

## 정박지 규모의 적정성 평가 기준에 의한 울산항 정박지 개선 방안

박준모\* · 윤귀호\*\* · 강민균\*\* · 이윤석\*\*\*†

\* 목포해양대학교 항해학부 교수, \*\* 한국해양대학교 항해융합학부 교수, \*\*\* 한국해양대학교 해양경찰학부 교수

## Improvement Plan for Ulsan Anchorage Based on Adequacy Evaluation Criteria

Jun-Mo Park\* · Gwi-ho Yun\*\* · Min-kyoon Kang\*\* · Yun-Sok Lee\*\*\*†

\* Professor, Division of Navigation Science, Mokpo National Maritime University, Mokpo 58628, Korea

\*\* Professor, Division of Navigation Convergence Studies, Korea Maritime &amp; Ocean University, Busan 49112, Korea

\*\*\* Professor, Division of Coast Guard Studies, Korea Maritime &amp; Ocean University, Busan 49112, Korea

**요 약** : 울산항 정박지는 정박지 수요 대비 충분한 넓이의 면적이 확보되어 있지 않으나 이를 객관적으로 평가할 수 있는 기준이 명확하게 정의되어 있지 않은 실정이다. 이에 본 연구에서는 현행 정박지 밀집도와 가동률 개념의 문제점을 개선한 일반식과 정박지 적정성 평가를 위한 새로운 평가 기준을 제안하였다. 그리고 이 기준을 울산항 E 정박지에 적용하여 정박지 규모의 적정성을 평가하였다. 울산항 E1 정박지의 밀집도와 가동률은 각각 129%, 122%로 두 평가 기법 모두 100%를 초과하는 것으로 나타나 평가 기준에 따라 정박지 확장이 필요한 것으로 분석되었다. 이에 울산항 입출항 선박의 통행 패턴과 도선지점과의 거리를 고려하여 울산항 제1항로 끝단에서 부채꼴 모양으로 35도를 개방한 정박지 확장 방안을 제시하였고, 해상교통 항적도, 정박지 밀집도, 그리고 가동률 평가 기준을 적용하여 적정성을 검증하였다. 검증 결과 울산항 E3 정박지 남측의 확장 해역과 해상교통 항적이 일부 겹치는 부분은 존재하나 매우 미미하여 해상교통에 영향을 미칠 가능성은 희박한 것으로 분석되었다. 또한 정박지 모두에서 정박지 규모의 적정성이 확보되었음을 확인하였다.

**핵심용어** : 울산항 E 정박지, 밀집도, 점유 수역, 가동률, 적정성 평가 기준

**Abstract** : The Ulsan anchorage has not secured a sufficient area than the anchorage demand, and the criteria for objective evaluation are not clearly defined. In this study, a general formula to solve the problems of the current anchorage density and occupancy concept was derived, and new adequacy evaluation criteria were proposed. The proposed criteria were applied to the Ulsan E anchorage to evaluate the suitability of the anchorage. The anchorage density and occupancy of the E1 anchorage were 129% and 122%, respectively, showing that both evaluation techniques exceeded 100%, requiring anchorage expansion according to the evaluation criteria. A plan to expand the anchorage was reviewed considering the traffic pattern and the distance from the pilot boarding point. Therefore, a plan to open 35° on a sector at the end of the Ulsan No. 1 fairway was developed, and its suitability was verified. Base on the verification results, there was a part of the overlap between the extended area and the traffic track on the south of the E3 anchorage, but the possibility of affecting the marine traffic was minimal. In addition, it was confirmed that anchorage adequacy was achieved.

**Key Words** : Ulsan E anchorage, Anchorage density, Occupied area, Anchorage occupancy, Adequacy evaluation criteria

## 1. 서 론

정박지는 선박의 안전한 정박, 원활한 조선 및 하역을 위한 정온수면을 말한다. 이는 효율적인 항만 운영과 선박의 안전한 입·출항을 위한 필수 수역시설이므로 충분한 넓이와

수심이 확보되어야 한다. 그러나 우리나라 대부분의 항만은 항계 내의 수역이 협소하기 때문에 정박지로 지정할 수 있는 수역이 제한적이어서 관리가 필요한 상황이다.

울산항은 우리나라 항만 중 물동량 기준으로 3번째로 규모가 큰 항만(MOF, 2019)으로써 입·출항 선박이 많다. 특히 정박지 사용 선박의 대형화로 선박 1척이 차지하는 점유 수역이 넓어졌으며, 울산항 정박지 내 벙커링 전용 정박지의

\* First Author : jmpark@mmu.ac.kr, 061-240-7180

† Corresponding Author : lys@kmou.ac.kr, 051-410-5098

임시 운영으로 벙커링 선박이 추가로 정박함에 따라 정박지 사용 선박 수가 많은 수준을 유지하고 있다. 결과적으로 울산항 정박지는 수요 대비 충분한 넓이의 면적이 확보되어 있지 않은 상황이며, 이로 인한 정박지 내 해양사고 등이 자주 발생하고 있다(Lee, 2014). 이처럼 정박지의 효율적인 운영과 더불어 정박지 사용 선박의 안전을 위해서는 정박지 규모의 적절성을 효과적으로 평가할 수 있는 종합적인 분석 도구가 요구되는 상황이다.

현재 정박지 적정성 평가를 위한 도구는 가동률과 밀집도 개념이 있다. 그러나 이러한 방법은 선박이 크기에 따른 점유수역 넓이를 반영하지 못하거나, 시계열 분석을 할 수 없는 등의 문제가 존재한다.

정박지 적정성 평가와 관련된 국내외 선행연구를 살펴보면, 정박지 가동률 개념을 사용하여 정박지 용량을 계산한 Fan and Cao(2007)의 연구, 정박지 사용선박 수를 이용하여 정박지 확장 필요성을 제시한 Lee and Lee(2014)의 연구, 정박지 밀집도를 기반으로 한 용량 지수로 대기 정박지의 수요를 분석한 Kwon et al.(2019)의 연구, 그리고 정박지 가동률에 가동 일수 개념을 추가하여 정박지 적정성을 분석한 Park and Kim(2018)의 연구 등이 이루어졌다. 그러나 기존 연구에서 사용한 정박지 가동률 개념은 시계열 분석이 불가능하고, 일부 정박지 지정방식에만 적용 가능하며, 직관적인 정박지 적정성 평가가 어려울 뿐 아니라 정박지 면적 계산과 대기시간 산출을 위한 계산식이 복잡하다는 단점이 존재한다.

이에 본 연구에서는 항만운영의 안전성 및 효율성, 정박지 안전성 확보를 위한 기존의 정박지 가동률과 밀집도 개념의 문제점을 개선한 일반식과 정박지 적정성 평가를 위한 새로운 방식의 기준을 제안하였다. 그리고 이 기준을 울산항 정박지에 적용하여 정박지 규모의 적정성을 평가하고, 도출된 문제점의 개선을 위한 대안을 제시하였다.

본 연구에서 제시한 정량적 기준은 국내·외의 정박지 규모를 평가할 때 표준기법으로 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

## 2. 연구방법

울산항 정박지는 E1~E3, M1~M7 정박지로 총 10개소가 울산항 항계 내에 지정되어 있다. 이 정박지들 중 외해에 접해 있고, 지정된 공간에 다수의 선박이 집단으로 정박하며, 대형 선박의 정박지로 사용되어 안전사고의 우려가 있는 울산항 E 정박지를 대상으로 연구를 수행하였다. 그리고 분석 기간은 2015년부터 2019년까지이며, 울산지방해양수산청에

서 제공한 울산항 E 정박지 사용 선박 자료를 이용하여 5년간의 자료를 분석하였다.

연구 방법은 먼저 기존 연구에서 정박지 적정성 평가에 사용하는 정박지 밀집도와 가동률 개념을 조사하고 그 문제점을 분석하였으며, 이를 개선한 새로운 개념의 평가 기준을 제시하였다. 그리고 본 연구에서 제안한 평가 기준을 사용하여 울산항 E 정박지의 적정성 평가를 실시하였고, 현행 정박지 규모가 적절한 수준인지 분석하였다. 마지막으로 정박지 사용 선박의 안전을 고려하여 울산항 E 정박지 확장 및 재배치 방안을 제시하고, 이를 검증하였다.

## 3. 정박지 규모 적정성 평가

정박지 규모의 적정성 평가를 위한 선행 연구를 살펴보면 정박 가능한 선박 척수를 기반으로 한 밀집도 평가 기법과 정박지 점유 면적과 점유시간을 기반으로 한 가동률 평가 기법이 대표적이다. 이에 본 절에서는 기존의 정박지 밀집도와 가동률 개념에서 장·단점을 분석하고, 기존 평가 개념의 단점을 개선함과 동시에 모든 정박지 지정방식에 적용할 수 있는 정박지 적정성 평가 기준을 제시하고자 한다.

### 3.1 정박지 밀집도 평가법

정박지 밀집도는 Park et al.(2016)이 제시한 것으로 식(1)을 사용하여 정박지 규모를 평가하는 방법이다. 이 식(1)은 정박지에 수용 가능한 선박 척수 대비 실제 정박지를 사용한 선박의 평균 척수를 백분율로 수치화한 것으로 단독 정박지 지정방식에 주로 적용된다.

$$AOR = \frac{AV_R}{AV_C} \times 100(\%) \quad (1)$$

여기서,  $AOR$  : 정박지 밀집도(%)

$AV_C$  : 수용 가능한 선박 척수(척)

$AV_R$  : 실제 정박지 사용 선박의 평균 척수(척)

이 기법은 정박지 규모의 적정성을 직관적으로 보여줄 수 있을 뿐 아니라 계산 방법 또한 간단하다는 장점이 있다. 그러나 정박지 사용 선박의 점유 시간을 고려하지 못하기 때문에 시간에 따른 정박지 밀집 패턴을 분석할 수 없으며, 정박지 사용 선박의 크기에 따라 변하는 정박 가능 척수를 알 수 없는 한계가 있다.

이에 기존의 밀집도 평가기법의 한계를 개선하고, 모든 정박지 지정방식에 적용할 수 있는 정박지 밀집도 평가식(2), 식(3)을 정의하였다.

정박지 규모의 적정성 평가 기준에 의한 울산항 정박지 개선 방안

$$Ad^t = \frac{B^t}{S} \times 100(\%) \quad (2)$$

$$aAd = \frac{1}{T-c} \left( \sum_{t=1}^T Ad^t \right) \quad (3)$$

여기서,  $Ad^t$  : 시간  $t$  의 정박지 밀집도(%)  
 (이하, 시간별 정박지 밀집도)  
 $B^t$  : 시간  $t$  에 투묘해 있는 척수(척)  
 $S$  : 최대 정박 가능 척수(척)  
 $aAd$  : 연 평균 정박지 밀집도(%)  
 (이하, 정박지 밀집도)  
 $T$  : 1년(시간)  
 $c$  : 날씨 등으로 인한 정박지 폐쇄 기간(시간)

식(2)는 시간별 정박지 밀집도로서 00시부터 23시까지 각각의 시간에 정박지 밀집도를 계산하기 위한 것이다. 예를 들어, 05시의 정박지 밀집도는 05시 00분부터 05시 59분까지 정박지를 점유하고 있는 선박 척수를 정박지 동시 정박 가능 척수로 나눈 것을 의미한다.

식(3)은 연 평균 정박지 밀집도를 계산하기 위한 방법으로 시간별 정박지 밀집도 계산 결과 중 1년 동안의 데이터를 모두 더한 후, 이 값을 해당 기간 동안 날씨 등으로 인해 정박지 폐쇄 시간을 감한 값으로 나누어 도출한다.

여기서, 정박지는 기상조건, 항만환경 및 기타 여러 가지 조건에 따라서 묘박할 수 없는 상황이 발생하기 때문에 선박이 해당 정박지를 1년 동안 연속으로 사용할 수 없다. 대표적으로 태풍이 정박지 인근으로 내습할 경우 정박지를 사용하고 있는 선박은 태풍의 영향이 미치는 기간에는 정박지를 사용하지 않고 안전한 수역으로 대피한다. 따라서 정박지 밀집도 평가 시 기상 조건으로 인한 정박지가 폐쇄 기간(c)을 조사하여 이 시간을 반영하였다.

3.2 정박지 가동률 평가법

정박지 가동률은 Park and Kim(2018)이 제시한 것으로 식(4)를 사용하여 정박지 규모를 평가하는 방법이다. 이 식(4)는 정박지 면적과 정박지 대기시간을 기준으로 전체 정박지 면적과 정박지 가동시간 대비 실제 정박지 사용 선박의 점유면적과 대기시간의 비를 수치화한 것으로 집단 정박지 지정방식에 주로 적용된다.

$$M_c(Group) = \frac{\sum_{i=1}^n (A_i \times D_i)}{AC \times OR} \times 100(\%) \quad (4)$$

여기서,  $AC$  : 정박지 전체 수역 면적(km<sup>2</sup>)  
 $OR$  : 정박지 가동 일수(일)  
 $A_i$  :  $i$ 톤수 구간 선박의 정박지 점유 면적(km<sup>2</sup>)  
 $D_i$  :  $i$ 톤수 구간 선박의 정박지 대기 일수(일)

이 기법의 가장 큰 장점은 정박지 사용 선박이 점유하는 수역의 넓이가 평가에 반영되기 때문에 선박의 크기에 따라 가동률 결과가 달라지는 것을 확인할 수 있다는 점이다. 그러나 정박지 가동률의 시계열 분석을 통한 일별 또는 시간별 정박지 가동률 분석이 불가능하고, 집단 정박지 형태(모양) 및 선박의 크기에 따라 정박지 효율이 동일하지 않기 때문에 집단 정박지 가동률 평가를 위한 일정한 기준을 수립하기 어렵다는 한계가 있다.

이에 기존의 정박지 가동률 평가에 시계열 분석을 접목하고 정박지 사용 면적에 대한 직관적인 평가가 가능하도록 정박지 가동률 평가 식(5), 식(6)을 정의하였다.

$$Ao^t = \frac{\sum_{i=1}^{B^t} M_i^t}{A \times U} \times 100(\%) \quad (5)$$

$$aAo = \frac{1}{T-c} \left( \sum_{t=1}^T Ao^t \right) \quad (6)$$

여기서,  $Ao^t$  : 시간  $t$  의 정박지 가동률(%)  
 (이하, 시간별 정박지 가동률)  
 $B^t$  : 시간  $t$  에 투묘해 있는 척수(척)  
 $M_i^t$  : 시간  $t$  에 투묘해 있는 선박  $i$ 가 점유한 정박지 면적(km<sup>2</sup>)  
 $A$  : 정박지 전체 면적(km<sup>2</sup>)  
 $U$  : 정박지 효율  
 $aAo$  : 연 평균 정박지 가동률(%)  
 (이하, 정박지 가동률)  
 $T$  : 1년  
 $c$  : 날씨 등으로 인한 정박지 폐쇄 기간(시간)

식(5)는 시간별 정박지 가동률로서 00시부터 23시까지 각각의 시간에 정박지 가동률을 계산하기 위한 것이다. 예를 들어, 05시의 정박지 가동률은 05시 00분부터 05시 59분까지 정박지를 점유하고 있는 선박의 점유수역을 모두 더한 후, 이를 정박지 전체 면적과 정박지 효율을 곱한 값으로 나눈 값을 의미한다.

식(6)은 1년간의 평균 정박지 가동률을 계산하기 위한 것으로 시간별 정박지 가동률 계산 결과 중 1년 치 데이터를 모두 더한 후, 이 값을 해당 기간 동안 날씨 등으로 인해 정박지 폐쇄 시간을 감한 값으로 나누어 도출한다.

여기서 정박지 효율( $U$ )이란 식(7)로 정의하였으며, 정박지 면적 대비 투묘 선박이 최대로 점유할 수 있는 면적의 비율을 의미한다.

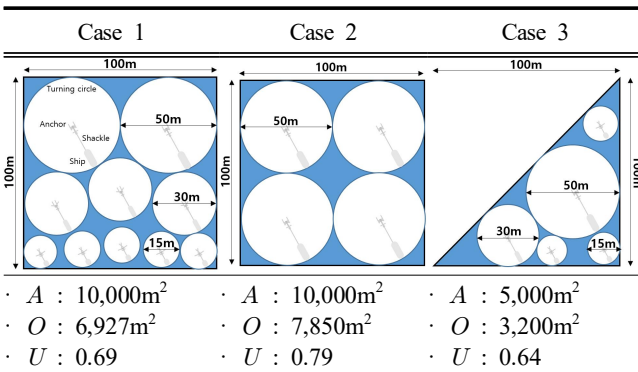
$$U = \frac{O}{A} \quad (7)$$

여기서,  $O$  : 투묘 선박이 최대로 점유 가능한 면적( $\text{km}^2$ )

정박지에 투묘한 선박은 외력의 방향에 따라 투묘 지점을 중심으로 선회하기 때문에 점유 수역은 원형의 형태가 된다 (Huang et al., 2009). 따라서 정박지 모양 또는 정박지 사용 선박의 크기에 따라 정박지 수역 중 선박이 점유할 수 없는 수역이 반드시 존재하게 된다. Table 1은 집단 정박지 모양과 투묘 선박의 크기에 따라 선박이 점유할 수 없는 수역의 차이를 보여주고 있으며, 이에 따른 정박지 효율( $U$ )의 차이를 나타내고 있다.

결론적으로, 정박지 수역 중 투묘 선박이 점유 수역으로 사용할 수 없는 면적은 정박지 모양과 정박지 사용 선박의 크기에 따라 다르므로 정박지 효율에 차이가 발생하게 된다. 따라서 본 연구에서는 정박지 가동률 분석 시 정박지 효율을 반영하여 객관적인 평가 기법이 될 수 있도록 하였다.

Table 1. Anchorage efficiency (example)



### 3.3 정박지 규모 적정성 평가

제2절에서는 정박지 지정 방식과 정박지 운영 상황에 따라 정량적인 정박지 규모의 적정성 평가가 가능하도록 정박지 밀집도와 가동률 평가 개념을 정의하였다. 그러나 개선한 정박지 적정성 평가 방법 또한 근본적인 문제점이 내포

되어 있다.

과거에는 정박지 지정 방식을 단독 정박지 또는 집단 정박지 지정 방식 등 한 가지 방법으로 지정하는 것이 일반적이었다. 그러나 최근에는 동일한 정박지를 집단 정박지와 단독 정박지를 혼용하는 경우가 많아지고 있다. 따라서 이러한 정박지 지정 방식에서는 정박지 밀집도와 가동률 중 한 가지 평가 기법을 적용하여 정박지 적정성 평가에 적용할 수 없다는 근본적인 문제점이 있는 것이다. 추가적으로 정박지 밀집도와 가동률 개념은 각각마다 명확한 단점이 있기 때문에 한 가지 기법만을 사용한 정박지 규모의 적정성 평가는 이러한 이유로 그 결과의 객관성을 인정받지 못하는 경우가 많다.

이에 본 연구에서는 집단 정박지와 단독 정박지 뿐 아니라 모든 정박지 지정 방식에서 사용 가능하며, 정박지 밀집도와 가동률 분석 결과에 대한 객관성 문제를 보완할 수 있는 평가 기준을 제시하였다.

Table 2는 연구에서 새롭게 정의한 정박지 평가 기준이다. 이는 연 평균 정박지 밀집도와 가동률을 개별 산출하여 밀집도와 가동률 모두 100%가 미만일 경우 정박지 여유로 평가하고, 밀집도와 가동률 모두 100% 이상일 경우 정박지 확장 고려로 평가한다. 그리고 밀집도 또는 가동률 평가 개념이 100% 이상일 경우에는 정박지 확장 필요로 평가하는 방법이다.

Table 2. Anchorage adequacy evaluation criteria

| Evaluation Criteria | retention               | consider expansion        | expansion                  |
|---------------------|-------------------------|---------------------------|----------------------------|
| Anchorage Condition | $aAd$ and $aAo < 100\%$ | $aAd$ or $aAo \geq 100\%$ | $aAd$ and $aAo \geq 100\%$ |

## 4. 울산항 E 정박지 적정성 평가 및 확장 방안

### 4.1 개요

#### 1) 울산항 E 정박지 지정 현황

울산항 E 정박지는 2019년 5월 개정·고시된 울산항 항만 시설운영세칙(제2019-62호, 2019.05.16.) 중 정박지 지정 현황에 경위도로 기재되어 있으며, 이를 연결하면 Fig. 1의 울산항 E1, E2, E3 정박지 지정 지점을 확인할 수 있다.

이 정박지는 울산항 주 출입 항로인 제1항로 동측 수역과 접하여 지정되어 있으며, 울산항 항계 동측 끝단과 접해 있다. 또한 E 정박지는 E1, E2, E3의 3구역으로 분리되어 있으며, 각 정박지에는 각각 급유를 위한 벙커링 정박지 B1, B2, 그리고 B3-1와 B3-2 가 집단 정박지 내에 임시로 지정·운영되고 있다.

## 정박지 규모의 적정성 평가 기준에 의한 울산항 정박지 개선 방안

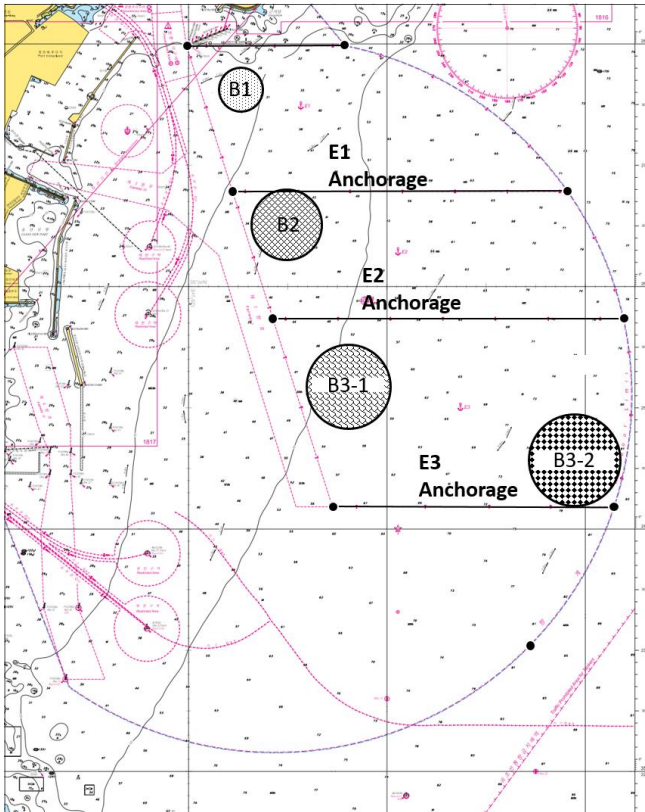


Fig. 1. Ulsan E anchorage status.

### 2) 점유 수역 규모 결정을 위한 기준

정박지 밀집도와 가동률 평가 시 정박지 점유 수역 면적 산출은 우리나라의 항만 및 어항 설계기준·해설(KDS 64 40 10, 2017)(MOF, 2017)에서 규정하고 있는 정박지 설계기준을 이용하였다. 그리고 선박은 통상적으로 단묘박으로 투묘(Yun, 2013)하기 때문에 이 때 적용되는 선회반경 규정을 사용하였다. 그리고 선박이 점유한 수역의 면적 계산을 위해 필요한 저질과 수심 자료는 울산항 해도를 활용하여 조사하였다. Table 3은 울산항 E 정박지의 정박지별 저질과 평균 수심을 나타낸 것이다.

Table 3. Seabed condition and average depth of Ulsan E anchorage

| Anchorage | Seabed Condition | Average Depth |
|-----------|------------------|---------------|
| E1        | Mud              | 40m           |
| E2        | Silt             | 55m           |
| E3        | Silt             | 65m           |

울산항 E1 정박지의 저질은 진흙으로서 닛 놓기에 양호(Yun, 2013)한 수역이며, 평균 수심도 40미터로 파주력 형성에 있어서 적절한 수심인 것으로 나타났다. 따라서 정박지

점유수역의 반경은 정박지 설계기준에 따라 ‘L(전장)+6×D(수심)’을 적용하여 계산하였다.

그러나 울산항 E2와 E3 정박지의 저질은 연한 진흙으로서 닛 놓기에 불량한 수역이다. 또한 해당 수역은 수심이 50미터 이상으로 깊고, 조류의 흐름의 빨라 강한 바람과 파도로 인한 주요 가능성이 높은 해역이다. 따라서 정박지 점유수역의 반경은 정박지 설계기준에 따라 ‘L(전장)+6×D(수심)+30m’을 적용하여 계산하였다.

### 3) 정박지 밀집도와 가동률 변수 정의

정박지 밀집도와 가동률 계산은 각 수식에 포함된 변수를 정의하고, 자료 분석을 통해 그 값을 도출하는 과정이 선행되어야 하며, 최대 정박 가능 척수(S), 정박지 효율(U), 그리고 날씨 등으로 인한 정박지 폐쇄 기간(c) 변수가 이에 해당한다.

먼저, 최대 정박지 가능 척수(S)와 정박지 효율(U) 변수를 정의하기 위해서는 각 정박지를 주로 사용하는 선박의 톤수와 길이 자료가 필요하다. 이에 본 연구에서는 조사 기간 동안 각 정박지의 사용 빈도를 조사하여 가장 많은 사용량을 보인 선박을 대표선박으로 선정하였다. Table 4는 정박지 사용 선박 중 가장 많은 사용량을 나타낸 선박의 톤수와 길이를 기준으로 선박을 3~4종류로 분류한 후 이를 대표선박으로 선정된 결과를 나타낸 것이다.

Table 4. Selection of representative ships

| Items Area | Tonnage Using Anchorage (ton) | Tonnage Ratio Using Anchorage (%) | Ship Length (m) |
|------------|-------------------------------|-----------------------------------|-----------------|
| E1         | 3,000                         | 39                                | 97              |
|            | 5,000                         | 31                                | 107             |
|            | 10,000                        | 30                                | 135             |
| E2         | 5,000                         | 31                                | 107             |
|            | 15,000                        | 26                                | 160             |
|            | 30,000                        | 43                                | 180             |
| E3         | 30,000                        | 40                                | 180             |
|            | 50,000                        | 35                                | 225             |
|            | 100,000                       | 19                                | 285             |
|            | 150,000                       | 6                                 | 330             |

최대 정박 가능 척수(S)는 정박지 사용량을 기준으로 선정된 대표선박을 정박지 내에 배치했을 때 최대로 정박할 수 있는 척수를 의미한다. Fig. 2는 울산항 E1, E2, E3 정박지 내부에 대표선박으로 선정된 선박의 점유수역을 표시한 것으로 E1 정박지는 16척, E2 정박지는 9척, E3 정박지는 7척이 동시에 정박 가능한 것으로 조사되었다.

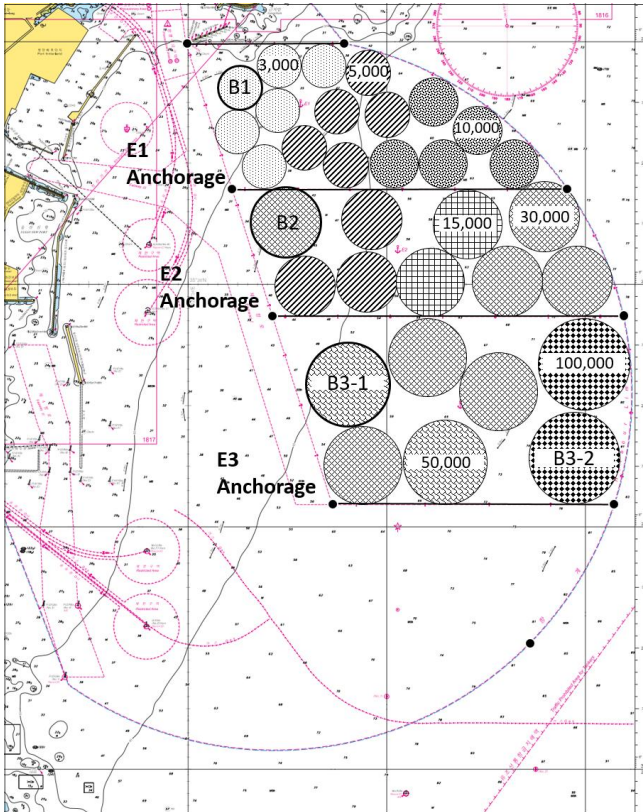


Fig. 2. Maximum number of vessels that can be anchored.

정박지 효율( $U$ )은 Fig. 2의 선박 배치 그림에서 울산항 E 정박지 면적과 정박지 점유 면적의 비로 도출하였다. Table 5는 정박지 효율과 날씨 등으로 인한 정박지 폐쇄 시간을 나타낸 것이다. 계산 결과, 정박지 효율은 E2 정박지가 0.72로 가장 높으며, E1과 E2 정박지는 0.66으로 동일한 것으로 나타났다.

날씨 등으로 인한 정박지 폐쇄 시간( $c$ )은 기상특보 중 풍랑, 강풍 혹은 태풍 주의보 이상이 내려진 날에 시간별 가동률이 0%인 때를 정박지 사용 불가 시간으로 산정하는 것을 의미한다. 본 연구에서는 2015년부터 2019년까지 날씨로 인한 정박지 폐쇄 시간을 조사하고 평균값을 도출하여 변수로 사용하였다.

Table 5. Anchorage efficiency and Anchorage closing time

| Items                                   | Anchorage |      |      |
|---|-----------|------|------|
|   | E1        | E2   | E3   |
| Anchorage Area(km <sup>2</sup> )( $A$ ) | 9.4       | 10.3 | 14.1 |
| Occupied Area(km <sup>2</sup> )( $O$ )  | 6.2       | 7.4  | 9.3  |
| Anchorage efficiency( $U$ )             | 0.66      | 0.72 | 0.66 |
| Anchorage Closing time(hour/year)       | 146       | 195  | 252  |

## 4.2 울산항 E 정박지 밀집도, 가동률 평가

### 1) 정박지 밀집도 평가( $aAd$ )

Fig. 3은 울산항 E 정박지의 연도별 밀집도 평가 결과이다. E1 정박지의 밀집도는 모두 120%를 초과하는 것으로 나타났다. 반면, E2 정박지는 97%(2019년)가 최대치이며, E3 정박지는 2017년에 101%로 평가된 것을 제외하고는 100%를 초과하지 않는 것으로 나타났다. 결과적으로 울산항 E 정박지 중 E1 정박지의 밀집도가 가장 높은 것으로 나타났다.

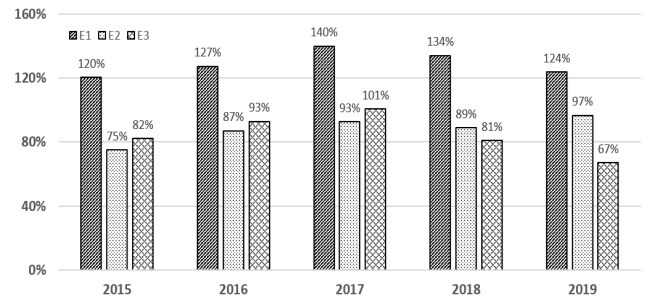


Fig. 3. Anchorage density evaluation.

### 2) 정박지 가동률 평가( $aAo$ )

Fig. 4는 울산항 E 정박지의 연도별 가동률 평가 결과이다. 울산항 E1 정박지의 가동률은 모두 113%를 초과하는 것으로 나타났다. 반면, E2 정박지는 99%(2019년)가 최대치이며, E3 정박지는 100%를 초과하지 않는 것으로 나타났다. 결과적으로 울산항 E 정박지 중 E1 정박지의 밀집도가 가장 높은 것으로 나타났다.

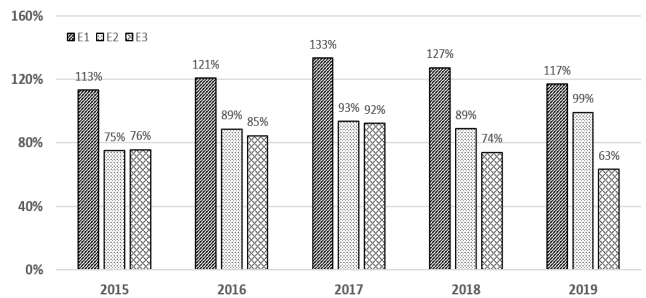


Fig. 4. Anchorage occupancy evaluation.

## 4.3 울산항 E 정박지 규모의 적정성 평가 및 확장 방안

### 1) 정박지 규모의 적정성 평가

Table 6은 제3장에서 정의한 방법에 따라 각 정박지의 밀집도와 가동률의 평균을 계산하고 이를 통해 정박지 규모의 적정성을 평가한 후 정의한 평가 기준에 의거하여 울산항 E 정박지 규모의 적정성 평가 결과이다. 즉, E1 정박지는 평균 밀집도와 가동률 모두 100%를 초과하므로 평가 기준에 따라

정박지 규모의 적정성 평가 기준에 의한 울산항 정박지 개선 방안

정박지 확장이 필요한 것으로 도출되었다. 반면 E2와 E3 정박지는 밀집도와 가동률 평가 기법 모두 100% 미만이기 때문에 평가 기준에 따라 현재 상태에서는 정박지 확장이 필요하지 않은 것으로 나타났다.

Table 6. Results of evaluation of anchorage density and occupancy

| Item Area | Density (avg.) | Occupancy (avg.) | Evaluation standard        | Anchorage evaluation |
|-----------|----------------|------------------|----------------------------|----------------------|
| E1        | 129%           | 122%             | $aAd$ and $aAo \geq 100\%$ | expansion            |
| E2        | 88%            | 89%              | $aAd$ and $aAo < 100\%$    | retention            |
| E3        | 85%            | 78%              | $aAd$ and $aAo < 100\%$    | retention            |

정박지 규모의 적정성 평가를 정리해 보면, 울산항 E 정박지 중 E1 정박지는 사용 선박 대비 그 규모가 협소하여 확장이 필요한 것으로 나타났다. 그러나 울산항 E1 정박지는 4.1절에서 언급한 바와 같이 서측은 울산항 제1항로와 접해 있고, 북측은 동방파제 및 해안선과 매우 근접해 있으며, 동측은 항계선과 접하고 있어 E1 정박지 단독으로 확장하는 것은 현실적인 어려움이 있다. 따라서 울산항 E1 정박지의 확장은 E2와 E3 정박지의 확장 또는 재배치와 함께 이루어져야 가능하며, 추가적으로 해상교통상황과 해역의 수심 등 환경적 요소도 종합적으로 고려하여 확장 방안을 도출할 필요가 있다.

2) 정박지 확장 및 재배치 방안 및 검증

울산항 E1 정박지의 규모의 적정성 확보를 위해서는 E1 정박지 확장이 필요하다. 그러나 위에서 언급한 바와 같이 E1 정박지 확장은 E2와 E3 정박지의 이동 또는 변경 없이는 어렵다. 따라서 E3 정박지 남측 해역을 확장하고 E 정박지 전체를 재배치하는 방안을 검토하였다.

Fig. 5는 정박지 확장 및 재배치 안으로서 입·출항 선박의 통행 패턴, 도선지점과의 거리, 그리고 정박지 수심을 고려하여 울산항 제1항로 끝단에서 부채꼴 모양으로 35도를 개방한 정박지 확장 방안을 나타낸 것이다. 추가적으로 E1 정박지 사용 선박의 안전성 확보를 위해 동방파제와 500미터의 이격거리를 두었으며, 양묘한 선박이 항로에 진입할 때 안전을 확보할 수 있도록 정박지 간 경계를 사선으로 배치하였다. 그리고 4.1절에서 도출한 각 정박지별 대표선박을 배치해 본 결과, 최대 정박 가능 선박 척수는 E1 정박지 22척, E2 정박지 10척, E3 정박지 9척으로 도출되었다.

Fig. 6은 정박지 확장 및 재배치로 인한 현행과 재배치 방안과의 정박지 면적 비교 그래프이다. 즉, 울산항 E 정박지는 확장 및 재배치를 통해 E1 정박지는 24%, E2 정박지는 10%, E3 정박지는 8% 가량 정박지 면적이 증가한 것으로 나타났다.

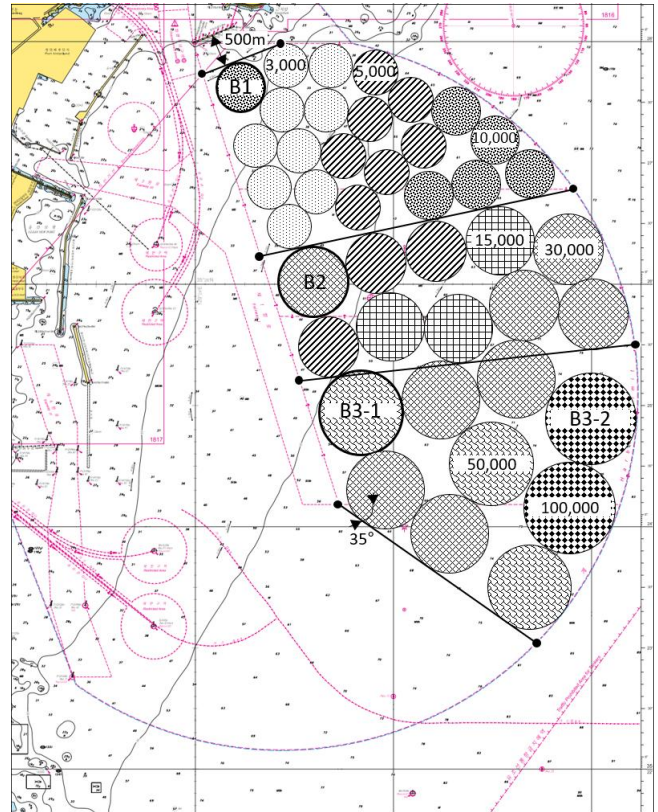


Fig. 5. Expansion and relocation plan of E anchorage.

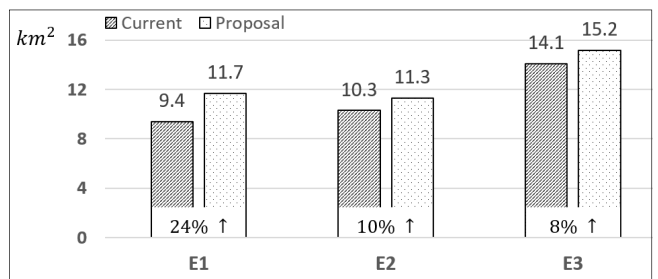


Fig. 6. The scale of anchorage expansion.

본 연구에서 제시한 Fig. 5의 울산항 E 정박지 확장 및 재배치 방안에 대한 적정성은 해상교통 항적도와 정박지 적정성 평가 기준을 적용하여 검증하였다.

정박지 적정성 평가 기준을 적용한 검증은 Table 7의 방법으로 실시하였으며, 이는 4절에서 사용한 것과 같이 정박지 적정성 평가 기준으로 적용하여 정박지 확장이 필요한 지역 여부를 파악하는 방법이다. 검증 결과, 기존 울산항 E 정박지 배치의 경우 정박지의 확장이 필요한 것으로 분석되었으나, 정박지 확장 및 재배치 안은 E1, E2, E3 정박지에서 밀집도와 가동률 모두 100% 미만으로 정박지 적정성 평가 기준에 따라 정박지 규모의 적정성이 확보되었음을 확인하였다.

Table 7. Results of adequacy evaluation of E anchorage

| Items                      | Anchorage |           |           |
|----------------------------|-----------|-----------|-----------|
|                            | E1        | E2        | E3        |
| Anchorage density (avg.)   | 94%       | 79%       | 66%       |
| Anchorage occupancy (avg.) | 89%       | 80%       | 63%       |
| Anchorage evaluation       | retention | retention | retention |

해상교통 항적도를 사용한 검증은 Fig. 7의 방법으로 실시하였으며, 이는 해상교통 항적도와 정박지 확장 및 재배치안을 서로 적층시켜서 정박지 확장 부분이 기존 선박의 통항에 미치는 영향 정도를 파악할 수 있는 방법이다. 여기서, 해상교통 현황 조사는 2020년 6월 24일부터 6월 26일까지 현장조사를 통해 실시하였다. 정박지 확장 및 재배치의 적정성 검증 결과, 울산항 E3 정박지 남측의 확장 해역과 해상교통 항적이 일부 겹치는 부분은 있으나, 남-북 방향의 시간당 평균 통항 척수는 3척 미만이고, 동-서 방향의 통항 척수는 시간당 1척 미만으로 조사되어 울산항 정박지 확장으로 인한 선박통항에 영향은 적은 것으로 분석되었다.

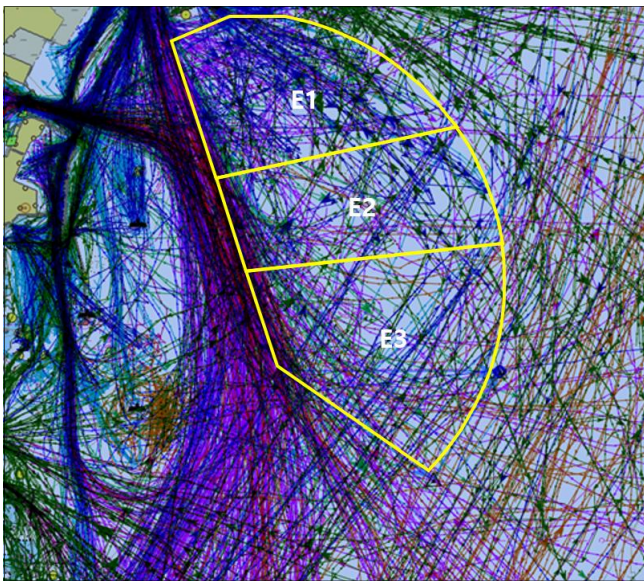


Fig. 7. Marine traffic impact verification.

## 5. 결론

정박지는 효율적인 항만 운영과 선박의 안전한 입·출항을 위한 필수 수역시설로서 충분한 넓이와 수심이 확보되어야 한다. 그러나 우리나라 대부분의 항만은 항계가 협소하기 때문에 정박지로 지정할 수 있는 수역이 제한적인 상황이다. 특히 울산항은 정박지 수요 대비 충분한 넓이의 면적이

확보되어 있지 않은 상황이며, 이로 인한 정박지 내 해양사고 등이 자주 발생하고 있다. 따라서 정박지의 효율적인 운영과 더불어 정박지 사용 선박의 안전을 위해서는 정박지 규모의 적절성을 효과적으로 평가할 수 있는 종합적인 분석 기준이 요구되고 있는 상황이다.

이에 본 연구에서는 기존의 정박지 가동률과 밀집도 개념의 문제점을 개선한 일반식과 정박지 적정성 평가를 위한 새로운 방식의 기준을 제안하였다. 그리고 이 기준을 울산항 E 정박지에 적용하여 정박지 규모의 적정성을 평가하였다.

울산항 E 정박지의 밀집도와 가동률 평가 결과, E1 정박지의 밀집도와 가동률은 각각 129%, 122%로 두 평가 기법 모두 100%를 초과하는 것으로 나타나 정박지 확장이 필요한 것으로 분석되었다. 이에 울산항 입출항 선박의 통항 패턴과 도선지점과의 거리를 고려하여 울산항 제1항로 끝단에서 부채꼴 모양으로 35도를 개방한 정박지 확장안을 제시하였고, 적정성을 검증하였다. 검증 결과, 울산항 E3 정박지 남측의 확장 해역과 해상교통 항적이 일부 겹치는 부분은 존재하나 매우 미미하여 해상교통에 영향을 미칠 가능성은 희박한 것으로 분석되었다. 또한 정박지 확장 및 재배치안은 E1, E2, E3 정박지 모두에서 밀집도와 가동률이 100% 미만으로 적정성 평가 기준에 따라 정박지 규모의 적정성이 확보되었음을 확인하였다.

이 연구는 선박의 대형화와 항계 면적 축소로 인하여 정박지 안전성 문제가 발생하고 있는 최근의 상황에서 정박지 규모의 적정성을 객관적으로 평가하고 개선할 수 있는 방법론을 제시했다는 점에서 의미를 찾을 수 있다. 다만, 잠재적인 정박지 사용 선박 중 정박지 부족으로 외해에서 표류하며 대기하는 선박을 정박지 적정성 평가 기법에 반영하지 못한 부분은 본 연구의 한계라고 생각된다.

향후에는 입출항 예보 시스템의 정보를 활용하여 정박지를 사용하지 못하는 잠재적인 선박을 식별하고 이 선박이 정박지를 안전하게 사용할 수 있도록 정박지 규모를 확보하는 방안에 대한 연구를 진행할 계획이다.

## References

- [1] Fan, H. S. L. and J. M. Cao(2007), Sea Space Capacity and Operation Strategy Analysis System, Transportation Planning and Technology, Vol. 24, No. 1, pp. 49-63.
- [2] Huang, S. Y., W. J. Hsu, Y. He, T. Song, D. S. Charles, Y. Rong, C. Chuanyu, and N. Stuti(2009), Anchorage Capacity analysis using simulation, The International Conference on Harbor, Maritime & Multimodal Logistics Modeling and Simulation HMS, Vol. 2009. No. 1, pp. 1-6.



- [3] Kwon, S. C., Y. U. Yu, J. M. Park, and Y. S. Lee(2019), A Basic Study on the Demand Analysis of Waiting Anchorage using Anchorage Capacity Index, Vol. 25, No. 5, pp. 519-526.
- [4] Lee, C. H. and H. H. Lee(2014), A Study on Expansion of Anchorage according to Increased Trading Volume at Pyeongtaek Port, The Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety, Vol. 20, No. 6, pp. 663-670.
- [5] Lee, Y. S.(2014), A Study on the Anchorage Safety Assessment of E-Group Anchorage in Ulsan Port, Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety, Vol. 20, No. 2, pp. 172-178.
- [6] MOF(2017), Design Standards of Ports and Fishing Ports, Mooring Facilities, Ministry of Oceans and Fisheries, pp. 827-845.
- [7] MOF(2019), Ministry of Ocean and Fisheries Statistic System, Ministry of Oceans and Fisheries, <https://www.mof.go.kr/statPortal/> on April 1.
- [8] Park, J. M., G. H. Yun, H. D. Jeon, and G. Y. Kong(2016), The Proper Capacity of Anchorage in Ulsan Port with Reference to the Anchorage Operating Rate, Vol. 22, No. 5, pp. 380-388.
- [9] Park, J. M. and S. Y. Kim(2018), A Improvement Plans for Anchorage at Masan Port, Vol. 24, No. 6, pp. 637-645.
- [10] Yun, J. D.(2013), Theory and Practice of Ship Maneuvering, Sejong Press, pp. 12-15.

---

Received : 2021. 03. 02.

Revised : 2021. 04. 02.

Accepted : 2021. 04. 27.