

주요 사례를 통한 AC-14형과 ASS형 앵커의 파주계수 비교에 관한 연구

정창현* · 이윤석** · 김종성*** · † 공길영

* 목포해양대학교 해상운송시스템학부 교수, **, *** 한국해양대학교 운항훈련원 교수, † 한국해양대학교 항해학부 교수

A Study on the Holding Power Coefficient of AC-14 type and ASS type Anchor in Actual Ships

Chang-Hyun, Jung* · Yun-Sok, Lee** · Jong-Sung, Kim*** · † Gil-Young, Kong

* Professor, Division of Maritime Transportation System, Mokpo National Maritime University, Mokpo 530-729, Korea

** , *** Professor, Training Center of Ship Operation, Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea

† Professor, Division of Navigation Science, Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea

요 약 : 묘박중인 선박은 외력이 점점 강해짐에 따라 항상 주요의 위험에 노출되게 된다. 선박에서는 주요를 예방하기 위하여 파주력을 크게 유지해야 하는데, 대부분의 파주력은 앵커에 의해 형성된다. 앵커의 파주력은 앵커의 형태, 수중무게 그리고 해저 저질에 따른 파주계수에 따라 상당히 달라지는데, 특히 AC-14형 앵커는 ASS형 앵커에 비하여 2~2.5배의 파주력을 형성하는 것으로 알려져 있다. 그러나 이러한 파주계수는 모형실험 등을 통하여 정해진 기준으로 실선에서의 검증은 상당히 부족한 편이다. 따라서, 선박의 실제 주요 사례를 검토하여 기존에 사용되고 있는 파주계수와 비교·분석을 실시하였다. 그 결과, AC-14형 앵커의 경우 펄에서 7~10 정도로 확인되었으며, ASS형 앵커의 경우 모래에서 3 정도이고, 모래와 펄이 혼합된 곳에서는 3.5 정도로 기존의 파주계수와 비교적 유사한 결과를 보였다.

핵심용어 : 묘박, 외력, 주요, 파주력, 파주계수

Abstract : Vessels on anchoring are sometimes dragged due to the increased external forces. For preventing the dragging, it is required to enhance the holding power of the anchor. The holding power depends on the type and weight of the anchor and the seabed condition. Especially, the holding power of AC-14 type anchor is known to be 2~2.5 times bigger than that of ASS type anchor. However, these coefficients was determined nearly by the result of the model test, so there is a need to verify that by sea trial. Therefore actual dragging case was analyzed and then compared with the coefficients in use, it was found that the two of them are much alike.

Key words : Anchoring, external forces, dragging, holding power, holding power coefficient

1. 서 론

지구 온난화로 인하여 태풍의 세기가 점점 강해지고(설, 2010), 기상이변으로 인한 갑작스런 돌풍 등으로 묘박중인 선박이 끌리는 현상이 종종 발생되고 있다.

외력에 대항하여 선박이 끌리지 않도록 잡아주는 힘을 파주력이라 하는데, 이러한 파주력의 대부분은 앵커에 의해 형성되고, 또한 앵커의 파주력은 앵커의 형태와 해저 저질에 따라 큰 차이를 나타내므로 파주계수의 사용에 상당한 주의가 요구된다.

선박에는 재래형 앵커인 ASS(JIS)형 앵커 또는 고파주력 앵커인 AC-14형 앵커가 설치되어 있는데, ASS형 앵커는 AC-14형 앵커에 비하여 파주계수가 2~2.5배 작기 때문에(윤, 2002 ; 本田啓之輔, 2005) 주요 가능성은 그 만큼 크다고 볼

수 있다. 따라서, 최근에 건조되는 선박은 대부분 AC-14형의 고파주력 앵커를 설치하고 있다.

앵커의 파주력을 결정하는 파주계수에 대한 연구로는 Hall 형 앵커 및 앵커 체인의 파주계수에 관한 모형실험(김·김, 1991)과 JIS(ASS)형 및 AC-14형 앵커의 다양한 모형실험(本田啓之輔, 2005) 등이 있다. 하지만, 이러한 실험들은 대부분 실험수조에서 모형앵커를 이용하여 산출된 것으로 실선에서의 주요 사례를 통한 검증은 상당히 부족한 편이다.

따라서 앵커 형태가 각각 다른 실습선 한바다호와 한나라호의 실제 현장에서의 주요 상황을 분석하여, 이들 앵커의 파주계수를 기존에 사용하고 있는 모형실험을 통해 결정된 파주계수와 상호 비교·분석하는 작업이 필요하다고 판단된다.

† 교신저자: 종신회원, kong@hhu.ac.kr 051)410-4273

* 대표저자: 종신회원, hyon@hhu.ac.kr 061)240-7182

** 종신회원, lys@hhu.ac.kr 051)410-4204

*** 종신회원, kjsung@hhu.ac.kr 051)410-4471

2. 대상선박의 제원

실선 시험 대상인 한바다호와 한나라호는 한국해양대학교의 실습선으로 Table 1은 각 선박의 주요 제원을 나타내고 있으며, Fig.1은 해당 선박에 설치되어 있는 앵커의 모습이다. 한바다호는 AC-14형 앵커가 설치되어 있고, 한나라호에는 ASS형 앵커가 설치되어 있다.

Table 1 General particulars of training ships

Items	Dimensions	
	HANBADA	HANNARA
LoA(m)	117.2	102.7
Breath(m)	17.8	14.5
Draft(m)	5.4	4.7
Displacement(ton)	5,600	3,930
Anchor Type & Weight(ton)	AC-14 2.475	ASS(JIS) 2.640
Chain Cable(ton/m)	0.046	0.040
Transverse Projected Area(m ²)	300	188
Lateral Projected Area(m ²)	1,480	1,012



Fig. 1 AC-14 type(left) & ASS type(right) anchor

3. 선체에 작용하는 힘

묘박중인 선박에 영향을 주는 외력으로 바람에 의한 풍압력(F_W), 파랑에 의한 표류력(F_D) 그리고 조류에 의한 조류력(F_C)을 고려하였다.

3.1 외력 요소

1) 풍압력

바람에 의한 풍압력(F_W ; Force by wind)은 식(1)에 의하여 산출하였으며, 정면 풍압계수는 Fujiwara et al.(1998)에 의해 제안된 추정식을 이용하였다.

$$F_W = \frac{1}{2} \rho_a C_a A_T V_a^2 \quad (1)$$

단, F_W : 풍압력($kg \cdot f$), ρ_a : 공기밀도($kg \cdot sec^2/m^4$),

C_a : 정면 풍압계수, A_T : 정면 풍압면적(m^2)

V_a : 풍속(m/s)

2) 표류력

파랑에 의해 발생하는 표류력은 규칙성분과 불규칙 성분으로 나눌 수 있으며, Hirano(1995)에 의하면 규칙성분인 정상 표류력은 상대파향과 파장/선장비(λ/L)로 결정되는 표류계수와 파 진폭을 변수로 식(2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$F_D = \frac{1}{2} \rho_w C_w g L h_c^2 \quad (2)$$

단, F_D : 표류력($kg \cdot f$), ρ_w : 해수밀도($kg \cdot sec^2/m^4$),

C_w : 표류계수, g : 중력가속도(m/sec^2)

L : 선체길이(m), h_c : 파 진폭(m)

그러나 실제 해상은 불규칙파이므로 식(2)의 정상 표류력에 불규칙파에 의한 영향을 고려해 줄 필요가 있으며, Remery(1973)의 연구에 의하면 불규칙파 중의 평균 표류력은 유의파의 진폭과 평균파의 주기에 대응하는 규칙파가 갖는 표류력의 약 1/8 정도로 알려져 있다.

3) 조류력

조류에 의한 유체력은 마찰저항과 압력저항으로 구분할 수 있다. 하지만, 투묘지의 수심과 홀수 비가 상당히 크고, 조류의 입사각이 작을 경우 선수방향에 가까운 유체의 흐름에 대한 저항은 대부분 마찰저항에 해당되므로 식(3)에서와 같이 Froude가 제안한 식을 사용하였다.

$$F_C = \rho_w \lambda S V_w^{1.825} \quad (3)$$

단, $\lambda = 0.1392 + \frac{0.258}{2.68 + L}$ (단, 외판이 깨끗하다고 가정)

F_C : 마찰저항($kg \cdot f$), ρ_w : 해수밀도($kg \cdot sec^2/m^4$),

λ : 마찰계수, L : 선체길이(m),

S : 침수면적(m^2), V_w : 유속(m/s)

본 논문은 두 실습선이 각각 주요된 상황을 분석한 것으로 실습선 한바다호는 Fig.2에서와 같이 2009년 6월 10일 부산 남항 N-5 묘박지에서 주요가 발생하였으며, 한나라호는 Fig.3에서와 같이 2010년 4월 27일 제주도 서귀포항 묘박지 인근에서 주요가 발생하였다.

한바다호는 2009년 6월 9일 16:00시경 투묘를 하였으나, 다음날 10일 06:30~08:00시에 갑작스런 돌풍으로 인하여 주요가 발생하였으며, 한나라호는 2010년 4월 27일 04:00시경 투묘를 하였으나, 오후 16:00~17:00시에 바람이 점점 강해지면서 주요가 발생되었다. 한나라호는 곧이어 17:02시에 양묘를 시작하여 17:24시에 장소를 옮겨 다시 투묘함으로써 주요가 더 이상 발생되지 않았으며, 다음날 28일 17:00시경 풍속이

16m/s로 그 전날보다 풍속이 강하게 불었음에도 주묘는 발생되지 않았다.

한바다호의 경우 주묘 발생 시점 전후 조건을 비교·분석하였으며, 한나라호의 경우에는 주묘가 발생된 첫 번째 투묘지에서의 조건과 다시 투묘한 두 번째 투묘지에서의 조건에 대하여 분석하였다.

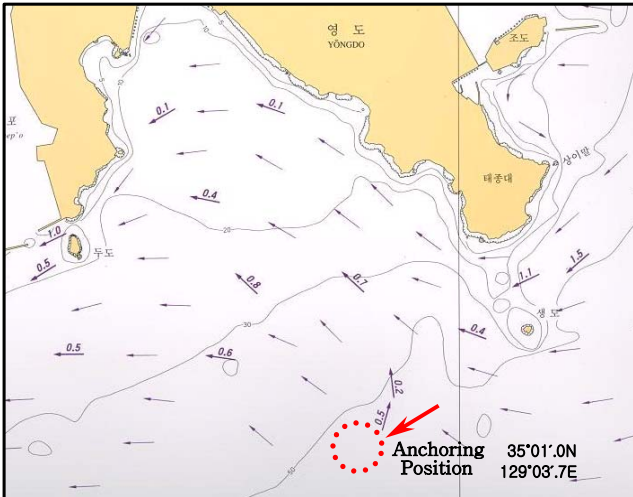


Fig. 2 Tidal current around anchoring position(HANBADA)

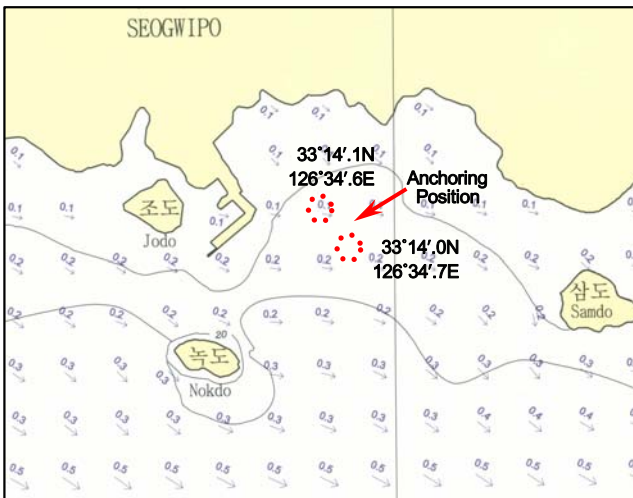


Fig. 3 Tidal current around anchoring position(HANNARA)

Table 2는 주묘 전후의 묘박지에서의 환경 조건에 대한 내용으로 한바다호의 경우 수심이 57m로 비교적 깊은 곳에 투묘가 되었으며, 한나라호의 경우에는 저질이 모래인 곳에 투묘가 되었다. 수심과 저질은 측심기(echo sounder)와 해도를 통하여 확인하였다.

주묘 당시의 풍향 및 풍속은 선박에 설치된 풍향·풍속계를 통하여 관측하였으며, 조류는 조석표를 확인한 결과 주묘 시점이 모두 최강 창조류 시기였음을 알 수 있었다. 따라서 Fig. 2와 Fig. 3에서와 같이 최강 창조류에 해당되는 조류도를 이용하여 유향 및 유속을 유추하였으며, 두 선박 모두 주묘 시

점에 바람과 조류가 선체에 동일한 방향으로 영향을 준 것으로 확인되었다. 그리고 파고는 목측에 의해 측정되었다.

Table 3은 해당 조건에서 선박에 작용하는 각각의 외력 요소인 풍압력, 표류력 그리고 마찰력과 그 외력의 총합을 나타내고 있으며, 한바다호의 경우 한나라호에 비하여 2배 이상의 외력이 작용하였음을 알 수 있다.

Table 2 Condition of anchoring position for each ships

condition	HANBADA		HANNARA	
	2009. 6. 10 06:30	2009. 6. 10 06:32	2010. 4. 27 16:00	2010. 4. 28 17:00
position	35°01'.0N 129°03'.7E	35°01'.0N 129°03'.7E	33°14'.1N 126°34'.6E	33°14'.0N 126°34'.7E
wind dir./sp'd (m/s)	SSW / 20	SSW / 25	WNW / 14	WNW / 16
current dir./sp'd (m/s)	NNE / 0.25	NNE / 0.25	ESE / 0.1	ESE / 0.1
wave height (m)	3	3	3	3
chain(shackle)	8	8	5	6
soundings (m)	57	57	32	38
seabed	Mud	Mud	Sand	Sand · Mud
dragging	No	Yes	Yes	No

* 1 shackle = 27.5m

Table 3 Total external force acting on each ships

external force	HANBADA		HANNARA	
	2009. 6. 10 06:30	2009. 6. 10 06:32	2010. 4. 27 16:00	2010. 4. 28 17:00
wind force(ton)	10.9	17.3	4.6	6.0
friction force(ton)	2.5	2.5	0.3	0.3
drifting force(ton)	2.5	2.5	2.3	2.3
total ext. force(ton)	15.9	22.3	7.2	8.6

3.2 파주력

묘박 중인 선박의 파주력은 식(4)에 따라 계산된다(윤, 2002).

$$P_T = P_a + P_c = w_a \lambda_a + w_c \lambda_c l \quad (4)$$

여기서, P_T : 앵커와 체인의 총 파주력($t \cdot f$)

P_a : 앵커의 파주력($t \cdot f$), P_c : 체인의 파주력($t \cdot f$) 있다.

λ_a : 앵커의 파주계수, λ_c : 체인의 파주계수

w_a : 앵커의 수중중량(t), w_c : 체인의 수중중량(t)

l : 해저에 깔린 체인의 길이(m)

$$P_a = P_T - P_c, \quad \lambda_a = \frac{P_a}{w_a} \quad (6)$$

또한, 현수부의 길이(S)는 외력이 선체에 미치는 장력을 기초로 하여 식(5)에 의해 구할 수 있고, 파주부의 길이(l)는 신출된 체인의 길이에서 현수부의 길이를 뺀 값이다.

$$S = \sqrt{h(h + \frac{2H}{w_c})} \quad (5)$$

여기서, h : 묘쇄공에서 해저까지의 높이(m)

w_c : 1m에 해당되는 체인의 수중무게(t)

H : 외력에 의해 체인에 작용하는 장력($t \cdot f$)

4. 파주계수에 대한 분석

선박의 총 파주력은 식(4)에서와 같이 앵커의 파주력과 체인의 파주력으로 구분되는데, 외력이 강하게 작용할 경우 대부분의 파주력은 앵커에 의해 형성된다.

그 이유는 Table 4에서와 같이 앵커의 파주계수가 체인의 파주계수보다 훨씬 클 뿐만 아니라 외력이 점점 강해짐에 따라 현수부의 길이가 점점 길어져 파주력을 형성하는 파주부는 상대적으로 줄어들기 때문이다.

1940년대 다양한 형태의 앵커 실험을 통하여 파주계수가 큰 AC-14형의 앵커가 개발되었고, 그 이후 다양한 모형실험(수조실험)과 실물실험 결과를 바탕으로 현재 주로 사용되고 있는 파주계수는 Table 4와 같다(윤, 2002).

Table 4 Holding power coefficient with seabed

seabed coefficient \ seabed coefficient	Mud	Sand	Gravel	Flat Rock	Dragging
λ_a (AC14)	10	8	8	2.5	2
λ_a (ASS)	4	3.5	3	2	1.5
λ_c	1	1	0.8	0.8	0.5

하지만, Fig.4(本田啓之輔, 2005)에서와 같은 모형실험에서는 하나의 정해진 무게의 모형 앵커로 저질과 이동속도를 바꾸어 가면서 실험을 실시하여 파주계수를 산출하였고, Fig.5(本田啓之輔, 2005)에서와 같은 실물실험 자료에 의하면 앵커의 무게에 따라 파주계수가 상당히 큰 차이를 보이고 있음을 알 수 있다.

따라서 파주력 형성에 가장 큰 비중을 차지하는 요소 중 하나인 파주계수에 대한 면밀한 검토가 요구되며, 식(4)의 파주력 계산식으로부터 파주계수 산출을 위한 식(6)을 유도할 수

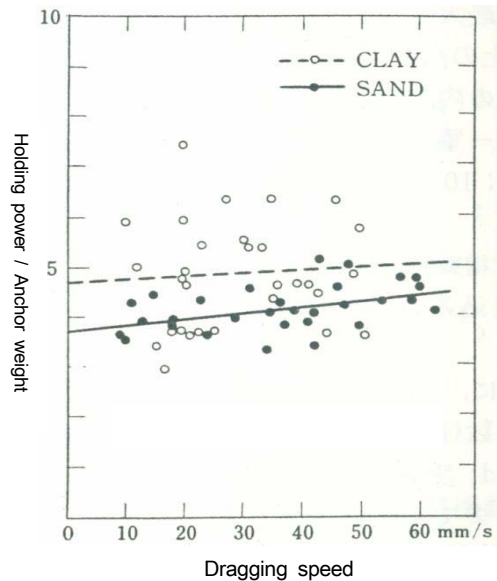


Fig. 4 Holding power coefficient of model anchor (JIS type, 19.36kg)

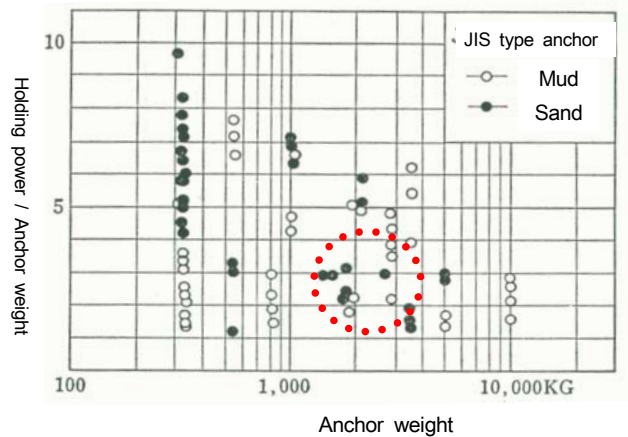


Fig. 5 Holding power coefficient of real anchor(JIS type)

Fig.6은 주요 당시 ECDIS에 표시된 한바다호의 항적을 나타내고 있으며, Fig.7은 한나라호의 항적을 나타내고 있다. 주요 되기 이전에는 선박의 항적이 선회경(anchor circle) 이내에서 이동하다가 주요가 되면서 후방으로 이동하고 있음을 알 수 있다. 또한, 주요 시점에서는 앵커를 기준으로 선박이 좌우로 약 40° 정도 움직이며, 선수방위도 80° 정도까지 크게 선회하는 것으로 확인되었다.

Table 5는 이와 같이 실제로 주요가 발생되었던 실습선 한바다호와 한나라호의 사례를 바탕으로 파주계수를 계산한 결과이다. 주요 전후의 시점을 기준으로 선박에 작용하는 전체 외력을 계산하고, 그 값을 선박의 총 파주력으로 정하였다. 그

리고 식(6)에서와 같이 체인의 파주력을 뺀 나머진 앵커의 파주력으로 부터 앵커의 파주계수를 산출하였다.

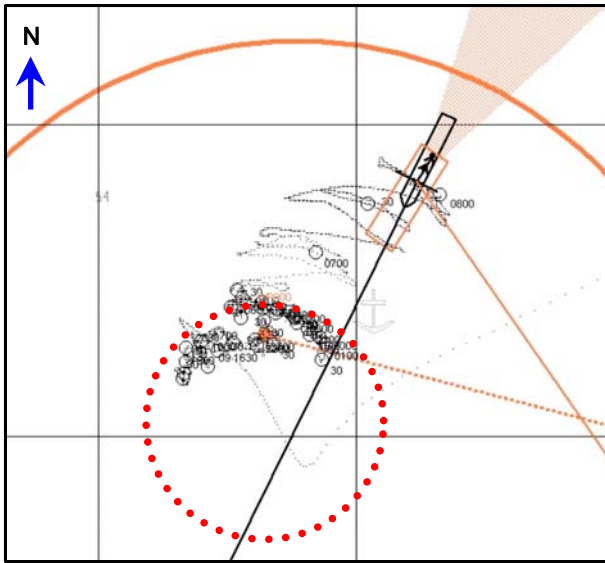


Fig. 6 Traces of dragging anchor(HANBADA)

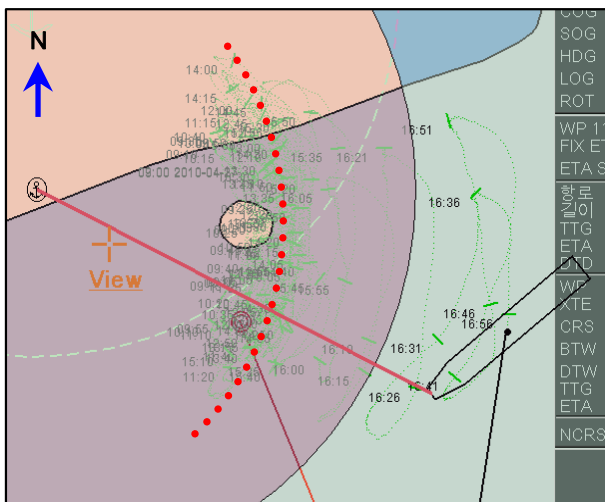


Fig. 7 Traces of dragging anchor(HANNARA)

Table 5 Result of holding power coefficient calculation

condition	HANBADA		HANNARA	
	2009. 6. 10 06:30	2009. 6. 10 06:32	2010. 4. 27 16:00	2010. 4. 28 17:00
total ext. force(ton)	15.9	22.3	7.2	8.6
seabed	Mud	Mud	Sand	Sand · Mud
dragging	No	Yes	Yes	No
holding power (chain, ton)	0	0	0.3	0.5
holding power (anchor, ton)	over 15.9	under 22.3	under 6.9	over 8.1
coefficient (anchor)	over 7.3	under 10.3	under 3.0	over 3.5

Table 5에서 알 수 있듯이 AC-14형 앵커의 펄(M)에서의 파주계수는 7~10 정도로 확인되었으며, ASS형 앵커의 모래(S)에서의 파주계수는 3 정도이고, 모래와 펄이 혼합(SM)된 곳에서는 3.5 정도로 확인되었다.

이러한 결과는 Fig.5에서와 같이 실습선 한나라호의 앵커 무게와 비슷한 2.5톤 전후의 ASS형 앵커의 펄과 모래에서의 파주계수 실험실결과와 Table 4에서 보여주는 파주계수 값과 비교적 유사한 것으로 확인되었다.

ASS형 앵커의 경우에는 문헌에 따라 펄과 모래의 파주계수가 다소 차이가 있는 것으로 확인되었는데, 일본에서 앵커의 표준파주계수 값으로 사용하고 있는 Table 6(本田啓之輔, 2005)에서는 모래가 펄보다 파주계수가 다소 큰 값으로 정해져 있으나, Table 4(윤, 2002)에서 제시하는 값과 실선분석 자료에서는 펄이 모래보다 다소 크게 확인되었다.

따라서, 앵커의 파주력이 투묘 지점의 지질, 투묘 시 앵커가 해저면에 놓인 상태 등에 따라 크게 차이가 날 수 있으므로 파주계수에 대한 신뢰성을 높이기 위해서는 보다 다양하고 지속적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

Table 6 Holding power coefficient with seabed(Japan)

coefficient \ seabed	Mud	Sand	Dragging
λ_a (AC14)	10	7	2
λ_a (ASS)	3	3.5	1.5
λ_c	1	3/4	0.6

의장수에 관한 규정(한국선급, 2010)에서는 고파주력 앵커(AC-14형)의 경우에는 의장수 표에서 정하는 재래형 앵커(ASS형) 질량의 0.75배에 해당되는 질량으로 할 수 있다고 규정하고 있다.

하지만, 실선시험 결과와 Table 4에서의 파주계수를 바탕으로 파주력을 상호 비교해 보면, 재래형 앵커의 수중 중량을 W라고 가정할 때, 재래형 앵커의 펄(M)에서의 파주력은 4W(W×4)이고, 고파주력 앵커의 파주력은 7.5W(W×0.75×10)가 된다. 이는 재래형 앵커가 설치된 선박은 고파주력 앵커가 설치된 선박에 비하여 파주력이 약 2배 정도 작다는 것을 의미한다.

따라서, 기상이변 등으로 갈수록 풍속이 강해지고 있는 상황에서 파주계수가 상대적으로 2~2.5배 정도 작은 ASS형 앵커를 가지고 있는 선박에서는 주요 가능성이 상대적으로 크기 때문에 체인의 신출량, 수심, 그리고 특히 해저 저질에 따른 파주계수를 세심하게 고려하여 투묘해야 할 것으로 사료된다.

또한, 기존의 의장수 계산식은 재래형 앵커의 경우 최근 강해지는 풍속에 비추어 보았을 때 주요의 우려가 크므로 추후 의장수 계산식에 관한 검토가 필요할 것으로 판단된다.

5. 결 론

실선에서의 AC-14형 앵커와 ASS형 앵커의 주요 사례를 분석하여 현재 사용하고 있는 파주계수와 비교·분석하였다.

1) AC-14형 앵커는 해저 저질이 펄(M)인 경우 파주계수가 7~10 정도로 확인되었으며, ASS형 앵커의 경우 모래(S)에서의 파주계수는 3 정도이고, 모래와 펄이 혼합(SM)된 곳에서는 3.5 정도로 확인되었다.

2) ASS형 앵커의 경우 실선 자료를 분석한 결과 펄이 모래보다 파주계수가 다소 큰 것으로 확인되었다.

3) 해저 저질은 장소에 따라 그 점도 및 성향이 다를 수 있으므로 파주계수가 상대적으로 2~2.5배 정도 작은 ASS형 앵커가 설치된 선박은 주요 가능성이 상대적으로 크므로 투묘시 해저 저질에 따른 파주계수를 세심하게 고려해야 할 것이다.

4) 기존의 의장수 계산식으로 볼 때, 재래형 앵커의 경우 상대적으로 주요의 우려가 크므로 추후 의장수 계산식에 관한 검토가 필요할 것으로 판단된다.

현행 항만 및 어항 설계지침에서는 단순히 해저 저질이 양호한지 또는 불량한지에 따라 묘박지의 조건 및 규모를 정하고 있으나, 추후 이와 같은 파주력에 대한 다양한 연구 결과를 바탕으로 앵커의 형태, 해저 저질과 수심, 조류 및 풍속 등을 종합적으로 고려한 묘박지 선정과 규모에 대한 표준화 작업이 필요할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- [1] 국립해양조사원(2002), “부산항 및 서귀포항 부근의 조류도”
- [2] 김세원, 김기윤(1991), “Hall형 묘 및 묘쇄의 파주력계수에 관한 모형실험”, 어업기술, 제27(2)호, pp.97-104.
- [3] 설동일(2010), “지구 온난화와 태풍의 변화 경향”, 한국항해항만학회지, 제34권, 제6호, pp.453-458.
- [4] 윤점동(2002), “선박조종의 이론과 실무”, 세종출판사, pp.1-17.
- [5] 本田啓之輔(2005), “操船通論”成山堂書店, pp.104-116.
- [6] Fujiwara, T., Ueno, M., Nimura, T.(1998), “The Estimation of Wind Force and Moments Acting on Ships”, The Society of Naval Architecture of Japan, No.183, pp.77-90.
- [7] Hirano, M.(1995), “The Application of Maneuvering Study to Ship’s Design”, The Society of Naval Architecture of Japan, pp.48-50.
- [8] Remery, G.F.M.(1973), “The Mean Wave and Current Forces of Offshore Structures and their Role in the Design of Mooring Systems”, The 5th Offshore Technology Conference, Houston, USA, pp.57-61.