

論文

해양유류오염사고 위험도 평가

이문진* · 김혜진** · 황호진** · 이승현**

* 한국해양연구원 해양시스템안전연구소

Pollution Risk Assessment of Oil Spill Accident

Moon-jin Lee* · Hye-jin Kim** · Ho-jin Hwang** · Seung-hyun Lee**

*, ** Maritime & Ocean Engineering Research Institute, KORDI, Korea

요약 : 해양유류오염사고 유출유 피해 위험도 산정을 위한 평가기법을 연구하였다. 본 연구의 위험도 평가에서는 과거 사고 사례에 근거하여 선정된 사고 해역에 대하여 여러 경우의 유출유 확산을 계산하고, 계산 결과를 통계 분석하여 유출유의 피해 가능성, 도달시간, 피해 규모 등을 산정한다. 유출유의 피해 가능성, 도달시간, 피해규모는 환경민감자원 현황에 근거한 해역별 해안 및 어장 양식장을 대상으로 산정하며, 각 해역별 피해 정도를 비교함으로써 해역별 위험도를 산정한다. 이러한 결과는 특정 유류오염사고에 대한 보다 객관적이고 종합적인 피해 위험을 제시할 수 있으며, 실시간 피해 위험 예측과 연계하여 보다 타당성있는 유류오염사고 위험도 평가 결과를 제시할 수 있다.

핵심용어 : 유출유 피해 위험도, 유출유 확산예측, 위험평가

1. 서론

최근 해상 물동량의 증대에 따라 해난사고에 의한 해양유출유의 해양오염이 빈번해지고 있으며, 그 규모 역시 대형화되고 있다. 전남 여천군 소리도 인근 해상에서 태풍을 피해 외해로 이동중 좌초되어 기름을 유출시켰던 14만톤급 유조선 씨프린스호 사고, 부산근해 남형제도 부근 해상에서 예인중 침몰하여 인근해역을 오염시킨 제1유일호 사고, 여천항 내에서 부두에 접안중 안벽에 충돌하여 선체가 파손되면서 기름이 유출되었던 호남사파이어호 사고 등에서 보듯 한국 근해는 상시적인 누유사고에 직면해 있으며, 다양한 원인에 의해 사고가 유발되고 있다. 해양오염문제는 수산업, 해양생태계 등에 치명적인 영향을 주며 방제와 피해보상에 막대한 규모의 비용이 소요되고 있다. 2000년대 우리나라 경제규모의 증대에 따른 산업화는 연안지역에서 전개될 것이 예상되므로 연안 수산양식 및 해양오염에 민감한 산업시설의 보호를 위하여 해양오염의 방지대책이 필요하다. 특히 한반도의 입지적 여건상 기름의 해상운송이 주된 운송수단으로 되고 있는 점을 감안하면 장래 발생할 수 있는 사고에 대한 종합적인 대책 마련이 시급한 실정이다.

해난사고에 의한 해양오염의 피해를 최소화하기 위해서는 신속한 초동조치, 효율적인 방제전략 수립, 방제기자재의 신속동원 등이 필수적으로 요구된다. 해상에서 유출유는 조류, 해류, 바람등과 같은 환경외력에 의해 확산되므로, 효율적인 방제를 위해서는 사고당시의 실시간 환경 외력을 고려하여 유출

유의 확산경로를 정확하게 파악하는 것이 매우 중요하다. 해상 유출유의 확산경로 추정에 관한 이론 및 수치해석은 이미 여러 차례 연구된 바 있으나 (홍과 이, 1998; 류 등, 1998), 대부분이 특정사고에 대한 국지적인 해석만을 제시하고 있다. 이러한 결과들은 특정사고가 발생한 시점의 해역특성에 대한 유출유 피해만을 예측하는 의미를 가지며, 보다 종합적이고 객관적인 피해 경향을 제시하지 못한다.

유출유 확산에 의한 유류오염 피해는 유출사고의 발생시기, 해수유동 및 바람의 조건 등에 따라 크게 다른 양상을 보인다. 따라서 해수유동 및 바람의 변동을 실시간으로 예측하여 유출유의 피해를 실시간으로 예측하는 시스템은 많은 오류의 가능성을 포함한다. 이러한 오류를 배제하기 위해서는 과거 해수유동과 바람 자료에 근거하여 경우별 유출유 확산예측을 수행하고, 경우별 예측결과를 통계분석하여 유출유 확산 피해에 대한 객관적이고 종합적인 분석이 병행되어야 한다. 본 연구에서는 보다 종합적이고 객관적인 유출유 피해 위험 평가를 위하여 과거 해역특성자료를 이용한 통계적 위험평가 방법을 연구하였다. 본 연구의 위험평가에서는 특성지점 유출사고에 대해 실시간 유출유 확산예측 시스템을 과거 해역특성자료와 연계하여 경우별 확산경로를 반복적으로 계산하고, 계산된 결과를 통계분석하여 유출유 피해 가능성의 통계적 경향을 제시함으로써 보다 일반화된 유출유 피해 위험을 산정한다.

2. 유출유 확산예측 모델

2.1 유출유 확산예측 모델 개요

해난사고에 의해 유출된 기름은 조류, 취송류, 해류 등과 같

* 대표저자 : Moonjin.Lee@moeri.re.kr

은 해수유동을 따라 이동하면서 난류에 의해 확산된다. 또한 확산과정에서 유출유는 일정한 양을 유지하는 것이 아니라 시간에 따라 생물화학적 작용 및 침강에 의해 감소된다. 본 연구의 유출유 확산모델에서는 이러한 현상들을 보다 현실에 부합되도록 모델링하였다. 본 유출유 확산모델의 개요는 다음과 같다.

시간 t 때에 위치 (x_o, y_o) 에 있던 입자가 시간이 δt 만큼 경과후 바람과 해수유동에 의해 이동한 후 놓이게 될 새로운 위치를 $(x_o + \delta x, y_o + \delta y)$ 라 할 때, δt 동안의 변위 $(\delta x, \delta y)$ 는

$$\delta x = (U + u)\delta t$$

$$\delta y = (V + v)\delta t$$

로 주어진다. 여기서 (U, V) 는 조류, 취송류, 해류 등의 해수유동 유속이고, (u, v) 는 난류적 유속이다.

본 연구의 유출유 확산예측 모델에서 해수유동은 해수유동 모델에 기반한 실시간 해수유동 예측결과를 이용하여 지정하며, 난류적 유속은 프랙탈브라운운동으로 모델링한다.

2.2 실시간 해수유동 예측

1) 해수유동모델

유출유의 확산을 지배하는 해수유동은 수치모델을 이용하여 계산하였다. 해수유동모델의 계산에는 조류와 취송류만을 포함하였다. 해수유동 모델의 기본 방정식은 2차원 해수유동 방정식과 연속 방정식으로 다음과 같이 표현된다.

$$\frac{\partial U}{\partial t} + \frac{\partial(U(D+\zeta))}{\partial x} + \frac{\partial(V(D+\zeta))}{\partial y} = 0$$

$$\frac{\partial U}{\partial t} + U\frac{\partial U}{\partial x} + V\frac{\partial U}{\partial y} + g\frac{\partial \zeta}{\partial x} - fV + \frac{kU\sqrt{U^2 + V^2}}{D+\zeta} = 0$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} + U\frac{\partial V}{\partial x} + V\frac{\partial V}{\partial y} + g\frac{\partial \zeta}{\partial y} + fU + \frac{kV\sqrt{U^2 + V^2}}{D+\zeta} = 0$$

여기서 t 는 시간, x 와 y 는 직교좌표상의 거리, U 와 V 는 연직적으로 평균된 x 와 y 축 방향의 유속, g 는 중력 가속도, ζ 는 평균 해면으로부터의 해면변위, D 는 평균해면으로부터의 수심, f 는 코리올리(Coriolis) 변수 ($f=2\Omega \sin \phi$, $\phi=37^\circ N$), 그리고 k 는 해저 마찰계수이다 ($k=0.003$).

해수유동모델의 결과는 실시간 조류 예측 및 실시간 취송류 예측을 위한 기초자료 작성에 활용된다.

2) 실시간 조류

조류의 실시간 예측은 조류의 조화상수(harmonic constants)와 천문적 요소의 변동을 조합하여 계산하였다. 조

류의 조화상수는 해수유동모델의 결과를 조화분해하여 산정하였다. 해수유동모델의 결과로 계산된 조화상수를 이용하면, 연구해역내 어느 점에서나 조화방법에 의한 4대 분조 조류의 예측이 가능하다. 조화상수로부터 실시간 유속은

$$U(t_r) = \sum_{k=1}^4 f_k(t_r) A_{uk} \cos \{ \omega_k t_r - \phi_{uk} + V_k(t_r) + u_k(t_r) \}$$

$$V(t_r) = \sum_{k=1}^4 f_k(t_r) A_{vk} \cos \{ \omega_k t_r - \phi_{vk} + V_k(t_r) + u_k(t_r) \}$$

와 같이 계산된다. 여기서 ω_k 는 k 분조의 각속도이며, A_{uk} 와 A_{vk} 는 동향 및 북향성분 유속의 진폭이고 ϕ_{uk} 와 ϕ_{vk} 는 유속의 지각이다. 시간 정보로서 t_r 은 예측하고자 하는 실시간이며, $f_k(t_r)$ 와 $u_k(t_r)$ 는 진폭 및 지각에 대한 노드변동보정치(nodal factor)이고 $V_k(t_r)$ 는 평형조 지각이다 (Schreman, 1958; Foreman, 1978). 본 연구에서 각 분조에 대한 천문변수 f_k , u_k 및 V_k 는 1900년 1월 1일 0를 기준하여 경과된 시간의 함수로 계산하였다.

3) 실시간 취송류

취송류는 바람에 대한 해양 표면의 마찰응력에 의해 발생되는 흐름이다. 바람에 대한 취송류의 반응은 즉각적이지 않으며 약간의 시간 지연을 갖는데, 취송류의 세기 및 지연시간은 바람의 세기 및 지속시간에 의해 결정된다. 따라서 취송류를 예측하기 위해서는 누적된 바람과 취송류간의 반응(response) 관계를 규명하는 것이 필요하다.

본 연구에서는 누적된 바람의 변동에 대한 취송류의 변동을 해수유동 수치모델로 재현하고, 바람과 취송류간의 반응함수 교적계수(kernel coefficient)를 산정하여 취송류를 예측하였다. 바람에 대한 취송류 재현을 위한 해수유동모델에서 바람의 변동은 연안의 특정지점에서 약 1년간 연속적으로 관측된 자료를 이용하여 추정된 해상풍으로 지정하였다. 해수유동모델의 결과로부터 바람과 취송류간의 교적관계는

$$WDC(x, y, t) = \int_{-\infty}^{\infty} h(x, y, u) W(x, y, t-u) du$$

와 같이 지정된 바람 $W(x, y, t)$ 와 계산된 취송류 $WDC(x, y, t)$ 를 이용하여 추정하였다. 여기서 교적계수 $h(x, y, u)$ 는 과거의 시간지연(time lag) u 에 해당되는 가중치이다. 교적계수는 연구해역내 모든 격자점에 대해 산정하였으며, 산정된 결과는 데이터베이스로 구축하였다. 취송류의 예측에서는 이 교적계수를 적용하여 주어진 바람에 대한 취송류를 산정한다.

2.3 fBm을 이용한 난류 확산 모델링

라그랑주식의 확산 해석에서 δt 시간 동안의 입자변위($\delta x, \delta y$)는

$$\delta x = \bar{u}\delta t + u'\delta t = \bar{u}\delta t + s_x$$

$$\delta y = \bar{v}\delta t + v'\delta t = \bar{v}\delta t + s_y$$

와 같이 δt 시간 동안 평균류에 의해 수송되는 거리($\bar{u}\delta t, \bar{v}\delta t$)와 난류에 의한 확산거리(s_x, s_y)로 결정된다. 난류에 의한 확산거리는 적 일정하지 않고 난류장의 공간적 및 시간적 크기가 증가함에 따라 증가한다 (Okubo, 1966, 1971). 이와 강(1997)은 국내 연안에서 다중부표실험을 통하여 와동확산계수를 추정한 바 있으며, 이 결과에서 와동확산계수는 시간의 0.45~2.46승에 비례하여 증가하는 것으로 나타났다. 난류 확산의 시간의 지수적 특성을 재현하기 위해서는 난류 확산거리(s_x, s_y)가

$$Var[s_x] \propto t^m, \quad Var[s_y] \propto t^m$$

와 같이 시간 t 의 m 승에 비례하는 분산특성을 가져야 한다.

본 연구의 확산모델에서는 난류 확산의 분산특성을 충족시키기 위하여 x 축상 및 y 축상 난류적 확산거리를

$$s_x = \lambda F_t, \quad s_y = \lambda G_t$$

와 같이 지정하였다. 여기서 λ 는 $\sqrt{0.5A}$ 의 값을 갖는 상수이며, F_t 와 G_t 는 분산이 시간 t 의 $m(=2H)$ 승에 비례하는 fGn이다. fGn은 fBm 시계열의 시간별 변위로서 결정하였으며, fBm은 중앙변위(mid-point displacement) 방법으로 작성하였다.

3. 유출유 피해 위험 평가

3.1 위험평가 방법

유출유 확산에 의한 유류오염 피해는 유출사고의 발생시기, 해수유동 및 바람의 조건 등에 따라 크게 다른 양상을 보인다. 따라서 유출유 피해는 결정론적으로 제시되기 어려우며, 과거 자료에 의한 통계분석을 통한 가능성으로 제시될 수 있다.

본 연구에서는 이러한 유출유 피해 위험평가를 위하여 1983년부터 2002년까지의 약 20년 중 무작위로 선택한 임의의 시간을 사고 발생시간으로 가정하여 그로부터 5일 동안에 대해 유출유 확산예측을 수행하고, 이러한 과정을 100회 수행하여 도출한 100가지의 각각 다른 경우에 대한 유출유 확산경로를 통계 분석하여 유출유 피해위험을 산정하였다. 본 연구에

서 유출유의 피해가능성은 해안 및 어장에 대한 도달 가능성 및 도달 시간으로 평가하였으며, 계산에서 고려한 사고 발생 시간을 기준으로 계절별로 구분하여 산정하였다.

3.2 유류오염사고 발생해역

해양유류오염사고 위험평가를 위한 대상해역은 가로림만을 선정하였으며, 해양유류오염사고 발생지점은 과거 사고발생 이력에 근거한 사고 다발해역으로 선정하였다. 해양유류오염사고 발생지점 선정을 위한 과거 사고발생 이력은 Table 1에 제시한 바와 같이 1991년부터 2000년까지 약 10년 동안 가로림만 주변해역에서 발생한 해양유류오염사고 사례를 고려하였다. Table 1의 사고 사례에 따르면, 가로림만 주변해역에서의 해양유류오염사고는 Fig. 1에 나타난 바와 같이 대산항 진입항로에서 주로 발생된다. 따라서 본 연구에서는 Fig. 2에 제시한 대산항 진입항로를 해양오염 발생해역으로 선정하고, 이 해역에서 유출된 기름의 환경 피해 위험을 평가하였다.

Table 3. List of serious accidents occurred in the sea around Garorim Bay, 1991 to 2000.

구분	일시	선명	총톤수	발생장소	사고원인	유출량(kl)
10 ~ 100kl	'95.11.19	화진호 (화물선)	1,952	황도 북방 1마일 해상	침몰	B/B 7.9 B/A 2.7
	'00.7.5	세이프익스프레스호 (화물선)	1,250	안도 북서방	침몰	B/C 30 B/A 10
100 ~ 1,000kl	'91.2.21	퍼시픽프렌드호 (화물선)	4,417	정자두 서방 1.7마일 해상	침몰	중질유 155 MDO 41
	'96.12.2	태영자스민호 (화물선)	2,483	안도 북서방 6마일 해상	침몰	B/C 159
	'00.4.11	대림501호 (준설선)	1,458	평택항	침몰	MDO 165
1,000kl 이상	'93.10.1	프론티어익스프레스호 (유조선)	40,721	대산항 서대앞 해상	좌초	납사 8,320

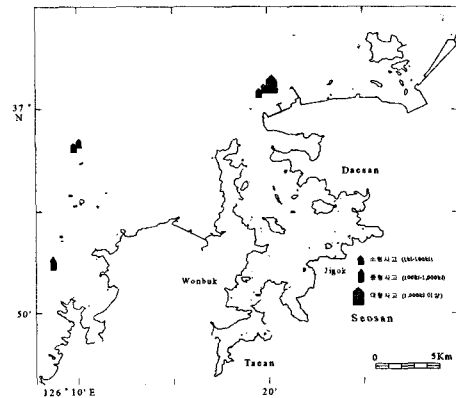


Fig. 1. Locations of serious accidents occurred in the sea around Garorim Bay, 1991 to 2000.

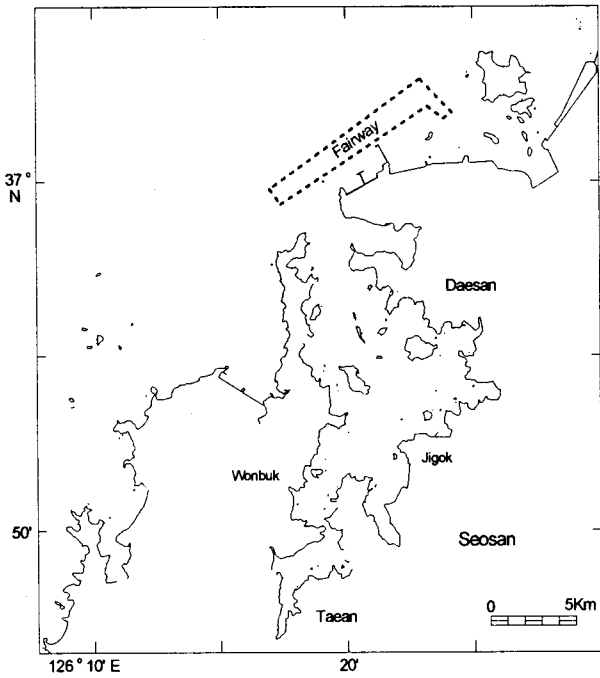


Fig. 2. Expected accident site for pollution risk assessment.

3.3 환경민감자원을 고려한 위험평가 대상 구분

해양유류오염사고 발생시 유출유는 주변해역으로 확산되면서 해양수산자원, 사회경제적 자원, 자연 생태계 등과 같은 환경민감자원에 많은 피해를 야기한다. 이러한 유출유의 피해 위험을 평가하기 위해서는 피해 대상인 환경민감자원의 분포 현황에 대한 데이터베이스 구축이 필요하며, 이를 근거로한 피해 평가 대상의 선정이 필요하다.

본 연구에서는 가로림만 주변해역의 해양유류오염사고 발생시 유출유에 의한 주변해역의 피해 위험을 평가하기 위하여 해양경찰청에서 구축한 가로림만 방제정보지도(해양경찰청, 2001)의 환경민감자원 분포 데이터베이스를 이용하여 피해 평가 대상을 선정하였다. 해양경찰청에서 구축한 방제정보지도에는 Fig. 3에 제시된 바와 같이 해안선의 기름 오염 민감지수, 해안 야생 동식물 등 생물 자원의 분포, 해수욕장이나 산업 시설물의 취수구 등 사회경제적 자원, 방제 기관과 방제 기자재 현황 등을 정해진 색상의 기호와 선으로 표시되어 있으며, 각각의 정보가 데이터베이스로 구축되어 있다. 이러한 환경민감자원의 분포에 기반하여 본 연구에서는 가로림만 주변해역의 해안 및 어장분포를 유출유 피해 평가 대상으로 선정하였으며, 피해 위험도의 정량화를 위하여 Fig. 4에 제시한 바와 같이 평가 대상을 등간격의 격자로 구분하였다.

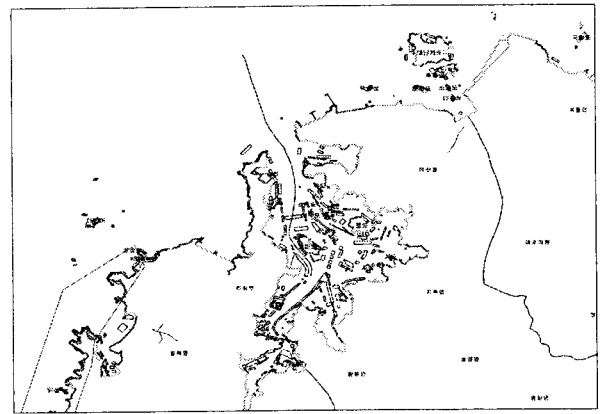


Fig. 3. Environmental Sensitivity Indexes of the sea around Garorim Bay.

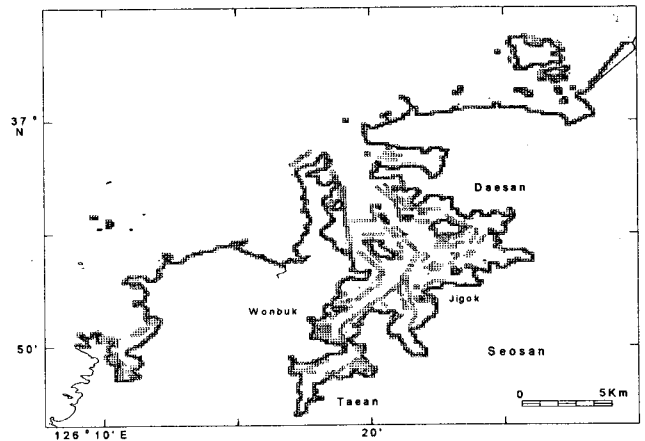


Fig. 4. Index cells to estimate pollution risk of oil spill in the sea around Garorim Bay.

3.4 유출유 피해 가능성 평가

해양유류오염사고 유출유 피해 위험 평가의 일환으로 유출유의 해역별 피해 가능성을 평가하였다. 유출사고 지점은 과거사고 사례에 근거하여 선정된 대산항 진입항로를 고려하였으며, 해역별 피해 가능성은 환경민감자원 현황에 근거하여 선정된 평가대상 해역에 대한 유출유 도달 가능성으로서 평가하였다.

계절별로 평가한 해역별 피해 가능성 중 겨울철 유출사고 발생 후 5일 경과시의 해안 및 어장 피해 가능성은 각각 Fig. 5 및 Fig. 6과 같다. 겨울철 대산항 진입항로에서 유출사고가 발생할 경우 가로림만 주변해역의 피해 예상 해안선 길이는 약 35km이며, 피해 예상 어장 면적은 약 367ha인 것으로 평가되었다.

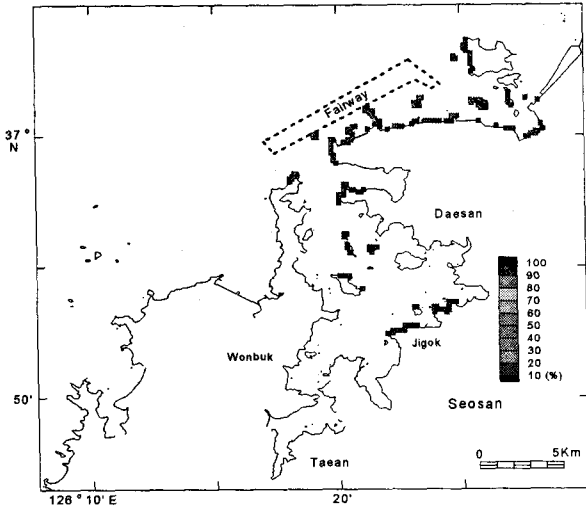


Fig. 5. Probability of attaching spilt oil to coastline of Garorim Bay.

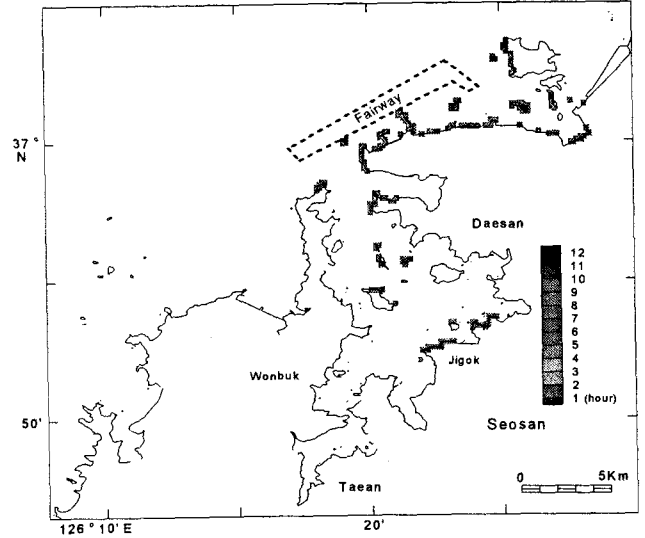


Fig. 7. Elapsed time of attaching spilt oil to coastline of Garorim Bay.

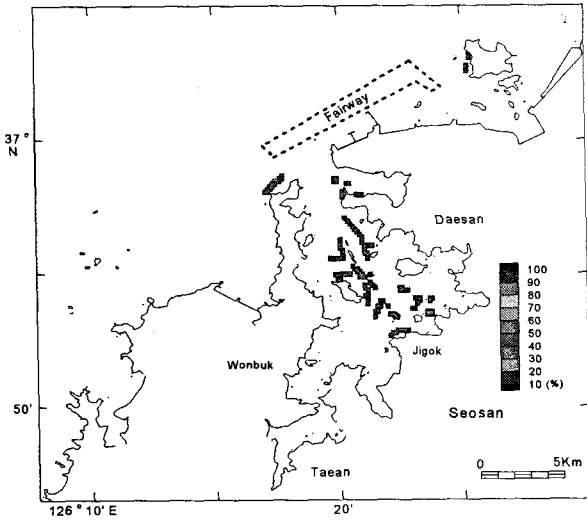


Fig. 6. Probability of Impacting spilt oil on aquaculture farms of Garorim Bay.

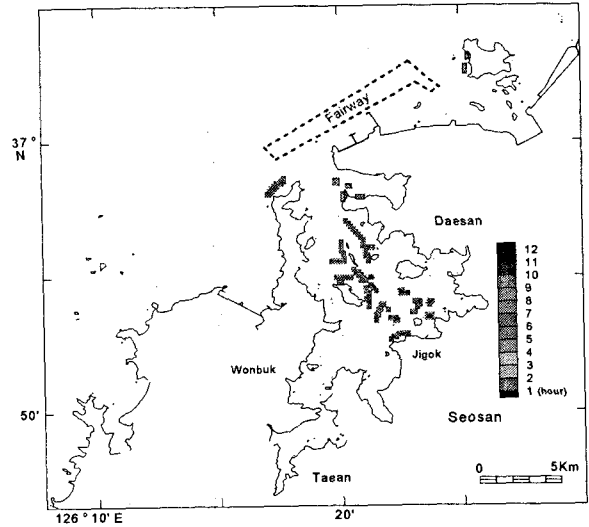


Fig. 8. Elapsed time of Impacting spilt oil on aquaculture farms of Garorim Bay.

3.5 유출유 도달시간 평가

유출유 피해가능성 분석의 일환으로 사고발생 가능해역을 대상으로 해역별 유출유 도달시간을 평가하였다. 유출사고 발생지점은 과거 사고사례에서 선정된 대산항 진입항로를 고려하였으며, 해역별 도달시간은 해안 및 어장해역에 대해 산정하였다.

유출유 도달시간은 총 100회의 서로 다른 경우에 대해 계산한 결과를 근거로 계절별로 평가하였다. 계절별 평가 결과 중 겨울철 유출사고 발생 후 5일 경과시 유출유의 해안 및 주변해역 어장 도달시간은 각각 Fig. 7 및 Fig. 8에 제시한 바와 같다. 겨울철 대산항 진입항로 유류오염사고 발생시 유출유는 대부분 6시간 이내에 주변 해안에 부착하는 것으로 나타났다. 또한 어장 도달시간은 난지도 주변 어장의 경우 3시간 이내, 가로림만 어장의 경우 6시간 이내로 각각 평가되었다.

3.6 해역별 유출유 피해 위험 평가

가로림만 주변해역 해양유류오염사고 위해도 평가를 위하여 유출유 피해 가능성과 도달시간 평가결과를 종합하여 해역별 유출유 피해 위험을 평가하였다. 해역별 유출유 피해 위험은 Fig. 9와 같이 대상해역의 6개의 세부해역으로 구분하여 평가하였으며, 해역별 피해가능성 예측결과 및 도달시간 예측결과를 이용하여 Table 2에 제시한 바와 같이 상세해역별 해안 및 어장의 최단 도달시간 및 최대 피해규모로서 산정하였다.

6개로 구분된 상세해역 중 해안선의 피해가 가장 큰 해역은 해역 I의 현대정유 및 난지도 주변해역으로 나타났으며, 어장 피해가 가장 큰 해역은 VI의 가로림만 내해 동부해역으로 나타났다. 한편, 피해가 발생할 수 있는 최단시간은 해역II의 현대정유 주변해역과 해역IV의 가로림만 동쪽 입구해역에서 4시

간 이내로 나타났으며, 그 외 해역에서는 6시간 이상으로 나타났다.

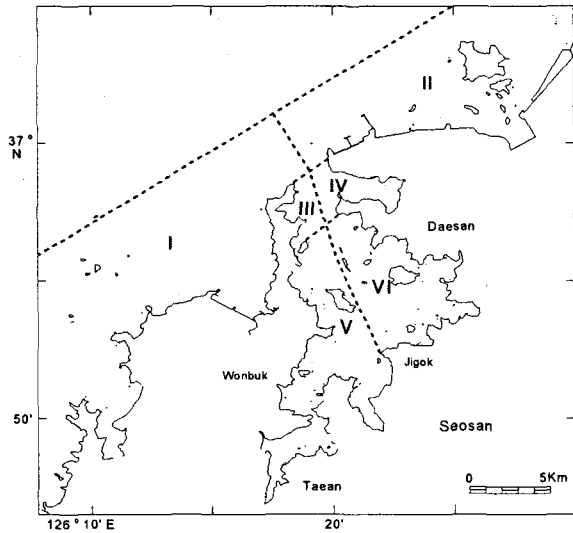


Fig. 9. Subarea of Garorim Bay to estimate pollution risk of spilt oil.

Table 4. Pollution risk of spilt oil in subarea of Garorim Bay

해역분	해안선				어장			
	총 길이	최단 도달 시간	최대 규모	최대 피해를	총 면적	최단 도달 시간	최대 규모	최대 피해를
해역 I	75km	7시간	3km	4%	235ha	7시간	38ha	16%
해역 II	73km	0.3시간	13km	18%	68ha	2시간	32ha	47%
해역 III	14km	7시간	0.2km	1%	70ha	-	-	-
해역 IV	19km	4시간	6km	32%	92ha	4시간	81ha	88%
해역 V	92km	9시간	1km	1%	848ha	8시간	51ha	6%
해역 VI	58km	8시간	9km	16%	589ha	8시간	386ha	66%

4. 결론 및 고찰

유출유 확산에 의한 유류오염 피해는 유출사고의 발생시기, 해수유동 및 바람의 조건 등에 따라 크게 다른 양상을 보인다. 따라서 해수유동 및 바람의 변동을 실시간으로 예측하여 유출유의 피해를 실시간으로 예측하는 시스템은 많은 오류의 가능성을 포함한다. 이러한 오류를 배제하기 위해서는 과거 해수유동과 바람 자료에 근거하여 경우별 유출유 확산예측을 수행하고, 경우별 예측결과를 통계분석하여 유출유 확산 피해에 대한 객관적이고 종합적인 분석이 병행되어야 한다. 본 연구에서는 보다 종합적이고 객관적인 유출유 피해 위험평가를 위하여 과거 해역특성자료를 이용한 통계적 위험평가

방법을 연구하였다. 본 연구의 위험평가에서는 특성지점 유출사고에 대해 실시간 유출유 확산예측 시스템을 과거 해역특성자료와 연계하여 경우별 확산경로를 반복적으로 계산하고, 계산된 결과를 통계분석하여 유출유 피해 가능성의 통계적 경향을 제시함으로써 보다 일반화된 유출유 피해 위험을 산정하였다.

본 연구의 결과는 실제 해양사고가 아닌 과거 사고 사례에 근거하여 선정한 발생가능 사고에 대한 위해도 평가이므로, 특정사고에 대한 평가자료로 활용될 수 없다. 그러나 본 연구에서 제시된 평가방법은 해양오염사고 발생시 위해도 평가를 위한 방안으로 활용될 수 있다. 또한 본 연구에서 제시된 평가방법으로 평가된 유출유 위해도 자료는 유류오염사고의 효율적 방재계획 및 방재전략 수립에 중요한 정보로 제공될 수 있다.

사 사

본 연구는 한국해양연구원에서 지원한 “해난사고 예방 및 구난체계구축 사업”의 일부이다.

참 고 문 헌

- [1] 류청로, 김종규, 설동관, 강동욱(1998). 한국 동남해역에서의 유출유 확산예측모델. 한국해양환경공학회지, 1:52-59.
- [2] 이문진, 강용균(1997). 연안역 와동확산: 관측 및 프랙탈 확산모델링. 한국연안-해양공학회지, 9:115-124.
- [3] 해양경찰청(2001), 태안지역방제실행계획, 한국해양연구원.
- [4] 홍기용, 이문진(1998). 누유확산모델의 남해안 적용. 한국해양환경공학회지, 1:56-65.
- [5] Foreman, M.G.G.,(1978). Manual for tidal currents analysis and prediction. Pacific Marine Science Report 78-6.
- [6] Okubo, A.(1966). A note on horizontal diffusion from instantaneous source in a nonuniform flow. J. Oceanogr. Soc. Japan, 22:35-40.
- [7] Okubo, A.(1971). Oceanic diffusion diagram. Deep Sea Res., 18:789-802.
- [8] Shureman, P.(1958). Manual of harmonic analysis and prediction of tides. United States Government Printing Office, Washington.