

간척과 미트게이션

Mitigation의 정의는 개발행위에 의하여 발생하는 영향(Impact)을 피하고(Avoid), 최소화(Minimize)하고, 불가피한 영향(Impact)을 어떤 방법을 통하여 피해를 받기 이전의 환경으로 재생, 복구하는 정책이라고 정의 할 수 있다.

신 문 섭

군산대학교 공과대학 토목공학부 교수

간척사업의 역사와 배경

국토확장사업의 일환으로 대규모적인 해면간척사업과 산업이 발달함으로써 요구되는 대규모적인 항만건설, 인공섬축조, 방파제, 외곽시설 등의 공사가 연안해역에서 진행되고 있다.

이들 공사중 공사 규모가 큰 간척사업은 한마디로 말해 해면을 육지화하여 국토확장과 동시에 얻어진 간척지와 수자원이용을 고도화하여 농토나 기타 산업용지로 조성하고 경제활동의 새로운 기반을 조성하며, 농업용수, 공업용수, 생활용수 등을 이용하여 국민경제발전에 이바지하는데 있다.

이러한 간척사업은 만조시

수심이 얇은 간척지 개발에서부터 기술이 발달함에 따라 깊은 바다로 전진하여 대규모적이고 다목적의 사업으로 개발되어 가고 있다.

우리나라의 간척사업의 대부분은 수산자원이 풍부한 하구에 실시되고 있다. 이러한 간척은 고려조 고종35년(1248) 안북부의 용도에 간척을 하여 백성들에게 경작하게 한 결과 몽고병이 수차례 침입하였어도 주민의 식량이 무난했다는 기록에서부터 현재에 이르기까지 많은 기술적인 발전을 거듭하였다. 따라서 간척사업은 얇은 바다에서 깊은 바다로 확장하여 가고 있다.

또한 이웃 일본에서도 최초의 간척이 1288년대로 기록되

어 있으며, 간척사업의 입국으로 자랑하는 네델란드의 간척사업은 언제인지는 확실치 않으나 제방은 바다로부터 육지를 보호하기 위하여 축조되기 시작하였으며 최초의 제방은 크리스찬시대 초기에 저지대에 살고 있던 부족들이 둔덕을 쌓아 해수침입을 막은 것으로 서기 1000년경으로 추정하고 있다. 그후 발전을 계속하여 국토면적(36,950km²)의 50%가 대조만조위보다 낮으며, 평균해면보다 낮은 면적은 27%나 되고, 인구의 60%가 이곳에 거주하고 있다.

우리나라의 간척사업은 이윤면에서 초기에는 농경지 확보라는 단일 목적하에 시행되었던 것이 70년대부터는 농경지

확보는 물론이고, 공업단지, 개발하고 있다. 70년대부터 를 포함하여 21개 지구로서
 향만, 관광, 도시화용지, 연구 현재에 이르기까지 대단위 농 개발면적은 276,737ha에 이른
 단지 등 국민경제적 효과를 극 업종합개발사업은 준공지구와 다. 대단위 농업종합개발사업
 대화할 수 있도록 다목적으로 시행중인 새만금간척개발지구 개요는 <표1>과 같다

<표1> 대단위 농업종합개발사업개요

| 구 분 | 지 구 별 | 개 발 적 (ha) | 사 업 기 간 | 주 요 시 설 | | | | | |
|------------|------------|------------------|----------------|----------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | | | | 방 조 제 (km) | 저수지 (개소) | 양수장 (개소) | 배수장 (개소) | 용수로 (개소) | 배수로 (개소) |
| 합계 | 21개지구 | 276,737 | | 19조 67.4km | 52 | 188 | 67 | 8,278 | 569 |
| 준공지구 | 12개지구 | 109,007 | 70-90 | 3조/6.44km | 50 | 95 | 32 | 4,441 | 377 |
| | 금 강 평 택 | 12,148 18,419 | 70-76 70-77 | - 2조/4.6km | 1 - | 8 19 | 4 1 | 494 974 | 12 27 |
| | 영산강(I) | 34,500 | 72-79 | - | 4 | 2 | 1 | 37 | - |
| | 경 주 | 1,140 | 74-77 | - | 1 | - | - | 10 | 9 |
| | 계 화 도 | 2,500 | 74-79 | - | - | 4 | - | 1,447 | 206 |
| | 창 념 | 2,269 | 75-81 | - | 1 | 8 | 5 | 142 | 38 |
| | 임 진 | 7,185 | 75-83 | - | 1 | 11 | 4 | 316 | - |
| | 남 강 | 5,754 | 77-85 | - | 30 | 18 | 8 | 243 | 34 |
| | 낙 동 강 | 3,600 | 78-84 | - | - | 12 | - | 132 | - |
| | 미호천(I) | 11,554 | 77-89 | - | 12 | 2 | - | 404 | 20 |
| | 논 산 | 9,938 | 78-90 | - | - | 11 | 9 | 242 | 31 |
| | 금강(I) | 하구둑 | 83-90 | 1조/1.84km | - | - | - | - | - |
| 시행중 지 구 | 8개지역 | 127,630 | 75-2004 | 12조 28.03km | 2 | 87 | 28 | 3,709 | - |
| | 영산강(II) | 20,700 | 76-95 | 2조/8.63km | - | 17 | 7 | 668 | - |
| | 삼 교 천 | 24,700 | 75-93 | 2조/4.32km | 1 | 29 | 10 | 870 | - |
| | 대 호 | 7,700 | 80-95 | 2조/7.80km | - | 7 | - | 318 | - |
| | 영산강(III-1) | 12,200 | 85-2003 | 1조/2.22km | - | 8 | - | 287 | - |
| | 미호천(II) | 4,430 | 89-96 | - | 1 | 6 | - | 255 | - |
| | 금강(II) | 43,000 | 89-2004 | - | - | 9 | 11 | 696 | - |
| | 영산강(III-2) | 6,800 | 89-2002 | 2조/2.12km | - | 5 | - | 163 | - |
| | 홍 보 | 8,100 | 91-2001 | 3조/2.94km | - | 6 | - | 452 | - |
| 간척개발 | 새 만 금 | 40,100 | 91-2004 | 4조/33km | - | 6 | 7 | 128 | 192 |

연안개발사업방향

최근 환경과 개발에 관한 국제회의가 자주 개최되고 있고, 특히 간척 등과 같은 연안개발에 있어서 개발 역기능을 최소화할 수 있는 방안을 모색하고 있다. 대규모적인 해면간척사업과 산업이 발달함으로써 요구되는 대규모적인 항만건설, 인공섬축조, 방파제, 외곽시설 등의 공사가 진행되고 있다.

이러한 크고 작은 해상공사에 따른 자연환경의 손실 또한 적지는 않다고 본다. 따라서 인간 생활의 쾌적과 안전을 위한 자연환경의 보존 및 수산자원 보존의 견지에서 더욱 환경을 보존하면서 해상 도둑공사가 실시되어야 한다고 본다. 수면을 육지화함으로써 그 주위에서 어떠한 환경변화가 일어날 수 있으며 환경변화에 어떻게 대처할 것인가 하는 대책도 마련되어야 할 것으로 본다.

미국, 일본, 영국 등 선진국에서는 개발역기능을 최소화하기 위하여 개발행위에 의하여 예측되는 영향을 피할 수 있는 한계점까지 피하고 나머지 영향을 최소화하고, 불가피한 경우의 영향을 완화하는 방법을 모색하여 개발역기능을 최소화하는 방안을 찾아 개발에 임하고 있다.

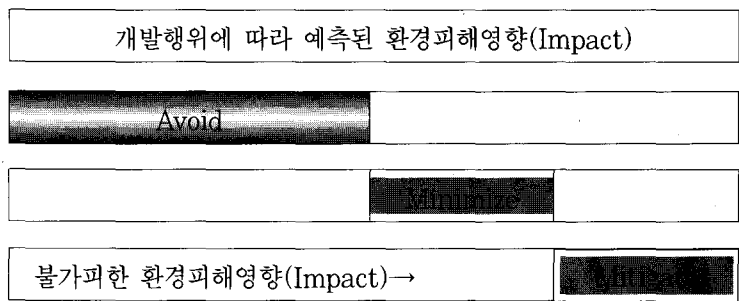
이러한 Mitigation의 정의는 개발행위에 의하여 발생하는 영향(Impact)을 피하고

(Avoid), 최소화(Minimize) 하고, 불가피한 영향(Impact)을 어떤 방법을 통하여 피해를 받기 이전의 환경으로 재생, 복구하는 정책이라고 정의할 수 있다.

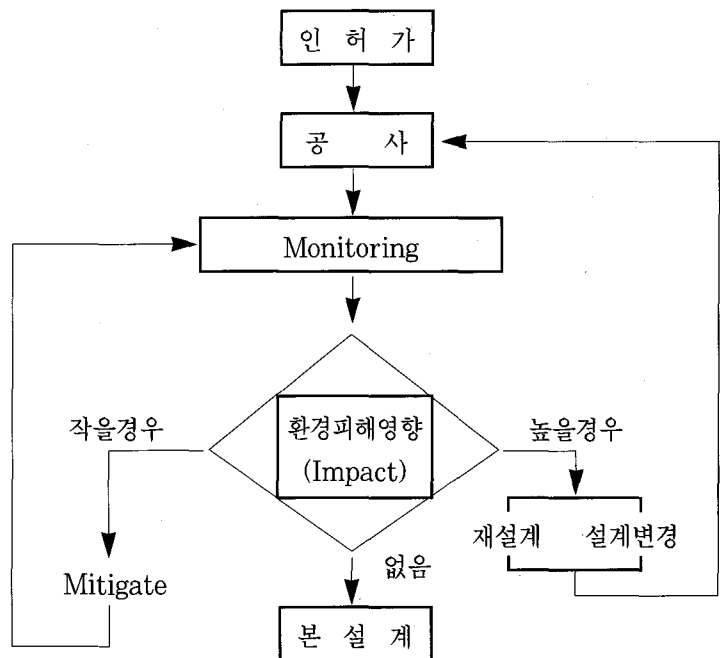
1993년 12월에 미국에서 개최된 Mitigation 세미나에서

Choule. J. Sonu(선우철) 박사는 미국에서 법률상의 Mitigation의 의미를 <그림1>과 같이 소개하고 있다.

Mitigation을 실행하는 데는 막대한 경비가 소요된다고 한다. 개발행위에 따른 공사흐름도는 <그림2>와 같다.



<그림 1> 미티게이션의 정의



<그림 2> 개발공사흐름과 Mitigation

그리고 개발행위에 의하여 발생하는 영향(Impact)을 피하고 (Avoid), 최소화 (Minimize)하기 까지를 환경 Assessment라고 한다. 환경 Assessment의 결과에 문제가 없는 경우에는 공사에 대한 허가서를 취득할 수 있고, 공사의 진행과 함께 감시하여 (Monitoring) 공사에 의한 영향이 없는 경우에는 본 허가를 얻을 수 있다. 영향이 적다고 판단될 경우에는 보완대책을 시행하면서 공사를 진행한다. 그러나 영향이 큰 경우에는 재설계 혹은 설계변경하고, 최악의 상태는 정부가 공사를 중지시킨다. <표2>는 미국에서 Mitigation이란 개념이 도입되었던 역사적 배경을 나타내고 있다.

환경 Assessment를 의무로 정한 법률이 1969년에 제정되었고(NEPA : 국가환경정책법), 그리고 Mitigation도입의 근거가 된 관련법규는 1972년 제정된 수질보존법(CWA) 및 연안해양관리법(CZMA)이 있다. 또한 1975년의 Section 404조에 의하여 미국의 환경보존을 지키기 위한 기준(規準)은 미국환경보호청(EPA)이 담당하고 관리 감독은 미공병대가 담당하고 있다고 한다. 관계관청간의

<표2> 미국의 Mitigation 역사

| | |
|---------------|------------------------|
| 1934년 FWCA | 어류 및 야생생물의 보호조정에 관한 법률 |
| 1969년 NEPA | 국가환경정책법 |
| 1972년 CWA | 수질보존법 |
| 1972년 CZMA | 연안역관리법 |
| 1972년 ESA | 절멸위기에 속한 생물류에 관한 법률 |
| 1975년 Section | 404조 |
| 1985년 MOA | 관계관청 Mitigation 합의서 |
| 1992년 MOA | 재개정 |

Mitigation합의서가 1992년 재개정되어 미국환경보호청(EPA), 공병대, 내무성 야생보호국 등과 보조를 함께하고 있다고 한다. Mitigation에 의한 평가방법도 미연방어수국, 공병대 등에서 정량적 평가방법이 제안되었다.

우리나라도 이러한 평가방법이 도입되어 간척사업에 따른 어장환경손실을 최소화하는 방안을 활발히 연구하여 개발역기능에 대처하는 방법을 제시하고 환경파괴를 최소화하여 생태계를 보존하면서 간척사업을 진행하는 방법을 찾아보아야 한다.

어장환경조성과 미티게이션

어장환경조성의 필요성

바다를 매워 육지를 만드는 간척사업은 간척입국으로 자랑하는 네델란드에서 10세기

부터 실시되었고, 이웃 일본의 경우 최초의 간척사업이 1284년대로 기록되어 있다.

우리나라도 고려 고종35년(1248년) 안북부(安北府)의 용도(葺島)에 간척을 하여 백성들에게 경작한 결과 몽고병이 수차례 침입주둔하고 있어도 주민들의 식량이 무난했다는 기록에서부터 현재에 이르기까지 간척기술의 발달로 간척사업은 얕은 바다에서 깊은 바다로 확장되고 있다. 그리고 공단 및 도시근해의 바다는 해를 거둬들수록 오염되어 어민의 소득원인 연근해어장은 점점 황폐화되고 있는 실정인데 반해, 국민의 식생활은 육류에서 어류쪽으로 변하고 있는 추세이다.

그러므로 삼면이 바다로 둘러싸인 긴 해안선과 조석간만의 차를 이용한 대규모적인 어장환경을 조성하여 어민의 소득증대에 힘써야 한다. 또

한 해면간척에 따른 어장손실, 공단조성이나 오염으로부터 오는 어장폐쇄 그리고 미래식량개발에 대한 대처방안으로 미역, 다시마 등의 해조류와 성게, 전복, 넙치 등 저서생물을 위한 연안저질을 개량하여야 한다. 나아가서 인공어초의 투하, 만구개발, 월파유입공 위치에 따른 해수유동제어 등 대규모적인 연안어장환경조성 사업과 증양식개발 등 수산토목기술 개발 및 정착이 요구된다.

어장환경조성을 위한 수산토목

수산토목 기술적인 관점에서 어장환경조성을 위한 기술적인 면에 관하여 정리하여 보고자 한다. 우선 수산토목이란 용어에 대하여 정의를 내려보면 수산업에 기여하는 토목으로 해안수리학과 어류양식학 등을 기초로하여 양식장의 수질과 파랑, 어장환경제어, 산란장, 인공어초 등 어장관계 토목을 수산토목이라고 할 수 있다.

즉 연안과 해안의 증·양식 시설을 말하여 어항시설을 포함한 수산공학적인 분야의 총칭이라 할 수 있다. 다음의 <표3>과 같이 분류할 수 있다.

어장 환경은 크게 해수의 흐

<표3> 수산공학분류

| | | |
|------|---------|--|
| 수산토목 | 증·양식시설 | 가. 기본조건조사 1. 대상해역의 수산생물 조사 2. 환경조사 3. 공학적 요인 분석(simulation) 4. 합리적 계획 수립 나. 증·양식시설의 계획 및 설계 1. 양식시설(양식지 등) 2. 증식시설(어장환경조성시설) 다. 증·양식시설의 환경조성 1. 수질보전 2. 환경보전 라. 기타 1. 어도(담수, 하천, 호수 등) 2. 내수면 어장 시설 |
| | 어항·어장시설 | 가. 어항의 계획 및 설계 1. 어항법에서 규정한 시설(목적, 정의, 시설, 종류) 2. 어항시설의 조사, 계획, 설계 3. 어항수리 4. 어장시설 및 수리 |

름환경과 저질환경으로 구분할 수 있으나, 서로 독립하여 어장을 형성하는 것이 아니고 해수의 흐름 환경은 해저의 지형과 어초등에 의하여 영향을 받으며, 또한 저질환경은 해수의 흐름환경에 영향을 받는다. 따라서 어장환경을 개선하려면 해수의 흐름환경을 도류제(導流提), 이안제(離岸提), 잠제 등의 구조물을 설치하여 흐름을 변화시키면 저질환경도 변화되므로 해역의 특성과 어종에 적합한 어장환경조성을

하여야 한다.

새만금간척사업과 마티게이션

새만금종합개발사업은 전북 무안군 변산면 대항리를 시점으로 고군산군도의 신시도, 야미도와 군산시 비응도를 종점으로 하는 33km의 방조제를 축조하여 40,100ha의 국토를 확장하는 사업으로써 만경강, 동진강 하구의 연안해역에 대규모적으로 실시되고 있다. 방조제는 수심20m 이상의 깊은

바다에 축조되며 조석량이 최대 5억톤까지 유출입하는 대규모 간척사업이다.

우리나라 대부분의 간척이 하구 간척이듯이 새만금종합개발사업도 만경강과 동진강 하구 해역에 개발되고 있다. 이러한 하구의 특성을 보면 간척지가 잘 발달해 있어 해양생물자원이 풍부한 곳이다. 조사선박을 타고 갑판에서 하구연안해역을 바라보면 우리는 쉽게 어느 선을 경계로 하여 바다색이 변하고 그 경계선에 많은 쓰레기와 해초들이 모여 있는 것을 볼 수 있다. 이러한 경계선을 물가르마라고 한다.

물가르마는 하천수와 연안수의 경계선에서 자주 보인다. 물가르마가 형성되는 해역에서는 많은 플랑크톤이 집중되기 때문에 플랑크톤을 먹으려고 물고기들이 모여들어 좋은 어장을 만든다. 이러한 좋은 어장이 형성되는 하구해역에 간척을 하여 국토확장과 용수

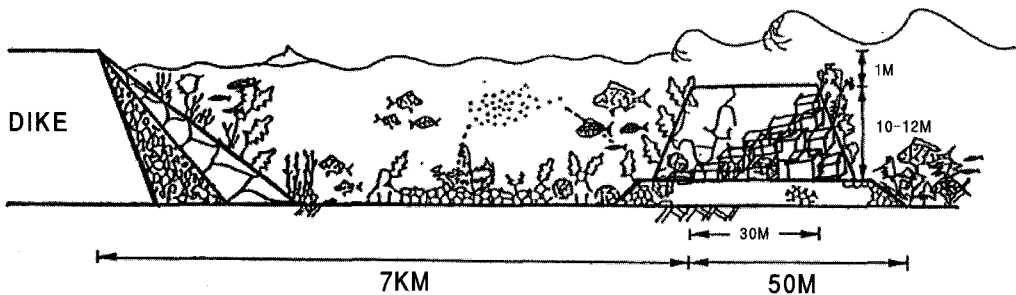
이용 등 지역발전에 기여한다고 하지만, 간척을 하므로써 발생하는 해양생물자원의 피해는 심각하다. 그 예로써 간척지의 손실은 물론 방조제를 축조할 때 발생하는 현탁물질은 수중조도의 저하와 식물플랑크톤, 해초 등 수생식물의 광합성 장애를 일으킨다.

특히 어류의 호흠과 난(卵) 부화율에 영향을 주며 어패류와 저서생물의 생산을 저하시킨다. 그러나 이러한 피해가 피할 수 없는 상황이라면, 해역에 대규모적인 어장환경조성사업을 실시하여 어민들이 생활터전인 바다로 다시 돌아가 생활할 수 있는 어장환경을 조성하여 주어야 한다. 어장환경조성사업의 일환으로서 인공어초의 투하, 저서생물을 위한 연안저질개량, 해수유동제어 등의 대규모적인 연안어장조성사업과 증양식 개발 등이 요구된다. 또한 33km나 되는 방조제를 이용한 어장환경조

성사업도 방조제가 파를 죽이고, 조류를 차단하는 목적 외에 방조제 바깥쪽에 생물들의 휴식공간 및 서식지로도 활용할 수 있는 방안도 연구하여 어업생산을 높여야 한다.

새만금간척사업에 따른 불가피한 영향을 피해를 받기 이전의 환경으로 재생, 복구하는 방법에 대한 연구결과 일부분을 대한토목학회논문집(제17권 II-5호, 461-468)에 기재된 내용과 현재 두고하고 있는 내용을 간략히 설명하고자 한다.

새만금 방조제 축조 전후와 잠제설치후의 조석, 조류, 잔차류(조석잔차류, 바람에 의한 잔차류, 수온·염분에 의한 잔차류 포함)의 특성을 규명하였으며, 방조제 전면에 <그림3>과 같이 잠제를 설치하여 흐름이 어류의 유생의 착저에 어느 정도 유효한가, 수산의 관점에서 Mitigation의 가능성은 있는가를 알아보았다.



<그림3> The typical form of submerged breakwater

**방조제 축조후 예보모델
(Prognostic model)에 의한
잔류류의 계산 결과**

가을의 잔류류를 계산하기 위하여 운동방식과 연속방정식, 수온·염분확산방정식을 차분화하여 계산하였으며, 수평방향격자는 1.0km×1.0km의 정방형 격자로 분할하였고, 연직방향으로는 상층(0~5m), 중층(-5~-10m), 하층(-10m~bottom)으로 분할하여 3층 Level Model로 하였다. 방조제 축조후 예보모델(Prognostic model)에 의한 잔류류의 계산결과는 <그림4>와 같다.

유생운동의 기초방정식

유생의 운동특성에 대한 수치실험은 최근에 활발히 연구되고 있다. 유생의 수송 Model은 대상해역의 흐름특성을 규명한 후 유생의 특성을 고려한 입자 추적실험을 하였다. 서해안에 많이 서식하고 있고 가을에 침성난을 산란하는 노래미(Hexammos octogram-mus : PALLAS)의 유생을 이용하여 분산과정을 수치실험하였다. 유생의 추적은 Euler-Lagrange방법을 이용하였다.

Euler-Lagrange방법은 어느 시각n에 있어서 입자의 위

치를 (x^n, y^n, z^n) 라고 하면, time step Δt 시간후의 입자의 위치 $(x^{n+1}, y^{n+1}, z^{n+1})$ 을 (x^n, y^n, z^n) 의 주위에 Taylor 전개하여 구한다. 단 4차이상의 고차항은 무시하고, 난류로써 취급한다.

$$X^{n+1} = X^n + u'' \Delta t + (\nabla u'') u'' t^2 + R_x \quad (1)$$

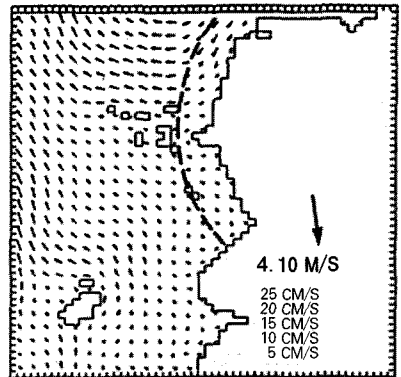
$$Y^{n+1} = Y^n + v'' \Delta t + (\nabla v'') v'' t^2 + R_y \quad (2)$$

$$Z^{n+1} = Z^n + w_s \Delta t + R_z \quad (3)$$

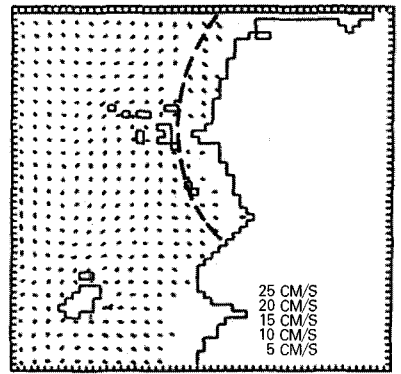
여기서, u, v 는 x, y 방향의 잔류류성분, w_s 는 유생의 침강속도(Stoke's의 침강속도), R_x, R_y, R_z 난류확산에 의한 성분이다. 유생의 방류확산계산결과는 <그림5>와 같다.

결론

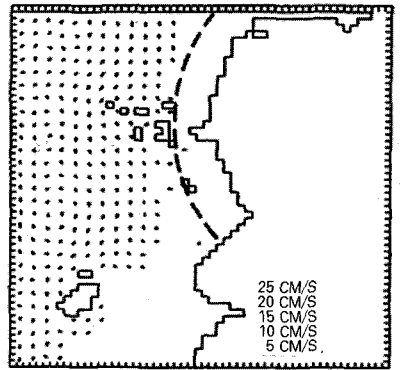
대규모간척사업은 해양환경과 생태에 나쁜 영향을 미치게 된다. 즉 수면을 육지화하므로써 그 주위에서 어떠한 환경변화가 일어날 수 있으며 환경변화에 어떻게 대처할 것인가 하는 대책도



upper layer

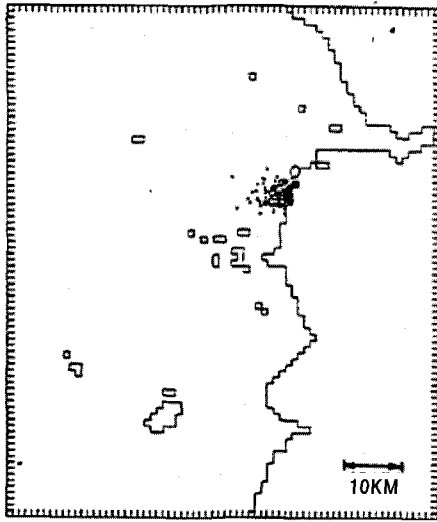


middle layer

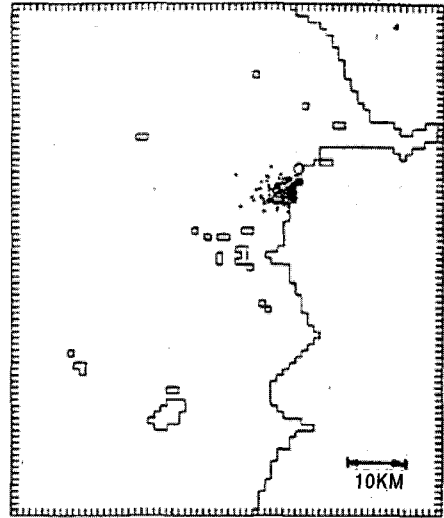


low layer

<그림4> The flow patterns of residual current after the construction of submerged breakwater during autumn obtained by prognostic model.



before the construction of submerged breakwater



after the construction of submerged breakwater

〈그림5〉 Calculated dispersion of larvae one day after the releasing with the residual currents obtained by prognostic model before and after the construction of submerged breakwater in autumn.

마련하여 Mitigation의 견지에서 개발에 따른 영향을 최대한으로 줄이고, 손상된 환경을 복원하고, 또한 이러한 것들이 불충분한 경우에는 새로운 환경을 재생, 창조하는 방법이 모색되어야 한다.

본 고에서는 새로운 환경을 재생, 창조하는 방법으로서 새만금간척 후의 잠제설치후 잔차류의 특성을 규명하였고, 방조제전면에 잠제를 설치하여 흐름이 어류의 유생의 착저에 어느정도 유효한가, 수산의 관점에서 Mitigation의 가능성은 있는가를 알아본 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 예보 Model에 의하여 계산한 가을의 수온은 금강하구에서 높은 분포를 나타내고 있었다. 상층의 염분은 금강하구에서 낮은 분포를 나타내고 있었지만 하층으로 갈수록 증가하였다. δ_t (Sigma t)는 금강 하구의 상층에서 낮은 분포를 나타내고 있었다.

2. 예보 Model에 의하여 계산한 가을의 잔차류의 흐름 형태는 상층에서 남쪽에서 북으로 형성되고 있었으며 위도와 신시도 사이 저층에서는 시계방향의 잔차류를 형성하고 있었다.

3. 비응도에서 방류한 유생

의 방류확산계산결과 잠제축조 전에는 10km범위를 확산한 반면, 잠제축조 후에는 4km범위를 확산하였다. 따라서 유생의 확산거리가 잠제축조 전보다 잠제축조 후가 짧아서 유생의 수송, 확산억제, 침착을 촉진하여 어장환경조성에 기여할 수 있고, 유생의 감모를 감소시킬 수 있다고 본다.

그러므로 새만금 방조제축조 후의 잔차류의 특성을 규명하고, 방조제 전면에 잠제를 설치하여 어류의 유생의 이동특성에 대하여 규명하여 본 결과 수산의 관점에서 Mitigation의 가능성은 있다고 판단되었다. \triangle