

부유물질이 패류, 어류 및 해조류에 미치는 생물학적 영향에 관한 고찰

이경선*†

* 목포해양대학교 환경·생명공학과

Review on the Biological Effects of Suspended Solids on Shellfish, Fish, and Seaweed

Kyoung-Seon Lee*

* Department of Environmental Engineering and Biotechnology, Mokpo National Maritime University, Mokpo, 530-729, Korea

요 약 : 연안에서 발생하는 부유물질에 의한 해양생물영향을 평가하기 위한 기초자료를 제공하기 위하여, 유용 해양생물(패류, 어류, 해조류 등)에 대한 부유물질의 영향에 관한 문헌을 수집하고 분석하였다. 1) 부유물질에 의한 해양생물들의 영향에 관한 논문은 주로 패류에 대해서 이루어져 있다. 2) 해양생물에 대한 부유물질의 영향은 주로 급성독성에 대해서 조사가 이루어져 있다. 3) 부유물질에 의한 영향 실험은 성패와 치패기의 패류, 난 및 치어기의 어류에 집중되어 있으며, 해조류는 포자를 이용한 연구가 주로 이루어졌다. 부유물질에 의한 생물학적 영향은 부유물질의 농도, 노출기간, 생물의 성장단계에 따라 다양하게 나타날 것이며, 이에 대한 검토는 부유물질의 영향에 대한 이해를 향상시킬 것이다.

핵심용어 : 부유물질, 생물학적 영향, 이매패류, 어류, 해조류

Abstract : In order to obtain basic informations about impact assessment of marine life by suspended solids in coastal waters, the survey about recent study related with suspended solids effects on exploitable marine life (shellfish, fish, seaweed.) was tried. 1) The paper concerning impacts of suspended solids on marine life has been mainly focused on shellfish. 2) Effects of suspended solids on marine life mainly investigated for acute toxicity. 3) Experiments with suspended solids are intended on adult and juvenile in shellfish, egg and juvenile in fish, and spores in seaweed. Biological impacts of suspended solids can vary depending on concentrations, duration, and life stage, and these informations would improve a knowledge of the effects of suspended solids on marine life.

Key Words : Suspended solids, Biological impacts, Shellfish, Fish, Seaweed

1. 서론

연안에서는 항만 및 연안개발사업, 산업폐수의 유입, 토사투기 등에 의하여 육상 기원의 토사가 유입되어 부유물질농도는 상승하게 된다. 특히 하구역에 위치한 댐은 수문 개방에 의하여 방류가 일어나면서 연안에서는 부유물질의 농도가 일시적으로 상승하는 등의 급격한 환경변화가 일어난다(Moon et al., 1991; Tazaki et al., 2002). 또한 연안 관리를 위하여 지속적으로 이루어지는 준설이나 연안으로의 선박운항이 증가하고 장기간 연안에서 정박하게 됨으로써 퇴적층으로부터 부유물질이 부유하게 되면서 연안 환경에 큰

변화를 초래하게 된다.

연안 환경에서 부유물질에 의한 탁도의 증가는 광 투과량을 감소시켜 1차생산량에 영향을 미치며 부유물질의 침착에 의해 부착기질이 감소되고 서식처가 파괴됨으로써 저서 생물들의 생태-생리적 영향을 증가시키는 요인이 될 수 있으며, 장기적으로는 대량 폐사를 일으켜 어업 피해를 초래할 수 있다(Ohata et al., 2011). 따라서 부유물질이 연안 환경과 생태계에 미치는 영향은 간과될 수 없으며 적절한 관리가 없으면 부유물질에 의한 영향은 심화될 가능성이 높기 때문에, 부유물질에 의한 생물영향에 대한 검토는 연안 생태관리 계획수립에 있어서 중대한 비중을 차지한다고 할 수 있겠다.

부유물질에 대한 영향은 부유물질발생이 빈번히 발생하

† kslee@mmu.ac.kr, 061-240-7317

는 강하구에서의 생태계 변동 등에 대해 종합적으로 고찰되었으나(Newcombe and MacDonald, 1991; Willber and Clarke, 2001; Berry et al., 2003; Bilotta and Brazier, 2008), 많은 연구가 담수역에 서식하는 송어류나 연어류를 대상으로 하여 이루어져 있다. 이에 본 연구에서는 연안에 서식하는 유용 해양생물에 미치는 부유물질의 영향에 대해 알아보기 위하여 부유물질에 대한 생물검정에 관한 연구결과들을 중심으로 부유물질과 관련된 최근 연구 조사 자료를 분석하고 검토하여 연안에서의 부유물질 농도 증가가 서식생물에 미치는 영향을 평가하기 위한 기초정보를 제시하고자 한다.

2. 연구방법

2.1 조사항목 및 범위

본 연구에서 실시한 조사항목 및 범위는 다음과 같다.

1) 조사항목

부유물질이 해양생물에 미치는 영향에 대한 문헌조사를 실시하였다. 수계의 존재하는 부유물질에 대한 영향에 대해서 국내논문과 국외논문 자료를 검색하였다.

2) 대상종

본 조사에서 대상으로 하는 종은 연안에 서식하는 유용 해양생물로 한정하고 정보수집을 실시하였다.

- ① 패류
- ② 어류
- ③ 해조류

2.2 조사방법

1) 검색에 사용한 데이터베이스

검색 대상으로 한 데이터베이스의 종류는 다음과 같다. 검색기간은 제한하지 않았다.

- ① 국내논문 : KISS(한국학술정보), DBPIA(누리미디어), 국회도서관
- ② 외국논문 : Science Direct, Springer
- ③ 웹사이트 : google, yahoo

2) 검색방법

상기 데이터베이스에 대해서 이하의 키워드에 의한 검색을 실시하였다. 데이터베이스의 검색에 의해 얻어진 문헌리스트에서 본 조사의 목적에 부합하다고 판단되는 문헌을 수집하여 해양생물과 연관된 문헌들을 분류하였다. 검색키워드에 대해서 한국어, 영어, 일어를 사용하였다.

- ① 한국어 키워드 : [부유물질], [부유토사], [현탁물질], [부니]
- ② 영어 키워드 : [SS], [suspended solid], [suspended sediment]
- ③ 일어 키워드 : [浮遊物質], [浮遊土砂], [浮泥], [懸濁物質]

3) 자료 정리 방법

해양생물 종류별로 부유물질에 대한 총괄표를 작성하였다.

3. 부유물질의 정의 및 측정방법

부유물질(suspended solids)는 수계에 존재하는 부유물질을 의미하며 부유물질과 관련된 용어로 SS(suspended solids, suspended sediments), 부니, 부유토사, 현탁물질 등의 용어가 사용된다.

수계에 존재하는 부유물질량과 관련하여 측정하는 방법에는 부유물질량(SS, mg/L)과 탁도(turbidity, NTU) 및 투명도(transparency, 수심)가 서로 연관되어 사용되고 있다(Bilotta and Brazier, 2008).

투명도는 해수의 투명한 정도를 나타내는 지표로서, 통상 세키디스크(secci disk, 투명도판)라 불리는 직경 30 cm의 백색이고 평탄한 원판을 수중에 내리고 위에서 보았을 때 보이지 않을 때의 깊이로 투명도를 나타낸다. 투명도는 해수의 청탁 외에 표면의 파랑, 기상상태, 일사 등의 영향을 받으며, 수계에 존재하는 고형물질이나 용존물질 등에 의하여 영향을 받는다.

탁도는 물속에 현탁되어 있거나 용존되어 있는 미립토사, 니질성분, 유기물질, 플랑크톤, 오염 화학물질들에 의해 나타나는 광 산란도 특성에 의해 물의 광학적 특성을 나타내는 지표로써, Nephelometric turbidimeters로 측정하는데 측정단위로 Nephelometric turbidity units (NTU)를 사용한다. 탁도는 자원관리 측면에서 널리 사용되고 있으며, 사용 편이함 때문에 널리 사용되기는 하나 현탁 부유물질량을 직접 측정하는 것이 아니라 단지 현탁되어 있는 부유물질과 관련되어 있는 용어로 부유물질의 크기, 종류등과 관련된 부유물질 농도를 직접적으로 나타내는 것은 아니다(Bilotta and Brazier, 2008).

부유물질량은 해안침식, 영양염 이동, 산업적 폐기물의 유입 등과 관련되어 고려되는 용어으로써, 수계로 유입된 토사 미립자나 니질 등의 양에 의해 결정된다. SS는 채수한 시료를 0.7 μm 공극의 글라스 필터로 여과한 후 건조시켜 무게를 측정해서 시료 1 L에 포함되어지는 고형물의 양(mg/L)으로 나타낸다. 부유물질량은 탁도와 비교하여 시간 및 경제적 비용이 높다는 것이 단점이다. 수계에서 발생하는 부유물질에 대한 영향을 고려하기 위해서는 부유물질의 지속시간, 발생하는 부유물질의 평균 농도, 부유물질 퇴적특성 및 부유물질에 포함되어 있는 유기물 함량등에 대해 함께 고려

Table 1. Definitions of total suspended solids, turbidity, and water clarity(modified from table Bash et al., 2001)

Total suspended solids	Turbidity	Transparency
<ul style="list-style-type: none"> • The amount of suspended sediment in the water • Actual measure of mineral and organic particles transported in the water • Unit: mg/L • Components: <ul style="list-style-type: none"> - sediment (0.7 μm~63 μm) - Detrital organic matter (>0.7 μm) 	<ul style="list-style-type: none"> • Optical property of water • Measure of the refractory characteristics of material in the water • Unit: NTU • Components: <ul style="list-style-type: none"> - Sediment (0.7 μm~63 μm) - Algal cells (>0.1 μm) - Dissolved humic substances (<0.45 μm) - Dissolved minerals (<0.45 μm) - Detrital organic matter (All sizes) 	<ul style="list-style-type: none"> • Water clarity • Measure of visual distance in the water column • Measured with a secchi disk • Unit: water depth (m)

할 필요가 있다(Hewitt et al., 2001). 특히 부유물질에 의해 해양생물에 영향을 미치는 수준을 결정하는 것은 매우 어렵는데, 탁도의 측정은 지질·수리학적 조건, 측정과 관련한 기기와 반복측정에 대한 신뢰도 등에 의해 영향을 받게 되며, 탁도 측정과 부유물질량과의 불이치 되는 점 및 탁도계의 신뢰성은 해양생물에 미치는 영향을 결정하는데 중요하다(Bash et al., 2001). Table 1에서 부유물질량과 탁도 및 투명도에 대한 용어의 정의에 대해서 Bash et al.(2001)을 참조해서 재구성하여 나타내었다.

4. 해양생물에 대한 부유물질의 영향

4.1 연안수역 서식 패류에 미치는 영향

연안수역은 부유물질의 유입 및 퇴적층으로부터의 부유에 의하여 부유물질의 농도가 증가하게 되면 먹이생물상의 변화 및 질적 저하로 무척추동물의 섭식변화 및 성장저해를 일으키게 된다. 또한, 부유물질이 저질층으로 퇴적함으로써 저질층의 질적 저하 및 용존산소(DO) 감소에 의해 서식처의 환경변화가 발생하여 부유물질에 대한 무척추동물의 내성이 낮아지고 무척추동물 군집내의 종밀도를 감소시키며 종다양성을 감소시키게 됨으로 해서 연안 수역의 무척추동물 군집변화를 일으키게 된다(Quinn et al. 1992; Ellis et al, 2002). 부유물질에 대한 연구는 먹이를 여과해서 섭취하는 습성으로 인하여 수중의 높아진 부유물질에 의해 직접적인 영향을 받는 것으로 알려진 패류에 대해서 많은 연구가 진행되어 있으며, 특히 바지락, 백합과 같은 백합목(Order Veneroida)류에 대한 부유물질의 영향 연구가 많이 수행된 것으로 나타났다. 패류에 대한 부유물질의 영향에 관한 자료를 Table 2에 정리하였다. 부유물질의 급성독성영향(폐사율)을 위한 실험조건으로 설정된 부유물질농도는 굴을 대상으로 하여 3000 mg/L의 고농도에서도 이루어졌으며, 실험기간은 100 mg/L의 저농도에서는 최장 65일, 1000 mg/L 이상의 고농도에서는 96

시간 측정이 이루어지기도 하였다. 부유물질에 대한 패류의 민감성을 비교하기에는 각 논문들이 사용한 부유물질의 농도나 실험기간 및 성장단계가 상이하여 직접적인 비교는 어려우나, 패류에 대한 부유물질의 반수치사농도(LC₅₀)는 전복 *Haliotis discus hannai* 치패의 경우 7d-LC₅₀이 1887.7 mg/L (Yoon and Park, 2011), *Nordotis discus* 치패의 4d-LC₅₀이 546.74 mg/L (Chung et al., 1993)을, *Scapharca broughtonii* 치패의 15d-LC₅₀은 274.55 mg/L (Chung et al., 1994), 바지락 *Tapes philippinarum*은 25d-LC₅₀이 692.09 mg/L (Chin et al., 1998)을 나타냈다. 동족 *Macra veneriformis*, 가무락 *Cyclina sinensis*, 백합 *Meretrix lusoria*은 1000 mg/L 농도에서 50% 폐사에 이르는 시간이 각각, 37일, 42일 및 50~51일이었으며(Chang and Chin, 1978), 굴 *Crassostrea virginica*은 1000~1500 mg/L 농도에서 12일 동안 50%의 폐사율을 보이고(Davis and Hidu, 1969), 녹색담치 *Perna viridis*는 1000 mg/L 농도에서 14일 동안 폐사가 일어나지 않았는데(Cheung and Shin, 2005), 이러한 결과로부터 담치류가 부유물질에 대한 내성이 다른 종보다 강한 것으로 보인다. 패류의 수정란이나 유생을 대상으로 하는 연구는 매우 제한되어 있는데, *C. virginica*의 수정란은 1500 mg/L에서 100% 폐사하였으며(Loosanoff, 1962; Davis and Hidu, 1969), 188 mg/L 이상의 농도에서 발생이 저해되었다(Davis and Hidu, 1969). *Venus mercenaria*의 수정란은 3000 mg/L에서 100% 폐사하였으며, *C. virginica*보다 높은 농도인 750 mg/L 농도에서 발생이 저해되는 개체들이 나타나서, 굴(*C. virginica*)의 수정란이나 유생은 백합(*V. mercenaria*)보다 부유물질에 의한 영향이 큰 것으로 나타났다.

패류에 나타나는 생리적 저해현상은 부유물질농도 증가에 따라 여과율의 저하(Davis and Hidu, 1969; Kiorboe et al., 1981; Bricelj and Malouf, 1984; Jones et al., 2002), 섭이율의 감소(Nicholls et al., 2003), 산소소비율 증가(Grant and Thorpe, 1991; MacDonald et al., 1998), 대사율 저하(Lee, 1994; Chin et al., 1998; Chung et al., 1994) 및 성장저하(Bricelj et al., 1984;

Table 2. Summary of data on effects of suspended solids on shellfish and invertebrate

Species	Life stages	Maximum Concentration	Duration of exposure	Responses	References
Korean studies					
<i>Tapes philippinarum</i> (Manila clam)	adult	100 mg/L	25 days	mortality, metabolism	Chin et al.(1998)
<i>Tapes philippinarum</i> (Manila clam)	adult	100 mg/L	15 days	filtration rate	Cho(2004)
<i>Scapharca broughtonii</i> (Ark shell)	juvenile	1000 mg/L	15 days	mortality, metabolism	Chung et al.(1994)
<i>Meretrix lusoria</i> (hard clam)	adult	1000 mg/L	46 days	mortality, oxygen consumption	Chang et al.(1976)
<i>Meretrix lusoria</i> (hard clam)	adult	1000 mg/L	45 days	mortality, shell movement	Chang and Chin(1978)
<i>Cyclina sinensis</i> (Venus clam)	adult	1000 mg/L	35 days	mortality, shell movement	Chang and Chin(1978)
<i>Macraa veneriformis</i> (Surf clam)	adult	1000 mg/L	35 days	mortality, shell movement	Chang and Chin(1978)
<i>Macraa veneriformis</i> (Surf clam)	adult	250 mg/L	23 days	metabolism	Lee(1994)
<i>Mytilus edulis</i> (Mussel)	adult	5 mg/L	1 day	attaching ability	Cho et al.(2003)
<i>Crassostrea virginica</i> (Oyster)	adult	20 mg/L	-	respiration rate	Cho et al.(2003)
<i>Pinctada fucata</i> (Pearl oyster)	adult	(Kaolin) 10 mg/L	-	filtration rate	Cho et al.(2003)
<i>Patinopecten yessoensis</i> (Scallop)	adult	600 mg/L	41 days	mortality	NFRDI(2010)
<i>Patinopecten yessoensis</i> (Scallop)	adult	600 mg/L	6 days	oxygen consumption, blood property	NFRDI(2010)
<i>Haliotis discus hannai</i> (Abalone)	juvenile	2000 mg/L	4 days	mortality, glycogen content	Lee(2008)
<i>Haliotis discus hannai</i> (Abalone)	juvenile	4000 mg/L	7 days	mortality	Yoon and Park(2011)
<i>Nordotis discus</i> (Abalone)	juvenile	1000 mg/L	4 days	mortality	Chung et al.(1993)
International studies					
<i>Meretrix lusoria</i> (Hard clam)	juvenile	44 mg/L	4 days	filtration rate, pseudofeces	Bricelj and Malouf(1984)
<i>Meretrix lusoria</i> (Hard clam)	juvenile	44 mg/L	21 days	growth	Bricelj et al.(1984)
<i>Venus mercenaria</i> (Hard clam)	egg, larva	4000 mg/L	12 days	mortality, growth	Davis and Hidu(1969)
<i>Mytilus edulis</i> (Mussel)	juvenile	40 mg/L	28 days	growth, filtration rate, pseudofeces	Kiorboe et al.(1981b)
<i>Mytilus edulis</i> (Mussel)	juvenile	150 mg/L	1 day	feeding rate, growth rate	Hawkins et al.(1996)
<i>Mytilus galloprovincialis</i> (Mussel)	larva	20000 mg/L	13 days	mortality, growth rate	Seaman et al.(1991)
<i>Atrina zelandica</i> (Pen shell)	adult	500 mg/L	11 days	feeding rate	Ellis et al.(2002)
<i>Atrina zelandica</i> (Pen shell)	adult	500 mg/L	24 hours	feeding behavior	Hewitt and Pilditch(2004)
<i>Atrina pectinata</i> (Pen shell)	adult	800 NTU	14 days	mortality, glycogen content	Yurimoto et al.(2008)
<i>Perna viridis</i> (Green mussel)	adult	2000 mg/L	28 days	mortality	Shin et al.(2002)
<i>Perna viridis</i> (Green mussel)	adult	2000 mg/L	14 days	mortality, gill damage	Cheung and Shin(2005)
<i>Crassostrea virginica</i> (Oyster)	egg, larva	4000 mg/L	12 days	mortality, growth	Davis and Hidu(1969)
<i>Crassostrea gigas</i> (Oyster)	adult	(silt, kaolin, chalk) 4000 mg/L	2 days	pumping rate, mortality	Loosanoff(1962)
<i>Crassostrea gigas</i> (Oyster)	egg	1500 mg/L	2 days	mortality	Loosanoff(1962)
<i>Saccostrea commercialis</i> (Oyster)	adult	600 mg/L	1 day	filtration rate	Jones et al.(2002)
<i>Placopecten magellanicus</i> (Scallop)	juvenile	14 mg/L	5 days	filtration rate, pseudofeces, growth	Bacon et al.(1998)
<i>Placopecten magellanicus</i> (Scallop)	juvenile	14 mg/L	5 days	growth	MacDonald et al.(1998)
<i>Paphies australis</i> (Scallop)	adult	20-750 mg/L	14 days	mortality, nucleic acid	Norkko et al.(2006)
<i>Paphies australis</i> (Scallop)	adult	20-750 mg/L	14 days	feeding, filtration rate	Hewitt and Norkko(2007)
<i>Pecten novaezelandiae</i> (Scallop)	adult	750 mg/L	14 days	mortality, immersion time, filtration rate	Nicholls et al.(2003)
<i>Austrovenus stutchburyi</i> (Cockles)	adult	15-750 mg/L	14 days	feeding, filtration rate	Hewitt and Norkko(2007)
<i>Austrovenus stutchburyi</i> (Cockles)	juvenile	800 mg/L	14 days	feeding rate, growth rate	Hewitt et al.(2001)
<i>Austrovenus stutchburyi</i> (Cockles)	adult	20-750 mg/L	14 days	mortality, nucleic acid	Norkko et al.(2006)
<i>Mya arenaria</i> (Soft shell clam)	juvenile	14 mg/L	5 days	filtration rate, pseudofeces	Bacon et al.(1998)
<i>Mya arenaria</i> (Soft shell clam)	juvenile	14 mg/L	5 days	feeding	MacDonald et al.(1998)
<i>Mya arenaria</i> (Soft shell clam)	juvenile	2000 mg/L	35 days	growth, oxygen consumption, O/N rate	Grant and Thorpe(1991)
<i>Abra nitida</i> (clam)	juvenile, adult	30 NTU	35 days	feeding	Ekelund et al.(1987)
<i>Spisula solidissima</i> (surf clam)	adult	1000 mg/L	21 days	feeding, digestive efficiency rate	Robinson et al.(1984)
<i>Macomona liliana</i> (Wedge shell)	adult	750 mg/L	14 days	mortality, immersion time	Nicholls et al.(2003)
<i>Macomona liliana</i> (Wedge shell)	juvenile	800 mg/L	14 days	growth rate	Hewitt et al.(2001)
<i>Paphies australis</i> (Pipi)	juvenile	800 mg/L	14 days	feeding rate	Hewitt et al.(2001)
<i>Nordotis discus</i> (Black abalone)	juvenile	1000 mg/L	4 days	mortality, respiration	Chung et al.(1993)
<i>Haliotis iris</i> (Abalone)	larva	73.5 mg/L	9 days	mortality, settlement	Phillips and Shima(2006)

MacDonald et al., 1998) 등이 나타났으며, 부유물질농도가 증가한 환경에서 패류의 아가미에 미세 토사입자가 부착하여 호흡장애를 일으키기도 하고, 아가미가 막혀 섭식활동을 하지 못한 결과 폐사에 이르게 되었다(Lee, 1994; Shin et al., 2002; Norkko et al., 2006). 그러나 일부 종에서는 작은 부유물질입자를 먹이로써 여과섭취하여 양호한 성장을 나타내기도 하였다(Kiorboe et al., 1981b; Ellis et al., 2002). 또한 수온 상승은 부유물질에 대한 민감도를 증가시켰다(Chung et al., 1994; Cho, 2004). 부유물질의 퇴적으로 기인한 저질 환경 변화는 패류의 잠입 기피현상을 발생시켜 사망에 이르게 되고 결국 패류의 생식범위를 제한하는 요인으로 작용하였다(Ellis et al., 2002; Nicholls et al., 2003).

4.2 연안수역의 서식 어류에 미치는 영향

어류는 서식처 주변의 환경이 변하게 되면, 내성한계 이하의 환경에서는 체내 적응과정을 거치면서 환경에 순화되기 때문에 외부의 환경자극에 대한 생리, 생태적 영향은 거의 받지 않으나 급작스런 수질악화로 인해 환경이 변화되면 이에 따른 자극으로 인해 심한 스트레스를 받게 된다. 성어의 경우 일시적으로 본래의 서식처를 떠나 다른 곳으로 회피하는 행동으로 그 영향으로부터 벗어날 수 있으나, 이동 능력이 적은 저서어류나 자치어 등은 환경변화에 의한 잠재적인 생리 생태적 영향을 받을 가능성이 높다.

어류에 대한 부유물질의 영향은 주로 담수역에 서식하는 연어류에 대해서 많은 연구가 이루어져 있다(Bash et al., 2001;

Table 3. Summary of data on effects of suspended solids on fish

Species	Life stages	Maximum Concentration	Duration of exposure	Responses	References
Korean studies					
<i>Acanthogobius flavimanus</i> (Yellowfin goby)	adult	10000 mg/L	28 days	mortality, metabolic activity	Chin et al.(1998)
<i>Paralichthys olivaceus</i> (Flounder)	juvenile	2000 mg/L	7 days	mortality	Yoon and Park(2011)
<i>Acanthopagrus schlegeli</i> (Black seabream)	juvenile	400 mg/L	7 days	avoidance behavior, growth rate	Cho et al.(2003)
<i>Acanthopagrus schlegeli</i> (Black seabream)	egg	(clay) 200 mg/L	3 days	mortality	Cho et al.(2003)
<i>Pagrus major</i> (Red seabream)	egg	200 mg/L	3 days	mortality	Cho et al.(2003)
<i>Oplegnathus fasciatus</i> (Rock bream)	egg	50 mg/L	3 days	mortality	Cho et al.(2003)
<i>Takifugu porphyreus</i> (Puffer)	egg	600 mg/L	10 days	mortality	Cho et al.(2003)
<i>Sebastes pachycephalus</i> (Rock fish)	juvenile	1000 mg/L	-	avoidance behavior	Cho et al.(2003)
<i>Trachurus japonicus</i> (Japanese jack mackerel)	juvenile	180 mg/L	-	avoidance behavior	Cho et al.(2003)
<i>Sillago japonica</i> (Japanese sea perch)	juvenile	1000 mg/L	-	avoidance behavior	Cho et al.(2003)
<i>Seriola quinqueradiata</i> (Yellow tail)	juvenile	100 mg/L	15 days	avoidance behavior, growth rate	Cho et al.(2003)
<i>Hexagrammos otakii</i> (Greenling)	larva	(clay) 200 mg/L	10 days	growth rate	Cho et al.(2003)
<i>Lateolabrax japonicus</i> (Sea bass)	juvenile	50 mg/L	7 days	mortality, growth rate	Cho et al.(2003)
<i>Pseudopleuronectes yokohamae</i> (Marbled flounder)	adult	100 mg/L	10 days	mortality, avoidance behavior	Cho et al.(2003)
International studies					
<i>Paralichthys olivaceus</i> (Flounder)	juvenile	100000 mg/L	4 days	mortality	Baba et al.(2006)
<i>Paralichthys olivaceus</i> (Flounder)	juvenile	300000 mg/L	4 days	mortality	Iwata et al.(2011)
<i>Epinephelus coioides</i> (Groupers)	juvenile	46 mg/L	10 days	mortality, DNA damage	Tse et al.(2010)
<i>Clupea pallasii</i> (Herring)	larvae	80 mg/L	-	prey attack, swimming activity	Utne-Palm(2004)
<i>Clupea pallasii</i> (Herring)	embryo, larva	250-500 mg/L	~1 day	mortality	Griffin et al.(2008)
<i>Clupea harengus</i> (Atlantic herring)	egg	300 mg/L	11 day	development	Kiorboe et al.(1981a)
<i>Clupea harengus</i> (Atlantic herring)	larva	8000 mg/L	~1 day	feeding rate	Boehlert and Morgan (1985)
<i>Alosa aestivalis</i> (Blueback herring)	egg	1000 mg/L	4 days	mortality, hatching success	Auld and Schubel(1978)
<i>Alosa sapidissima</i> (Yellow perch)	egg, larva	1000 mg/L	4 days	mortality, hatching success	Auld and Schubel(1978)
<i>Alosa pseudoharengus</i> (Alewife)	egg	1000 mg/L	4 days	mortality, hatching success	Auld and Schubel(1978)
<i>Acanthopagrus schlegelii</i> (Black seabream)	juvenile	1000 mg/L	10 days	gill damage	Li and Shen(2012)
<i>Morone saxatilis</i> (Striped bass)	egg	2300 mg/L	2 days	mortality, development	Morgan et al.(1973)
<i>Morone americanus</i> (White perch)	egg	5250 mg/L	2 days	mortality, development	Morgan et al.(1973)
<i>Sander vitreus</i> (Walleye)	egg	500 mg/L	3 days	hatching rate	Suedel et al.(2012)
<i>Opsanus tau</i> (Oyster toadfish)	adult	14600 mg/L	3 days	oxygen consumption, respiration rate, hematocrit, osmolality	Neumann et al.(1975)
<i>Trachurus japonicus</i> (Japanese jack mackerel)	juvenile	(kaolin) 300 mg/L	15 min	prey attack	Ohata et al.(2011)
<i>Seriola quinqueradiata</i> (Yellow tail)	juvenile	(kaolin) 300 mg/L	5 min	schooling behaviour	Ohata et al.(2013)
<i>Plecoglossus altivelis</i> (Ayu)	juvenile	(kaolin) 300 mg/L	5 min	schooling behaviour	Ohata et al.(2013)
<i>Engraulis japonicus</i> (Japanese anchovy)	juvenile	(kaolin) 300 mg/L	5 min	schooling behaviour	Ohata et al.(2013)

Bilotta and Brazier, 2008). 연어류는 부유물질 발생환경에서 수정란 발생 및 자어류의 발달이 저해되고 생존에 영향을 받게 되며, 아가미조직에 응집하여 아가미호흡을 저해시키고, 심각한 대사활동 저해현상을 유발하게 되어 결국 폐사가 발생하기도 하고, 면역력을 감소시키며 삼투압기능을 저하시키는 것으로 알려져 있다(Bash et al., 2001; Redding et al., 1987). 해산어류에 대한 부유물질의 영향은 연어류에 비하여 연구가 매우 미비하다. 국내외에서 부유물질에 대한 어류의 생리생태적 영향에 대해 보고된 연구들을 Table 3에 정리하였다. 해산어류의 반응은 주로 난 및 자치어를 대상으로 하여 폐사율에 대해서 조사되었다. 부유물질 노출에 따른 어류의 생물독성정도를 비교해 보면, 문절망둑 *Acanthogobius flavimanus*의 28d-LC₅₀은 2614 mg/L (Chin et al., 1998), 넙치 *Paralichthys olivaceus* 치어의 7d-LC₅₀은 156.9 mg/L이며(Yoon and Park, 2011), 점토광물질 smectite에 대한 넙치의 96h-LC₅₀은 37000 mg/L를 보였(Baba et al., 2006). 어류에 영향을 미치는 부유물질농도 및 기간은 어종에 따라 매우 다양하게 나타났는데, Iwata et al.(2011)은 부유물질을 구성하는 물질의 종류에 따라 어류에 미치는 영향이 다르게 나타나는 것에 주목하였다. pyrophyllite, kaolinite과 pyrophyllite 혼합물질, sericite 및 smectite의 4종류에 대해서 넙치를 대상으로 생물검정을 실시한 결과, pyrophyllite의 96h-LC₅₀은 44000 mg/L, kaolinite+pyrophyllite은 5000 mg/L, sericite는 79900 mg/L, smectite는 4000 mg/L로, 물질 종류에 따라 영향농도가 달라지는 것으로 나타났다. 부유물질환경에서 폐사한 어류는 아가미조직이 변형된 것이 관찰되었으며 아가미의 이차쇄변에 점토 광물질이 응집되어 있었던 결과로부터 부유물질에 의한 어류의 폐사는 아가미손상이 아니라 점토광물질에 의하여 아가미가 폐색되어 호흡 곤란이 일어나서 결국 폐사에 이르는 것으로 보았다(Baba et al. 2006). 그러나 Li and Shen(2012)는 감성돔 *Acanthopagrus schlegelii*을 10일 동안 노출시켰을 때 100 mg/L의 부유물질농

도에서는 큰 영향이 없었지만 1000 mg/L의 농도에서는 염류 세포의 변화 및 Na⁺-K⁺-ATPase의 활성저해 등의 아가미 손상이 발생하였으며, 자연해수로 치환시켜도 손상된 아가미는 완전히 회복되지 않았다고 보고했다. 또한, *Opsanus tau* 같은 어류는 14600 mg/L의 고농도의 부유물질 환경에서 3일간의 노출에도 호흡 및 혈액학적 특성에 큰 영향이 나타나지 않았다(Neumann et al., 1975). Newcombe and Jensen(1996)는 부유물질이 어류에 미치는 영향을 부유물질의 농도와 기간 및 생물반응을 모델에 적용시켜 상대적 영향정도를 종합적으로 정리하여, 부유물질 농도가 높을수록, 영향기간이 길수록 생물반응은 커진다고 보고하였다. 부유물질 발생은 어류의 행동에도 영향을 미치게 되는데, 먹이에 대한 공격력을 감소시키기도 하며(Ohata et al., 2011), 어류 자치어의 떼짓기 행동을 감소시켰다(Ohata et al., 2013).

어류에 대한 부유물질의 영향은 부유물질의 종류나 입자 크기 및 영향 기간 등에 의해서 영향 정도가 달라진다(Berry et al., 2003; Baba et al., 2006; Iwata et al., 2011). 또한 같은 종이라도 성장에 따라 부유물질에 대한 회피반응이 달라져서, 부유물질의 영향도 다르게 나타날 것이므로, 성장단계에 따른 부유물질의 영향 연구도 필요하다.

4.3 해조류에 미치는 영향

수계에 발생한 부유물질이 해조류에 미치는 영향에 관한 논문은 그 수가 한정되어 있으며 지금까지 이루어진 많은 연구는 갈피류(Eel grass, Seagrass)를 대상으로 하고 있으며, 주로 현장실험으로 이루어졌다(Moore et al., 1997; Longstaff and Dennison, 1999; Longstaff et al., 1999). 일반적으로 부유물질이 증가한 환경은 해수의 혼탁으로 인하여 수중광량이 감소하게 되고 이로 인하여 해조류는 광합성 작용에 저해를 받게 되고 부유물질이 해조의 엽상체에 침착되어 해조류의 광합성을 저해하며(Chang et al., 1983; Suzuki et al., 1997), 연

Table 4. Summary of data on effects of suspended solids on seaweed

Species	Life stages	Maximum concentration	Duration of exposure	Responses	References
Korean studies					
<i>Fucus serratus</i> (Fucus)	sporeling	20000 mg/L	5 days	survival	Yoo et al.(2010)
<i>Porphyra yezoensis</i> (Laver)	sporephyte	150 mg/L	25 days	photosynthetic rate	Chang et al.(1983)
International studies					
<i>Porphyra yezoensis</i> (Laver)	zoospore	(Kaolin) 3 mg/L	5 days	adhesion, germination	Suzuki et al.(1997)
<i>Undaria pinnatifida</i> (Sea mustard)	zoospore, gametophyte	(Kaolin) 50 mg/cm ²	12 days	germination, survival, maturation	Arakawa and Matsuike(1992)
<i>Undaria pinnatifida</i> (Sea mustard)	conchospore	(Kaolin) 100 mg/L	24 days	germination, adhesion	Suzuki et al.(1998)
<i>Laminaria saccharina</i> (Kelp)	sporephyte	0.1-0.2 cm covering	28 days	growth	Lyngby and Mortensen(1996)
<i>Macrocystis pyrifera</i> (Kelp)	gametophyte	10000 mg/L	16 days	germination, adhesion	Deviny and Volse(1978)
<i>Eisenia bicyclis</i> (Brown alga)	zoospore, gametophyte	(Kaolin) 50 mg/cm ²	12 days	mortality	Arakawa(2005)
<i>Ecklonia cava</i> (Brown alga)	zoospore, gametophyte	(Kaolin) 50 mg/cm ²	16 days	germination, survival, maturation	Arakawa and Matsuike(1992)
<i>Fucus serratus</i> (Fucus)	zygote	1-3 mm height	5 days	survival, growth	Chapman and Fletcher(2002)

안에 부유물질의 유입은 저농도 일지라도 해조류 유주자의 기질 착생을 저해시키게 된다(Arakawa and Matsuike, 1992; Arakawa, 2005; Suzuki et al., 1997). 또한 부유물질 발생 환경이 장기간 계속되면 해조류의 성장이 둔화되거나 폐사시키게 되며, 해조류의 분포를 제한하게 된다(Thirb and Benson-Evans, 1985; Umar et al., 1998). Table 4에 부유물질이 해조류에 어느 정도 영향을 미치는가에 대해 조사한 결과를 나타내었다. 해조류의 생육에 영향을 미치는 부유물질농도는 미역 *Undaria pinnatifida*이 1~1.5 mg/L, 김 *Porphyra yezoensis*이 10 mg/L로 미역은 부유물질의 피복 및 퇴적에 대한 저항성이 김보다 약한 것으로 알려져 있다(Suzuki et al., 1998). 그러나 포자의 착생저해를 일으키는 부유물질농도는 미역 20 mg/L, 김이 1 mg/L로 김이 미역보다 저해농도가 낮게 나타났다. 이러한 결과는 해조류의 생활사에 따라 영향정도가 다르게 나타날 가능성을 의미하겠다. 부유물질에 대한 해조류의 생리적 저해의 정도는 수중 광량변화 및 부유물질의 농도, 노출기간, 입자 크기 등과 상호작용 및 생육단계에 따른 고려가 있어야 할 것으로 보인다.

4. 결론

연안에서 발생하는 부유물질 농도 증가가 서식생물에 미치는 영향을 검토한 결과를 정리하면 다음과 같다.

- 1) 부유물질에 의한 해양생물들의 영향에 관한 논문은 패류에 대한 연구가 가장 많이 이루어져 있다.
- 2) 해양생물에 대한 부유물질의 영향은 주로 급성독성에 대해서 조사가 이루어져 있다.
- 3) 부유물질에 의한 영향 실험은 성패기와 치패기의 패류, 난 및 치어기의 어류에 집중되어 있으며, 해조류는 포자를 이용한 연구가 주로 이루어졌다.
- 4) 이매패류 및 어류의 생리적 반응에 대해서는 주로 호흡저해와 관련되어 조사되었으며, 해조류는 기질 착생 및 광합성 저해에 대해서 조사되었다.

부유물질에 의한 생물학적 영향은 부유물질의 농도, 노출기간, 생물의 성장단계에 따라 다양하게 나타날 것이며, 이에 대한 검토는 부유물질의 영향에 대한 이해를 향상시킬 것이다.

References

- [1] Arakawa H.(2005), Lethal effects caused by suspended particles and sediment load on zoospores and gametophytes of the brown alga *Eisenia bicyclis*, Fisheries Science, Vol. 71, pp. 133-140.
- [2] Arakawa, H. and K. Matsuike(1992), Influence on insertion of zoospores, germination, survival, and maturation of gametophytes of brown algae, exerted by sediments, Nippon Suisan Gakkaish, Vol. 58, pp. 619-625.
- [3] Auld, A. H. and J. R. Schubel(1978), Effects of suspended sediment on fish eggs and larvae: a laboratory assessment, Estuarine and Coastal Marine Science, Vol. 6, pp. 153-164.
- [4] Baba, Y., K. Kawana, T. Handa, N. Iwata and K. Namba(2006), Eco-Physiological effects of suspended solids on fish-Effects of smectite on the survival of Japanese flounder *Paralichthys olivaceus*, Nippon Suisan Gakkaishi, Vol. 72, pp. 408-413.
- [5] Bacon, G. S., B. A. MacDonald and J. E. Ward(1998), Physiological responses of infaunal (*Mya arenaria*) and epifaunal (*Placopecten magellanicus*) bivalves to variations in the concentration and quality of suspended particles. I. Feeding activity and selection, Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, Vol. 219, pp. 105-125.
- [6] Bash, J., C. Berman and S. Bolton(2001), Effects of turbidity and suspended solids on salmonids. Final research report, Washington State Transportation Center, USA, pp. 1-66.
- [7] Berry W., N. Rubinstein and B. Melzian(2003), The biological effects of suspended and bedded sediment (SABS) in aquatic systems: A review, Internal EPA report, <http://www.epa.gov/waterscience/criteria/sediment/pdf/>, pp. 1-58.
- [8] Bilotta, G. S. and R. E. Brazier(2008), Understanding the influence of suspended solids on water quality and aquatic biota, Water Research, Vol 42, pp. 2849-2861.
- [9] Boehlert, G. W. and J. B. Morgan(1985), Turbidity enhances feeding abilities of larval Pacific herring, *Clupea harengus pallasi*, Hydrobiologia, Vol. 123, pp. 161-170.
- [10] Bricelj, V. M. and R. E. Malouf(1984), Influence of algal and suspended sediment concentrations on the feeding physiology of the hard clam *Mercenaria mercenaria*, Marine Biology, Vol. 84, pp. 155-165.
- [11] Bricelj, V. M., R. E. Malouf and C. de Quillfeldt(1984), Growth of juvenile *Mercenaria mercenaria* and the effect of resuspended bottom sediments, Marine Biology, Vol. 84, pp. 167-173.
- [12] Chang, S. D., P. Chin and B. O. Sung(1976), Effect of silt and salinity on the mortality of *Meretrix lusoria* (Röding), Bulletin of the Korean Fisheries Society, Vol. 9, pp. 69-73.
- [13] Chang, S. D. and P. Chin(1978), Effects of suspended silt and

- clay on the mortality of some species of bivalves, Bulletin of the Korean Fisheries Society, Vol. 11, pp. 227-231.
- [14] Chang, S. D., P. Chin and K. Y. Park(1983), Effects of temperature, salinity, and silt and clay on the rate of photosynthesis of laver, *Porphyra yezoensis*, Bulletin of the Korean Fisheries Society, Vol. 16, pp. 335-340.
- [15] Chapman, A. S. and R. L. Fletcher(2002), Differential effects of sediments on survival and growth and growth of *Fucus serratus* embryos (*Fucales*, *Phaeophyceae*), Journal of Phycology, Vol. 38, pp. 894-903.
- [16] Cheung, S. G. and P. K. S. Shin(2005), Size effects of suspended particles on gill damage in green-lipped mussel *Perna viridis*, Bulletin of Marine Pollution, Vol. 51, pp. 801-810.
- [17] Chin P., Y. K. Shin, H. S. Kim and O. Y. Chang(1998), Effects of suspended solids on mortality, respiration and feeding behavior of marine animals, Bulletin of the Korean Fisheries Society, The Korean Fisheries Society 1998 program, pp. 316-317.
- [18] Cho, K. W., J. H. Maeng, B. S. Shin and B. J. Kim(2003), Studies on Improvement of Costal Flow and Suspend Predictions in the Coastal Zone Developments, KEI, RE-19, pp. 29-37.
- [19] Cho, Y. M.(2004), Variation of filtration rate of the short-necked clam, *Ruditapes philippinarum*, with concentration of suspended solid, Master Thesis, Yosu University, pp. 1-95.
- [20] Chung, E. Y., Y. K. Shin and J. H. Lee(1993), Effects of silt and clay on respiration and mortality of the abalone, *Nordotis discus*, The Korean Journal of Malacology, Vol. 9, pp. 23-29.
- [21] Chung, E. Y., Y. K. Shin and J. H. Lee(1994), Effects of suspended sediment on metabolism of *Scapharca broughtonii*, The Korean Journal of Malacology, Vol. 10, pp. 55-63.
- [22] Davis, H. C. and H. Hidu(1969), Effects of turbidity producing substances in sea water on eggs and larvae of three genera of bivalve mollusks, The Veliger, Vol. 11, pp. 316-323.
- [23] Devigny J. S. and L. A. Vorse(1978), Effects of sediments on the development of *Macrocystis pyrifera* gametophyte, Marine Biology, Vol. 48, pp. 343-348.
- [24] Ekelund, R., A. Granmo, M. Berggren, L. Renberg and C. Wahlberg(1987), Influence of suspended solids on bioavailability of hexachlorobenzene and lindane to the deposit-feeding marine bivalve, *Abra nitida* (Muller), Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, Vol. 38, pp. 500-508.
- [25] Ellis, J., V. Cummings, J. Hewitt, S. Thrush and A. Norkko(2002), Determining effects of suspended sediment on condition of a suspension feeding bivalve (*Atrina zelandica*): results of a survey, a laboratory experiment and a field transplant experiment, Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, Vol. 267, pp. 147-174.
- [26] Grant, J. and B. Thorpe(1991), Effects of suspended sediment on growth, respiration, and excretion of the soft-shell clam (*Mya arenaria*), Canadian Journal of Fisheries and Aquacultural Science, Vol. 48, pp. 1285-1292.
- [27] Griffin, F. J., E. H. Smith, C. A. Vines and C. N. Cherr(2008), Impacts of suspended sediments on fertilization, embryonic development, and early larval life stages of the Pacific herring, *Clupea pallasii*, A report to the US Army Corps of engineers and the long-term management strategy environmental windows science work group, pp. 1-36.
- [28] Hawkins, A. J. S., R. F. M. Smith, B. L. Bayne and M. Heral(1996), Novel observations underlying the fast growth of suspension-feeding shellfish in turbid environments: *Mytilus edulis*, Marine Ecology Progress Series, Vol. 131, pp. 179-190.
- [29] Hewitt, J. E. and C. A. Pilditch(2004), Environmental history and physiological state influence feeding responses of *Atrina zelandica* to suspended sediment concentrations, Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, Vol. 306, pp. 95-112.
- [30] Hewitt, J. E. and J. Norkko(2007), Incorporating temporal variability of stressors into studies: An example using suspension-feeding bivalves and elevated suspended sediment concentrations, Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, Vol. 341, pp. 131-141.
- [31] Hewitt, J., S. Hatton, K. Safi and R. Craggs(2001), Effects of suspended sediment levels on suspension feeding shellfish in the Whitford Embayment, National Institute of Water & Atmospheric Research Ltd., Auckland Regional Council Technical Publication, No. 159, pp. 1-37.
- [32] Iwata, N., S. Yokoyama, K. Tanaka, K. Kawana and K. Namba(2011), Eco-physiological effects of suspended solids on fish-lethal effects of clay mineral suspension on Japanese flounder *Paralichthys olivaceus* in relation to the mineral composition and suspending method of clay mineral products, Nippon Suisan Gakkaishi, Vol. 77, pp. 215-222.
- [33] Jones, A. B., N. P. Preston and W. C. Dennison(2002), The efficiency and condition of oysters and macroalgae used as biological filters of shrimp pond effluent, Aquaculture

- Research, Vol. 33, pp. 1-19.
- [34] Kiorboe, T., E. Frantsen, C. Jensen and G. Sorensen(1981a), Effect of suspended sediment on development and hatching of herring (*Clupea harengus*) eggs, Estuarine Coastal and Shell Sciece, Vol. 13, pp. 107-111.
- [35] Kiorboe, T., F. Mohlenberg and O. Nohr(1981b), Effect of suspended bottom material on growth and energetics in *Mytilus edulis*, Marine Biology, Vol. 61, pp. 283-288.
- [36] Lee, J. Y.(1994), Effects of silt and clay on the rates of respiration, filtration and nitrogen excretion in shellfish, *Macra veneriformis*, Bulletin of the Korean Fisheries Society, Vol. 27, pp. 59-68.
- [37] Lee, K. S.(2008), The effects of suspended solids on the mortality and the glycogen content of abalone, *Haliotis discus hannai*, Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety, Vol. 14, pp. 183-187.
- [38] Li, Y. and A. Shen(2012), Gill damage and recovery in juvenile black sea bream *Acanthopagrus schlegelii* stressed by uncontaminated suspended solids, Advanced Materials Research, Vol. 518-523, pp. 5047-5054.
- [39] Longstaff, B. J. and W. C. Dennison(1999), Seagrass survival during pulsed turbidity events: the effects of light deprivation on the seagrasses *Halodule pinifolia* and *Halophila ovalis*, Aquatic Botany, Vol. 65, pp. 105-121.
- [40] Longstaff, B. J., N.R. Loneragan, M. O'Donohue and W.C. Dennison(1999), Effects of light deprivation on the survival and recovery of the seagrass *Halophila ovalis*(R.B.r) Hook, Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, Vol. 234, pp. 1-27.
- [41] Loosanoff, V. L.(1962), Effects of turbidity on some larval and adult bivalves, Proceedings of the Gulf and Caribbean Fisheries Institute 14th Annual Session. pp. 80-95.
- [42] Lyngby J. E. and S. M. Mortensen(1996), Effects of dredging activities on growth of *Laminaria saccharina*, Marine Ecology, Vol. 17, pp. 345-354.
- [43] MacDonald, B. A., G. S. Bacon and J. E. Ward(1998), Physiological response of infaunal (*Mya arenaria*) and epifaunal (*Placopecten magellanicus*) bivalves to variations in the concentration and quality of suspended particles II. Absorption efficiency and scope of growth, Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, Vol. 219, pp. 127-141.
- [44] Moon, M. H., J. W. Cho and M. C. Lee(1991), A variation on the marine environments in the Yeongsan river estuary, Natural Science Research, Vol. 14, pp. 101-115.
- [45] Moore, K. A., R. L. Wetzel and R. J. Orth(1997), Seasonal pulses of turbidity and their relations to eelgrass (*Zostera marina* L.) survival in an estuary, Journal of Experimental Marin Biology and Ecology, Vol. 215, pp. 115-134.
- [46] Morgan, R. P., V. J. Rasin and L. A. Noe(1973), Effects of suspended sediments on the development of eggs and larvae of striped bass and white perch, Final report to the USA army corps of engineers, Philadelphia, USA, pp. 73-110.
- [47] Neumanna, A., J. M. O'Connora, J. A. Sherka and K. V. Wooda(1975), Respiratory and hematological responses of oyster toadfish (*Opsanus tau*) to suspended solids, Transactions of the American Fisheries Society, Vol. 104, pp. 775-781.
- [48] Newcombe, C. P. and D. D. MacDonald(1991), Effects of suspended sediments on aquatic ecosystems, North American Journal of Fisheries Management, Vol. 11, pp. 72-82.
- [49] Newcombe, C. P. and J. O. T. Jensen(1996), Channel suspended sediment and fisheries: a synthesis for quantitative assessment of risk and impact, North American Journal of Fisheries Management, Vol. 16, pp. 693-727.
- [50] NFRDI(2010), The effect of suspended solid on the aquaculture farm of bivalve, 2009 Report of National Fisheries Research & Development Institute, Fisheries Resources and Environment Division East Sea Fisheries Research Institute, National Fisheries Research & Development Institute, TR-2010-ME-004, pp. 1-49.
- [51] Nicholls, P., J. Hewitt and J. Halliday(2003), Effects of suspended sediment concentrations on suspension and deposit feeding marine macrofauna, National Institute of Water & Atmospheric Research Ltd., Auckland Regional Council Technical Publication No. 211, pp. 1-31.
- [52] Norkko, J., J. E. Hewitt and S. F. Thrush(2006), Effects of increased sedimentation on the physiology of two estuarine soft-sediment bivalves, *Austrovenus stutchburyi* and *Paphies australis*, Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, Vol. 333, pp. 12-26.
- [53] Ohata, R., R. Masuda, M. Ueno, Y. Fukunishi and Y. Yamashita(2011), Effects of turbidity on survival of larval ayu and red sea bream exposed to predation by jack mackerel and moon jellyfish, Fisheries Science, Vol. 77, pp. 207-215.
- [54] Ohata, R., R. Masuda, K. Takahashi and Y. Yamashita(2013), Moderate turbidity enhances schooling behaviour in fish larvae in coastal waters, ICES Journal of Marine Science,

- Vol. 71, pp. 925-929.
- [55] Phillips, N. E. and J. S. Shima(2006), Differential effects of suspended sediments on larval survival and settlement of New Zealand urchins *Evechinus chloroticus* and abalone *Haliotis iris*, Marine Ecology Progress Series, Vol. 314, pp. 149-158.
- [56] Quinn, J. M., R. J. Davies-Colley, C. W. Hickey, M. L. Vickers and P. A. Ryan(1992), Effects of clay discharges on streams; 2. Benthic invertebrates, Hydrobiologia, Vol. 248, pp. 235-247.
- [57] Redding, J. M., C. B. Schreck and F. H. Everest(1987), Physiological Effects on Coho Salmon and Steelhead of Exposure to Suspended Solids. Transactions of the American Fisheries Society, Vol. 116, pp. 737-744.
- [58] Robinson, W. E., W. E. Wehling and M. P. Morse(1984), The effect of suspended clay on feeding and digestive efficiency of the surf clam, *Spisula solidissima* (Dillwyn), Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, Vol. 74, pp. 1-12.
- [59] Seaman, M. N. L., E. His, M. Keskin and T. Reins(1991), Influence of turbulence and turbidity on growth and survival of laboratory reared bivalve larvae, International Council for the Exploration of the Sea, K:56, pp. 1-6.
- [60] Shin, P. K. S., F. N. Yau, S. H. Chow, K. K. Tai and S. G. Cheung(2002), Responses of the green-lipped mussel *Perna viridis* (L.) to suspended solids, Marine Pollution Bulletin, Vol. 45, pp. 157-162.
- [61] Suedel, B. C., C. H. Lutz, J. U. Clarke and D. G. Clarke(2012), The effects of suspended sediment on walleye (*Sander vitreus*) eggs, Journal of Soils Sediments, Vol. 12, pp. 995-1003.
- [62] Suzuki, Y., T. Maruyama, A. Miura and J. Shin(1997), Effects of suspended or accumulated kaolinite particles on adhesion and germination of *Porphyra yezoensis* conospores, Journal of JSCE, Vol. 559, pp. 73-79.
- [63] Suzuki, Y., T. Maruyama, T. Takami and A. Miura(1998), Inhibition effects of suspended and accumulated particles on adhesion and development of *Undaria pinnatifida* zoospores, Journal of Japan Society on Water Environment, Vol. 21, pp. 670-675.
- [64] Tazaki, K., N. Nawatani, Y. Kunimine, T. Morikawa, T. Nagura, R. Warimoto, R. Asada, H. Watanabe, K. Nagai, Y. Ikeda, K. Sato, H. Segawa and K. Miyata(2002), Sediment characteristics of dasidaira dam reservoir of Kurobe river and Toyama bay and flushed suspension impacts on fishes. Journal of Geological Society of Japan, Vol. 108, pp. 435-452.
- [65] Thirb, H. H. and K. Benson-Evans(1985), The effect of water temperature, current velocity and suspended solids on the distribution, growth and seasonality of *Lemanea fluviatilis* (C. Ag.), Rhodophyta, in the River Usk and other South Wales rivers, Hydrobiologia, Vol. 127, pp. 63-78.
- [66] Tse, C. Y., K. M. Chan and C. K. Wong(2010), DNA damage as a biomarker for assessing the effects of suspended solids on the orange-spotted grouper, *Epinephelus coioides*, Fish Physiology and Biochemistry, Vol. 36, pp. 141-146.
- [67] Umar, M. J., L. J. McCook and I. R. Price(1998), Effects of sediment deposition on the seaweed sargassum on fringing coral reef. Coral Reefs, Vol. 17, pp. 169-177.
- [68] Utne-Palm, A. C.(2004), Effects of larvae ontogeny, turbidity, and turbulence on prey attack rate and swimming activity of Atlantic herring larvae, Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, Vol. 310, pp. 147-161.
- [69] Wilber, D. H. and D. G. Clarke(2001), Biological effects of suspended sediments: a review of suspended sediment impacts on fish and shellfish with relation to dredging activities in estuaries, North American Journal of Fisheries Management. Vol. 21, 855-875.
- [70] Yoo, H. I., J. H. Kim and H. G. Choi(2010), Effects of sediment (silt), water movement, and light intensity on the survival and growth of sporelings of epiphytic *Campylaephora hypnaeoides*, Korean Journal of Fisheries Aquatic Science, Vol. 43, pp. 230-245.
- [71] Yoon, S. J. and G. S. Park(2011), Ecotoxicological effects of the increased suspended solids on marine benthic organisms, Journal of the Environmental Sciences, Vol. 20, pp. 1383-1394.
- [72] Yurimoto, T., K. Tanaka, H. Nasu and K. Matsuoka(2008), Influence of resuspended sediments and their surface accumulation on a pen shell *Atrina pectinata* in Ariake Bay, West Japan, Aquaculture science, Vol. 56, pp. 335-342.

Received : 2014. 12. 01.

Revised : 2015. 02. 05. (1st)

: 2015. 02. 17. (2nd)

Accepted : 2015. 02. 25.