류간 수온전선은 동경 130°를 중심으로 연안 역에서 시공간적 변동을 보이면서 주로 남북 방향으로 전선이 형성된다.

대마난류는 동경 130°부근 동해남부 해역을 난류의 주축으로 형성하면서 전반적으로 주문진 근해로 북상하나 8월의 경우는 묵호 근해에서 동류(東流)하여 독도 부근 해역에서 북상하는 경향을 보인다. 해류의 주된 흐름방향은 북~북동 방향이며, 동해를 가로지르는 흐름과 동해연안을 따라 북상하는 흐름이 나타난다. 연안에서의 해류 유속은

0.2℃ 저하하였다. 이로 인해 50m수층과 100m수층 사이에 형성되는 수온약층(水溫躍層)이 점점 더 강해져서 수온약층 상층수와 하층수간의 혼합이 약해지는 것으로 조사되었다. 1970년대 이후 나타나는 한국 연안의 겨울철 표층 수온 상승은 알류산 저기압의 변화와는 연관성이 적은 반면 시베리아 고기압의 약화와 연관성이 높다고 한다. 이러한 수온 변화로 대표적 냉수어류인 명태는 1990년 27,000톤에서 1998년 6,000톤, 2001년 이후 1,000톤 이하로 어획량이 격감하였고 2007년에는 거의 잡히지 않은 것으로 파악되었다.

동해안의 연평균 수온은 8.6~15.9℃이며, 영일만 근해의 동해남부 전 해역은 대마난류의 영향을 많이 받아 여름에는 수온이 24~25℃까지 상승하고 겨울에는 10℃ 전후이다. 영일만 인근 동해고유수는 평균수온 12.2~18.4℃ 평균염분 33.3~34.4‰로, 만내 연안수와 동해고유수는 서로 일정한 주기성을 가지고 있어 표층과 저층 각각 약 0.84~0.91년, 1.84년의 주기를 보인다고 한다.

염분도는 조사해역별로 상이하지만 8월에는 강우 영향으로 전 해역에서 31.8~33.9‰의 분포로 연중 최저치를 보인다. 영양염류는 해역이나 수층에 따라 농도차가 있지만 전반적으로 외해역에 비하여 연안역이 높고, 난류역보다 한류 역에서 높다. 수산자원 어획량에 크게 영향을 미치는 동물플랑크톤의 평균 생물량은 춘계인 3월에 가장 많이 출현하고 동계인 12월에 낮으며, 요각류(Copepoda)가 89%로 가장 많고, 단각류(Amphipoda), 모악류(Chaetognatha), 난바다곤쟁이류(Euphausiaceae) 등도 출현한다.

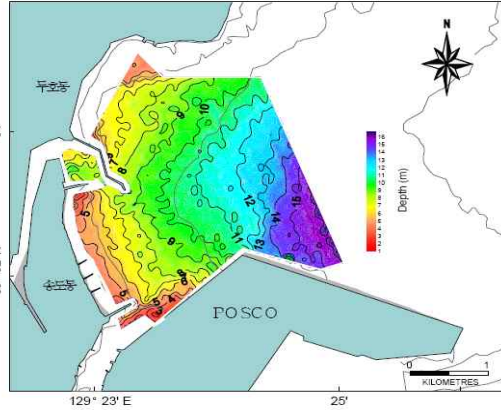
4. 환경변화에 따른 어업현황

경상북도가 1999년부터 2007년까지 어종별 어획량을 분석한 결과, 99년 15만5천톤이었으나 이후 2004년 13만 톤, 2005년 11만7천 톤, 2006년 11만9천 톤, 2007년 14만1천여 톤 등 1999년 수준을 한 번도 회복하지 못했다. 전체어획량 중 가장 큰 비중을 차지하는 것은 오징어로 지난 2003년에는 전체어획량의 69%(12만2천 톤 중 8만4천 톤)를 차지하였다. 오징어는 99년 8만6천 톤으로 이후 6만~8만 톤 사이에 어획량이 머물렀고 2007년에는 7만2천 톤으로 집계되었다. 2008년에는 한류성 회유어종인 청어가 포함-울산 앞바다에서 대형산머선단에 의해, 동해안에서 1개월간 잡힌 어획량에 맞먹을 정도로 많이 어획되었다. 이는 북한한류가 남쪽으로 이동하면서 동해남부 해역에 먹이생물이 증가한 것에 따른 것으로 관계자들은 분석하였는데, 환경변화에 따라 당분간 어획량 또한 변동이 클 것으로 예측된다.

제2절 영일만

1. 개요

수면적 약 120km²인 영일만은 달만갑과 장기갑을 연결하는 선의 안쪽을 말하며, 만 입구 폭은 남남동-북북서 방향으로 약 10km이고 육지쪽 북동-남서 방향으로 약 12km가 만입된 형태를 가진다. 수심은 1.2~16.6m 범위로 송도 북부해빈과 형산강 하구수심이 가장 낮고 만내에서 만구로 갈수록 수심이 깊어져서 25~30m를 나타낸다. 등수심선은 해안선에 거의 평행하게 나타나며, 포항 신항일대의 해저가 비교적 평탄한 반면에 만의 동쪽인 구룡반도 전면

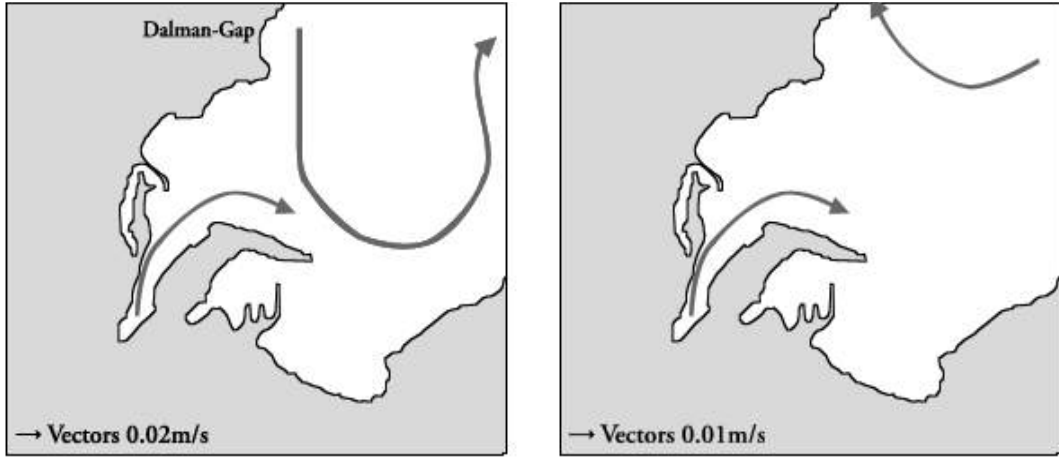


● 영일만 수심 분포(한국해양연구소, 2003)

에서는 해저경사가 비교적 급하여 해안선으로부터 수평 약 500m지점은 수심이 20m를 나타낸다. 만 중심의 해저경사는 약 1/1,000으로 완만한 편이고, 달만 갑으로부터 동쪽으로 3km 지점에는 수심이 주위보다 5m 정도 낮은 일종의 천퇴가 직경 약 1km로 위치하고 있는데 가장 얇은 수심이 약 15m 내외이다. 한국 동해연안에서 유일한 만인 영일만은 근래 대규모 해안매립으로 남동쪽의 내만에는 POSCO가 항만을 증축하고 있으며 북쪽에는 동해안의 물류기지로 대규모의 포항 신항만이 건립되고 있다. 이와 같이 영일만은 해안지형이 인위적으로 급격한 변화를 겪고 있으며 도시화·공업화와 맞물려 해양환경 및 생태계에 심각한 변화를 초래하고 있다.

2. 해류

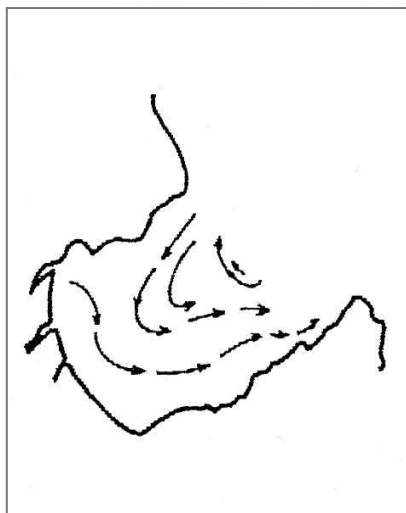
영일만의 해양환경에 대한 조사연구는 교통부 수로국이 선박의 안전운행과 항만개발의 기초자료를 제공하기 위해 1971년부터 해수유동에 대한 조사를 실시한 이래 지속적인 조사가 이루어졌다. 이 수역은 동해의 해류와 교류가 이루어지고 있으며, 도시생활권으로부터 배출되는 생활오수나 공장폐수의 영향뿐만 아니라 냉천과 형산강 등 담수유입으로 인하여 다양한 수문학적 특성을 가지는 지역이다.



● 사리때의 밀물(오른쪽)과 썰물(왼쪽) 흐름(한국해양연구소, 2003)

영일만은 동해의 북한한류와 대마난류의 영향을 동시에 받는 해역으로 영일만 내로 유입하는 해류는 지형을 거슬러 올라가는 주 해류의 일부가 유입된 것이다.

한류의 흐름을 보면 만 좌측의 달만갑과 만 입구의 중앙을 통해 만 내측으로 유입된 해수는 만 우측의 연안을 따라 POSCO 앞에 이르러 형산강 유출수와 합류한 다음 장기갑 방향으로 편향하여 유출된다. 영일만 내에서는 반시계 방향으로 해수순환이 일어나며 최강유속은 3m수층에서 22~44cm/sec, 15m층에서 8~25cm/sec에 달하나 대체로 5~10cm/sec이며 유향 역시 가변성이 많아 만내의 해안을 따라 우회 또는 좌회하는데, 이러한 유속과 유향은 외해의 해류·바람·하천수 등에 따라 수시로 변



● 영일만 해류 흐름

한다. 영일만내에서의 해수순환은 표층에서 형산강 담수의 외해로의 유출과 저층에서 저온·고염의 동해고유수가 유입되는 현상이 뚜렷하다. 이는 수괴가 안정되는 봄부터 시작하여 여름에 가장 뚜렷하고 그 발생주기는 단주기 변동으로 약 10일 정도의 주기를 가진다. 만 안쪽에서는 형산강 하천 유출수가 영일만 내 순환을 지배하는 주요인자로 작용한다. 담수유입에 따른 수직성층화 형태는 10cm/sec의 약한 유속으로 인해 약혼합형의 형태를 띠며, 층간의 염도변화가 매우 적은 북부해수욕장 부근에서부터 장기갑까지를 연결한 부분까지 해수의 표층을 따라 담수의 흐름이 미친다. 이러한 해수의 수평·연직 순환류는 조석영향이 미약한 영일만의

경우 내만의 오염물질을 외해로 수송하는 데 큰 역할을 하는 것 같다. 조석은 다른 지역에서와 같이 조석형태수가 1.8인 일주조가 우세한 지역이지만, 영일만에 인접하여 무조위점(無潮位點)이 존재하기 때문에 대조차 7.6cm 소조차 4.8cm로서 동해안의 다른 지역에 비해 무척 작다. 포항의 조위관측소는 송정동 1-20번지(북위 36도02분 39초, 동경 129도23분10초)에 설치되어 있으며 관측개시는 1971년 5월 1일부터 시작되었다.

3. 수질특성

영일만 해역은 연안성 수질을 형성하지만 심해성 또는 원양성 해수의 영향으로 미묘한 변화가 생성·소멸되는 곳으로 이곳의 염분은 강우량 또는 담수의 영향을 받으며, 수문학적으로 수온약층대(水溫躍層帶)나 염분약층대(鹽分躍層帶)가 뚜렷하게 분포되어 있어 수괴의 다양성을 보인다. 다수의 하천이 유입되는 관계로 생활오수를 비롯하여 POSCO와 제철연관산업단지의 산업폐수가 영일만 수질 및 저질오염이 가중될 수 있는 여건을 제공한다. 적조(赤潮)는 1995년 이후 매년 발생하고 있으며, 해역 대부분의 수질이 II, III등급으로 관리가 절실하다.

우리나라 10대 하천에 속하는 형산강은 경남 울주군 두서면 내와리에서 발원하여 경주시와 포항시를 통과하며, 상류유역과 5개 지류영역을 포함한 총 유역면적 1,140km², 유로(流路)연장 57.38km, 하류 폭 약 100m로 영일만에 가장 많은 담수를 공급한다. 평수량 17.4m³/sec, 갈수량 4.3m³/sec, 연평균 유출량 약 6억m³로 하상경사가 매우 급해 영일만으로의 유입속도가 빠르고 거리가 짧아 하천의 자정능력이 떨어지는 것으로 알려져 있다. 곡강천(曲江川)은 본 지역 상부에 위치하며 흥해 읍내를 관통하여 해양에 이르나 해류 영향으로 영일만 북부지역의 퇴적물 이동에 중요한 원천이 되고 있다. 영일만의 유입하천은 형산강을 중심으로 북쪽 해안에 소하천(여남천·두호천·학산천·칠성천·해도천)이 다수 있고, 남쪽 해안에는 냉천·도구천·임곡천·약전천이 영일만으로 직접 유입되며, 효자천·남천·구무천은 형산강 하류로 유입된다. 그 중 송도 항으로 유입되는 칠성천은 영일만 오염원 중 비중이 가장 크며, 학산천과 해도천 또한 칠성천과 함께 영일만 북쪽 해안에 오염물질의 부하량을 가중시킨다.

영일만 적조형성에 영향을 미치는 인산계 영양염류는 생활오수의 영향이 크고, 질소계 영양염류는 생활오수 외에도 선강종말처리장 방류수와 같이 POSCO 인근 철강연관단지로부터 많이 유입된다. 영일만의 질산염 농도는 부영양해역 발생을 위한 최소농도 0.013mg/l보다 2배 정도 높다. 그래서 영일만은 질소(N)가 과다하고 인(P)은

상대적으로 결핍된 수질로써 무기질소/무기인 비율이 인(P) 제한성 기준인 7.2를 크게 초과하여 국내 연안의 1.7~4.6보다도 매우 높고 식물플랑크톤 생장에 대해서도 강한 인(P) 제한성을 띤다. 영일만에서 관찰되는 식물플랑크톤은 300여종으로 추정되며, 6~8월경 수온이 상승하고 장마로 인해 육지로부터 영양염이 대량 유입되면 형산강 하구유역에서 몇몇 종이 단독적조를 일으킨다. 하지만 외해의 영향을 직접 받는 환경조건과 상대적으로 낮은 인(P)함량으로 인해 식물플랑크톤 발생량은 국내 연안과 비교하면 낮은 편이다. 영일만에서 관찰되는 식물플랑크톤의 대부분은 우리나라 연안에서 보편적으로 출현하는 종으로 가장 종류가 풍부한 것은 규조류이다. 환경오염지표 중 하나인 화학적 산소요구량(COD)은 하계에 가장 높고 부영양 기준인 20.0mg/g을 초과하는 지역이 많다.

영일만 해수에 용존 되어 있는 금속농도는 우리나라 해역 수질환경기준치 이하를 보이나, 우리나라의 용존 금속에 대한 수질기준 자체가 매우 높게 책정되어 있어 오염여부를 판단하기는 곤란하다. 하지만 구항 해수에는 다른 해역에 비해 철(Fe)이 5배 이상, 니켈(Ni)이 10배 이상, 카드뮴(Cd)이 6배 이상, 구리(Cu) 3배 이상, 아연(Zn)은 4배 이상 높게 나타나 오염이 심각하다.

영일만 수온은 겨울에는 낮고 여름에 높은 계절적 특성이 뚜렷하다. 최근 8년간 자료를 정리하면 최고수온은 주로 8월(간혹 9월 초)에 평균 23.7℃(최고 28℃, 최저 18.1℃)였고, 최저수온은 주로 1월(간혹 2월 초)에 평균 8.3℃(최고 11℃, 최저 4.6℃)이었다. 영일만 외측 저층에서부터 발달한 냉수대가 강약의 차이는 있지만 매년 7~8월 사이에 출현한다. 주변해역의 표면수온보다 상대적으로 낮은 13~16℃의 분포를 보이며, 1~2주간 유지되다 소멸하고 다시 생성·소멸을 반복한다. 냉수대는 동해연안 양식어장에 일일 3~5℃의 급격한 수온변화를 초래해 양식어류와 식물플랑크톤의 대량폐사를 일으키며, 수온이 낮은 해수와 기온이 높은 대기가 접촉하면서 짙은 해무(海霧)가 발생됨으로써 빈번한 선박사고를 일으킨다. 냉수대 출현은 지속적인 남풍(南風) 계열의 바람이 연안수를 외양으로 밀려내면서 저층 냉수가 표층으로 상승한 연안 용승(湧昇)의 결과이다.

형산강 하구에 위치한 POSCO 방류구 부근은 온배수로 인해 다른 해역보다 수온이 2~4℃ 높다. 온배수로 인한 수온상승은 용존산소(DO)농도에도 영향을 미쳐 외해역에 비하여 0.2~3.8ml/l 정도 낮다.

구항의 경우 표층해수의 용존산소가 2~4ml/l로 영일만내에서 가장 용존산소가 낮은 것으로 조사되었으며 이는 오염과 반폐쇄 지형인 것에서 기인한다. 봄철 형산강 하구에서는 식물플랑크톤의 대증식으로 용존산소가 12ml/l 이상으로 과포화 상태를 나타내는 경우도 있으며 그에 따라 수소이온농도(pH)가 8.3 이상을 나타내기도 한다.

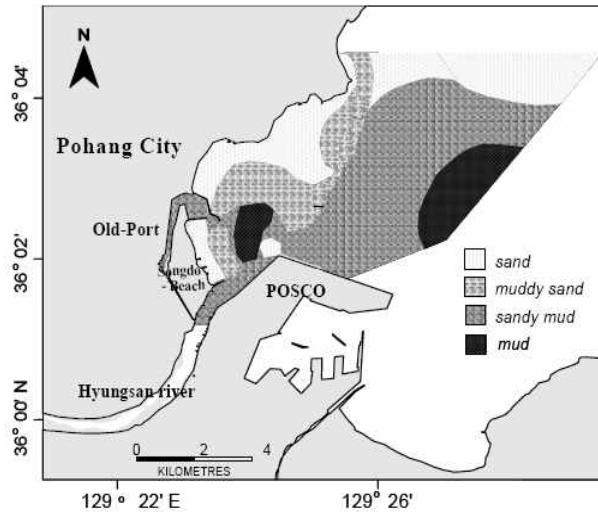
대체로 영일만 용존산소농도는 4.0~7.4ml/l의 범위로 여름철에 낮고 겨울철에 높은데, 이는 수온 및 강우로 인한 담수유입의 영향이 크다. 수소이온농도는 PH7.3~8.4의 범위를 보이며 하계 강우 시에는 육수(陸水) 영향으로 낮아지나 식물플랑크톤이 대량 번식할 때는 높은 값을 보인다.

염분은 9.5~34.7%의 범위이며 대체로 30.1~32.7% 정도이다. 형산강 하구는 30% 이하, 포항 구항의 염분은 30% 정도이고 여름철 장마 직후에는 9.5%까지 내려간다.

이상을 종합하면 영일만은 청정해역인 동해의 계절적 수질분포 특성과 유사하나, 형산강 하구와 반폐쇄성 구항 해역은 오염이 심하다고 할 수 있다. 따라서 영일만을 해양관광의 거점으로 삼기 위해서는 경주와 포항시에서 유입되는 공장폐수·축산폐수·생활오폐수 등의 정화가 지속적으로 이루어져야 하겠다.

4. 저질특성

저질의 입도는 수리·역학적 퇴적 환경을 잘 반영하는 주요인자로, 기상변화에 따른 조류·파랑 등 수력학적 에너지의 변동에도 좌우된다. 2003년 조사에서 탈만갑 동쪽은 자갈이, 만의 내·외측과 북부 및 서부 연안에는 모래가 우세한 것으로 나타났다. 수심이 20m 내외인 탈만갑 부근은 기반암과 자갈이 해저에 분포되어 있고, 여남동 쪽의 반시계 방향을 따라 입도(粒度)가 작아지면서 만 중앙 쪽에 펄과 펄이 우세한 모래질이 분포하는 것으로 보아,

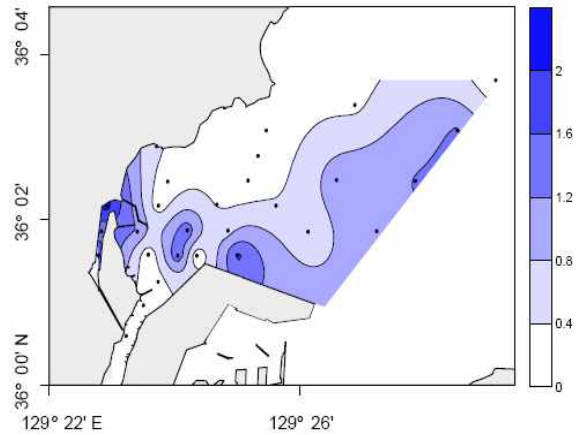


● 영일만 저질 입도조성(한국해양연구소, 2003)

POSCO의 입지에 의해 만 내 깊숙하게 해류가 접근하지 못함을 알 수 있다. 구항 해역에서도 저질은 세립(細粒)한 형태를 보인다. 평균입도는 만의 중앙부에서 해안선으로 갈수록 조립(粗粒)해지는데 이러한 입도분포 특성은 영일만 내에서 반시계 방향으로 흐르는 해류와 형산강 유출량에 크게 좌우된다. 예전의 자료 그림에서는 영일만 저질에서 빨질을 거의 볼 수 없었고 대체적으로 모래·자갈 등이 우세하였다.

해수의 수질특성은 일시적 또는 단기적 수괴(水塊)의 현황을 반영하는 반면 저질에

축적된 오염물질들은 장기적·지속적으로 해양생태계에 영향을 미친다. 그 중 중금속은 주변의 화학적 환경 및 퇴적물의 조성에 따라 다양한 화합물을 형성하며 이에 따라 생물체에 대한 독성이 결정된다. 본래 저질의 유기물(총유기탄소, TOC)은 저서생물의 먹이로 이용되는 퇴적물 성분이나, 다량으로 유입되면 산소가 고갈되어 최종적으로 황화수소를 발생시켜 생물서식에 부적합해진다. 저질내



● 영일만 총유기탄소 분포(해양과학연구소, 2003)

금속함량은 저질입도와 유기물 함량에 따라 달라진다. 입도가 세립 할수록 유기물 축적이 많아지고 혐기성 환경으로 변한다. 유기물 함량이 많아지고 혐기성 환경이 될수록 친유기성 금속인 해수중의 카드뮴(Cd)·구리(Cu)·아연(Zn) 등이 저질 퇴적물 내에 금속화합물로 축적된다. 이러한 이유로 퇴적물 내 유기탄소는 저서환경의 질(質)을 평가하는 중요한 척도이다. 자료 그림에서 보면 유기탄소 함량 및 중금속 함량이 구항에서 가장 높아 저질이 많이 오염되었음을 알 수 있고, 구항을 제외한 영일만 전 해역의 중금속 오염은 심각하지 않다. 구항해역의 수질과 저질에는 산업단지 등 중금속의 유입원이 존재하지 않음에도 불구하고 카드뮴(Cd)·구리(Cu)·아연(Zn)·주석(Sn) 등 중금속 오염이 심각하였다.

구항 주변에 건설된 하수처리장과 폐수처리장은 2001년 이후에 건설·운영되었고, 약 30여 년간 하천수 및 죽도 어시장으로부터 배출되는 하수 및 오수가 구항에 유입되었다. 추측컨대 1975년 방파제 건설 및 송도 백사장 유실을 방지하기 위한 방사제 등의 해안구조물 축조로 구항 해역은 외해수와 원활한 혼합이 이루어지지 않아 구항으로 유입된 부유물질은 대부분 구항에 퇴적되었을 것이다. 이로서 구항은 빨에 가까운 저질로 입도가 바뀌었을 것이고, 이러한 입도변화는 유기물 축적을 가속화시키면서 중금속이 저질로 축적되는 악순환을 초래하였을 것이다. 자료 그림들의 입도조성과 유기물 농도는 영일만 특히 구항의 입도조성이 매우 달라졌음을 나타낸다.

유기물외에도 저질 퇴적물의 클로로벤젠 이성체 총농도와 다이옥신 농도가 매우 높은데, 연구자들은 철강산업공단과 관련 산업단지의 특성에서 기인하는 것으로 추측하였다. 폴리염소화2디벤조-p-다이옥신은 난분해성(難分解性)·생물농축성·유해성을 갖고 있어 인류가 만든 가장 강한 독성물질로 알려져 있으며, 내분비 계통을 교란하는 환경호르몬으로 작용한다. 화학적 산소요구량 및 황화물 또한 일본의 수산저질기

준을 초과하였고, 스트렙토코구스(*Streptococcus* spp.), 락토바실러스(*Lactobacillus* spp.) 등과 같이 오염이 비교적 많이 진행된 저질에서 서식하는 세균들이 동정되었다. 부영 양화된 니질에 특징적으로 분포하는 저서성 유공충 슈도파렐라 타마나(*Pseudoparella tamana*), 노니오넬라 스텔라(*Nonionella stella*)가 우점(優點) 출현할 뿐 아니라, 산소가 부족한 환경의 지시종(指示種)인 에게렐라 아드베나(*Eggerella advena*) 등의 유공충도 구항 입구 및 만 중앙에서 우점하고 있었다.

종합적으로 볼 때 영일만 저질은 구항해역 및 만 중앙부분에서 오염이 심각하게 진행되고 있고, 신항만이 완공되면 해류의 흐름이 자연적으로 변경될 수 밖에 없어 만 내 저질 환경이 더욱 악화될 것으로 예측된다. 연안역의 무리한 개발은 육상기원 입자운반의 정상적인 진행방향을 파괴하고 해안에 내습하는 파랑에너지를 변화시켜 인위적인 사빈의 침식과 퇴적을 유발함으로써 자연 상태의 해안 본래 기능을 상실케 하고 더 나아가 흐름이 느린 곳에 각종 물질들의 축적을 가져와 수질 및 저질오염을 초래한다. 이러한 토사의 침식과 이동·퇴적 등의 현상은 주변의 구조물이나 제방의 안전에도 큰 영향을 미치며, 항로나 항만을 매몰시켜 항만 이용을 곤란하게 하기도 한다. 수치실험 결과 영일만 신항의 북방파제 건설은 파랑(波浪)을 최대 95%까지 감소시켰고, 이는 송도해빈 및 북부해빈으로 입사하는 파랑이 북방파제에서 소산되는 것을 의미한다. 따라서 신항만이 완공되고 나면 영일만 내측의 해안지형이 상당히 달라질 것으로 예측된다. 이에 따라 저질의 입도 및 퇴적물 양상, 저서성생물의 천이, 정착성 어종의 변화, 수질의 이화학적 변동 등이 수반될 것으로 예상되므로, 반폐쇄성 해역의 해수유통 방안에 대한 검토가 시급하다 하겠다.

5. 해양식물

해양식물은 크게 식물플랑크톤과 해조류로 대별할 수 있다. 본래 식물플랑크톤은 동물플랑크톤의 먹이가 될 뿐 아니라 먹이사슬을 따라 우리가 소비하는 어류자원의 증가에 직접적인 영향을 미친다. 하지만 최근 영일만의 오염으로 식물플랑크톤은 적조를 야기하는 나쁜 생물로 인식되고 있다. 영일만 식물플랑크톤은 만내부에서 외부로 갈수록 감소하며, 우기인 여름에 식물플랑크톤의 현존량이 높다. 이는 식물플랑크톤의 번무에 필수적인 수온과 광량이 적당하고 강우 유입으로 식물생장에 필요한 영양염류가 많아지기 때문이다. 2000년 조사에서 식물플랑크톤은 200종이 출현하였는데, 이 중 규조류가 149종으로 가장 많았고 다음으로 와편모조류·규질편모조류·녹조류·유글레나·남조류 등이었다. 여름에 출현종수가 가장 많았고, 모든 계절에 걸쳐

규조류가 90% 이상이었다.

연중 출현한 종들은 케토세로스 어피니스(*Chaetoceros affinis*), 케토세로스 쿠르비세투스(*C. curvisetus*), 케토세로스 디베르수스(*C. diversus*), 코스시노디스쿠스 래디아투스(*Coscinodiscus radiatus*), 리조솔레니아 알라타(*Rhizosolenia alata*), 닛치아 클로스테리움(*Nitzschia closterium*), 세라티움 푸르카(*Ceratium furca*) 및 세라티움 푸수스(*C. fusus*) 등이었다. 겨울·봄철에 규조류 중 닛치아 클로스테리움(*Nitzschia closterium*)이 우점하다가, 여름·가을철에는 와편모조류인 세라티움 푸르카(*C. furca*)로 천이(遷移)가 일어남으로써 온대해역 식물플랑크톤의 계절적인 천이 양상과 유사하였다.

해조류의 경우 1984년 하계 조사에서는 녹조류 20종·갈조류 35종·홍조류 79종 총 134종으로, 녹조류인 구멍갈파래(*Ulva pertusa*)·갈조류인 디크티오타(*Dictyota dichotoma*)·지충이(*Sargassum thunbergii*)가 우점(優點)하였다. 수직적으로는 상부에 녹조류인 파래류·구멍갈파래가 하부에 홍조류인 미끌도박·참지누아리·개도박이 많이 생육하였는데, 이는 염분농도가 낮은 내만성 해조군락의 특성이다. 1996년 4 계절에 걸쳐 실시한 조사에서는 녹조류 14종·갈조류 26종·홍조류 76종 총 116종으로 10년 전 여름철에만 조사한 것에 비해 종수가 약간 감소하였음을 알 수 있다. 계절별로는 봄에 가장 출현종수가 많았고 가을에 가장 적었다. 녹조류인 갈파래류·옥덩굴·칭각, 갈조류인 고리매류·미역류·그물바탕말류·모자반류, 홍조류인 우뚝가사리·산호말류·지누아리류·가시우무·돌가사리류·마디잘록이류·참사슬풀·보라잎·빨간검둥이류 등이 서식하고 있었다. 전반적으로 만 외부지역은 지속적으로 외해영향을 받기 때문에 출현종이 계절적으로 다양하게 나타나나, 만 내부는 도시인구의 증가에 따른 수질악화와 형산강의 담수유입 등으로 해조류 생육에 불리한 환경이어서 종수가 적은 편이다. 계절별로는 여름에는 열대성, 겨울에는 온대성 해조상의 특징을 보이는 혼합형 해조상을 나타낸다. 동해안 북부에 생육하는 북방계 해조인 구멍쇠미역(*Agarum crathrum*)·미끌풀(*Dumontia simplex*), 원산만 이북의 동해안 북부에서 발견되는 바다떡갈잎(*Congregatocarpus pacificus*), 강원도 주문진과 강릉에 분포하는 개바다참나무잎(*Neoholmesia japonica*) 등이 동정되었는데, 이는 남하하는 북한한류가 영일만까지 영향을 미치기 때문이다. 또 완도·거문도·제주도에 주로 분포하는 분부채말(*Padina crassa*), 남방계 홍조류인 참가시우무(*Hypnea charoides*)가 채집된 것 또한 대마난류의 영향으로 해석된다. 2005~2007년에 걸친 영일만 해조류 조사에서 녹조류 17종, 갈조류 22종, 홍조류 71종으로 10년 전과 큰 차이를 볼 수 없었고, 전 지역에서 공통적으로 출현하는 종은 구멍갈파래·미끌지누아리·진두발·무절석회조류(無節石灰藻類)였다. 경북 동해안 지역의 경우 2005년 현재 7천629ha의

어장 중 1천208ha에서 갯녹음이 발생했으며, 포항지역도 전체 2천973ha 중 570ha에서 발생, 해양자원의 황폐화가 가속되고 있다. ‘바다의 에이즈(AIDS)’로 불리는 갯녹음(백화현상)은 유용 해조류가 사라지고 자원학적으로 쓸모없는 산호조류가 번무하는 현상으로, 산호조류 또한 홍조류에 속하는 해조류이다. 하지만 몸체가 석회질로 덮여 있어 초식성 동물인 성게·소라·전복·군소 등이 먹을 수 없을 뿐만 아니라 바위를 덮



● 갯녹음현상, 칠포 해안

어버리는 무절산호조류와 크기가 수 cm밖에 되지 않는 유절산호조류로 인해海中림(海中林)이 형성되지 못해 어류자원도 감소된다. 현재 추측되는 원인으로는 해양생태계 내에서 초식동물의 해조류 섭식압이 증가함으로써 발생한다는 것과 대기의 이산화탄소 증가 및 수온상승에 따른 기상이변설, 연안역으로 유입되는 오염원에 의한 환경오염설 등이 제기되고 있지만, 뚜렷한 원인이나 대책은 없는 실정이다.

6. 해양동물

최근 15년간 영일만 저서동물에 대한 전반적인 조사는 한 번도 시행된 적이 없고 다모류 조사만 2차례 진행되었다. 1991년 조사에서 우점종은 스피오파네스 봄비스(*Spiophanes bombyx*), 슈도폴리도라(*Pseudopolydora* sp.), 롬브리네리스 롱기폴로아(*Lumbrineris longifolia*), 말다네 크리스타타(*Maldane cristata*), 폴리도라 실리아타(*Polydora ciliata*) 등이었다. 1993년 동일한 지역에서 조사한 결과 롬브리네리스 롱기폴로아(*L. longifolia*), 스피오파네스 봄비스(*S. bombyx*), 네프티스 폴리브란키아(*Nephtys polybranchia*), 글리신드(*Glycinde* sp.), 하프로스코로프로스 엘롱가투스(*Haploscoloplos elongatus*), 글리세라 키로리(*Glycera chirori*) 등이 우점종으로 나타났다. 스피오파네스 봄비스(*S. bombyx*)는 사니질 또는 니사질 퇴적층에서 식관을 형성하는 소형다모류로 비교적 유기물 오염이 적은 해역에 집중적으로 서식하고, 롬브리네리스 롱기폴로아(*L. longifolia*)는 유기물 오염이 심화된 지역에서 대량 서식하는 종이다.

1991년 조사에서 최고 우점종이었던 스피오파네스 봄비스가 1993년 조사에서는 롬브리네리스 롱기폴로아로 대체되었다는 것은 짧은 시간 내에 영일만 저질입도가 바뀌

면서 저질에 유기물 축적이 가속화되었음을 의미한다. 더 나아가 1991년에 비해 저서 동물상이 매우 빈약하였고 서식밀도 또한 1/3 수준으로 급감하였다. 다모류는 영일만 남동쪽 해역에 풍부하였고 형산강 입구에서는 출현량이 빈약하였는데, 이는 앞서 살펴본 저질 환경·유기물 퇴적과 일치하는 경향을 보인다.

포항 인근 해역에 대한 패류조사 또한 아직 진행된 바 없고, 경북 연안을 대상으로 한 수산업상 중요한 주요패류 조사에서 큰가리비가 북구 송라면 지경리부터 영일만 장기갑까지 수심 30m에서 채집되었다. 남·서해안의 빨질에 주로 분포하는 것으로 보고된 피조개가 영일만 중앙부 수심 20~30m 해역에 광범위하게 분포하고 있었고, 개랑조개가 달만갑에서 두호동·임곡동까지 세립사질(細粒沙質)인 10m 수심까지 넓게 서식하고 있었다. 민들조개는 북구 흥해읍 연안에서 수심 15m까지 분포하였고 조립사(粗粒沙) 저질을 선호하는 것으로 나타났다.

영일만은 조석간만의 차가 1m 미만으로 작을 뿐만 아니라 북한한류와 대마난류가 교차하여 수괴변화가 복잡한 편이다. 특히 육지와 인접한 천해역에는 그 해역의 지질·조석·담수 유입량 등의 국지적 요인에 적응한 주거종과 계절에 따라 인근 외해에서 회유종이 유입되어, 조사지점에 따라 어류의 종조성 차이가 심하다. 해역별로 서식하는 어류에 대한 연구방법이 다르겠지만 대체로 동해 어류상 조사는 정치망·자망 또는 저층트롤로 수행되어 왔고, 그 중 정치망에는 부어류(浮魚類), 자망에는 저서성 또는 반저성 어류가 주로 어획된다.

영일만 외측 어류상을 보면, 흥해 연안에서 자망으로 채집된 우점어류는 성대·가자미류와 같이 바닥에 머무는 시간이 많은 저서어류와 노래미·불락과 같이 바닥 가까이 살며 저서생물을 먹이로 하는 반저서성 어류, 그리고 정어리·방어와 같은 부어류가 채집되었다.

겨울에서 여름 사이에는 주거종인 불락·노래미·쥐노래미가, 가을에는 회유종인 쥐치·말쥐치가 많이 어획되었다. 그 외 전어·붕장어·농어·보리멸·감성동·범돔·망상어·용치놀래기·흑돔·베도라치·등가시치·조피불락·불불락·솜뱅이·달강어·임연수어·양태·빨간횃대·문치가자미·가시복 등이 동정(同精)되었다. 영일만 외측 연안정치망에서는 100종이 어획되었는데, 고등어·전갱이·멸치·말쥐치·정어리·청어·갈치가 전 개체수의 96%를 차지하였다. 출현개체수와 생체량은 고수온기인 여름과 가을에 높았고, 저수온기인 봄과 겨울에 낮아 수온과 밀접한 관계를 보였다. 고등어·전어·전갱이·멸치·정어리·망상어는 거의 연중 출현하였으므로 영일만 외해역에 우점하는 회유성 어족이면서 주거종으로 분석된다. 또한 영일만을 중심으로 북쪽과 남쪽에서의 어종이 완전히 다른 이유는 체포어구와 지형 및 기타 환경요인에 따른 것으로 해석된다.

영일만내 어류상을 살펴보면, 트롤(otter trawl)로 채포하여 확인된 어류는 총 59종으로 가자미목 어류가 12종으로 가장 많았다. 돛양태·두줄망둑·춤양태·까나리·청보리멸이 가장 많이 잡혔고, 출현종수와 채집량은 봄과 여름에 많았으며 겨울에 적었다. 종수에서는 가자미목 어류가 가장 많았지만 전반적으로 망둑어류·돛양태류·횃대류 등과 같은 망둑어형 어류의 종수가 많았고 돛양태류가 가장 많았다. 따라서 영일만 저어류는 가자미류-돛양태류 군집으로 특징지을 수 있다.

자망으로 조사한 영일만내 어류 종조성을 보면 모두 63종으로 시기별 출현 어종수는 하계에 최대이며 춘계에 최소를 보였다. 포함가자미로 불리는 문치가자미는 연중 어획되었고 등가시치·망상어·양태·돛양태·빨간횃대·참가자미·청어 등도 연중 고루 출현하였다. 이외에도 망상어·쥐노래미·노래미·말쥐치·쥐치·개불락·참가자미·기름가자미·물가자미·점넙치·전어·멸치·점줄횃대·용치놀래기·고등어·삼치·전갱이·불락·개불락·보리멸 등이 어획되었다.

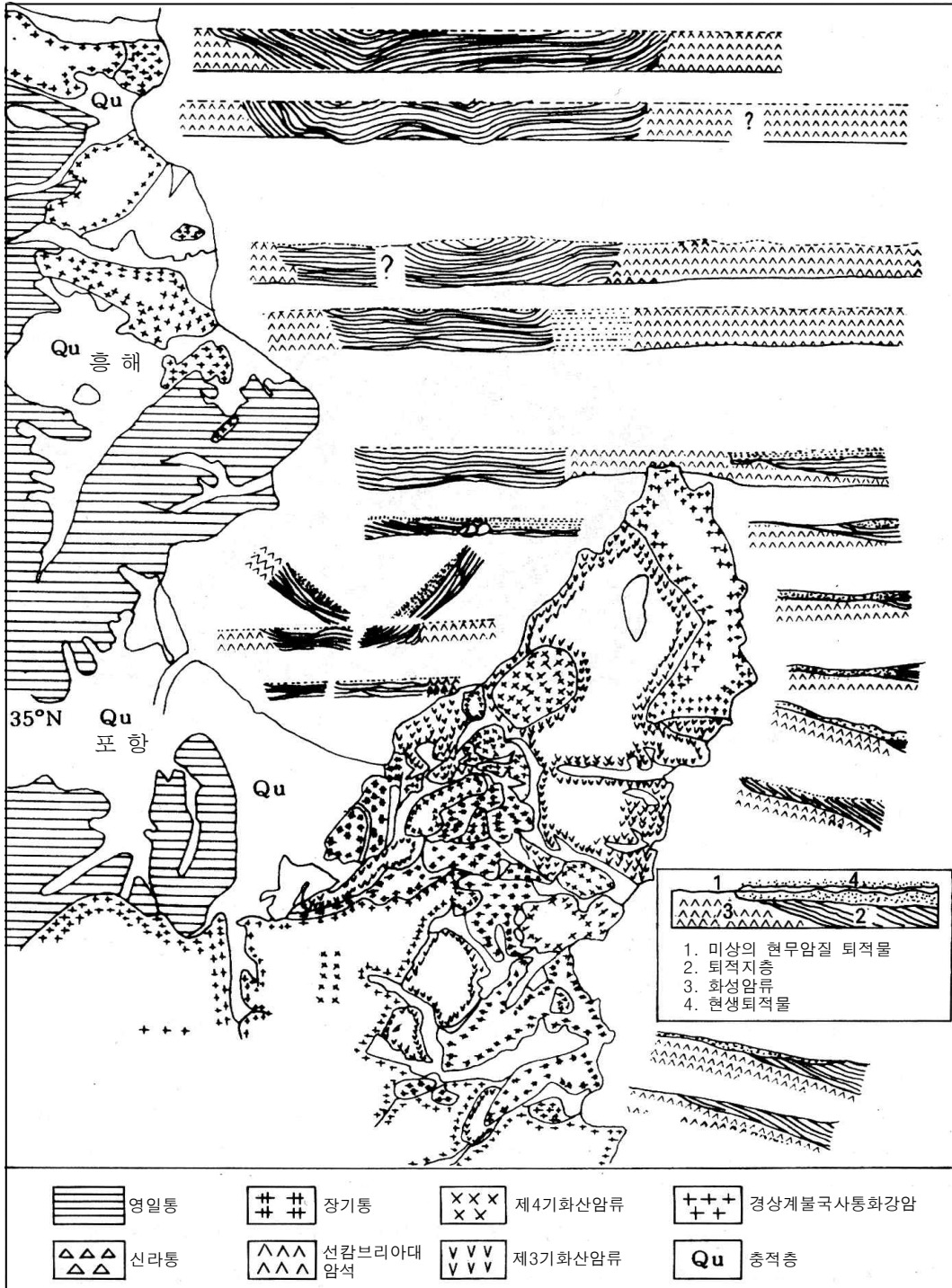
계절별로 어획되는 위치가 달라지는 어종으로는 문치가자미·참가자미·멸치·말쥐치·등가시치·쥐치·돛양태·청어·빨간횃대 등이며, 어획되는 방향을 분석한 결과 영일만내 해류의 흐름과 일치하였다.

영일만 저어류의 출현종수·평균 개체수·평균 생물량은 서해나 남해 내만에 비해 높았고 종다양성지수도 높았다. 이는 영일만이 수심이 깊은 동해와 인접하고 외해수의 영향을 크게 받아 계절에 따라 외해에 사는 종들이 유입되어 종다양성이 높아지고, 저서생물인 다모류와 같은 생물량이 여름철에 증가함에 따라 이들을 먹이로 하는 저어류 밀도 또한 높아진 것으로 추측된다.

7. 해양지질

지질구조는 풍화·침식작용으로 영일만의 해저 입도조성에 영향을 미치는데, 입자의 운반은 해류와 바람의 세기 및 방향·지형변화 등 여러 환경인자에 의해 영향을 받는다. 만 부근의 지질은 제3기 및 경상계(慶尙系)로 구성되어 있고, 만 주변에는 제3기의 퇴적물인 이암(泥巖)·사암(砂巖)·역암(礫巖)·조면암(粗面岩)·유문암(流紋巖) 등의 화산암과 화강암으로 구성되어 있다.

최근 전 지구적으로 동시에 진행되어 시대규명에 결정적인 증거인 Blake Excursion Event가 마산리 단구 퇴적층에서 확인되었다. Blake Excursion Event는 1969년 카리브해와 인도양의 시추코어 고지자기 연구로부터 보고된 이래, 유럽·북중미·아시아 등 전 세계에서 그 존재가 확인되고 있다.



● 포항지역의 해빈과 해저지형

아시아에서는 일본의 호수퇴적물과 중국 황토에서 보고되었는데, 국내에서는 이번이 처음이다. 마산리 단구 퇴적층에서는 극성(북극⇒남극) 이동이 3번 반복되었고, 이로써 단구 퇴적층의 시대결정에 있어 키베드(key bed)로 이용될 수 있다.

영일만의 지질기반은 마이오세의 해성층(주로 이암층)으로 덮여있는 포항분지(북쪽)와 에오세-마이오세의 화산암과 응회암으로 덮여있는 양북분지(남쪽)로 구성된다. 양남분지와 포항분지는 동남해안을 따라 서로 인접하여 분포하고 있으며 두 분지의 크기는 서로 비슷하다. 구룡포 지역은 양남분지의 범곡리층이 분포하며 석영안산암질 화산각력암·화산력응회암·역암·응회질 사암 및 응회질 이암으로 구성되어 있다. 포항분지의 흥해층은 실트암으로 구성되어 있고 층의 두께는 250~300m이며 지질시대는 아미오세 중기이다. 포항분지내의 천북층에서 산출되는 개형층 화석을 대상으로 동위원소 분석을 실시한 결과, 중기 마이오세 동해안 포항분지내 천해해수의 온도는 현재 포항부근 천해의 여름철 평균수온과 비슷하였거나 약간 높았던 것으로 분석되었다.

참고문헌

- 이해복·오윤식, <동해안 영일만의 하계 해조 군집>《한국조류학회지》1(1), 1986.
 신현출, <영일만의 저서다모류 군집>《여수수산대학교 수산과학연구소연구보고》2, 1993.
 이순열·이재완·이해복, <동해안 영일만과 그 주변지역의 해조상>《한국조류학회지》12(4), 1997.
 조문규·변경숙 외 <경북연안 주요 패류의 분포 및 생태>《국립수산진흥원 연구보고》51, 1995.
 한경호·최수하 외 <영일만 연안 정지망 어장에 출현한 어류군집의 종조성 및 양적 변동>《국립수산진흥원 연구보고》53, 1997.
 황선도·박영조·최수하·이태원, <삼중자망에 채집된 동해 흥해 연안어류의 종조성>《한국수산학회지》30, 1997.
 강양순·김복기, <동해연안 해양오염 및 적조조사>《국립수산진흥원 동해수산연구소 사업보고서》, 1998.
 이태원, <영일만 저어류 종조성의 계절 변동>《한국수산학회지》32(4), 1999.
 Moon, H.B., Choi, H.G., Kim, S.S., Jeong, S.R. and P.Y. Lee, Levels and Patterns of Polychlorinated Dibenzo-p-dioxins and Dibenzofurans in Sediments from Korean Coast, J. Fish. Sci. Tech 4(2), 2001.
 성기탁·손팔원, <1921~2000년 한국동해 해양조사>《동해수산연구소 사업보고서》, 2001.
 이동철, <영일만 연안의 이화학적 환경요인에 따른 식물플랑크톤의 계절적인 변동>《영남대학교 박사학위논문》, 2002.
 이정미, <영일만 해역의 퇴적물 이동 예측 수치모형 실험>《국민대학교 석사학위논문》, 2002.
 포항시, 《포항시환경보전종합계획》, 2002.
 이미경, <영일만 해역의 계절별 수질 및 퇴적물 특성에 관한 연구>《한양대학교 박사학위논문》, 2004.
 심택모, <한반도 동해안 영일만 일대 해안단구 퇴적층의 고지자기 특성연구>《연세대학교박사학위논문》, 2006.
 한경록, <영일만 연안 개발에 따른 해빈 지형변화>《부경대학교 석사학위논문》, 2006.
 국립수산과학원, <동해수산연구소 보도자료>2007. 8. 17, 2009. 11. 5.
 대구지방환경청, 《형산강 중권역 물환경 관리계획》, 2007.
 박규진, <동해안 영일만의 조간대 해조군집>《부경대학교 석사학위논문》, 2008.