

GloBallast 선박평형수 위해도평가 방법의 개선방안에 관한 연구¹⁾

이승국[†] · 강원수 · 김은찬 · 신경순
한국해양연구원

Study on the Improvement of Ballast Water Risk Assessment of GloBallast

S. G. Lee[†], W. S. Kang, E. C. Kim and K. S. Shin

KORDI

요 약

최근 선박평형수에 의한 외래 유입 해양생물체에 대한 관리가 시급한 과제로 대두되고 있다. 이는 외래 유입 유해생물이 해양생태계를 교란시키고 있기 때문이다. 또한 연안의 수산물 어획 및 상업적 활동 및 자원에 악영향을 미치고 있다. 이와 관련하여 IMO에서는 선박평형수에 의한 해양생물체 유입을 관리하기 위해 선박평형수 위해도 평가 시스템인 GloBallast를 운영한 바 있다. GloBallast는 선박평형수 배출량, 선박평형수 배출횟수, 항만 간 환경 유사도, 유해생물종의 수량을 주요 인자로 사용하여 국가 간 선박평형수의 이동에 의한 상대적인 위해도를 평가하도록 구성되어 있는데, GloBallast를 시범 운영해 본 결과에 의하면 주요 인자 중 환경유사도 인자가 다른 인자들에 비해 위해도 평가 결과에 미치는 영향이 상대적으로 큰 것으로 파악되었다. 이에 본 논문에서는 GloBallast 위해도 평가에 사용되고 있는 주요 인자들 간의 상관관계에 대해 살펴보고, 이들 주요 인자들이 보다 합리적으로 위해도 평가에 반영될 수 있는 방안에 대해 검토하였다.

Abstract – Recently, the management of the marine invasive alien species introduced by ballast water has come to the core as an urgent task. Because, hazardous organisms cause harmful effects on the ecosystem. Hazardous organisms also negatively affect fisheries, commercial shipping activities, and marine resources. In this regard, IMO used to operate GloBallast, Ballast Water Risk Assessment System, in order to manage the introduction of invasive species by ballast water. GloBallast is constructed to assess the relative risk due to the movement of ballast water between nations, using the volume and the number of times of ballast water discharge, the environmental similarity between ports, and the abundance of hazardous species as the main factors. According to the results of the demo-operation of GloBallast, it was found out that the environmental similarity factor had affected most highly the results of risk assessment. Therefore, in this study, the correlation between the main factors used in GloBallast risk assessment were re-examined, and some methods were suggested in order to reflect these main factors in the risk assessment more reasonable.

Keywords: Ballast Water(선박평형수), Risk Assessment(위해도평가), GloBallast(GloBallast), Improved method(개선방안)

1. 서 론

선박은 전 세계 물동량의 80% 이상을 수송하면서, 연간 수십

억 톤의 선박평형수를 이송하며, 7,000 여종 이상의 미생물 및 동식물을 옮기는 것으로 알려져 있다(GloBallast[2003], 김은찬[2008]). 이렇게 이동된 생물 중 일부는 타 해역의 환경과 생태계를 교란시키는 부작용을 유발시키고 있다.

IMO에서는 이와 같은 선박평형수에 의한 유해생물의 유입을 막고자 “선박평형수와 침전물 통제 및 관리 협약”을 2004년 2월에 채택하였고, 회원국의 비준을 받아 발효 및 이행을 앞두고 있

[†]Corresponding author: torusgury@moeri.re.kr

¹⁾본 논문은 2010년 대전에서 개최된 한국해양환경공학회 추계학술대회에서 발표된 논문을 근거로 하고 있음을 밝힙니다.

다. 이 협약에서는 군용 선박 등 일부 특수 선박을 제외한 대부분의 선박에 대해 선박평형수를 처리한 후 배출하도록 규정하고 있다. 단, 위해도평가를 수행하여 위해하지 않은 선박에 대해서는 처리를 면제할 수 있다. 이에, IMO에서는 GloBallast를 통해 위해도를 평가하려 하였으며, GloBallast에서 사용된 평가 방법은 선박평형수 배출량, 선박평형수 배출횟수, 항만 간 환경 유사도, 유해생물종의 수량을 주요 인자로 사용하여 항만 간 선박평형수의 이동에 의한 위해도를 평가하는 방법이다.

GloBallast를 시범 운영해 본 결과에 의하면 주요 인자 중 특정 인자가 다른 인자들에 비해 위해도 평가 결과에 미치는 영향이 상대적으로 커서, 다른 인자들의 위해도가 결과에 반영되지 못하는 것으로 파악되었다.

이에 본 논문에서는 GloBallast 위해도 평가에 사용되고 있는 주요 인자들 간의 상관관계에 대해 살펴보고, 이들 주요 인자들이 보다 합리적으로 위해도 평가에 반영될 수 있는 방안²⁾에 대해 검토하였다.

2. GloBallast Programme

2.1 GloBallast Programme 개요

GloBallast Programme은 효과적인 선박평형수 관리를 위한 기술지원, 역량 및 제도를 강화하고자, IMO에서 지구환경기금(GEF), UN개발프로그램(UNDP), 회원국들과 선사들이 참여하여 진행한 사업이다. 전 세계를 총 6개의 권역으로 구분하여 진행하였는데, 6개 권역을 대표하는 태평양·아시아 지역의 중국 대륙, 남미의 브라질, 남아시아의 인도, 중동지역의 이란, 동유럽의 우크라이나, 아프리카의 남아프리카공화국 등 시범지역을 선정하여 2003년에 운영하였다. 시범지역은 각각 생물, 환경, 선박평형수 배출정보 등을 조사하였으며, 조사된 결과를 이용하여 위해도평가를 수행하였다. 그 이후 현재까지 GloBallast Programme에서는 선박평형수 내 외래 해양생물종에 의한 생태계 위해도 평가, 토착종 및 유입종 목록의 확보, 선박평형수 관리 수단 개발, 모니터링 실시, 지역협력의 추진과 이를 통한 실용적 관리기법의 전파, 프로그램 활동을 수행해 오고 있다(GloBallast[2003], 김은찬[2007]).

2.2 위해도평가 방법

GloBallast 프로그램에서는 표준 위해도 평가 프로그램을 만들어 각 권역 사업에 배포하여 작업을 수행하였다. 이때 사용한 위해도 평가 프로그램은 “GloBallast BWRA Database/GIS System”이다.

이 시스템에 적용된 위해도평가 방법은 상대적 총 위해도에 의한 위해도평가 방법이다. 여기에서 상대적이라는 것은 특정항의 위해도를 평가할 때 전체 항만 위해도 합계에 대한 비율로서 위해도를 평가한다는 것을 의미한다.

상대적 총 위해도는 식 (1)과 식 (2)와 같이 두 가지 방법을 이용하여 계산된다(GloBallast[2003]).

$$ROR(1) = \frac{C1 + (C2 \times R1_{W4}) + C3 + (C4 \times R2_{W5})}{4} \quad (1)$$

$$ROR(2) = \frac{C1 + (C2 \times R1_{W4}) + (C3 \times C4 \times R2_{W5})}{4} \quad (2)$$

변수 C1은 수용항²⁾에 입항하는 모든 선박이 배출한 선박평형수 총 횟수 비율로 계산된 위해도 지수를 나타내며 식 (3)과 같이 계산된다.

$$C1 = \frac{F_X}{F_T} \quad (3)$$

여기에서 F_X 는 특정 제공항³⁾에서 출항한 선박이 수용항에서 선박평형수를 배출한 총 횟수를 말하며 F_T 는 수용항 내에 입항한 모든 선박이 배출한 총 횟수를 말한다.

변수 C2는 수용항에 입항하는 모든 선박이 배출한 선박평형수 총 부피 비율로 계산된 위해도 지수를 나타내며 식 (4)와 같이 계산된다.

$$C2 = \frac{V_X}{V_T} \quad (4)$$

여기에서 V_X 는 특정 제공항에서 출항한 선박이 수용항에서 선박평형수를 배출한 총 부피를 말하며 V_T 는 수용항 내에 입항한 모든 선박이 배출한 총 선박평형수 교환 부피를 말한다.

변수 C3은 항만환경 유사도에 따른 위해도 지수를 나타낸다. 유사도 계산 방법은 normalized euclidean distance를 이용하여 식 (5)와 같이 계산된다.

$$C3 = 1 - \frac{dE}{MAX(dE)}$$

$$\text{where, } dE = \sqrt{(x_i - y_i)^T (x_i - y_i)} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2}, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (5)$$

변수 C4는 상대적 위해중 위해도에 따른 위해도 지수를 나타낸다. 각 항만에 존재하는 생물종은 각각 위해도를 갖게 되는데 이를 종합하여 식 (6)과 같이 계산된다.

$$C4 = \frac{NIS + (S \times 3) + (K \times 10)}{Total_{all\ source\ ports}} \quad (6)$$

여기에서 NIS는 항만에 유입된 모든 종 개체 수를 말하며 S는 위험이 예상되는 종 개체 수를 말한다. 또한 K는 위험한 종 개체 수를 말하며 $Total_{all\ source\ ports}$ 는 모든 항만에 대한 개체 수의 합을 말한다.

한편, 식 (1) 및 식 (2)에서 변수 R1W4는 선박평형수 탱크 크기에 따른 C2에 대한 가중치이고, 변수 R2W5는 운항 시간에 따른 C4에 대한 가중치를 나타낸다.

²⁾수용항: 선박평형수가 배출되는 항을 말한다.

³⁾제공항: 선박평형수가 흡입되는 항을 말한다. 상대적 총 위해도 평가 방법에서는 하나의 수용항에 대한 다수의 제공항의 위해도를 평가한다.

Table 1. R1_{w4} risk-reduction weighting to C2

R1 (기록상의 최대탱크부피)	<100	100-500	500-1000	>1000
W4 (C2에 적용될 위해가중계수)	0.4	0.6	0.8	1

Table 2. R2_{w5} risk-reduction weighting to C4

R2 (기록상의 최소탱크저장시간)	<5	5-10	10-20	20-50	>50
W5 (C4에 적용될 위해가중계수)	1	0.8	0.6	0.4	0.2

2.3 위험도 평가 결과

위해도 지수는 전체 합계(또는 최대값)에 대한 개별 제공항의 위험도 비로 계산되며, 0에서 1까지의 값을 갖는다. 상대적 총 위험도 ROR은 이 위험도 지수들의 합을 위험도 지수의 개수로 나눠주게 되므로 역시 0에서 1의 값을 갖는다. 위험도 평가시 사용된 선박평형수 배출량과 횡수는 항만관리정보시스템(Port-MIS)의 화물량으로부터 추정된 값을 사용하였고(최학선[2009]), 항만의 환경 및 생물 자료는 GloBallast에서 사용한 자료를 이용하였다(GloBallast[2003]).

평가를 수행하기 전에 각 위험도 지수값을 계산하였다. 위험도 지수 C1, C2, C3, C4 모두는 0에서 1까지의 값을 가질 수 있지만, 계산 결과 C1의 최대값은 0.078 이었고, C2의 최대값은 0.095, C3의 최대값은 0.844, C4의 최대값은 0.205이었다. C3, C4의 값이 C1, C2의 값보다 상대적으로 큰 값을 알 수 있다. 이는 C1, C2의 경우에 전체 제공항의 위험도 합계에 대한 개별 제공항의 위험도 비로 계산되어, 제공항의 개수가 많을수록 전체 위험도 합계 값이 커져 C1, C2의 값은 작아지게 된다. 반면, C3, C4는 가능한 위험도 최대값에 대한 개별 항의 위험도의 비로 계산되며, 최대 위험도 값은 제공항의 개수와는 무관하며 제공항의 위험도 계산 값 중 최대값과 유사한 값을 갖기 때문에 C3, C4의 값이 C1, C2

보다 크게 된다.

2.2절에서 언급한 방법에 따라 구축된 위험도 평가 프로그램을 이용하여 인천항을 수용항으로 하고, 식 (1)을 이용(이하 ‘Method 1’이라 함)하여 위험도 평가를 수행해 보았으며, 평가 결과를 위험도가 높은 순서대로 정렬하여 상위 24개까지의 항을 Fig. 1에 나타내었다.

Fig. 1에서 보는 바와 같이 식 (1)을 적용하여 위험도 평가를 수행할 경우, 항만환경 유사도에 따른 위험도 지수인 C3값이 다른 항목에 비해 상대적으로 커서, 위험도 평가 결과는 C3값에 의존적이며, 다른 항목들이 위험도 평가 결과에 미치는 영향은 미미한 것으로 나타났다. 개별 위험도 지수의 합과 전체 위험도 지수 합을의 비율을 보면, C1이 4%, C2가 4%, C3가 84%, C4가 9%로 나타났다. 이러한 결과는 선박평형수를 많이 배출하고, 위해 생물이 많이 존재하더라도, 환경유사도가 낮으면 위험도가 낮게 평가되는 결과를 초래하는데 이는 위험도 평가를 위해 사용된 각 항목들의 형평성에 대한 제고의 여지가 있는 것으로 판단되었다. 즉, 4개의 위험도 지수는 위험종의 유입에 있어 중요한 요소들이므로, 동일하게 평가되는 것이 타당할 것으로 사료된다.

한편, Fig. 2는 인천항을 수용항으로 하고, 식 (2)를 이용(이하 ‘Method 2’라 함)하였을 때의 위험도 평가 결과이며, 개별 지수가 평가 결과에 미치는 영향을 파악하기 위해 Fig. 2와 동일하게 위험도가 높은 순서대로 정렬하여 상위 24개까지의 항을 나타내었다. 이 방법에서는 C3와 C4가 곱해지기 때문에, 서로 감쇄인자로 작용하여, C3×C4 값의 대부분이 C1, C2보다 작은 값이 된다. 개별 위험도 지수의 합과 전체 위험도 지수 합을의 비율을 보면, C1이 42%, C2가 49%, C3×C4가 8%로 나타났다. 이는 식 (1)을 이용한 경우와는 반대로 C3와 C4가 평가 결과에 미치는 영향이 C1과 C2에 비해 현저히 낮은 것으로 파악되어 이 또한 제고의 여지가 있는 것으로 판단되었다.

Fig. 1과 Fig. 2의 ROR값을 비교해 보면 값의 범위가 차이가 많이 나는 것은 알 수 있다. 이는, 최종적으로 위험도를 평가할 때

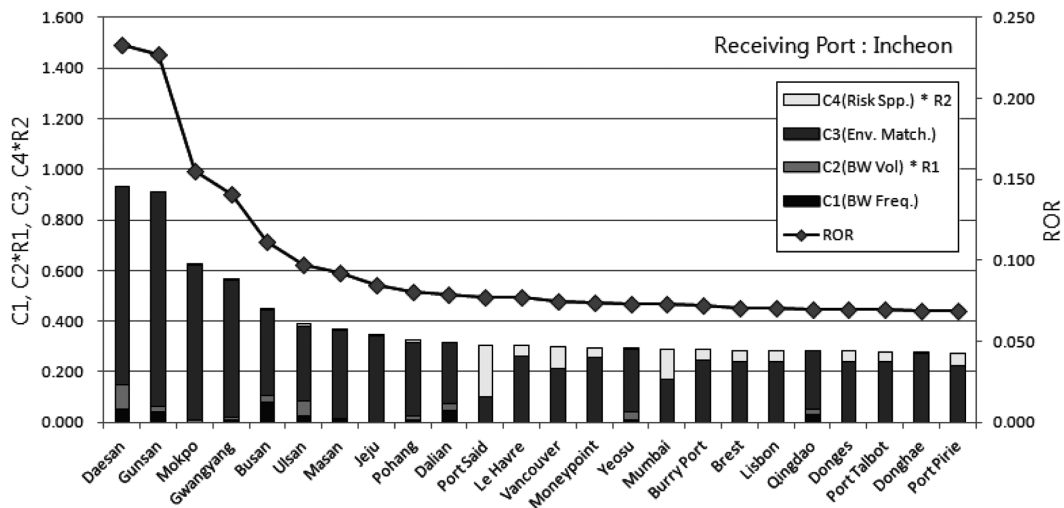


Fig. 1. Result of Risk Assessment by Method 1.

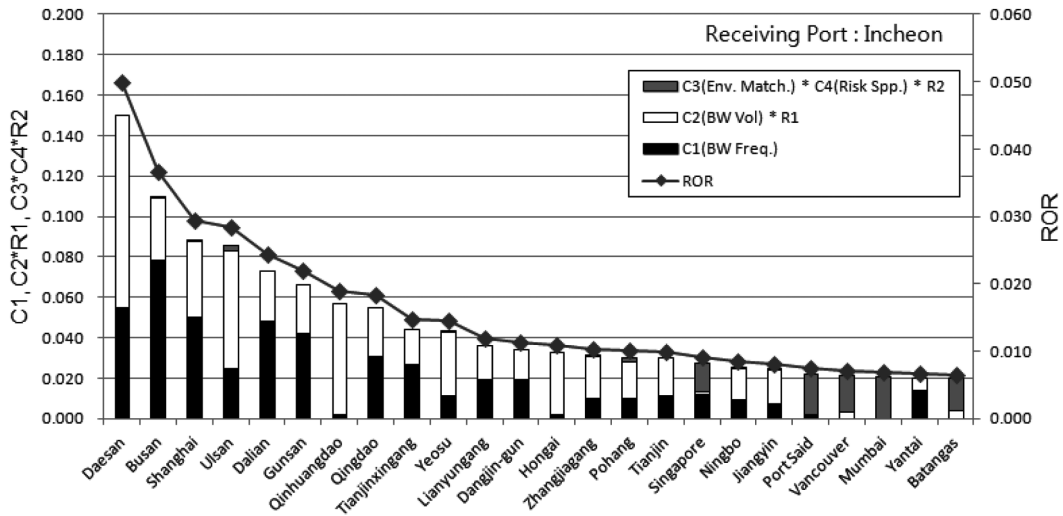


Fig. 2. Result of Risk Assessment by Method 2.

는 이 값을 정규화하여 사용하지만, 본 연구에서는 각 위해도 지수가 ROR값에 미치는 영향을 보기 위해 정규화하기 전의 ROR 값을 사용하였기 때문이다. Method 1을 사용한 Fig. 1에서는 값이 큰 C3, C4가 반영되어 ROR 값이 크지만, method 2를 사용한 Fig. 2에서는 C3와 C4가 서로 감쇄인자로 작용하여 C1, C2, C3 × C4의 값이 모두 작아 ROR 값이 작다.

3. 위해도 평가 개선 방안

앞에서 언급한 바와 같이 기존의 상대적 총 위해도 평가 방법은 4개의 위해도 지수가 평가 결과에 고르게 반영되지 않고, 특정 위해도 지수에 의해 평가 결과가 좌우됨이 파악되었다. 이에, 본 연구에서는 이를 개선하기 위해 몇 가지 대안에 대해 검토해 보았다.

3.1 위해도 평가 대안 1

각 지수(C1, C2, C3, C4) 값의 최대, 최소값의 범위가 현저하게 차이가 나서, 이들 값을 그대로 합하는 것은 합당하지 않다고 판단하여, 각 지수의 값을 정규화(normalization)한 후, 식 (1)을 이용하여 위해도 평가를 수행하였다. 평가 결과는 Fig. 3과 같다.

Fig. 1과 Fig. 3을 비교해 보면, Dalian, Qingdao 등은 환경 유사도는 작으나 선박평형수 배출량이 많아 위해도가 상승하였고, Portland, Batangas 등은 환경 유사도는 작으나 위해 생물이 많아 위해도가 상승하였다. 반면, Mokpo, Vancouver 등은 환경 유사도는 크지만 선박평형수 배출량이 작아 위해도가 하락한 것을 볼 수 있다. 개별 위해도 지수의 합과 전체 위해도 지수 합을 비교하면, C1이 26%, C2가 26%, C3가 36%, C4가 12%로 나타났다.

이와 같이, 4개의 지수 값을 정규화한 후 위해도 평가를 수행했을 경우, 대체적으로 각 지수들의 영향이 고르게 반영되는 것으로

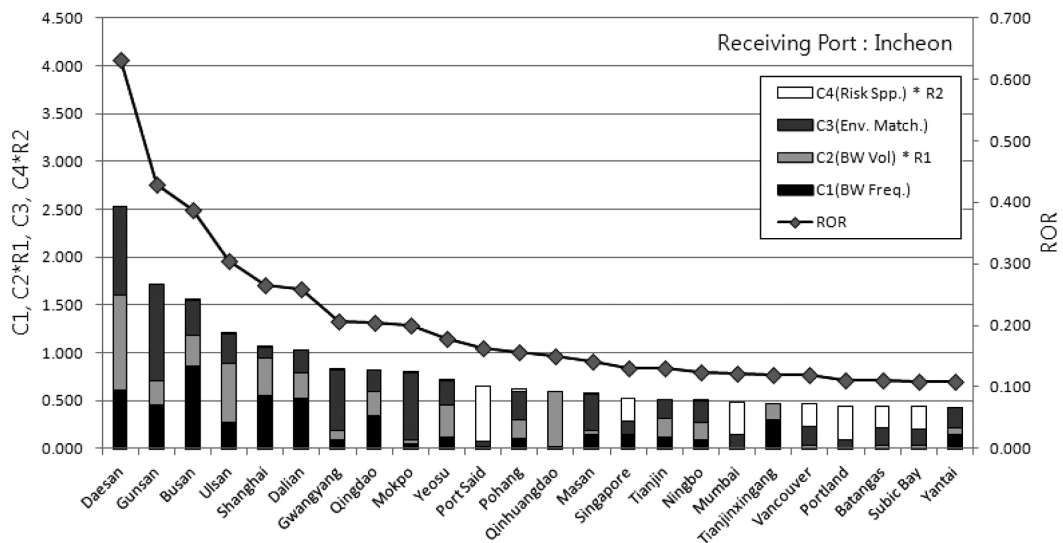


Fig. 3. Result of Risk Assessment by Proposed Method 1.

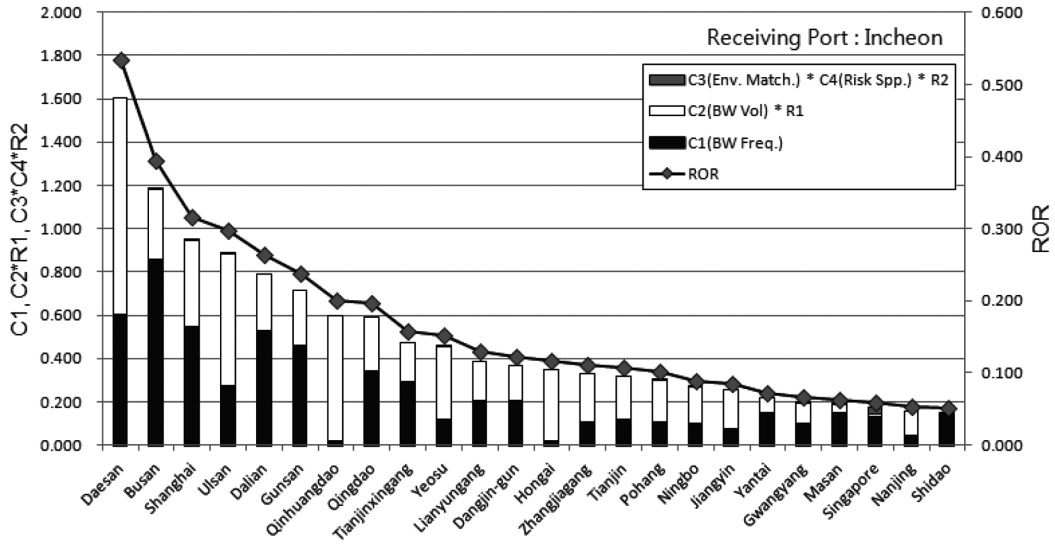


Fig. 4. Result of Risk Assessment by Proposed Method 2.

나타났으며, 이로부터 본 대안이 기존 방법에 비해 적절한 평가 방법이 될 수 있을 것으로 사료되었다.

3.2 위해도 평가 대안 2

대안 1과 같이 각 지수 값을 정규화한 후, 식 (2)를 이용하여 위해도 평가를 수행하였으며, 그 결과는 Fig. 4와 같다.

본 대안에서는 각 지수의 값을 정규화하여 사용하였지만, 여전히 C3과 C4가 서로 감쇄인자로 작용하기 때문에, C3과 C4보다는 C1과 C2가 위해도 결과에 미치는 영향이 현저하게 높았고, 개별 위해도 지수의 합과 전체 위해도 지수 합을 보면, C1이 48%, C2가 51%, C3×C4가 0%로 나타났다. 이에, 대안 2는 기존의 방법과 유사하며 대안으로서 적절하지 못한 것으로 판단되었다.

3.3 위해도 평가 대안 3

위해도 평가는 위해종의 유입을 막는 것이 목적이기 때문에, 위해종과 관련이 깊은 위해도 지수 C4가 가장 중요할 수 있다. 이와 같은 관점에서 위해도 평가 식을 아래 식과 같이 수정하였고, 각 지수 값을 정규화한 후, 위해도 평가를 수행하였다.

$$ROR(3) = \frac{(C1 + (C2 \times R1_{w3}) + C3) \times (C4 \times R2_{w3})}{3} \quad (7)$$

대안 3의 위해도 평가 결과는 Fig. 5와 같다. 위해도가 높은 지역은 대부분 지리적으로 멀고, 선박 운항 횟수가 적은 지역들로 나타났다. 개별 위해도 지수의 합과 전체 위해도 지수 합을 보면, C1이 3%, C2가 1%, C3가 40%, C4가 56%로 나타났다. 대안 3의 결과를 볼 때 C3, C4가 결과에 미치는 영향이 현저히

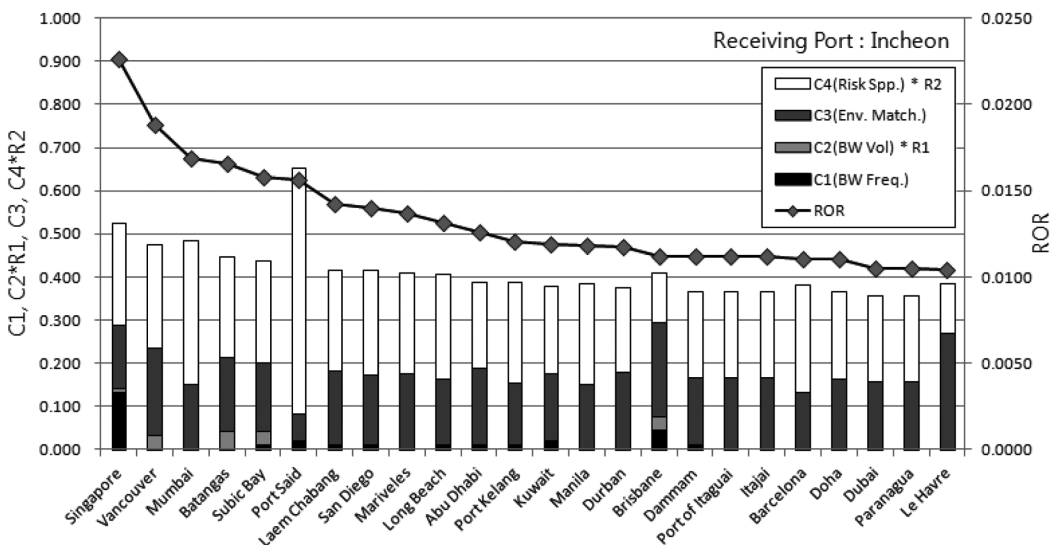


Fig. 5. Result of Risk Assessment by Proposed Method 2.

높고 다른 지수들은 결과에 반영되지 못하고 있음을 알 수 있으며, 이에 대한으로서 적절하지 못한 것으로 판단되었다.

이 외에 위해도 평가 식을 변형하는 등 몇 가지 방법들에 대해 평가해 보았지만, 대안 1이 가장 적절한 것으로 판단되었다.

4. 결 론

본 연구에서는 IMO GloBallast 프로그램의 상대적 총 위해도 평가 방법에 대해 고찰하였다. 먼저, 평가에 사용되는 주요 인자들 간의 상관관계를 검토한 결과, 특정 인자 값이 나머지 인자 값을 상쇄시켜, 위해도 평가 결과에 특정 인자만이 영향을 주고 있음을 확인하였다.

이에, 다양한 대안들을 제시하여, 위해도 평가를 수행해 보았는데, 그 중에서 각 지수의 값을 정규화하여 식 (1)을 사용하였을 때, 모든 인자들이 평가 결과에 고르게 반영되는 것으로 나타났다.

현재까지는 상대적 총 위해도 평가 방법의 대안으로서 1의 대안이 가장 적절한 것으로 판단되지만, 향후 좀 더 다양한 방법들을 적용하여 보다 나은 개선 방법에 대한 연구가 이루어져야 할 것으로 사료된다.

후 기

본 연구는 한국해양연구원에서 수행한 “선박평형수 위해도평가 기술 개발연구”의 연구 성과 중 일부임을 밝혀둔다.

참고문헌

- [1] 김은찬 외, 2007, “선박 밸러스트수 배출규제 대응기술 개발 연구(4)”, 한국해양연구원, 해양수산부 보고서, 15-42.
- [2] 김은찬 외, 2008, “선박 밸러스트수 배출규제 대응기술 개발 연구(5)”, 한국해양연구원, 국토해양부 보고서, 3-10.
- [3] 최학선 외, 2009, “국내 주요항만에서의 선박평형수 배출량 추정”, 한국해양환경공학회지, Vol. 12, No. 4, 284-288.
- [4] GloBallast, 2003, Ballast Water Risk Assessment: User Guide (1.4) for the BWRA Database/GIS System, GloBallast report, 53.

2011년 7월 18일 원고접수

2011년 8월 31일(1차), 10월 31일(2차) 심사수정일자

2011년 10월 31일 게재확정일자