

## 퇴적물내 coprostanol을 이용한 진해만의 도시하수오염 평가

최민규\* · 문효방 · 김상수 · 박종수  
국립수산과학원 환경관리팀

### Evaluation of Sewage Pollution by Coprostanol in the Sediments from Jinhae Bay, Korea

Minkyu CHOI\*, Hyo-Bang MOON, Sang-Soo KIM and Jong-Soo PARK  
*Marine Environment Management Team,  
National Fisheries Research and Development Institute, Busan 619-902, Korea*

Surface sediment samples from 31 stations in Jinhae Bay were analyzed to evaluate the pollution by sewage from the spatial distribution of the fecal sterol, coprostanol. The sums of eight sterols (coprostanol, epicholestanol, epicoprostanol, cholesterol, cholestanol, brassicasterol, stigmasterol and  $\beta$ -sitosterol) were in the range of 2,703-27,154 ng/g dry weight. The concentrations of the coprostanol in the sediments, which is a good tracer of sewage-derived organic contamination, were in the range of 76-3,964 ng/g dry weight. The levels of coprostanol were much higher (almost one order of magnitude) at stations close to the big cities such as Masan and Jinhae. However, those levels were comparable to or lower than those previously reported in other foreign locations. Some ratios of coprostanol to other sterols and multivariate analysis could provide us with the information on the origin of the sterols being from sewage, plankton, and/or benthos. Those showed sewage dominance at the stations near the cities Masan and Jinhae, plankton dominance at the center of Jinhae Bay and mainly marine fauna origin at the mouth of Jinhae Bay. These results suggest that the contents of sterols and some ratios of these components are quite powerful tracer for the detection of the origin of the organic contaminants in the coastal environments.

Key words: Coprostanol, Fecal sterol, Sewage, Sediment, Jinhae Bay

#### 서 론

하천이나 해양에서 도시하수로 인한 오염평가를 위해 과거에는 *Escherichia coli*와 같은 대장균수가 많이 이용되어 왔다. 최근에는 산업폐기물의 독성 및 염소처리에 의해 대장균 개체수가 변화할 때에도 하수의 지표로 사용할 수 있는 sterols와 같은 분자 지시자들(molecular markers)이 많이 이용되고 있다. Sterols는 독특한 배출 특성(source specificity)을 가지고 있어 해수와 퇴적물과 같은 환경 매체에서 배출원을 구분하기 위해 사용될 수 있다(Hatcher and McGillivray, 1979; Brown and Wade, 1984; Grimalt et al., 1990; Quemeneur and Marty, 1994; Writer et al, 1995; Fattore, 1996; Jeng et al., 1996; Leeming et al., 1996; Chan et al., 1998; Gonzalez-Orefa and Saiz-Salinas, 1998; Fernandes et al., 1999; Mudge and Seguel, 1999; Reeves and Patton, 2001; Choi et al., 2002; Peng et al., 2002; Ottoson and Sternstrom, 2003; Chreireira et al., 2004; Choi et al., 2005). 포유류의 장에서 cholesterol으로부터 생성되는 coprostanol (5 $\beta$ (H)-cholestan-3 $\beta$ -ol)은 주요한 fecal sterol중 하나로, 인간이 배출하는 fecal sterol중 약 50-80%(약 3,400  $\mu$ g/g dry weight)를 차지하며 다른 육상동물보다 훨씬 많은 양

(약 5배 이상)을 포함한다(Hatcher and McGillivray, 1979; Brown and Wade, 1984; Writer et al, 1995; Leeming et al., 1996). 또한 인간과 다른 동물들(가축, 조류 및 해양포유류)의 배설물내 sterol 분포는 매우 상이하며, 동물플랑크톤과 식물들은 coprostanol을 전혀 생성하지 않는다. 따라서 sterol의 분포와 다른 sterols와 coprostanol간의 비율 등은 배출원을 구분하는데 유용하게 쓰일 수 있다. Coprostanol은 소수성을 갖고 도시하수 입자(sewage particles)에 많이 포함되어 있기 때문에, 배출원 근처에서 높은 농도가 검출되지만 배출원에서 멀어질수록 농도가 감소한다는 점도 해양에서 도시하수의 영향 해역을 파악할 수 있게 한다.

한국의 남동부 해역에 위치한 진해만은 마산만, 행암만, 진동만, 당동만, 원문만 및 고현만과 같은 작은 만들을 포함하고 있다(Fig. 1). 전체 면적은 약 637 km<sup>2</sup>이며, 수심은 5 m 이하(안쪽)에서 20 m(중앙)의 범위이다. 진해만 입구에서 깊은 수로를 따라 만의 안쪽으로 비교적 강한 유속을 보이며, 만내 해수의 유동은 반일주기의 조석(semi-diurnal tide)에 크게 좌우된다. 만 내측에서는 매우 약한 유속을 가지며, 평균 조차는 대조시에는 약 180 cm, 소조시에는 약 45 cm의 범위를 보인다(Kim et al., 1986; Lee, 1998).

진해만 인근에는 공업 지대가 많이 위치하고 있으며 주변

\*Corresponding author: mkchoi@momaf.go.kr

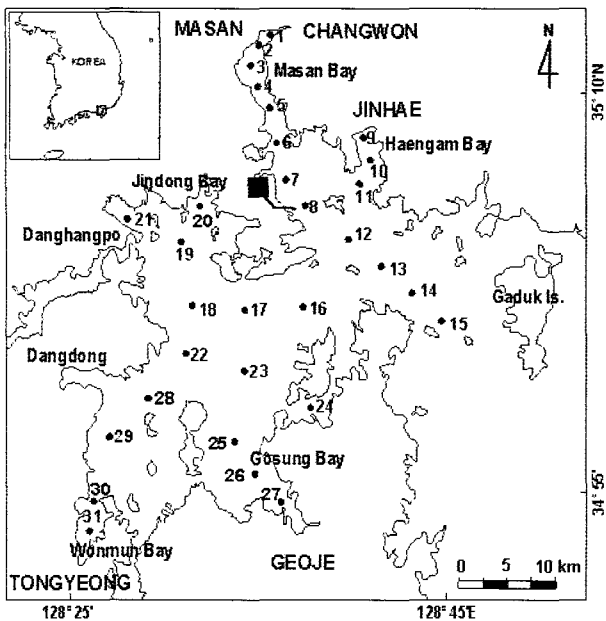


Fig. 1. Sampling stations in Jinhae Bay. The dark rectangle (■) indicates the location of the Duckdong sewage treatment plant.

도시 인구가 증가하는 경향이다. 이러한 인구의 증가와 공업화에 따른 항구 기능 확대, 증가하고 있는 만내 양식 활동 등은 진해만의 오염 증가를 우려하게 한다. 구체적으로, 마산, 창원, 진해를 포함한 진해만의 북부와 동부는 도시화와 산업화가 진행된 지역으로(전체인구의 81%가 이 지역에 밀집, 평균 인구밀도 1,362명/km<sup>2</sup>) 도시하수가 크게 증가될 것으로 보이며, 인구의 다른 지역은 대부분 전원(평균 인구밀도 194명/km<sup>2</sup>)으로 축산업을 포함한 농업과 양식업이 주를 이루고 있어 또 다른 오염원이 될 수 있다. 한편, 지난 1993년에 완공된 덕동 하수처리장은 시설 용량 280천톤/일이며, 창원시 발생 하수(121천톤/일)와 마산시 발생 하수(226천톤/일) 중 57%인 129천톤/일을 합한 250천톤/일을 처리하여 방류하고 있다. 마산시 발생의 미처리 하수를 비롯하여 일일 약 300천톤의 도시하수와 산업폐수가 진해만으로 유입되는 것으로 추산된다(Lee, 1998). 그 결과 현재 진해만 해역의 수질은 해역 수질기준(생활환경)에 따라 분류하면, 해역 II등급 상태이며, 특히 마산만과 행암만은 해역 III등급 수준으로 오염이 심각한 상태이다(NFRDI, 2004). 1960년대 이후로 퇴적물중 중금속 농도는 크게 증가하고 있으며(Yang et al., 1995; Woo et al., 2003), 진해만 내측의 퇴적물 및 생물시료내 PCBs, 유기염소계 살충제, PAHs 및 유기주석류와 같은 독성 유기오염물질들의 오염도 보고된 바 있다(Shim et al., 1999; Hong et al., 2003; Im et al., 2004).

이 연구에서는 진해만 퇴적물내 coprostanol를 분석하여 도시하수로 인한 오염도를 파악하였고, sterols의 비율과 분포에 근거하여 도시하수 영향 해역을 파악하였다.

### 재료 및 방법

표층 퇴적물은 2004년 3월에 box core sampler를 이용하여 31개 조사정점에서 채취하였다. 채취된 퇴적물은 현장에서 냉동하여 실험실로 운반후 동결건조하였으며, 동결건조된 퇴적물은 분쇄하여 2 mm 체로 걸러 분석전까지 냉동보관하였다. 분석을 위해 약 5 g 퇴적물을 50% methylene chloride-chloroform 20 mL로 60분간 진탕 추출한 후, 3,000 rpm으로 15분간 원심분리 하였으며, 이과정은 2회 반복하였다. 분석과정에 대한 회수율을 보정하기 위해, surrogate standard인 1-nonadecanol을 시료추출 전에 주입하였다. 추출액은 Turbo Vap LV를 이용하여 농축한 후, hexane으로 용매전환하였다. 농축된 추출액(약 1 mL)은 10 g florisil 컬럼을 이용하여 정제하였다. 이때 40% hexane-chloroform 60 mL로 비극성 지질을 제거한 후, 20% methanol-chloroform 40 mL를 통과시켜 sterols를 회수하였다. 용출액은 농축후, acetone으로 용매전환하고, internal standard인 5- $\alpha$ -cholestane 주입하였다. 또한 sterol의 유도체화를 위해 99:1 bis(trimethylsilyl)trifluoroacetamide-trimethylchlorosilane (Aldrich) 100  $\mu$ L를 주입하였다. 이러한 시료 전처리는 Choi et al. (2002)과 Choi et al. (2005)의 분석방법과 동일하게 수행되었다. 모든 용매는 Merck사의 잔류농약 분석용을 사용하였다.

Sterols은 gas chromatograph-mass selective detector (Agilent 6890/5973N)를 이용한 선택적 이온모니터링법(Selected ion monitoring Method:SIM)에 의해 분석하였으며, 상세한 분석 조건은 Table 1에 나타내었다. 각 화합물에 대한 선택된 이온들은 다음과 같다; coprostanol (5 $\beta$ -cholestan-3 $\beta$ -ol) *m/z* 355, 370, 257; epicholestanol *m/z* 460, 355, 370; epicoprostanol (5 $\beta$ -cholestan-3 $\alpha$ -ol) *m/z* 455, 370, 355; chlolesterol (cholest-5-en-3 $\beta$ -ol) *m/z* 329, 368, 458; cholestanol (5 $\alpha$ -cholestan-3 $\beta$ -ol) *m/z* 445, 460, 215; brassicasterol (24-methylcholesta-5,22(E)-dien-3 $\beta$ -ol) *m/z* 255, 380, 341; stigmasterol (24-ethylcholesta-5,22-dien-3 $\beta$ -ol) *m/z* 255, 394, 484;  $\beta$ -sitosterol (24-Ethylcholesterol) *m/z* 357, 396, 486; 1-nonadecanol *m/z* 341, 342, 343; 5- $\alpha$

Table 1. The analytical conditions of GC/MSD for sterols

GC/MSD	HP6980-MSD5973N
Column	HP-5MS capillary column 5% diphenyl & 95% dimethylpolysiloxane 30 m $\times$ 0.25 mm $\times$ 0.25 $\mu$ m
Injection volume	1 $\mu$ L
Carrier gas	Helium 1.2 mL/min
Aux temperature.	280°C
Injector temperature	280°C
Temperature program	85°C for 3 min, 10°C/min to 130°C, 3°C/min to 310°C for 7 min
Ion Source temperature/ Quadrupole temperature	230°C / 150°C
Detection	Selective ion monitoring

-cholestane *m/z* 217, 218, 372. 피크는 이온들의 비와 retention time으로 확인하였다.

각 sterol의 검출 한계(Method detection limit, S/N비=5)는 4 ng/g dry weight (cholesterol)-14 ng/g dry weight (epicholestanol) 범위였다. Blank는 세정한 seasand (Fisheries Scientific)를 시료와 동일하게 전처리하여 분석하였으며, blank에서 8종 sterol 농도는 모두 검출한계 이하로 분석과정 중 sterol의 오염이 없음을 확인할 수 있었다. 회수율은 세정한 seasand 5 g에 standard를 spiking하여 시료와 동일한 전 처리 과정을 거친 후 계산하였다. 각 sterol 별 회수율은 다음과 같다( $n=12$ ): coprostanol 77±4%, cholesterol 81±12%, cholestanol 78±8%, epicholestanol 75±9%, epicoprostanol 80±5%, brassicasterol 81±4%, stigmasterol 85±6%,  $\beta$ -sitosterol 87±9%. 모든 시료에 주입한 surrogate standard (1-nonadecanol)의 회수율은 84±14%로 양호한 수준이었다.

총유기탄소(total organic carbon, TOC)는 CHN analyzer (Thermo Finnigan EA 1112)로 분석하였으며, 입도는 particle size analyzer (Sympatec Windox4)로 분석하였다.

## 결과 및 고찰

### 퇴적물내 총유기탄소와 퇴적물 입도

진해만 해역에서 퇴적물의 TOC 평균 함량은  $1.89\pm 0.81\%$  (0.89-5.00%)였다. 정점별 TOC 함량은 고현만(정점 26)과 원문만(정점 29, 30)에서 3% 이상으로 평균보다 높은 값을 보였으며, 진동만 내측, 마산만과 행암만 내측에서도 높은 농도를 보였다(Table 2와 Fig. 2). 반면, 다른 정점들에 비해 가덕수로(정점 14, 15)는 1% 이하로 가장 낮은 값을 보였으며, 정점 12, 13, 16에서도 평균에 비해 낮은 값을 보였다.

조사 해역 표층 퇴적물 입자의 평균 입도( $\phi$ )는  $6.8\pm 0.2$  (6.2-7.1)이며, 퇴적물 조성은 실트와 점토가 각각 평균 78% (74-80%)와 20% (15-23%)이며, 사질 함량은 평균 2% (0-9%)로 전 해역이 실트와 점토 (<63  $\mu\text{m}$ )가 91% 이상으로 우세한 세립 퇴적상이었다. 정점별로는 진동만(정점 18, 19)과 마산만(정점 5)에서  $\phi$  7.0 이상으로 입도가 가장 세립하였으며,  $\phi$  6.9 이상인 정점은 진동만 내측(정점 20, 21), 고현만(정점 26), 칠전도(정점 24), 마산만(정점 2, 4, 6)이었다.  $\phi$  6.5 이하로 약간의 실트를 함유한 정점은 마산만(정점 1)과 가덕수로

Table 2. Contents of total organic carbon (%), grain size of sediments ( $\phi$ ), concentrations of selected sterol species (ng/g dry weight), and some ratios of the selected sterol species in sediments from Jinhae Bay

Stations	TOC (%)	Grain size ( $\phi$ )	Cop	Epichsta	Epicop	Chst	Chsta	Bras	Stig	Sito	$\Sigma$ sterols	Cop/ $\Sigma$ sterols	5 $\beta$ / (5 $\beta$ +5 $\alpha$ )	Cop/ Chst
1	1.64	6.4	1186	1363	1089	7791	4448	3443	3245	2021	24586	0.05	0.21	
2	1.88	6.9	3964	803	541	10164	3459	3383	2667	2174	27154	0.15	0.53	0.15
3	1.98	6.9	974	200	163	8124	1405	1524	1347	1189	14925	0.07	0.41	0.39
4	1.88	6.9	532	109	130	5375	1703	973	1065	1222	11109	0.05	0.24	0.12
5	2.15	7.0	956	196	209	3922	2433	1580	1531	2014	12840	0.07	0.28	0.10
6	2.04	6.9	1357	278	266	10373	3147	2270	1829	2233	21753	0.06	0.30	0.24
7	1.81	6.7	561	115	125	1773	1390	748	859	1148	6718	0.08	0.29	0.13
8	1.40	6.7	1107	227	150	4099	1453	1144	950	1206	10336	0.11	0.43	0.32
9	1.67	6.8	1381	283	327	4693	2599	1485	1264	2213	14244	0.10	0.35	0.27
10	1.64	6.7	667	137	179	3761	2146	1385	1190	1809	11275	0.06	0.24	0.29
11	1.14	6.7	172	36	60	1782	792	513	479	706	4539	0.04	0.18	0.18
12	1.09	6.6	165	35	59	3024	707	641	455	559	5643	0.03	0.19	0.10
13	1.09	6.6	209	43	73	3755	774	1124	556	603	7137	0.03	0.21	0.05
14	0.97	6.3	155	32	55	4066	742	1031	512	776	7370	0.02	0.17	0.06
15	0.89	6.2	130	27	49	2264	409	631	390	604	4505	0.03	0.24	0.04
16	1.14	6.5	188	39	64	3560	904	1298	766	919	7738	0.02	0.17	0.05
17	1.31	6.8	142	30	57	5205	978	1504	883	1096	9895	0.01	0.13	0.03
18	1.66	7.1	139	29	74	2065	1303	1091	871	1327	6898	0.02	0.10	0.07
19	1.58	7.1	155	33	76	2706	1515	1251	961	1744	8441	0.02	0.09	0.06
20	2.02	7.0	188	39	124	2877	1773	1047	1015	1638	8703	0.02	0.10	0.07
21	1.96	6.9	215	45	121	3129	1736	1545	1523	1729	10043	0.02	0.11	0.07
22	1.93	6.7	255	53	137	3845	2464	2336	1690	2053	12833	0.02	0.09	0.07
23	1.57	6.7	136	29	77	3673	1192	1325	973	1198	8603	0.02	0.10	0.04
24	1.72	7.0	179	37	86	3832	1399	1414	1135	907	8991	0.02	0.11	0.05
25	2.38	6.6	197	41	144	1861	1938	1814	1614	1716	9326	0.02	0.09	0.11
26	5.00	6.9	76	16	42	715	323	402	763	365	2703	0.03	0.19	0.09
27	1.82	6.7	269	56	86	2879	1186	1195	1061	1081	7812	0.03	0.18	0.05
28	2.25	6.8	131	28	64	2466	1442	1164	1247	1209	7752	0.02	0.08	0.10
29	3.49	6.8	224	47	187	2221	1923	2273	2261	1531	10666	0.02	0.10	0.06
30	3.04	6.7	204	42	107	3213	1165	1645	1653	956	8987	0.02	0.15	0.08
31	2.34	6.7	190	40	89	2530	1048	1384	1440	760	7480	0.03	0.15	

Cop, coprostanol; Epichsta, epicholestanol; Epicop, epicoprostanol; Chst, cholesterol; Chsta, cholestanol; Bras, brassicasterol; Stig, stigmasterol; Sito,  $\beta$ -sitosterol;  $\Sigma$ sterols, the sum of sterols; 5 $\beta$ /(5 $\beta$ +5 $\alpha$ ), coprostanol/(coprostanol+cholestanol).

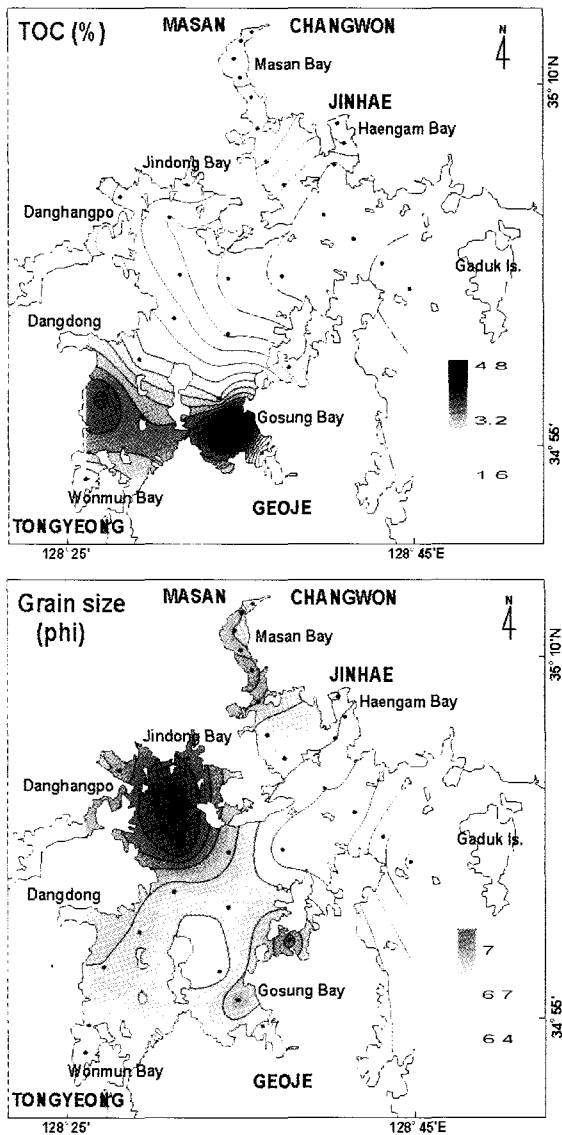


Fig. 2. Horizontal distribution of total organic carbon (TOC, %) and sediment grain size ( $\phi$ ) in Jinhae Bay.

(정점 14, 15)였다. 진해만 입구 해역은 상대적으로 조립한 퇴적상을, 내만으로 들어갈수록 세립한 퇴적상을 나타내고 있으나 정점에 따라 큰 차이가 없어 균일함을 알 수 있었다.

진해만은 내만으로 들어가면서 입도가 세립해졌으며, 퇴적물 내의 TOC 함량도 증가하여, 입도와 퇴적물내 TOC 함량은 유의한 양의 상관관계를 보였다( $r=0.38, p<0.05$ ). 즉, 상대적으로 세립한 내만에서 유기물 함량이 높은 것을 알 수 있었다. 세립한 퇴적상에서 높은 유기물 함량을 보이는 것은 연안역의 일반적인 경향으로, 이 많은 유기물의 공급원으로는 흔히 육지로부터 도시하수나 산업폐수 등의 유입, 영양염 공급에 의한 식물플랑크톤의 대량 번식 및 폐사와 연계된 고형 유기물의 침강, 인근에 산재한 양식장으로부터 유출되는 생물기원 유기물 등이 있다(Romankevich, 1984; Lim and Hong, 1994).

총 sterol과 coprostanol의 공간 분포

총 sterol 농도는 2,703-27,154 ng/g dry weight의 범위를 보였으며, 본 조사 해역에서 8종의 sterol 화합물에 대한 정점별 농도는 Table 2와 같다. 이중 도시하수 유입 정도를 파악하는 지표로서 활용될 수 있는 sterol인 coprostanol의 농도는 76-3,964 ng/g dry weight 범위를 보였다. 총 sterol과 TOC는 통계적으로 유의한 상관관계를 보이지 않았으며( $r=-0.043, p>0.05$ ), 각 sterol들 역시 TOC와 유의한 상관관계를 보이지 않았다( $p>0.05$ ). 이것은 TOC중 sterols의 낮은 기여율(0.1-1.5%)을 가지며, TOC의 주요 성분들과 sterols이 다른 거동을 하기 때문으로 생각된다. TOC와 sterols의 낮은 상관성은 다른 연구들에서도 보고된 바 있다(Mudge and Bebianno, 1997; Fernandes et al., 1999; Choi et al., 2002; Peng et al. 2002; Choi et al., 2005).

해양 퇴적물내 coprostanol 농도가 10 ng/g 이하이면 하수오염 영향이 없는 지역이라 할 수 있는데(Hatcher and McCillivary, 1979), 이 연구 해역에서는 모든 정점에서 76 ng/g dry weight 이상이어서, 진해만 전체가 도시하수유입의 영향을 받고 있는 것으로 여겨진다. 특히 coprostanol농도가 1,000 ng/g dry weight 이상으로 높은 농도를 보인 지역은 마산만 안쪽(정점 1, 2, 6, 8)과 행암만 안쪽(정점 9)으로 하천수의 유입 및 하수처리장 해양 배출관 인근이었으며, 최대농도를 보인 정점은 마산만의 상부역인 정점 2이었다(Fig. 3). 이렇게 마산만과 행암만 상부역에서 높은 농도를 보이는 것은 처리되지 않거나 부분 처리된 하수가 여러 경로를 통해 만으로 유입되기 때문으로 여겨진다. 2003년 마산만 주변 지역의 하수관거 보급률은 진해시 63%, 마산시 80% 및 창원시 95%로 보고된 바 있다(MOE, 2004). 또한 마산만과 행암만 주변지역에서 발생하는 생물학적 산소요구량(BOD)은 95,705 kg/day이었으며, 이중에 40.9%(39,219 kg/day)가 하천(30,906 kg/day)과 해양배출관(8,313 kg/day)을 통해 만으로 유입하는 것을 보고한 바 있다(MOMAF, 2002). 따라서 이렇게 여러 경로를 통해 유입되는 하수에 노출되어왔던 표층퇴적물들에서 다량의 coprostanol이 검출되었던 것으로 판단된다.

진해만의 오염수준을 파악하기 위해 이번 연구결과를 국내외 오염된 해역에서 조사한 결과와 비교하였다(Table 3). 국내에서 보고된 퇴적물내 coprostanol 농도는 한강 하구 240-3,100 ng/g dry weight (Hyun et al., 2002), 울산만 해역 141-8,257 ng/g dry weight (Choi et al., 2005)로, 이번 연구와 유사한 농도수준이었다(ANOVA,  $p>0.05$ ). 이번 연구는 미국의 Upper Mississippi River (100-7,530 ng/g dry weight) (Writer et al., 1995), 이탈리아의 Venice lagoon (40-4,406 ng/g dry weight) (Fattore et al., 1996), 칠레의 San Vicente Bay (ND-7,300 ng/g dry weight) (Mudge and Seguel, 1999), 홍콩의 Southeastern water (380-4,800 ng/g dry weight) (Chan et al., 1998), 브라질의 Capilbaibe River (519-7,315 ng/g dry weight) (Fernandes et al., 1999)와 유사한 오염도를 보였다. 축산폐수가 유입하는 Kaoping River로부터 영향을 받는 Southwestern Taiwan (ND-

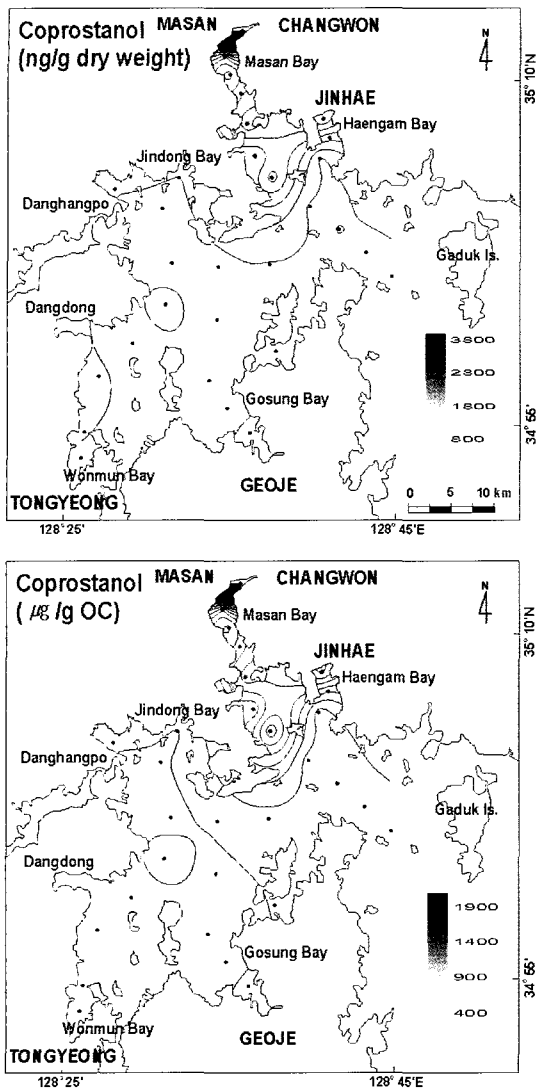


Fig. 3. Distribution of coprostanol (ng/g dry weight and normalized to total organic carbon) in upper sediment layer.

35,300 ng/g dry weight) (Jeng et al., 1996), 처리되지 않는 하수 약  $3 \times 10^7$  kg/day가 직접 유입하는 브라질의 Guanabara Bay (330-40,003 ng/g dry weight) (Carreira et al., 2004), 하수 유출 (sewage spillage)의 직접적인 영향을 받는 포르투갈의 Ria Formosa (100-41,800 ng/g dry weight) (Mudge and Bebianno, 1997), 폐수처리장으로부터 배출수의 영향을 받는 스페인의 Bilbao Estuary (2,200-293,000 ng/g dry weight) (Gonzalez-Orefa and Saiz-Salinas, 1998) 보다는 훨씬 낮은 오염도를 보였다. 따라서 이번 연구의 coprostanol 농도는 대부분의 오염된 해역에서 조사된 국내외 결과들과 유사한 수준이나, 특정 배출원들 (폐수처리장, 다량의 축산폐수 유입 및 처리되지 않는 하수 유입)에 직접 노출된 해역보다는 낮은 수준이었다.

### Sterol의 비율

도시하수의 오염도 및 유기물의 기원을 평가하기 위해, 퇴적물에서 일반적으로 사용하는 sterol의 비율은 다음과 같다.

i) coprostanol/ $\Sigma$ sterols (Hatcher and McGillivray, 1979; Sherwin et al., 1993; Quemeneur and Marty, 1994; Fattore et al., 1996; Gonzalez-Orefa and Saiz-Salinas, 1998; Carreira et al., 2004)

ii)  $5\beta/(5\beta+5\alpha)$  (Grimalt et al., 1990; Fattore et al., 1996; Jeng et al., 1996; Reeves and Patton, 2001)

iii) coprostanol/cholesterol (Quemeneur and Marty, 1994; Fattore et al., 1996; Mudge and Bebianno, 1997; Reeves and Patton, 2001; Peng et al., 2002).

이번 연구에서 coprostanol/ $\Sigma$ sterols의 비율은 0.01-0.15 범위를 보였으며, 0.1 이상의 값을 보인 조사정점은 2, 8, 9이었다 (Table 2와 Fig. 4).  $5\beta/(5\beta+5\alpha)$ 의 비율은 0.08-0.53 범위로, 정점 2는 0.53으로 가장 높았으며, 정점 3과 8은 0.4 이상 그리고 정점 9는 0.35의 값을 보였다. Coprostanol/ $\Sigma$ sterols과  $5\beta/(5\beta+5\alpha)$ 의 비율은 공간적으로 매우 유사한 분포를 하였으며 (Fig. 4), 통계적으로도 유의한 상관관계를 보였다( $r=0.933$ ,  $p<0.001$ ). 두 비율의 결과에 따르면, 진해만에서 도시하수로

Table 3. Coprostanol concentrations (ng/g dry weight) in surface sediments from various locations of the world

Location	n <sup>1</sup>	Year	Coprostanol	Reference
Jinhae Bay, Korea	31	2004	76 - 3,964	This study
Jinhae Bay, Korea	27	2002	30 - 3,860	Choi et al. (2002)
Han River Estuary, Korea	16	2002	240 - 3,100	Hyun et al. (2002)
Ulsan Bay, Korea	40	2003	141 - 8,257	Choi et al. (2005)
Tokyo Bay, Japan	12	1995	48 - 243	Chaloux et al. (1995)
Southwestern Taiwan	29	1996	ND <sup>2</sup> - 35,300	Jeng et al. (1996)
Southeastern water of Hong Kong	12	1998	390 - 4,800	Chan et al. (1998)
Macao Estuary, China	46	2002	ND <sup>2</sup> - 919	Peng et al. (2002)
Upper Mississippi River, U.S.	26	1995	100 - 7,530	Writer et al. (1995)
Venice lagoon, Italy	6	1996	40 - 4,406	Fattore et al. (1996)
San Vicente Bay, Chile	16	1999	ND <sup>2</sup> - 7,300	Mudge and Seguel (1999)
Capilbaibe River, Brazil	10	1999	519 - 7,315	Fernandes et al. (1999)
Guanabara Bay, Brazil	7	2004	330 - 40,000	Carreira et al. (2004)
Ria Formosa, Portugal	15	1997	100 - 41,800	Mudge and Bebianno (1997)
Bilbao Estuary, Spain	20	1998	2,200 - 293,000	Gonzalez-Orefa and Saiz-Salinas (1998)

<sup>1</sup>numbers of samples, <sup>2</sup>not detected.

오염된 해역은 마산만과 행암만 내측, 덕동하수처리장 해양 배출관 인근임을 다시 한번 확인할 수 있었다.

이번 연구결과는 다른 연구자들이 오염지역에서 보고한 비율들보다 낮은 수준이었다. 예를 들어, 많은 연구자들은 coprostanol/ $\Sigma$ sterols의 비율 0.3 이상은 도시하수로 인한 심한 오염지역으로 제안한 바 있다(Hatcher and McGillivray, 1979; Quemeneur and Marty, 1994; Fattore et al, 1996).  $5\beta/(5\beta+5\alpha)$ 의 경우, 0.7 이상은 도시하수 오염지역, 0.4-0.6은 준오염지역, 0.3 이하는 비오염지역으로 많은 연구들은 제안한 바 있다(Grimalt et al., 1990; Fattore et al., 1996; Jeng et al., 1996; Reeves and Patton, 2001). Choi et al. (2005)은 도시하수로 인한 오염을 보고한 울산만에서 coprostanol/ $\Sigma$ sterols과  $5\beta/(5\beta+5\alpha)$  비율은 각각 0.05-0.35와 0.37-0.73의 범위로, 이번 연구결과에 비해 높은 값을 보였다(ANOVA,  $p < 0.001$ ). 진해만에서 coprostanol은 다른 해역과 유사한 농도수준을 보이지만, 비율이 이렇게 낮은 것은 진해만 해역이 다른 해역에 비해 플랑크톤류와 같은 해양생물의 기여가 높았기 때문으로 생각된다. 이번 연구에서 해양생물에서 상당량 기인하는 sterols (brassicasterol, cholestanol,  $\beta$ -sitosterol, cholesterol)은 매우 높은 농도수준으로, 울산만과 한강 하구에서 각 sterols의 농도보다 훨씬 높았다(ANOVA,  $p < 0.001$ ). 특히, sterols 중 cholestanol은 플랑크톤에 의해 다량 생성되어 부영양화해역에서 높은 농도수준을 보이고, 환경 중에서 coprostanol보다 긴 잔류성을 갖는 것으로 보고된 바 있어, 이러한 비율들에 적지 않은 영향을 주었을 것으로 생각된다(Chaloux et al., 1995; Fernandes et al, 1999; Hudson et al., 2001; Carreira et al., 2002; 2004). 실제로, 진해만의 동일한 정점에서 조사한 퇴적물내 chlorophyll *a*를 포함한 색소농도(NFRDI, 2005)는 TOC와 유의한 상관성을 보였다( $r = 0.39$ ,  $p < 0.05$ ). 즉, 진해만의 퇴적물내 유기물은 플랑크톤과 같은 해양생물의 대량 번식과 폐사와 연계된 유기물에 의해 지배적인 영향을 받음을 알 수 있었다.

Cholesterol은 도시하수뿐만 아니라 동-식물플랑크톤과 저서동물들을 포함한 많은 생물들에서 기원한다(Mudge and Lintern, 1999; Mudge et al, 1999; Hudson et al., 2001; Carreira et al., 2002). Coprostanol/cholesterol의 비율을 이용하면, 다른 생물과 도시하수의 기여도를 평가할 수 있다. Coprostanol/cholesterol의 비율이 1 미만일 때는 생물기원이 지배적인 반면, 1 이상은 도시하수의 지배적인 기여를 의미한다(Quemeneur and Marty, 1994; Takada et al., 1994; Fattore et al., 1996; Nichols et al., 1996; Gonzalez-Orefa and Saiz-Salinas, 1998; Reeves and Patton, 2001).

이번 연구에서 coprostanol/cholesterol의 비율은 0.03-0.39 범위로 모든 해역에서 1보다 낮은 값을 보였으며, 울산만의 0.08-2.72에 비해 훨씬 낮은 값을 보였다(ANOVA,  $p < 0.001$ ). 진해만은 다른 오염된 해역에 비해 해양생물의 큰 기여를 받고 있음을 확인할 수 있었다. 해양생물의 기여가 특히 큰 정점은 12-17, 23이었으며, 도시하수로 인한 오염이 비교적

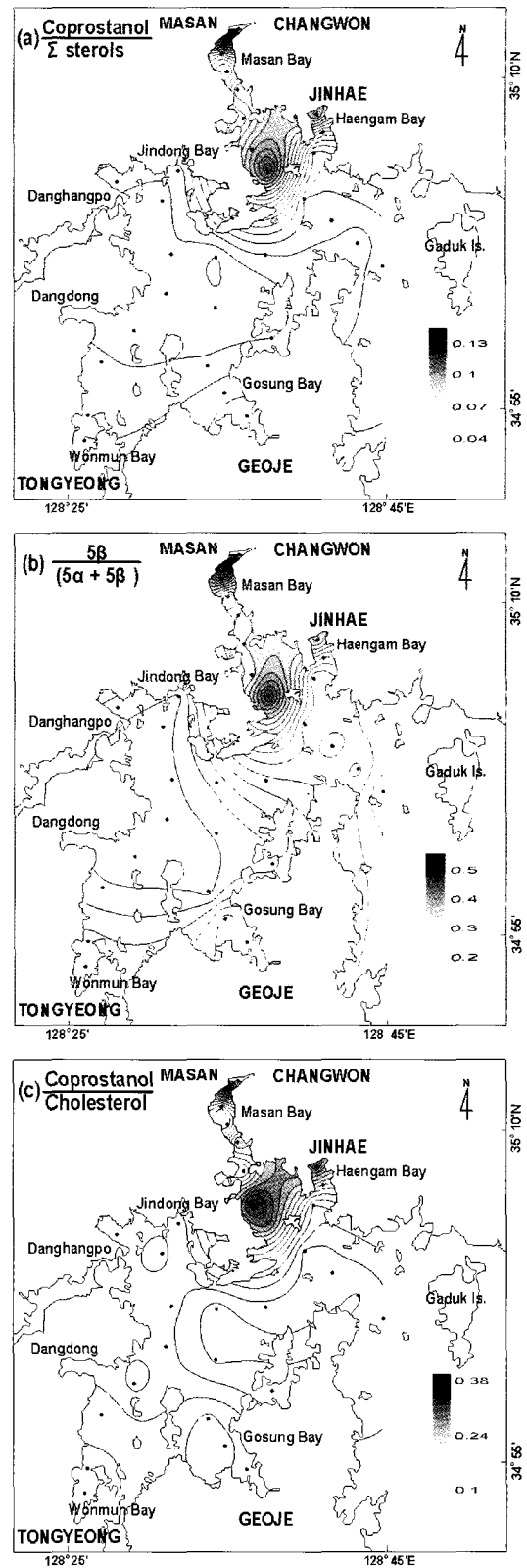


Fig. 4. Distribution of the ratios, (a) coprostanol/ $\Sigma$ sterols, (b)  $5\beta/(5\alpha+5\beta)$  and (c) coprostanol/cholesterol in the upper sediment layer.

높은 해역은 역시 마산만과 행암만 내측, 하수처리장의 해양 배출관 인근이었다(Fig. 4c).

Sterol의 비율 조사결과, 진해만에서 플랑크톤류와 같은 해양생물은 다른 해역에 비해 매우 높은 기여를 하였으며, 도시하수로 인한 오염은 마산만과 행암만 내측, 하수처리장의 해양배출관 인근에서 상대적으로 높게 나타나고 있었다.

**다변량 통계분석**

다변량 통계분석은 환경오염물질의 기원, 조사정점들의 오염도 등 여러 가지 정보를 동시에 얻을 수 있어 sterols에 대해서도 많이 적용하고 있다(Leeming et al., 1996a; Mudge et al., 1999; Choi et al., 2002; Choi et al., 2005). 이번 연구에서는 자료들을 변환 후 대응분석(correspondence analysis)을 행하였다.

대응분석에서 중요한 의미를 내포하는 두 축의 전체 분산에 대한 설명률은 제 1축 78%와 제 2축 10%로, 두 축은 주어진 자료를 대체로 잘 설명하고 있었다. 진해만해역 퇴적물내 8개 sterols은 다음과 같이 2개의 그룹으로 분류되었다(Fig. 5a): i) coprostanol, epicoprostanol 및 epicholestanol, ii) brassicasterol,  $\beta$ -sitosterol, stigmasterol, cholestanol 및 cholesterol.

첫 번째 그룹은 도시하수 오염지시자인 coprostanol과 함께 epicoprostanol과 epicholestanol로 구성되었다. Epicoprostanol과 epicholestanol은 인간의 배설물중 소량으로 존재하며 도시하수에서도 소량만을 함유한다. 하지만, 도시하수가 하수처리장의 혐기성 박테리아 분해과정(anaerobic digestion)을 거치면서 이 sterols의 양은 coprostanol보다 훨씬 많아진다(Volkman, 1986; Chalaux et al., 1995; DNRP, 1998; Fernandes et al., 1999). 이번 연구에서 이 sterols의 농도는 coprostanol보다 낮아 하수슬러지가 강이나 바다로 직접 유입하지 않는 것으로 보인다. 또한 이번 연구에서 이 sterols은 coprostanol과 공간적으로 유사한 분포를 보였다( $r=0.606-0.981$ ,  $p<0.0001$ ). 따라서 이 sterols는 coprostanol과 함께 도시하수에서 기원하여 진해만에서 유사한 분포를 보인 것으로 추정된다.

두 번째 그룹은 해양생물과 관련있는 brassicasterol,  $\beta$ -sitosterol, stigmasterol, cholestanol, cholesterol로 구성되었다. 두 번째 그룹은 다시 제 2축을 기준으로 brassicasterol,  $\beta$ -sitosterol, stigmasterol, cholestanol과 cholesterol으로 분류되었다. 이는 brassicasterol,  $\beta$ -sitosterol, stigmasterol, cholestanol은 플랑크톤류와 밀접한 관련성을 보인 반면, cholesterol은 다양한 해양생물의 영향을 동시에 받기 때문으로 생각된다(Nichols et al., 1996b). 비록  $\beta$ -sitosterol과 stigmasterol은 육상식물들(terrestrial vascular plants)에서 주로 검출되는 sterol로 알려져 있지만, sterols의 육상과 해양기원에 관하여 조사결과에서 식물플랑크톤중  $\beta$ -sitosterol의 다량 함유가 보고된 바 있다(Volkman, 1986; Volkman et al., 1998; Fernandes et al. 1999; Burns et al., 2003). 진해만의 동일한 정점에서 조사한 퇴적물내 색소농도(NFRDI, 2005)는 이들 조류관련 sterols(cholestanol, brassicasterol, stigmasterol,  $\beta$ -sitosterol)와 유의한

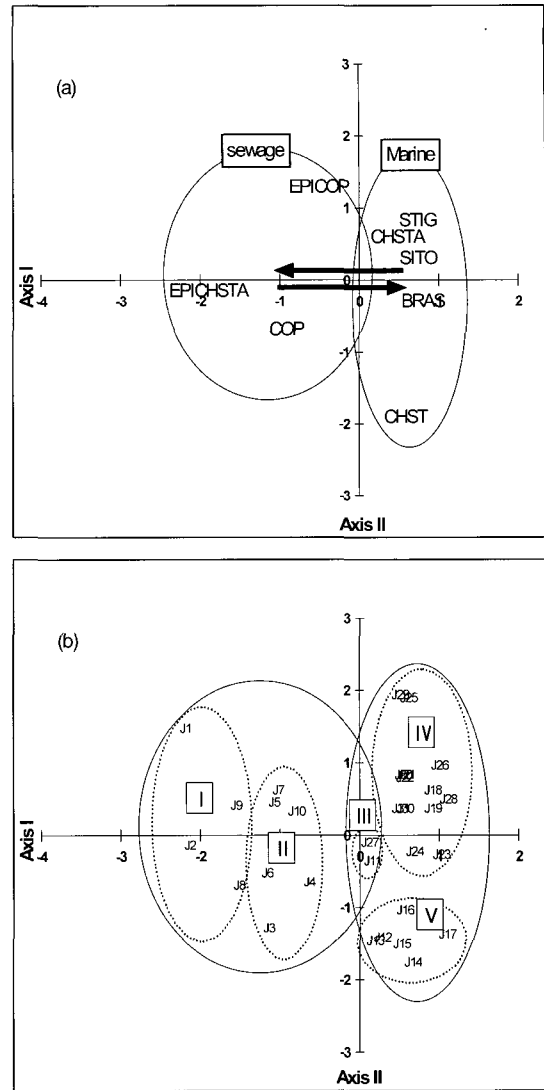


Fig. 5. (a) Loadings and (b) scores from correspondence analysis of the sterol compositions in the sediments from Jinhae Bay, Korea. COP: coprostanol, EPICHSTA: epicholestanol, EPICOP: epicoprostanol, CHST: cholesterol, CHSTA: cholestanol, BRAS: brassicasterol, STIG: stigmasterol, SITO:  $\beta$ -sitosterol.

상관관계( $r=0.46-0.59$ ,  $p<0.01$ )를 보인 반면, cholesterol과는 유의한 상관관계를 보이지 않았다( $r=-0.074$ ,  $p>0.05$ ). Cholesterol이 조류에서 기원한 sterols와 달리 다른 해양생물의 기여를 받고 있음을 추정할 수 있다.

Fig. 5b에는 여러 기원들의 영향들을 고려한 조사정점들의 특성을 제시하였다. 제 1축을 기준으로 조사정점들이 음의 값으로 갈수록 도시하수가 크게 기여하는 반면, 양의 값으로 갈수록 해양생물기원이 상대적으로 크게 기여하는 것을 의미한다. 조사된 31개 정점들은 기원의 기여도에 따라 크게 5개의 정점군으로 구분되었다. 정점군 I은 도시하수 오염의 영향을 가장 많이 받는 해역이었으며, 정점군 IV와 V는 상대적으로

해양생물 영향을 많이 받는 해역이었다.

만 위치에 따라 구분된 정점군의 특성을 보면(Fig. 6), 정점군 I(정점 1, 2, 8, 9)은 마산만과 행암만의 가장 내측에 위치하는 강내만성 해역과 덕동하수처리장 해양 배출관 인근이었으며, 정점군 II(정점 3-7, 10)는 역시 마산만과 행암만 내측에 위치하는 해역이었으며, 정점군 III(정점 11, 27)은 행암만 외측과 고현만 가장 내측에 위치하는 해역이었다. 정점군 IV는 진해만 서부에 위치하는 정점 18-26, 28-31로 구성되었으며, 정점군 V는 진해만 중앙수로와 가덕수로에 위치한 정점 12-17로 구성되었다.

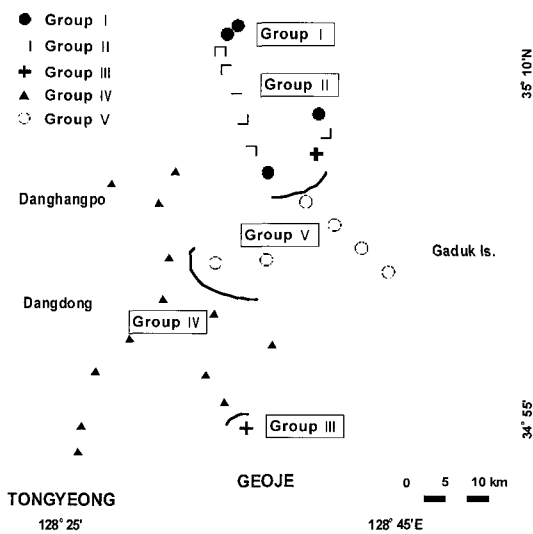


Fig. 6. Location of five station groups based on corresponding analysis.

정점군 I, II, III은 주변의 도시화 및 산업화로 하천과 하수처리장의 해양 배출관을 통하여 도시하수기인 유기물이 다량 유입하며, 동시에 약한 해수유동을 가져 오염물질의 외해로 확산되지 못하고 축적되는 특성을 가져 도시하수로 인한 오염 우려 해역이었다.

정점군 IV는 인근이 대부분 전원지역으로 도시하수기인 유기물의 부하량이 낮지만, 패류양식장이 밀집되어 있어 양식생물의 배설물과 부유생물로 인한 오염 우려 해역이었다(Lee et al., 2003). 진해만 표층퇴적물에서 색소농도는 진해만의 정점군 V는 원활한 외양수와의 순환과 낮은 오염부하량으로 다른 정점군과는 다른 특성을 가지는 해역이었다. 진해만의 서부해역과 북부해역은 조석잔차류 약 1-3 cm/s 이하로 오염물질의 축적을 예상되는 반면, 가덕수로와 중앙수로는 조석잔차류 약 7-23 cm/s로 외양수와 순환이 잘 이루어짐을 Kim et al. (1994)은 보고한 바 있다. 또한 Fig. 7에서 정점군 V는 다른 정점군에 비해 훨씬 낮은 색소농도가 나타났다. 정점군 V에서 원활한 해수 순환과 낮은 오염도는 부유생물 이외에 다른 해양생물서식을 용이하게 하였을 것이다.

서부해역과 북부해역에서 높은 농도를 보였으며(Fig. 7), 특히

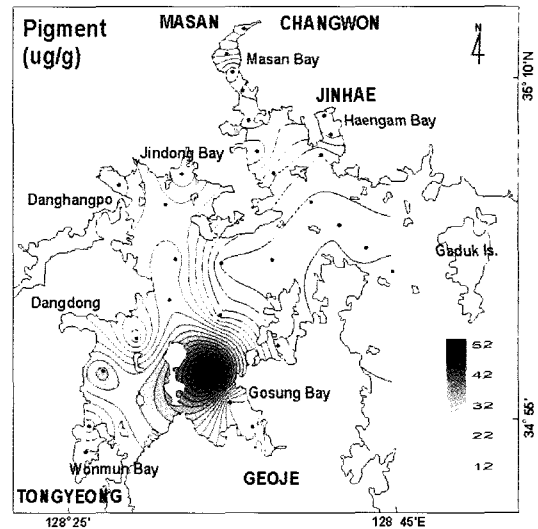


Fig. 7. Distribution of 16 pigments including chlorophyll *a* in upper sediment layer (NFRDI, 2005).

정점 25를 중심으로 진해만 서부해역에서 훨씬 높은 농도로 이러한 양상을 잘 반영한다(NFRDI, 2005).

Mudge and Lintern (1999)은 cholesterol이 대부분 저서동물(benthic fauna)과 같은 해양동물에서 기원하고, cholesterol/ $\beta$ -sitosterol의 높은 비율(-7)은 많은 저서동물의 서식을 제안한 바 있다. 정점군 V에서 cholesterol/ $\beta$ -sitosterol의 비율은 3.7-6.2(평균 4.9)로 다른 정점군에 비해 높은 값을 나타냈다(ANOVA,  $p < 0.001$ ). 진해만에서 저서동물을 조사한 결과에서 저서동물 생물량은 진해만 내만보다 입구역(정점군 V)에서 가장 높은 양상을 보인 바 있다(Lim and Hong, 1997). 또한 진해만 입구역은 해수유동이 비교적 활발하고 저서생물이 이용할 수 있는 먹이 이용도(food availability)가 상대적으로 높아 풍부한 생물상, 생물량 및 출현종수가 보고된 바 있다(Hyun et al., 2003). 따라서 정점군 V는 플랑크톤류 이외에 다량의 저서동물 서식이 예상되었다.

Fig. 8은 대응분석 결과를 기초로 분류된 sterols를 배출원으로 가정하여 기여율을 계산하여 나타낸 것이다. 도시하수기인 성분들은 coprostanol, epicoprostanol, epicholesterol, 그 이외의 sterol은 해양생물기원, 그리고 정점군 IV와 V에서는 cholesterol을 저서동물기원으로 가정하였다. 도시하수오염은 정점군 I > 정점군 II > 정점군 III > 정점군 IV, V 순이었으며, 해양생물기원은 도시하수와 반대의 양상을 보였다. 정점군 IV는 플랑크톤류의 기여가 큰 반면, 정점군 V는 저서동물의 기여가 크게 나타났다.

지금까지 연구결과, 정점군 I은 육상오염원에서 다량의 도시하수 유입과 미약한 해수순환을 가져 도시하수로 인한 오염이 가장 심하였으며, 오염정도는 정점군 II, 정점군 III 순이었다. 정점군 IV와 V는 도시하수에 기인한 유기물의 기여가 상대적으로 낮았으며, 해양생물기원의 영향이 매우 컸다. 특히 정점군 IV는 양식생물의 배설물, 부유생물 등으로 인한



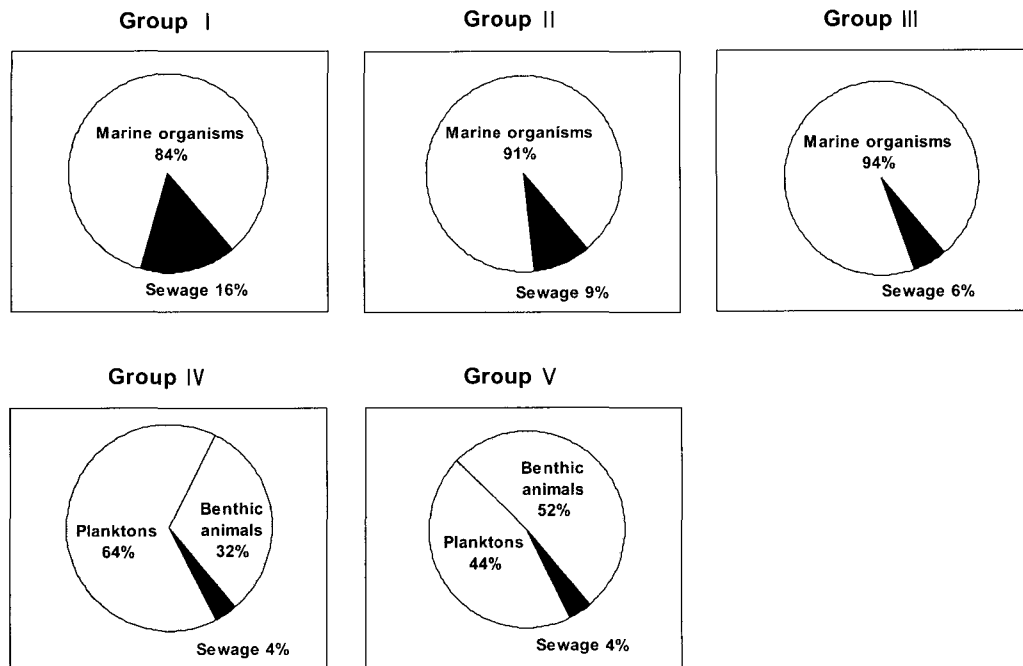


Fig. 8. Contribution of the sources of sterols based on correspondence analysis.

다량의 플랑크톤류가 기여하였으며, 정점군 V는 비교적 활발한 해수유통과 저서생물이 이용할 수 있는 먹이 이용도로 저서동물의 높은 기여가 추정되었다. 이번 연구는 환경요인(저층수 수온, 염분, 용존산소량, 퇴적물의 평균입도, 유기물 함량)의 주성분분석을 통하여 구분한 4개의 정점군(Lim and Hong, 1994)과 저서동물의 출현종에 근거한 집괴분석을 통하여 구분한 4개의 정점군(Lim and Hong, 1997)과 유사한 결과를 나타냈다.

Coprostanol을 포함한 sterols은 해역에서 도시하수오염해역을 구분하고 해역내 유기물오염의 특성을 이해하는데 좋은 추적자로 사용될 수 있음을 보여 주었다.

## 사 사

이 연구는 국립수산과학원(유해화학물질 위해도 평가 기술 및 관리기술 연구, RP-05-ME-7)의 지원에 의해 수행되었습니다.

## 참 고 문 헌

- Brown, R.C. and T.L. Wade. 1984. Sedimentary coprostanol and hydrocarbon distribution adjacent to a sewage outfall. *Wat. Res.*, 18, 621-632.
- Burns, K.A., J.K. Volkman, J. Cavanagh and D. Brinkman. 2003. Lipid as biomarkers for carbon cycling on the Northwest Shelf of Australia: results from a sediment trap study. *Mar. Chem.*, 80, 103-128.
- Carreira, R.S., A.L.R. Wagener, T. Fileman, J. Readman, S.A. Macko and A. Veiga. 2002. Changes in sedi-
- mentary organic carbon pool of a fertilized tropical estuary, Guanabara Bay, Brazil: an elemental, isotopic and molecular marker approach. *Mar. Chem.*, 79, 207-227.
- Carreira, R.S., A.L.R. Wagener and J.W. Readman. 2004. Sterols as markers of sewage contamination in a tropical urban estuary (Guanabara Bay, Brazil): space-time variations. *Estuar., Coast. Shelf Sci.*, 60, 587-598.
- Chaloux, N., H. Takada and J.M. Bayona. 1995. Molecular markers in Tokyo Bay sediments: Sources and distribution. *Mar. Environ. Res.*, 40, 77-92.
- Chan, K., M.H.W. Lam, K. Poon, H. Yeung and T.K.T. Chiu. 1998. Application of sedimentary fecal stanols and sterols in tracing sewage pollution in coastal waters. *Wat. Res.*, 32, 225-235.
- Choi, H.G., S.G. Kim, S.S. Kim, H.B. Moon, P.Y. Lee and C.K. Park. 2002. Sterols of sewage indicators in marine sediments of Jinhae Bay. Korea, *J. Kor. Soc. Oceanogr.*, 37, 51-57.
- Choi, M., H.G. Choi, S.S. Kim, and H.B. Moon. 2005. Evaluation of sewage-derived organic matter using fecal sterols in the sediments from Ulsan Bay and adjacent areas. *J. Environ. Sci.*, 41, 23-32.
- DNRP (Department of Natural Resource Protection). 1998. Implementation of a chemical method for differentiating human and animal fecal impacts in surface waters and sediments, *Environmental Monitoring*

- Division. Florida, Tech. Rep. Ser., TR: 98-01, 1-30.
- Fattore, E., E. Benfenati, R. Marelli, E. Cools and R. Fanelli. 1996. Sterols in sediment samples from Venice Lagoon, Italy. *Chemosphere*, 33, 2383-2393.
- Fernandes, M.B., M.A. Sicre, J.N. Cardoso, S.J. Macedo. 1999. Sedimentary 4-desmethyl sterols and n-alkanols in an eutrophic urban estuary, Capibaribe River, Brazil. *Sci. Total Environ.*, 231, 1-16.
- Gonzalez-Orefa, J.A. and J.I. Saiz-Salinas. 1998. Short-term spatio-temporal changes in urban pollution by means of faecal sterols analysis. *Mar. Poll. Bull.*, 36, 868-875.
- Grimalt, J.O., P. Fernandez, J.M. Bayona and J. Albalges. 1990. Assessment of fecal sterols and ketones as indicators of urban sewage inputs to coastal waters. *Environ. Sci. Technol.*, 24, 357-363.
- Hatcher, P.G. and P.A. McGillivray. 1979. Sewage contamination in the New York Bight, coprostanol as an indicator. *Environ. Sci. Technol.*, 12, 1225-1229.
- Hong, S.H., U.H. Yim, W.J. Shim, J.R. Oh, and I.S. Lee. 2003. Horizontal and vertical distribution of PCBs and chlorinated pesticides in sediments from Masan Bay, Korea. *Mar. Poll. Bull.*, 46, 244-253.
- Hudson, E.D., C.C. Parrish, and R.J. Helleur. 2001. Biogeochemistry of sterols in plankton, settling particles and recent sediments in a cold ocean ecosystem (Trinity Bay, Newfoundland). *Mar. Chem.*, 76, 253-270.
- Hyun, J.H., S.J. Ju and H.R. Harvey. 2002. Fecal contamination associated with local reclamation activity in the Han River estuary. *J. Kor. Soc. Oceanogr.*, 37, 224-231.
- Hyun, S.M., J.W. Choi, J.S. Choi and T.H. Lee. 2003. Surface sediment characteristics and benthic environments in the Mouth of Jinhae Bay, Korea. *J. Kor. Fish. Soc.*, 36, 700-707.
- Im, S.H., K.D. Strause, J.P. Giesy, Y.S. Chang, M. Matsuda and T. Wakimoto. 2004. Concentrations and accumulation profiles of polychlorinated dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans in aquatic tissues, and ambient air from South Korea. *Chemosphere*, 55, 1293-1302.
- Jeng, W., J. Wang and B. Han. 1996. Coprostanol distribution in marine sediments off southwestern Taiwan. *Environ. Poll.*, 94, 47-52.
- Kim, C.K., S.D. Chang and J.S. Lee. 1994. Two-dimensional hydraulic and numerical modeling of tidal currents in Chinhae Bay. *J. Kor. Soc. Oceanogr.*, 29, 83-94.
- Kim, J.H., S.D. Chang and S.K. Kim. 1986. Variability of current velocities in Masan Inlet. *J. Kor. Fish. Soc.*, 19, 274-280.
- KMI (Korea Maritime Institute). 2002. Development of integrated environmental management system for the coastal area of Korea, MOMAF (Ministry of Maritime Affairs and Fisheries), pp. 274-277.
- Lee, D.I., H.S. Cho and M.O. Lee. 2003. A Study on the environmental characteristics of the Western Chinhae Bay in Summer - Spatial variation of water quality in water column and sediment environment. *J. Kor. Soc. Wat. Qual.*, 19, 723-730.
- Lee, J. 1998. Policy issues and management framework of Chinhae Bay, Republic of Korea. *Ocean Coast. Manag.*, 38, 161-178.
- Leeming, R., A. Ball, N. Ashbolt and P. Nichols. 1996. Using faecal sterols from humans and animals to distinguish faecal pollution in receiving waters. *Wat. Res.*, 30, 2893-2900.
- Lim, H.S. and J.S. Hong. 1994. Ecology of the Macrozoobenthos in Chinhae Bay, Korea. 1. Benthic environment. *J. Kor. Fish. Soc.*, 27, 200-214.
- Lim, H.S. and J.S. Hong. 1997. Ecology of the Macrozoobenthos in Chinhae Bay, Korea. 3. Community structure. *J. Kor. Fish. Soc.*, 30, 175-187.
- McCalley, D.V., M. Cooke, and G. Nickless. 1981. Effect of sewage treatment on faecal sterols. *Wat. Res.*, 15, 1019-1025.
- MOE (Ministry of Environment). 2004. Annual Report of State of Korean Environment 2003, Daeyang press, pp. 657.
- Mudge, S.M. and M.J. Bebianno. 1997. Sewage contamination following an accidental spillage in the Ria Formosa, Portugal. *Mar. Poll. Bull.*, 34, 163-170.
- Mudge, S.M., M.J. Bebianno, J.A. East and L.A. Barreiar. 1999. Sterols in the Ria Formosa Lagoon, Portugal. *Wat. Res.*, 33, 1038-1048.
- Mudge, S.M. and D.G. Lintern. 1999. Comparison of sterol biomarkers for sewage with other measures in Victoria Harbour, B.C., Canada. *Estuar., Coast. Shelf Sci.*, 48, 27-38.
- Mudge, S.M. and C.G. Seguel. 1999. Organic contamination of San Vicente Bay, Chile. *Mar. Poll. Bull.*, 38, 1011-1021.
- NFRDI (National Fisheries Research and Development Institute). 2004. Annual Report of Korean Coastal Environment Monitoring 2003. Daeyang press, pp. 77.
- Nichols, P.D., R. Leeming, M.S. Rayner and V. Latham.

1996. Use of capillary gas chromatography for measuring fecal-derived sterols - Application to stormwater, the sea-surface microlayer, beach greases, regional studies, and distinguishing algal blooms and human and non-human sources of sewage pollution. *J. Chromatogr. A*, 733, 497-509.
- Ottoson, J. and T.A. Sternstrom. 2003. Faecal contamination of greywater and associated microbial risks. *Wat. Res.*, 37, 645-655.
- Peng, X., G. Zhang, B. Mai, Y. Min and Z. Wang. 2002. Spatial and temporal trend of sewage pollution indicated by coprostanol in Macao Estuary, southern China. *Mar. Poll. Bull.*, 45, 295-299.
- Quemeneur, M. and Y. Marty. 1994. Fatty alcohol and sterols in domestic wastewater. *Wat. Res.*, 28, 1217-1226.
- Reeves, A.D. and D. Patton. 2001. Measuring change in sterol input to estuarine sediments. *Phys. Chem. Earth (B)*, 26, 753-757.
- Romankevich, E.A. 1984. *Geochemistry of organic matter in the ocean*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Germany, pp. 111-150.
- Sherwin, M.R., E.S. Van Vleet, V.U. Fossat and F. Dolci. 1993. Coprostanol ( $5\beta$ -cholestan- $3\beta$ -ol) in lagoonal sediments and mussels of Venice, Italy. *Mar. Poll. Bull.*, 26, 501-507.
- Shim, W.J., J.R. Oh, S.H. Kahng, J.H., Shim and S.H. Lee. 1999. Horizontal distribution of butyltins in surface sediments from an enclosed bay system, Korea. *Environ. Poll.*, 106, 351-357.
- Takada, H., J.M. Farrington, M.H. Bthner, C.G. Johnson and B.W. Tripp. 1994. Transport of sludge-derived organic pollutants to deep-sea sediments at deep water dump site 106. *Environ. Sci. Technol.*, 28, 1062-1072.
- Volkman, J.K. 1986. A review of sterol markers for marine and terrigenous organic matter. *Org. Geochem.*, 9, 83-99.
- Volkman, J.K., S.M. Barrett, S.I. Blackburn, M.P. Mansour, E.L. Sikes and F. Gelin. 1998. Microalgal biomarkers: A review of recent research developments. *Org. Geochem.*, 29, 1163-1179.
- Woo, H.J., J.H. Cho, K.S. Jeong, C.S. Chung, S.J. Kwon and S.M. Park. 2003. Pollution history of the Masan Bay, Southeast Korea, from heavy metals and foraminifera in the subsurface sediments. *J. Kor. Ear. Soc.*, 24, 635-649.
- Writer, J.H., J.A. Leenheer, L.B. Barber, G.L. Amy and S.C. Chapra. 1995. Sewage contamination in the upper Mississippi river as measured by the fecal sterol, coprostanol. *Wat. Res.*, 29, 1427-1436.
- Yang, H.S., S.S. Kim and G.B. Kim. 1995. Pollution of heavy metals and sedimentation rates in sediment cores from the Chinhae Bay, Korea. *J. Environ. Sci.*, 4, 489-500.

---

2005년 2월 5일 접수  
2005년 4월 25일 수리