

서해 만경·동진 조간대의 환경과 저서동물 분포

안순모·고철환
서울대학교 해양학과

Environments and Distribution of Benthic Animals on the Mangyung-Dongjin Tidal Flat, West Coast of Korea

SOONMO AN AND CHUL-HWAN KOH
Department of Oceanography, Seoul National University, Seoul 151-742, Korea

서해 중부연안에 발달된 만경·동진 펄 조간대에 서식하는 저서동물 군집의 분포 양상을 살펴보고 분포와 환경과의 관계를 알아보기 위하여 8개의 조사선, 총 69개 정점을 선정하여 저서동물 표본 채취 및 환경요인을 측정하였다. 조사 정점들은 평균해수면 아래 250 cm에서 평균해수면 위 230 cm 사이에 위치했으며, 정점들이 간조시 노출되는 정도는 연속노출시간의 차이에 따라 4개의 서로 구분되는 노출 범위로 나누어졌다. 각 조사정점에서 퇴적물의 평균입도는 1.5-7.9 ϕ 로서, 대부분이 니사질 및 사질 퇴적상을 나타냈으며, 상부조간대에서 하부조간대로 갈수록 조립해지는 양상을 보였다.

만경·동진 펄 조간대에서 출현한 저서동물은 총 64종이었으며, 평균서식밀도는 1225 개체 \cdot m⁻²였다. 이때패류인 *Laternula cf. limicola*(71%), 복족류인 서해비단고둥(22%), 완족류인 *Lingula anatina*(2.6%) 등이 우점하고, 이들은 총 출현개체수의 95.6%를 차지하였다.

만경·동진 펄 조간대의 각 지역은 환경조건에 따라 그 환경을 반영하는 저서동물의 분포양상을 보여 주었는데, 특히 연속노출시간에 따라 구분된 각 노출범위에는 각기 구분되는 동물의 분포가 나타났다. 연속노출시간이 가장 긴 상부조간대에서는 *Perinereis* 군집이 나타났고 연속노출시간이 감소하면서 차례로 *Macrophthalmus*, *Bullacta-Mactra-Umbonium* 군집이 형성되었다.

The present study is aimed to investigate the relationship between the distribution of benthic macrofauna and environments in the Mangyung-Dongjin tidal flat developed on the west coast of central Korea. Samples were taken from 69 sites established on 8 transect lines running perpendicular to the coast.

The 69 sites located in the range of -250 to 230 cm height from the mean sea level were categorized into 4 levels of exposure duration. The mean grain sizes of the surface sediments varied from 1.5 to 7.9 ϕ . Silty sands and sands were dominant sediment facies on the tidal flat. A total of 64 species of invertebrates was collected and the mean density was 1,225 indiv \cdot m⁻². The dominant species was *Laternula cf. limicola* of Bivalvia (71% of total counts), followed by *Umbonium thomasi* of Gastropoda (22%), and *Lingula anatina* of Brachiopoda (2.6%). These 3 species comprised 95.5% of total individual number. The distribution of benthic animals was closely related with the duration of tidal exposure. *Perinereis* association was the characteristic for the most exposed area, and followed by *Macrophthalmus* and *Bullacta-Mactra-Umbonium* association along the degree of exposure duration.

서론

연성저질 조하대에 서식하는 저서동물은 퇴적물의

특성에 따라 그 분포가 달라지는데 이는 저서동물의 행동이나 먹이섭취 방법이 퇴적상에 따라 다르기 때문이다(Levinton, 1982). 조간대에서도 퇴적물식

본 연구는 문교부 학술진흥재단의 지원(만경-동진 하구역 생태계의 환경 특성과 생산량, 부과제 : 조간대 저서동물의 분포, 과제번호 : BSRI-90-552)에 의해 수행 되었음.

자, 부유물식자의 분포 범위가 특히 퇴적물의 입도 구성에 의해 결정되는 것으로 알려져 있다(Sanders, 1958; Beukema, 1976; Tunnicliffe and Risk, 1977). 저서동물의 먹이가 되는 퇴적물내 유기물 함량도 저서동물의 분포를 결정하는 중요한 제한요인이 된다. Newell(1965)은 서식밀도가 퇴적물내 미생물의 현존량과 깊은 관계가 있음을 밝혔다. 한편 출현 종 수에 있어서는 총 유기물 함량보다는 유기물의 종류가 얼마나 다양한가도 중요하다고 보고되었다(Whitlatch, 1981).

조간대에 있어서 서식동물의 분포에 특히 영향을 미치는 환경요인은 대기예의 노출정도이다. 조간대는 조석운동에 따라 주기적으로 대기에 노출되는데 이에 따라 퇴적물내 온도, 수분, 염분이 변하게 된다. Koh and Shin(1988)은 노출시간에 따른 퇴적물내 공극수의 물리화학적 성질의 일변화, 년변화를 추적한 바 있으며 노출시간에 따라 변하는 공극수의 물리화학적 성질과 동물의 분포를 연계시켜 해석하였다. Swinbanks and Murray(1981)는 조간대 동물의 분포와 연속노출시간과의 관계가 밀접하다고 보고한 바 있다. 그밖에 동물들 상호간의 경쟁, 포식 등도 중요한 요인으로 알려져 있다(Brenchely, 1982; Virnstein, 1977; Quammen, 1984).

본 논문에서는 서해의 조간대 지역에 서식하는 동물의 종류, 양, 서식범위와 환경과의 관계를 밝히고자 하였다. 특히 퇴적물의 특성과 장소에 따른 노출시간의 차이를 주요 환경요인으로 간주하여 이를 조사하였다. 지금까지 서해 조간대에서 보고된 저서동물의 분포(Frey et al., 1987; Koh and Shin, 1988)와 비교하여 지역간의 서식환경의 차이가 서식종의 종류나 서식밀도, 서식범위에 어떠한 차이를 가져왔는가를 보고자 함도 중요한 목적중의 하나이다.

재료 및 방법

조사지역은 전라남도 옥구, 김제, 부안군의 연안에 발달한 조간대이다. 만경·동진간으로부터의 육수 유입은 연 6.4×10^9 톤이나 60%가 7-9월에 집중되어 전체적으로 육수의 영향을 극히 적게 받는 지역이다(김과 정, 1988). 이 지역의 조석은 반일주조형으로 대조평균조차 6 m, 소조평균조차 3 m이며 평균조차

는 4.3 m이다. 평균 수심은 0-2 m로 외해쪽으로 갈수록 깊어지나 사주나 수로가 산재해 있어 불규칙한 지형을 이룬다.

조사지역은 주수로를 경계로 3지역으로 나누고 이를 군산, 김제, 부안조간대라 칭하였다. 각 조간대에서 2-3개, 총 8개의 조사선을 해안선과 거의 직각의 방향으로 설정하였다. 각 조사선에서 약 500 m 간격으로 총 69개의 조사정점을 정하였다. 조사선과 조사정점의 위치는 Fig. 1과 같다. 조사선의 이름은 군산조간대에서 수라(S1-S5), 어은(E1-E8), 경창조사선(C1-C3), 김제조간대에서 거전(G1-G21), 광활(W1-W8), 우마조사선(U1-U5), 부안조간대에서 계화(B1-B16), 해창조사선(H1-H3) 이라 명명하였다. 각 조사정점에서 저서동물을 채집하고 퇴적물 분석을 위한 퇴적물을 채취하였다. 1988년 6-7월에 조사를 실시하였다.

각 정점에서 $1 \text{ m} \times 0.5 \text{ m}$ 크기의 2개 방형구를 설치하고 퇴적물을 30 cm 깊이까지 파서 저서동물을 채집하였다. 퇴적물 표층에 사는 동물은 $1 \text{ m} \times 0.5 \text{ m}$ 크기의 방형구를 5개 무작위로 던져 채집하였다. 채집된 동물은 4% 중화포름알데히드로 현장에서 고정된 후 실험실로 운반하여 종 수준까지 동정하고 개체수를 세었다. 이 자료에 기초하여 Shannon-Weaver(1949)에 의한 종다양성지수를 구하였다. 각 정점의 출현종과 출현 개체수를 기초로한 정점간 유사도를 구하고 이를 이용하여 집괴분석을 실시하였다. 집괴분석에 의해 구분된 각 정점군에서 특성종을 선정하였다. 선정하는 기준으로 각 종이 조사지역 전체 정점에서 출현한 개체수와 각 정점군에 속하는 정점에서 출현한 개체수의 비율(DAI)과 그 종이 출현한 정점의 총 갯수와 각 정점군 내에서 그 종이 출현한 정점의 비율(DAS)을 구하였다. 그리고 각 정점군내에서 각 종의 출현 개체수와 그 정점의 총개체수의 비율(Dom)과 각 종이 출현한 각 정점군내의 정점수와 그 정점군의 총 정점갯수의 비율(Con)을 구하였다(Salzwedel et al., 1985).

69개 정점으로부터 채취된 퇴적물의 입도 분석은 표준체질분석, 피펫분석법에 따랐으며 이로부터 평균입도(ϕ), 분급도(σ), 왜도(Sk), 첨도(Ks)를 구하였다. 퇴적상의 구분은 Folk and Ward(1957) 방법에 의했다. 퇴적물내 유기물함량은 연소법으로 측정하였다. 퇴적물을 110°C 에서 8시간 이상 건조시킨 후

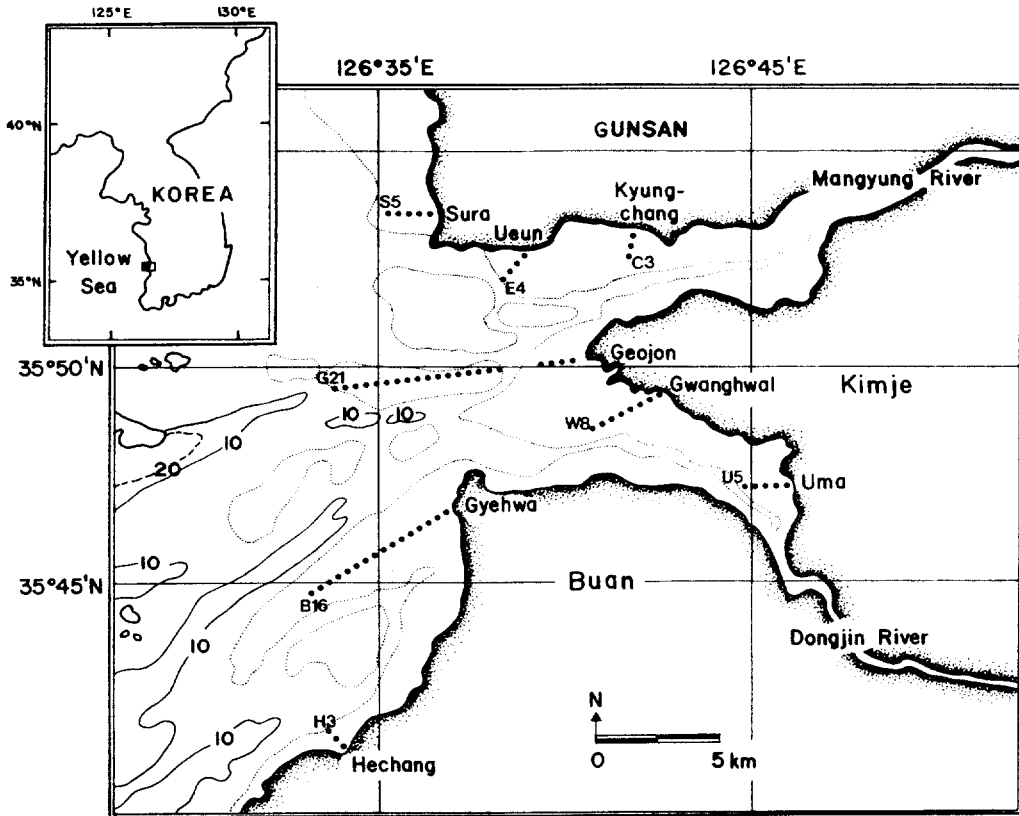


Fig. 1. A map showing the sampling sites on 8 transect line on the Mangyung-Dongjin tidal flat, west coast of Korea. Dotted contour lines indicate the extent of the tidal flat area exposed at MLLW level.

약 1g을 취하여 550°C에서 2시간 가열하고 무게손실량을 측정하여 최초 무게에 대한 백분비로 나타내었다.

각 조사정점에서의 노출시간은 1986년 1월 1일부터 12월 31일 까지 군산 외항에서 측정된 조고와 각 정점의 해수면으로부터의 높이를 비교하여 구하였다. 노출시간은 총 노출시간과 연속노출시간으로 구분하였으며 각각을 해수면의 높이별로 구하였다. 총 노출시간이란 각 해수면의 높이에 해당하는 지역이 대기에 노출되는 시간의 1년간의 합을 뜻한다. 연속 노출시간은 각 해수면의 높이에 해당하는 지역이 연속적으로 노출되는 시간을 0-6 h, 6-12 h, 12-24 h, >24 h의 4개 범위로 나누어 각 해수면 높이가 이들 범위에 해당되는 연속노출시간을 구하고 이를 1년간 합한 값이다.

결 과

1. 퇴적물 특성

표층퇴적물의 평균입도는 1.5-8.0 ϕ 로서 조사정점의 위치에 따라 차이를 보였다. 그러나 대부분의 정점이 사질, 니사질, 사니질 퇴적상에 속한다. 니질퇴적상을 보이는 정점은 없었다(Fig. 2). 조사선별 평균입도, 분급도, 유기물함량을 Fig. 3에 나타내었다. 전 지역중에서 군산조간대의 수라조사선이 평균입도 2.9 ϕ 로 가장 조립한 퇴적상을 보이며 분급도는 1.1로 가장 양호하였다. 퇴적물내 유기물함량은 1.1%로 가장 적다. 반대로 세립하고 분급이 불량한 퇴적상을 보이며 유기물 함량이 가장 많은 조사선은 경창조사선이다.

각 조사선의 퇴적물 특성은 다음과 같다: 군산조간대에서는 수라조사선이 평균입도 1.7-3.5 ϕ 로서 가장 조립하였다. 어은조사선은 평균입도 3.6-5.3 ϕ , 경창조사선은 5.7-8.0 ϕ 이다. 유기물함량은 수라조사선이 낮고 경창조사선이 높았다. 육지쪽으로 갈수록

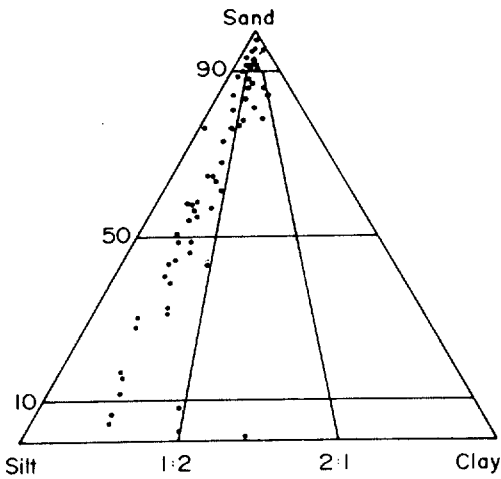


Fig. 2. Fork's diagram showing the granular compositions of surface sediments of the Mangyung-Dongjin tidal flat.

세립해지고 유기물함량이 높아지는 경향이 있다. 김제조간대는 거전조사선이 가장 조립하고 동진강

안쪽의 우마조사선이 가장 세립하였다. 광활과 우마조사선에서는 상부에서 하부조간대로 가면서 조립해지는 경향이 뚜렷하나 거전조사선은 불규칙하다. 특히 거전조사선 정점 8, 9가 세립하였다. 유기물함량은 거전조사선 정점 1의 경우 비교적 세립함에도 불구하고 낮았다. 전체적으로는 조간대 하부에서 높고 조간대 상부에서 낮으며 강하구로 갈수록 높아진다.

부안조간대의 계화조사선은 평균입도 3.1-5.7 ϕ 로서 조간대 하부로 갈수록 조립해진다. 해창조사선 정점 1은 매우 낮은 입도 값을 보였다. -1 ϕ 의 역질퇴적물이 니질퇴적물과 혼합되어 있으며 분급상태가 불량하다. 대부분의 정점이 낮은 분급도를 보였다.

2. 해수면 높이에 따른 연속노출시간

Fig. 4는 조사지역에서 평균 해수면으로부터의 높이에 따라 <6 h, 6-12 h, 12-24 h, >24 h의 시간 구배에서 연속노출되는 시간의 1년간 총합을 총 노

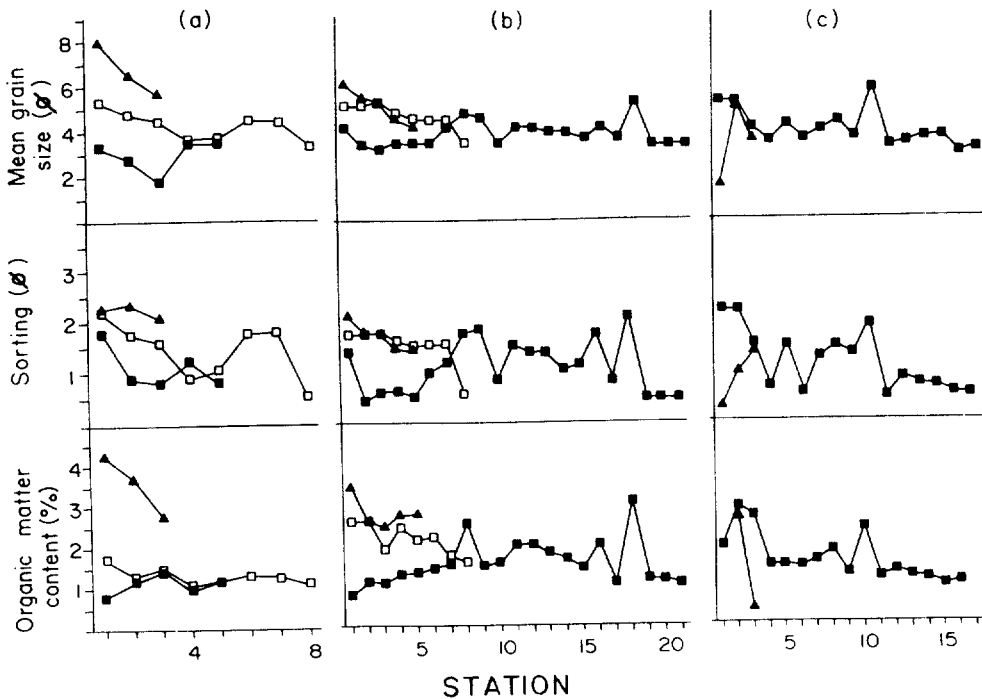


Fig. 3. Characteristics of surface sediments of the Mangyung-Dongjin tidal flat. (a) Gunsan tidal flat; ■: Sura, □: Ueun, ▲: Kyungchang, (b) Kimje tidal flat; ■: Geojon, □: Gwanghwal, ▲: Uma, (c) Buan tidal flat; ■: Gyehwa, ▲: Hechang.

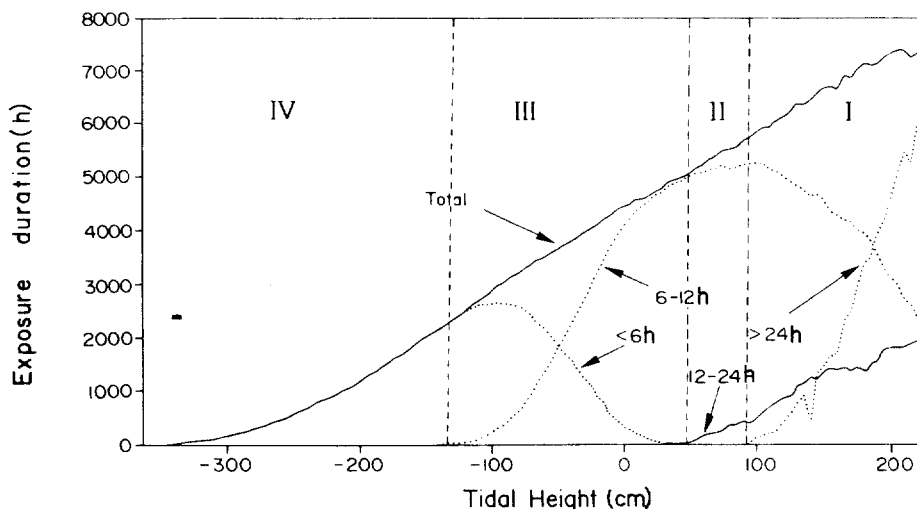


Fig. 4. Total and continuous exposure duration(h) along the tidal height (cm). Total; total exposure duration, <6; sum of the less than 6 hours continuous exposure, 6-12 h; sum of the 6-12 hours continuous exposure, 12-24 h; sum of the 12-24 hours continuous exposure. >24 h; sum of the greater than 24 hours continuous exposure. I-IV: exposure range: Tidal height of I: >93 cm, II: 93-55 cm, III: 55-137 cm, IV: <-137 cm.

출시간의 1년간 합과 비교한 것이다. 1년 동안의 총 노출시간은 평균해수면으로부터 높이에 따라 일정하게 증가하였다. 그러나 연속노출시간은 -360 cm, -137 cm, 55 cm, 93 cm의 해수면 높이에서 4개의 노출시간 범위가 시작되며, 이 조고를 기준으로 노출범위 I-IV를 나누었다(Fig. 4). 노출범위 I에 해당하는 조고에서는 연중 64% 이상 대기에 노출되었으며 노출기간의 대부분이 6-24 h 연속 노출로 구성되었다. 특히 전체 노출시간에서 6-12 h 연속 노출이 차지하는 비율이 줄어들고 12-24 h, >24 h 연속노출의 비율이 급격하게 증가하였다. 노출범위 II에 해당하는 조고에서는 연중 55-64% 대기에 노출되었으며 노출시간은 노출범위 I과 같이 6-12 h, 12-24 h 연속노출로 구성되었다. 그러나 이 노출범위에 해당하는 조고에서는 24>h 연속노출은 나타나지 않아 하루이상 연속 노출되지는 않는다. 노출범위 III에 해당하는 조고에는 연중 20-55% 로 대기에 노출되어 침수되는 시간이 많아진다. 노출시간은 6-12 h 연속노출과 6<h 연속 노출로 구성되어 있다. 노출범위 IV에서는 노출시간이 연중 20% 이하로 노출은 0-6 h 연속노출로만 구성되었다. 노출범위 IV에서는 6-12 h 연속노출이 나타나지 않아 Swinbanks and Murray(1981)의 범위 4에 해당함을

알 수 있다. 마찬가지로 노출범위 III은 범위 3, 노출범위 II는 범위 2, 노출범위 I은 범위 1에 각각 해당한다. 각 연속노출시간의 범위에 해당되는 해수면의 높이를 기준으로 조사지역을 나누면 외해쪽 조사선인 수라, 김제, 계화조사선의 상부는 노출범위 II에 속하고 중부는 III, 하부는 IV에 속한다. 강하구로 갈수록 조고가 증가하여 어은, 경창, 광활, 우마조간대의 상부가 노출범위 I에 속하며 하부는 II-III에 속함을 알 수 있었다(Fig. 8).

3. 출현종의 종류, 개체수, 종수, 종다양도, 우점종

Table 1은 만경-동진 조간대에서 출현한 저서동물의 종류, 개체수, 출현빈도를 나타낸 것이다. 자포동물 1종, 연체동물 18종, 완족류 1종, 갑각류 14종, 극피동물 4종, 다모류 26종으로 총 64종이 동정되었다. 개체수가 가장 많은 종은 *Laternula cf. limicola*(70%), *Umbonium thomasi*(22%), *Lingula anatina*(2.6%)이다. 출현빈도는 *L. anatina*가 가장 높고(76.8%), *U. thomasi*(52.2%), *Bullacta exarata*(43.5%)의 순이다. 개체수와 종수는 수라, 거전, 계화조사선에서 많고 강하구로 갈수록 감소한다. 어은, 우마조사선의 높은 서식밀도는 *L. cf. limicola*가 대량 출현하였기 때문이다. 외해에 면한 조사선으로

Table 1. Densities (indiv · m⁻²) of macrofauna occurred on the Mangyung-Dongjin tidal flat. +: Occurred but not counted.

| Species/Tidal Flat | Gunsan | | | Kimje | | | Buan | | Sum | | Freq. |
|--------------------------------------|--------|-------|-------------|--------|------------|------|---------|----------|-------|----|-------|
| | Sura | Ueun | Kyung-chang | Geojon | Gwang-hwal | Uma | Gye-hwa | Hech-ang | No. | % | (%) |
| CNIDARIA | | | | | | | | | | | |
| <i>Pennatulacea</i> indet. | 4 | | | 197 | | | | | 201 | | 15.9 |
| MOLLUSCAL | | | | | | | | | | | |
| <i>Batillaria multiformis</i> | | | | | | | | 150 | 150 | | 4.3 |
| <i>Bullacta exarata</i> | 26 | 50 | | 105 | 41 | 46 | 67 | | 335 | | 43.5 |
| <i>Coelomactra antiquata</i> | 3 | | | 13 | | | | | 16 | | 13.0 |
| <i>Cyclina sinensis</i> | 3 | 2 | | 6 | | | 6 | | 17 | | 13.0 |
| <i>Dosinorbis japonicus</i> | 4 | | | 8 | | | 18 | | 30 | | 23.2 |
| <i>Hinia festiva</i> | 7 | | | 184 | | | 253 | | 444 | | 31.9 |
| <i>Laternula</i> cf. <i>limicola</i> | | 55352 | | | | 4018 | 193 | | 59563 | 70 | 13.0 |
| <i>Macra chinensis</i> | | | | 110 | | | | | 110 | | 4.3 |
| <i>Macra veneriformis</i> | | | | 428 | 8 | | 27 | | 464 | | 30.4 |
| <i>Meretrix lusoria</i> | 1 | | | 11 | | | 1 | | 14 | | 13.0 |
| <i>Moerella iridescens</i> | 5 | | | | | | 96 | | 101 | | 15.9 |
| <i>Neverita didyma</i> | 3 | | | 13 | | | 6 | | 22 | | 23.2 |
| <i>Potamocorbula amurensis</i> | | 2 | | 3 | | | 1 | | 6 | | 5.8 |
| <i>Scapharaca subcrenata</i> | 2 | | | 1 | | | | | 3 | | 4.3 |
| <i>Sinonovacula constricta</i> | | | | | + | | | | | | |
| <i>Solen strictus</i> | 13 | | | 57 | 3 | 1 | 11 | | 85 | | 31.9 |
| <i>Tapes philippinarum</i> | | | | 112 | | | 3 | | 115 | | 15.9 |
| <i>Umbonium thomasi</i> | 9 | 29 | | 793 | 46 | | 17649 | | 18526 | 22 | 52.2 |
| BRACHIOPODA | | | | | | | | | | | |
| <i>Lingula anaina</i> | 244 | 528 | | 860 | 185 | 1 | 380 | | 2198 | 3 | 76.8 |
| CRUSTACEA | | | | | | | | | | | |
| <i>Calianasa</i> sp. | | 6 | | 1 | | | | 2 | 9 | | 7.2 |
| <i>Helice tridens sheni</i> | | 3 | 2 | | | | | 7 | 12 | | 8.7 |
| <i>Hemigrapsus penicillatus</i> | | | | | | | 2 | | 2 | | 4.3 |
| <i>Ilyoplax pingi</i> | 2 | 89 | 5 | | 19 | 22 | 5 | 24 | 166 | | 26.1 |
| <i>Ilyoplax dentimerosa</i> | | | 23 | 1 | | 3 | | | 27 | | 8.7 |
| <i>Macrophthalmus japonicus</i> | | 35 | 25 | 14 | 17 | 5 | 4 | | 100 | | 30.4 |
| <i>Macrophthalmus dilatatus</i> | 6 | 2 | | | | | 14 | | 22 | | 11.6 |
| <i>Orithyia sinica</i> | | | | + | | | | | | | |
| <i>Philyra pisum</i> | 5 | | | 5 | | | | | 10 | | 10.1 |
| <i>Scopimera globosa</i> | 4 | 28 | | 21 | 3 | 6 | 15 | | 77 | | 30.4 |
| <i>Sesarma plicatum</i> | | | | | + | | | | | | |
| <i>Uca arcuata</i> | | | 2 | | | 3 | | | 5 | | 4.3 |
| Amphipoda indet. | + | | | + | | | | + | | | |
| Anomura indet. | 15 | | | | | | | | 15 | | 4.3 |
| ECHINODERMATA | | | | | | | | | | | |
| <i>Paracudina chilensis</i> | 1 | | | 2 | | | | | 3 | | 4.3 |
| <i>Protankyra bidentata</i> | 61 | | | 89 | | | | | 150 | | 21.7 |
| Holothuroidea indet. | 6 | 2 | | | | | | | 8 | | 4.3 |
| Ophiuroidea indet. | | | | + | | | | | | | |
| POLYCHAETA | | | | | | | | | | | |
| <i>Amphictene japonica</i> | 8 | | | | | | 3 | | 11 | | 5.8 |
| <i>Arabella semimaculata</i> | | | 7 | 1 | | | 1 | | 9 | | 7.2 |
| <i>Diopatra sugokai</i> | 3 | | | 4 | | | | | 7 | | 8.7 |
| <i>Glycera chirori</i> | | | | + | | | + | | | | |

Table 1. continued.

| Species/Tidal Flat | Gunsan | | | Kimje | | | Buan | | Sum | | Freq. |
|---------------------------------|--------|-------|-------------|--------|------------|------|---------|----------|-------|---|-------|
| | Sura | Ueun | Kyung-chang | Geojon | Gwang-hwal | Uma | Gye-hwa | Hech-ang | No. | % | (%) |
| <i>Glycera subaenea</i> | 6 | 11 | | 11 | 1 | | 4 | | 33 | | 27.5 |
| <i>Glycera</i> sp. | | 3 | | 10 | 2 | 4 | 13 | | 32 | | 26.1 |
| <i>Glycinde</i> sp. | | 2 | | 1 | 5 | 2 | 1 | | 11 | | 11.6 |
| <i>Haploscoloplos elongatus</i> | 45 | 4 | | 18 | 2 | | 24 | | 93 | | 39.1 |
| <i>Lumbrineris</i> sp. | 6 | | | 41 | | | 6 | | 53 | | 30.4 |
| <i>Neanthes japonica</i> | | 85 | | | | 16 | 16 | | 117 | | 14.5 |
| <i>Nectoneanthes latipoda</i> | | 5 | 2 | | | 3 | | | 10 | | 7.2 |
| <i>Nectoneanthes oxypoda</i> | 10 | 2 | | 3 | | | 2 | | 17 | | 8.7 |
| <i>Nephtys caeca</i> | + | | | + | + | | + | | | | |
| <i>Nephtys ciliata</i> | + | | | + | | | + | | | | |
| <i>Nephtys oligobranchia</i> | | | 2 | | | | | | 2 | | 2.9 |
| <i>Nephtys</i> sp. | 10 | 14 | | 22 | 20 | 22 | 40 | | 128 | | 58.0 |
| <i>Owenia fusiformis</i> | 17 | | | 11 | | | | | 28 | | 8.7 |
| <i>Perinereis aibuhitensis</i> | 15 | 6 | 6 | | 24 | | 28 | 290 | 369 | | 17.4 |
| <i>Periserrula leucophryna</i> | 2 | 3 | 28 | 6 | 12 | 32 | 23 | | 106 | | 21.7 |
| <i>Scolecopsis</i> sp. | 4 | | | | | | | | 4 | | 2.9 |
| <i>Marphisa sanguinea</i> | | | | | | | | | | | 1.4 |
| Capitellidae indet. | 13 | 32 | | 31 | 32 | 50 | 95 | 6 | 309 | | 47.8 |
| Nereidae indet. | | | | 3 | | 8 | 6 | | 17 | | 8.7 |
| Phyllodoceida indet. | | | | 1 | | | | | 1 | | 2.9 |
| Polynoidea indet. | 1 | | | | | | | | 1 | | 2.9 |
| Sigalionidae indet. | | | | | | | 10 | | 10 | | 5.8 |
| Sum | 573 | 56299 | 102 | 3197 | 470 | 4242 | 19023 | 650 | 84556 | | |
| Sp. No. | 38 | 24 | 10 | 43 | 19 | 17 | 38 | 6 | 64 | | |

갈수록 연체동물의 비율이 높고 강하구 쪽에서는 갑각류, 다모류의 비율이 높았다.

군산조간대, 김제조간대, 부안조간대의 각 조사선에서 정점별 평균개체수, 종수, 종다양도, 균등도를 Fig. 5에 나타내었다. Fig. 5은 각 조사선에서 총개체수의 3% 이상을 차지하는 종들의 정점별 총 개체수를 나타낸 그림이다. 한 종이 절대 우점하는 조사선의 경우는 이 종을 제외했을 때 5% 이상 우점하는 종들을 대상으로 하였다. 이를 조간대별로 나누어 기술하면 다음과 같다.

3.1 군산조간대

수라조사선에서 출현한 총 종수는 38종, 정점 평균 종수 14종이다. 출현 개체수는 정점별로 43-171 ind. m⁻²의 변화를 보이며 평균 개체수는 115 ind. m⁻²이다. 출현한 종을 분류군별로 살펴보면 완족류 43%, 다모류 24%, 연체동물 14%, 극피동물 12%이다. 완족류는 특히 정점 2와 4에서 각각 77%, 52%로 많이

나타났다. 종다양도는 1.5-2.8의 비교적 높은 값을 가지며 정점 1을 제외하면 조간대 상부에서 하부로 갈수록 높아진다. 조간대 하부에서는 연체동물과 다모류가 다양하고 고르게 나타나 균등도도 높았다. 우점종은 *Lingula anatina*, *Protankyra bidentata*, *Bullacta exarata*, *Solen strictus* 등이다. 조간대 상부의 전형적인 종은 *Perinereis aibuhitensis* 이다. *Bullacta exarata*, *Haploscoloplos elongatus*, *Lingula anatina*는 조간대 상부에서 하부까지 나타났다. 조간대 하부의 우점종은 *Solen strictus*, *Protankyra bidentata*, *Anomura* sp., *Owenia fusiformis* 등이다.

어은조사선에서는 총 24종이 채집되었다. 평균 출현 개체수는 7,037 indiv. m⁻² 개체이다. 조간대 상부에서 하부로 갈수록 갑각류의 비율이 줄어들고 연체동물과 다모류의 비율이 높아지는 경향이 있다. 종다양도는 0.1-2.2로 정점간에 차이가 심하였다. 특히 정점 6에서 매우 낮는데 이는 *Laternula* cf.

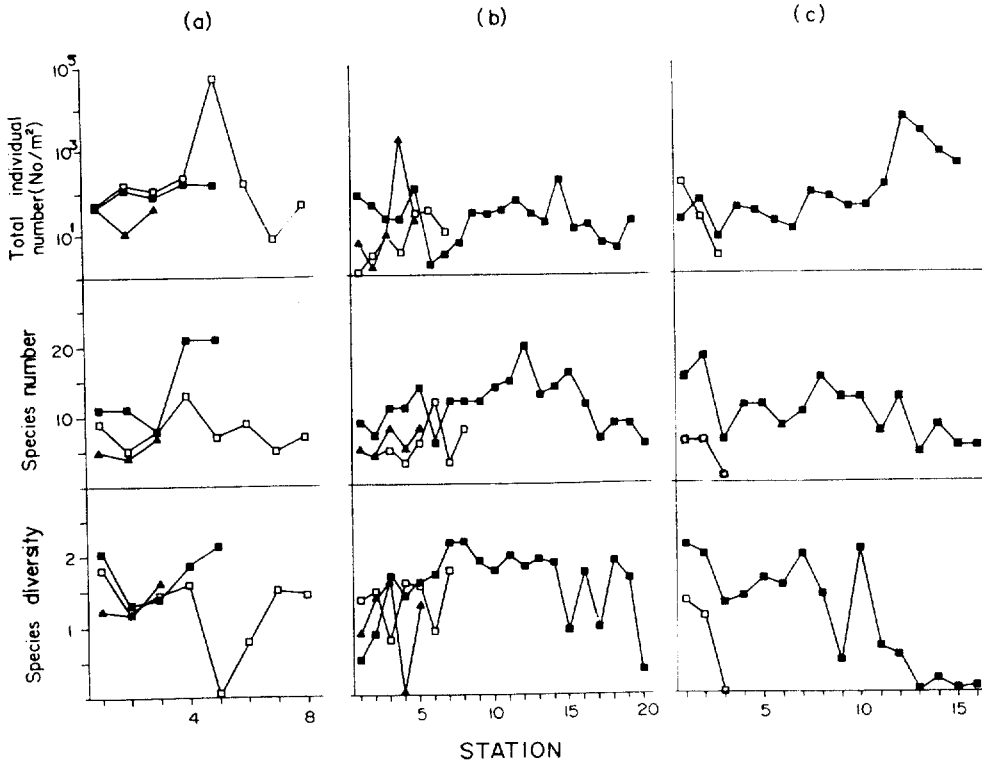


Fig. 5. Total individual number, species number and species diversity at sampling stations on the Mangyung-Dongjin tidal flat. (a) Gunsan tidal flat; ■: Sura, □: Ueun, ▲: Kyungchang. (b) Kimje tidal flat; ■: Geojon, □: Gwanghwal, ▲: Uma. (c) Buan tidal flat; ■: Gyehwa, ▲: Hechang.

*limicola*가 절대 우점하였기 때문이다. 정점 6을 제외하면 조간대 하부에서 균등도가 대체로 높았다. 조간대 상부의 우점종은 *Ilyoplax pingi*, *Macrophthalmus japonicus* 등의 갑각류이다. 중부에서는 *Lingula anatina*, Capitellidae에 속하는 다모류, *Neanthes japonica*, *Laternula cf. limicola*가 우점하고 조간대 하부로 가면서 복족류인 *Umbonium thomasi*가 대량 출현하였다.

경창조사선은 만경강 하구쪽의 3개 정점이다. 갑각류(56%), 다모류(44%)가 주로 출현하였다. 총 10종이 채집되었고 평균개체수도 34 indiv · m⁻²으로 매우 적다. 우점도, 균등도의 정점별 차이가 심하지 않다. 중요 우점종의 분포를 그림으로 나타내지는 않았으나 조간대 상부는 *Periserrula leucophryna*가 우점하고 하부는 *Ilyoplax dentimerosa*가 우점하였다.

3.2 김제조간대

총 21개의 조사정점을 가지는 거전조사선은 총 43종이 채집되었고 평균개체수는 160 indiv · m⁻²이었다. 정점에 따라 16-633 indiv · m⁻²으로 변화 폭이 크다. 연체동물(58%)이 우점하며 그밖에 완족류(27%), 자포동물(6%), 다모류(5%)가 출현하였다. 종수는 조간대 중부가 높아 10종 이상 나타나고 상부와 하부에서 적다. 개체수는 정점 1과 15가 특히 높는데 이는 정점 1에서 완족류인 *Lingula anatina*, 정점 15에서 *U. thomasi*가 많이 출현하였기 때문이다. 종다양도는 0.4-2.5의 변화폭을 보이나 정점 7-14에서 대체적으로 높은 값을 보였다. 이곳에는 연체동물이 다양하게 나타나는 특징이 있다. 정점 1과 21에서 종 다양도가 낮은것은 *L. anatina*와 *Mactra veneriformis*가 각각 우점한 것과 상관이 있다.

우점종의 분포는 Fig.6과 같다. 조간대 상부에 해당하는 정점 1-4는 *L. anatina*(73%), *Umbonium thomasi*(13%), *Bullacta exarata*(7%)가 우점한다. 정

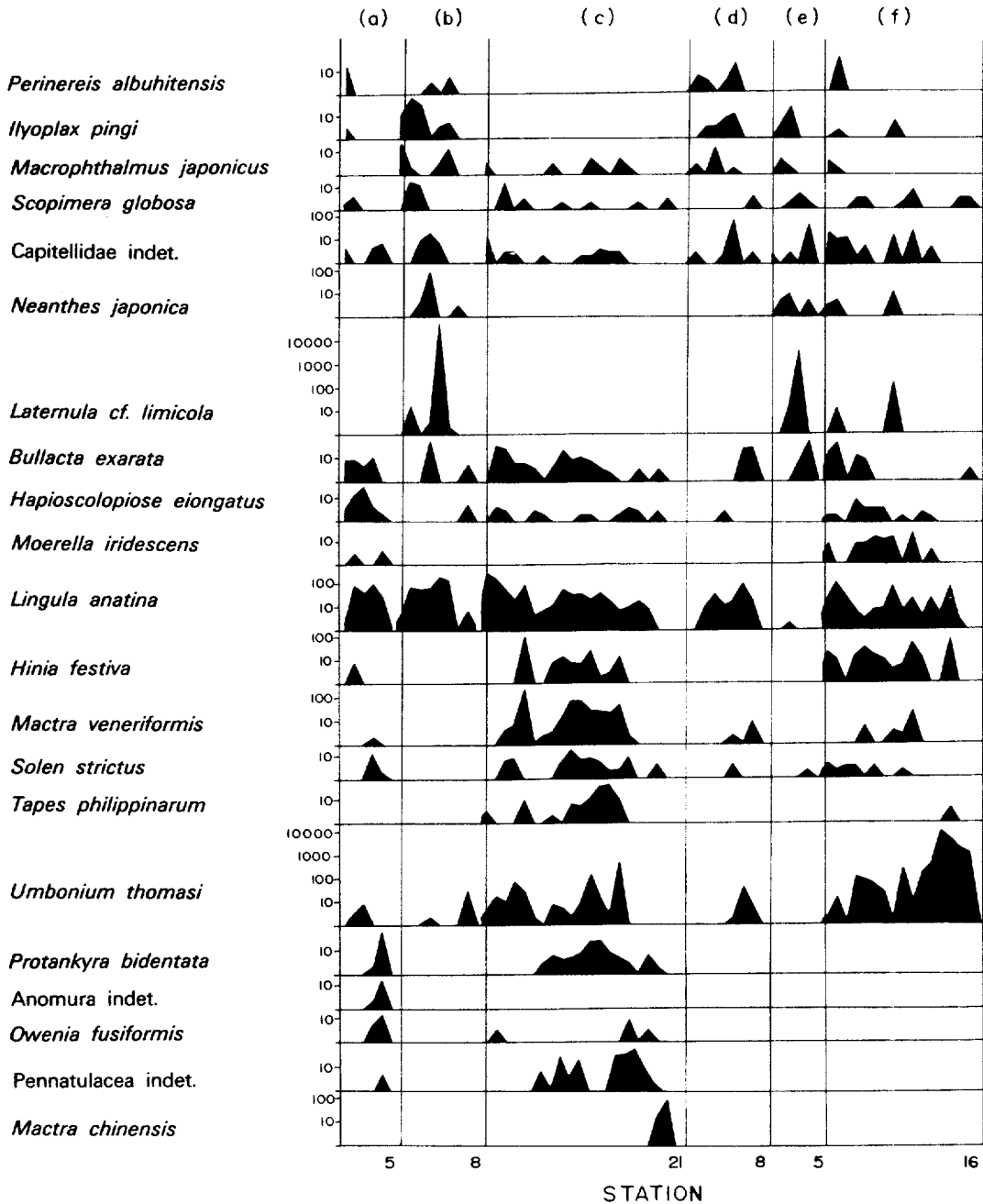


Fig. 6. Densities of dominant species (indiv · m⁻²) on the Mangyung-Dongjin tidal flat. (a) Sura, (b) Ueun, (c) Geojon, (d) Gwanghwal, (e) Uma, (f) Gyehwa.

점 5에서는 *Mactra veneriformis*(41%), *Hinia festiva* (24%), *L. anatina*(19%)가 우점하며 중부조간대라고 할 수 있는 정점 9-16에서는 *Umbonium thomasi*(41%), *Mactra chinensis*(14%), *Tapes philippinarum*(6

%), *Protankyra bidentata*(5%) 등이며 조간대 하부 (정점 17-21)의 전형적인 종은 *Mactra chinensis*(47%)이다.

광활조사선에서 총 19종이 채집되었다. 평균 출

현재개체는 67 indiv · m⁻²으로 다른 조사선에 비해 상대적으로 적었다. 완족류가 전체의 39%, 다모류 36%, 연체동물 21%, 갑각류가 8%를 각각 차지하였다. 종다양도는 거전보다 전체적으로 낮았다. 조간대 하부로 갈수록 높아지는 경향이 있다. 정점 2-4에서 *L. anatina*(50%)가 우점하며 5-6에서 Capitellidae에 속하는 갯지렁이(47.6%)가 우점하였다. 정점 7-8은 *L. anatina*(52%), *Umbonium thomasi*(20%), *Bullacta exarata*(18%)가 우점종이다(Fig. 6).

우마조사선은 총 17종이 채집되었고 평균 개체수는 848 indiv · m⁻²으로 매우 많다. 그러나 이는 정점 4의 *Latenua cf. limicola*가 밀생하였기 때문이다. 이 종을 제외한 평균개체수는 48 indiv · m⁻²이다. 전 조사선에서 연체동물이 96%를 차지하였다. 이 역시 *Latenua cf. limicola*를 제외하면 다모류가 56%를 차지하여 우마조사선에서는 다모류가 우점한다고 볼 수 있다. 다모류는 전 정점에서 고르게 나타나며 하부로 가면서 *Bullacta exarata*가 우점하였다 (Fig. 6).

3.3 불안조간대

총 16개 정점을 가지는 계화조사선에서 채집된 종수는 38종이다. 평균개체수는 1,189 indiv · m⁻²이나 대부분이 *Umbonium thomasi*로서 이를 제외하면 69 indiv · m⁻²으로 낮은 값이었다. 전 조사선에서 연체동물의 비율이 96%에 달하나 이 역시 *U. thomasi*를 제외하면 50%에 지나지 않으며 기타 *Lingula anatina*(28%), Polychaetes(21%) 등이다. 종다양도는 최대 2.6으로 대체로 낮다. 조간대 하부에서 급격히 낮아지는 것은 *U. thomasi*의 절대 우점 때문이다. 정점별 우점종은 Fig. 6과 같다. 조간대 상부는 다모류의 *Bullacta exarata*가 우점하였으며 증부는 *Hinia festiva*, *Latenua cf. limicola* 등이 우점하였다. 전 지역에서 우점하는 종은 *Lingula anatina*와 *Umbonium thomasi*이다. *U. thomasi*는 특히 조간대 하부에서 많이 출현하였다.

해창조사선의 정점수는 3개이다. 총 6종이 채집되었으며 평균개체수는 216 indiv · m⁻²이다. 다모류(46%), 연체동물(32%), 갑각류(23%)가 중요 동물군이다. 조간대 상부는 니질과 자갈이 혼합되어 있는 환경이며 하부는 사니질 환경이다. 따라서 다른 조사선과는 달리 상부에서 갯고둥, 하부에서 털콩게가 많이 나타났다.

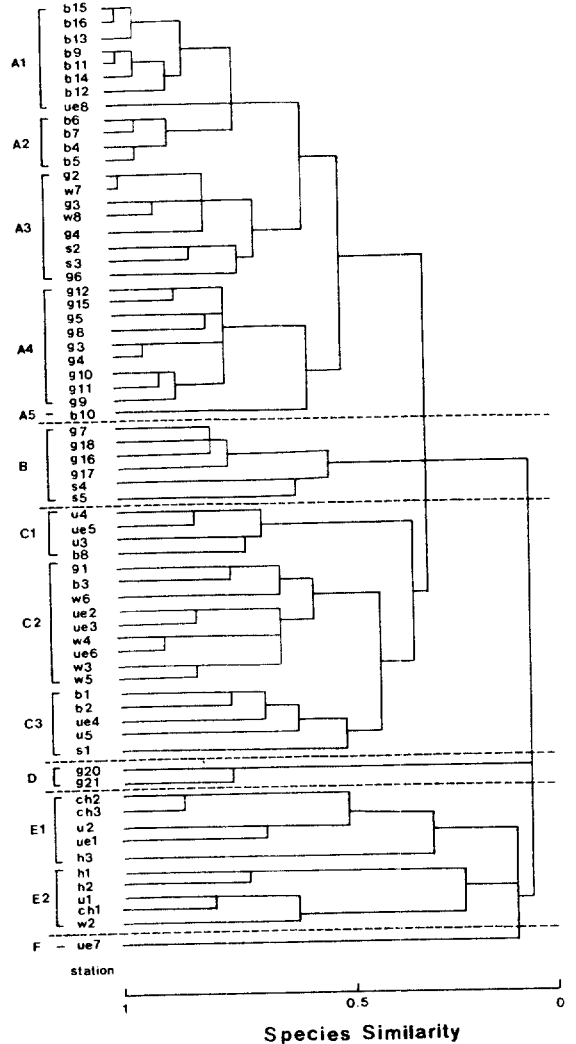


Fig. 7. Clustering of stations of the Mangyung-Dongjin tidal flat by the similarities of species composition. Abbreviations of stations: s: Sura, ue: Ueun, ch: Kyungchang, g: Geojon, w: Gwanghwal, u: Uma, b: Gyehwa, h: Hechang.

4. 집괴분석

각 정점의 출현종과 개체수의 유사성에 의해 정점군을 분류하면 Fig. 7과 같다. 대체로 정점군 E, C, A, F, B, D의 순으로 각 정점군에 속하는 정점들의 평균 높이가 감소하였다. 이러한 사실로부터 조사지역의 조사정점들은 출현종의 종류와 개체수에 의해 조간대 상부로부터 하부로 가면서 구획됨을 알 수 있는데 단순한 조고의 차이이기 보다는 연속노출의 차이가 중요하다. 즉 각 정점군에 속하는 정

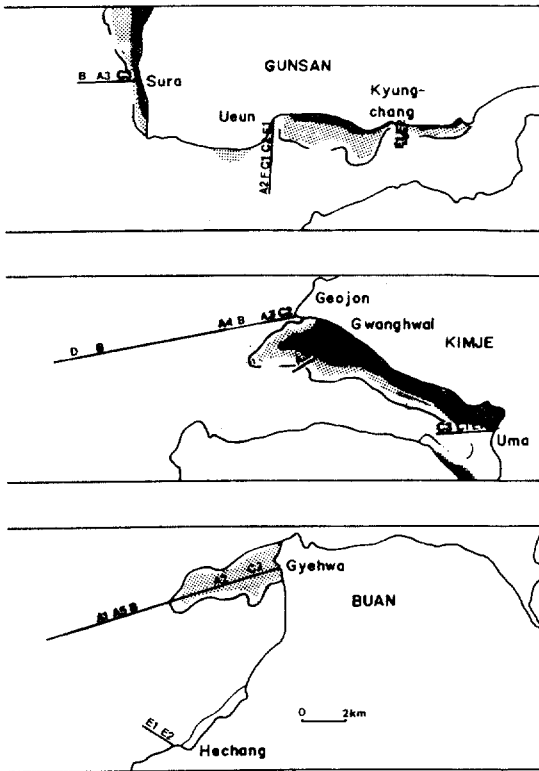


Fig. 8. Distribution of station groups on the Mangyung-Dongjin tidal flat. Exposure ranges are represented by shadow of I: II: III: IV: .

점들의 평균 조고를 구하여 앞에서 구분한 노출범위와 비교하면, 정점군 E2는 노출범위 I에 속하며 정점군 E1 및 C는 노출범위 II, 정점군 A 및 F는 노출범위 III에, 정점군 B, D는 노출범위 IV에 속한다. Fig. 8에 이들 정점군을 조사지역의 지형도에 나타내었다. 내해나 어은, 광활, 해창의 조간대 상부는 정점군 E, 중부는 정점군 C에 속한다. 정점군 C는 다시 외해에 의한 수라, 거전, 계화조사선의 조간대 상부에 나타난다. 이들 조사선의 중부와 하부는 정점군 A, B 또는 D 정점군으로 대표된다.

각 정점군을 대표하는 특성종을 Table 2에 나타내었다. 이들 종들은 해당 정점군에서 다른 정점군에 비해 Dom, Con값이 상대적으로 큰 종을 특성종으로 선택하였다. 이와 동시에 각 종이 조사지역 전체 정점에서 출현한 개체수와 각 정점군에 속하는 정점에서 출현한 개체수의 비율(DAI)과 그 종이 출현한 정점의 총 갯수와 각 정점군 내에서 그 종이

Table 2. The characteristic species of station groups. DAI and DAS: see the text for explanation. Dom and Con; dominance and constancy indicating the percentage of the individual number and occurrence in a given station group.

| station group | Characteristic species | DAI (%) | DAS (%) | Dom (%) | Con (%) |
|---------------|---------------------------------------|---------|---------|---------|---------|
| A1 | <i>Umbonium thomasi</i> | 94 | 23 | 98 | 100 |
| A2 | <i>Hinia festiva</i> | 19 | 20 | 16 | 100 |
| | <i>Moerella iridescens</i> | 57 | 44 | 9 | 100 |
| A3 | <i>Bullacta exarata</i> | 32 | 28 | 12 | 100 |
| | <i>Haploscoloplos elongatus</i> | 50 | 19 | 5 | 89 |
| A4 | <i>Mactra veneriformis</i> | 94 | 47 | 20 | 100 |
| | <i>Tapes philippinarum</i> | 96 | 80 | 5 | 89 |
| A5 | <i>Scopimera globosa longidactyla</i> | 8 | 2 | 4 | 100 |
| B | Pennatulacea indet. | 57 | 50 | 20 | 83 |
| | <i>Protankyra bidentata</i> | 47 | 36 | 13 | 83 |
| C1 | <i>Latunula cf. limicola</i> | 99 | 50 | 99 | 100 |
| C2 | Capitellidae indet. | 40 | 16 | 11 | 56 |
| | <i>Ilyoplax pingi</i> | 58 | 41 | 9 | 78 |
| C3 | <i>Neanthes japonica</i> | 77 | 45 | 13 | 80 |
| | <i>Cyclina sinensis</i> | 47 | 43 | 1 | 60 |
| D | <i>Mactra chinensis</i> | 100 | 100 | 83 | 100 |
| E1 | <i>Macrophthalmus japonicus</i> | 44 | 20 | 32 | 80 |
| | <i>Ilyoplax dentimerosa</i> | 59 | 40 | 12 | 40 |
| E2 | <i>Perinereis aibuhitensis</i> | 81 | 36 | 42 | 80 |

출현한 정점의 비율(DAS)을 고려하였다. 전 조사지역에서 *Lingula anatina*가 우점하였으나 DAI, DAS 값이 낮아 어느 정점군에서도 특성종이 되지 못하였다. 이들 특성종이 대표하는 정점군의 평균 조고를 노출범위와 연관시켜 나타내면 다음과 같다. *Perinereis*는 노출범위 I, *Macrophthalmus*는 노출범위 II, *Bullacta*, *Mactra veneriformis* 및 *Umbonium*은 노출범위 III, *Mactra chinensis*는 노출범위 IV에서 나타나고 있다. 이들 특성종과 정점군의 분포를 조사지역내에서 비교하면 내해쪽 조사선에서 조간대 상부, 중부, 하부로 *Perinereis*, *Macrophthalmus*, *Bullacta*의 순으로 특성종이 변하며 외해쪽의 조사선에서는 다모류, *Bullacta*, *Mactra veneriformis*, *Umbonium*, *Mactra chinensis*의 순서로 특성종이 변함을 알 수 있다.

논 의

본 조사지역은 반일주조형 조석의 특성을 보이고

있어 HHW, LHW, HLW, LLW 등 4 개의 조고가 약 6시간 간격으로 하나의 태음일(lunar day) 동안 나타난다. 본 조사에서 연속노출시간의 범위를 0-6 h, 6-12 h, 12-24 h, >24 h로 나눈 것은 각 해수면의 높이에 해당하는 지역이 HHW, LHW, HLW, LLW 사이에 위치하게 될 가능성을 나타내도록 하기 위함이었다. 이러한 구분에 의해서 Swinbanks and Murray (1981)의 결과와 비교가 가능하도록 하고자 한 것도 하나의 이유라 할 수 있다. 그들은 HHW, LHW, HLW, LLW를 기준으로 5개의 조고 범위를 구분하였는데, 본 조사에서 <6 h, 6-12 h의 연속 노출범위는 그들이 구분한 범위 3 및 4에서 나타나며 12-24 연속 노출은 범위 2에서, >24 h는 범위 1에서 나타난다.

조간대에서 조고의 변화는 조석의 작용과 관련하여 입도조성을 포함한 총체적인 조간대 환경의 수직구배를 만든다. 이러한 환경의 구배 중에서도 저서동물의 분포에 가장 중요한 것은 조고에 따른 노출시간의 변화로써 조고에 따른 노출시간은 건조나 열저해(thermal stress) 등과 연관되어 생물의 분포를 결정할 뿐 아니라, 퇴적물의 산소교환, 퇴적물내 공극수의 pH 안정도, 퇴적물내 공극수의 염분 등에 영향을 미쳐 결국 섭식 활동, 경쟁, 포식 등 생물의 행동을 제한한다(Swinbanks and Murray, 1981). 경기만 반월 조간대에서 참방게와 칠게의 서식지 분화에 관해 연구에서 이(1987)는 참방게가 칠게보다 높은 조고에 서식함을 보고 하였다. 특히 참방게는 갑각의 형태, 굴의 모양, 섭식활동 등 여러 적응 양식으로 보아 칠게보다 노출이 심한 환경에서 서식이 가능하다고 하였다. Swinbanks and Murray (1981)도 *Upogebia*의 분포가 *Callinassa*보다 낮은 조고에 제한되며 두 갑각류의 분포가 연속노출의 차이에 의해 잘 구분됨을 보였다. 그들은 이 원인으로서 *Upogebia*가 노출에 견딜수 있는 능력이 *Callinassa*보다 적다는 점을 제시하였다. 본 연구에서도 집괴분석에 의해 구분된 각 정점군 내에 속하는 정점들의 평균 조고가 앞에서 구분한 노출범위의 차이와 잘 일치하여 연속노출시간이 만경-동진 조간대에 서식하는 여러 동물의 분포를 제한하고 있음을 알 수 있다. 그러나 *L. anatina*를 비롯한 몇몇 종은 퇴적물의 평균입도 및 조고에 따른 분포 특성을 보기 어려웠다.

만경-동진 조간대의 외해역은 인천의 송도조간대와 환경적인 면에서 매우 유사하다. Frey *et al.* (1987)은 송도조간대를 동물의 분포특징에 따라 Brachyuran, Molluscan, Holothuroidean zone으로 구분한 바 있다. 송도조간대에서 관찰된 Brachyuran zone은 만경-동진 조간대의 내해역에서 나타나는 *Macrophthalmus*로 대표되는 정점군 E와 외해역의 상부조간대에서 나타나는 *Bullacta*로 대표되는 정점군 C와 그 종조성이 유사하다. 또 송도조간대의 Molluscan zone에서 출현한 종들은 만경-동진 조간대의 외해역에 위치한 조사선의 중부조간대와 유사하다. 그러나 송도의 하부조간대에서 관찰된 Holothuroidean zone은 만경-동진 조간대에서 뚜렷이 구별되는 지역으로 존재하지 않고 *Mactra veneriformis*로 대표되는 동물군과 혼합되어 나타난다. 이러한 차이 이외에 만경-동진 조간대에서 관찰된 *Umbonium*, *Mactra chinensis*의 특성종이 송도조간대에서 뚜렷이 구별되지 않은 것도 하나의 특징이다. 이는 본 조사지역이 송도조간대에 비해 그 폭이 훨씬 넓어 해수면의 높이나 퇴적물 환경이 다르기 때문으로 사료된다. 특히 *Mactra chinensis*로 대표되는 동물군은 거전조사선의 하부조간대에서만 나타나는데 이 지역은 만경-동진 조간대에서 가장 낮은 곳에 위치하며 퇴적물 또한 조립하고 분급이 양호한 지역이다.

참고문헌

- 이윤호, 1987. 참방게(*Helice tridens sheni*)와 칠게(*Macrophthalmus japonicus*)의 서식환경에 대한 적응. 서울대 석사학위 논문, 59pp.
- 김기철, 정종률, 1988. 금강하구 염분전선의 변화 연구. 지구과학회지, 9: 101-107.
- Beukema, J. J., 1976. Biomass and species richness of the macro-benthic animals living on the tidal flats of the Dutch Wadden Sea. *Neth. J. Sea Res.* 10: 236-261.
- Brenchley, G. A., 1982. Mechanisms of spatial competition in marine soft-bottom communities. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 60: 17-33.
- Frey, R. W., J. S. Hong, J. D. Howard, B. K. Park and S. J. Man, 1987. Zonation of Benthos on a Macrotidal flat Incheon, Korea. *Senckenbergiana marit.* 19: 295-329.
- Folk, R. L. and W. C. Ward, 1957. Brazos River Bar. A study in the significance of grain-size parameters. *J. Sed. Pet.* 27: 3-27.
- Koh, C. H. and H. C. Shin, 1988. Environmental characteristics and distribution of macrobenthos in a mud-

- flat of the west coast of Korea (Yellow sea). *Neth. J. Sea Res.*, **22**: 279-290.
- Levinton, J.S., 1982. *Marine Ecology*, Prentice Hall, inc., Englewood Cliffs, 526pp.
- Newell, B., 1965. The role of detritus in the nutrition of two marine deposit-feeders, the prosobranch *Hydrobia ulva* and the bivalve *Macoma balthica*. *Proc. Zool. Soc. London.*, **142**: 85-106.
- Quammen, M.L., 1984. Predation by shore birds, fish, and crabs on Invertebrates in intertidal mudflats: An Experimental test. *Ecology*, **65**(2): 529-537.
- Salzwedel, H., E. Rachor and D. Gerdes, 1985. Benthic macrofauna communities in the German Bight. *Veröff. Inst. Meeresforsch. Bremerh.*, **20**: 199-267.
- Swinbanks, D. D., and J. W. Murray, 1981. Biosedimentological zonation of Boundary Bay tidal flats, Fraser River Delta, British Columbia. *Sedimentology*, **28**: 201-237.
- Sanders, H.L., 1958. Benthic studies in Buzzards Bay. I. Animal-Sediment Relationships. *Limnol. Oceanogr.*, **3**: 245-258.
- Shannon, C.E. and W. Weaver, 1949. *The Mathematical theory of communication*. University of Illinois press, Urbana, 117pp.
- Tunncliffe, V., and M.J. Risk., 1977. Relationships between the bivalve *Macoma balthica* and bacteria in intertidal sediments: Minasbasin, Bay of Fundy. *J. Mar. Res.*, **35**: 499-507.
- Virnstein, R.W., 1977. The importance of predation by crabs and fishes on benthic infauna in Chesapeake Bay. *Ecology*, **58**: 1199-1217.
- Whidatch, R. B., 1981. Animal-sediment relationships in intertidal marine benthic habitats: some determinants of deposit-feeding species diversity. *J. Exp. Biol. Ecol.*, **53**: 31-45.

Accepted March 18, 1992