상륙정 입·출거시 안전성을 위한 Well Dock의 형상 및 상대운동 평가

윤상현^{1,†} · 서관희¹

한진중공업(주) 방산 선체설계팀¹

Well Dock Design and Assessment of Relative Motions During the Operation of the Landing Crafts Within Well Dock

Sang-Hyun Yoon^{1,†} · Kwan-Hee Seo¹

Hanjin Heavy Industries & Construction Co, LTD¹

Abstract

Landing ship tank with well dock has the important mission transferring troops or landing equipments from sea to shore. Such transfers are usually carried out using landing crafts, which are loaded or unloaded in flooded well dock. In this situation, as relative motions are occur between well dock and landing craft, safety verifications are demanded. In this paper, seakeeping and safety performances are investigated through model test. First of all, well dock dimensions are reviewed and model tests are performed with sea state 3&4 in 180degree wave direction. Model tests are conducted for three relative positions and seakeeping performances are investigated each position.

Keywords : Landing ship tank(전차상륙함), Landing craft(상륙정), Well dock(침수 갑판), Model test(모형시험)

1. 서 론

최근 국내에서 기본설계가 되어 건조 및 건조예정인 상륙함의 경우 함미에 Well Dock을 운용하고 있으며 이를 통하여 자함인 상륙정은 모함인 상륙함과 해안사이를 왕복하며 병력과 상륙장비를 수송하는 임무를 수행하게 된다. 미국에서 운용중인 강습상륙함(LHD)의 Well Dock운용시 모습을 Fig.1에 나타내었는데 이는 상륙함의 기능중 가장 중요한 요소이다. Fig.1에서와 같이 파도가 거의 없는 해상상태일 경우 Well Dock 내부는 외부와 같이 파도가 형성되지 않는다. 그러나 이와 반대로 해상환경이 좋지 못할 경우, 파랑중에서 모함인 상륙함이 동요를 하게되어 Well Dock내부에서는 Fig.2에서와 같이 환경이 극도로 나빠지게 되고 자함의 Well Dock으로의 입거 및 출거시 모함과의 상대운동으로 인하여 충돌의 위험성이 존재하므로 자함의 안전한 임무수행을 위하여 Well Dock 입·출거시 모함과의 상대운동 검증은 함정설계 단계에서 필수적이라 하겠다.

본 연구에서는 국내에서 기본설계가 완료되고 현재 건조를 위한 상세설계가 진행중인 차기상륙함(LST-II)의 Well Dock 형상에 대하여 기술하고 요구되는 해상조건인 해상상태 3과 해상상태4에서 Well Dock 운용시 모함과 자함의 상대운동 모형시험을 통해 나타난 운동특성을 살펴보고 그에 따른 안전성을 평가하였다.

Fig. 1 Entering well dock of LHD

Fig. 2 View of well dock inside

2. Well Dock 설계

자함인 상륙정의 안전한 Well Dock 입·출거를 위하여 고려하여야 할 요소는 Well Dock에서 발생하는 파형이며 이는 모함의 크기와 동요진폭에 따라 영향을 받게 된다. 이와 더불어 Well Dock의 형상 또한 Well Dock에서 발생하는 파형을 결정하는 주요한 요인이 되므로 모함과 자함간의 안전성을 평가하기 앞서 Well Dock형상이 검토되어야 하므로 파형에 영향을 주는 주요 형상요소를 아래와 같이 선정하였다.(Cartwright, et al., 2007).

- Well Dock의 길이
- Well Dock 바닥의 경사각
- Well Dock의 수심
- Beach Ramp의 형상

2.1 Well Dock 길이

불규칙파를 가지는 해상환경에서 모함의 상하동요(Heave) 및 종동요(Pitch)는 Well Dock내 파생성의 가장 주요한 원인이 되며 모함의 운동에 의하여 발생한 Well Dock내의 파고형성은 Well Dock의 길이에 영향을 받게 된다. 우선 상륙정 운용을 위한 Well Dock 길이를 결정하기 전 Table.1에서와 같이 Well Dock을 보유한 국의 실적함들의 Well Dock 길이와 운용하는 상륙정의 척수를 살펴보았다. Well Dock에 상륙정을 1척 수용하는 경우는 상륙정의 길이와 유사하게 Well Dock의 길이가 20m정도이며 길이방향으로 2척 운용하는 경우는 상륙정의 길이에 맞도록 Well Dock의 길이를 가지는 것을 알 수 있다. (Bass, et al., 2004)에서는 모함이 정지된 상태에서 함수파(180°) 조건으로 이론해석을 수행한 결과 Well Dock길이에 따른 Well Dock내부 파고높이가 Well Dock길이를 2배수로 했을 경우 16%낮아지며 함속이 증가할수록 Well Dock 입구와 수면과의 상대운동이 줄어들거나 변동이 없는 것으로 나타나 있다. 본 연구를 위한 함정의 경우도 Well Dock운용시 함수각 유지를 위하여 약간의 속력을 가지게 되며 요구되는 해상환경인 해상상태 3에서의 조우주파수(Encounter Frequency)가 더욱 짧아져 모함의 종동요 진폭이 감소하여 함미부의 수면과의 상대운동이 감소할 것이므로 Well Dock길이에 의한 파고의 영향은 크지 않을 것이라 판단되어진다. 또한 함정설계과정에서 Well Dock길이를 상륙정의 길이보다 크게 했을 경우 함정의 경하중량 및 소요마력 증가의 주원인이 되므로 본 연구를 위한 Well Dock길이는 상륙정 1척을 수용할 수 있는 최소의 길이로 선정하였다.

Table 1 Well dock lengths of similar ships

Ship Name	Nationality	Well Dock Length(m)	Landing Craft(ea)
MAKASSAR	Indonesia	22.0m	1
SAN GIORGIO	Italia	20.0m	1
ENDURANCE	Singapore	52.3m	2
OSUMI	Japan	55.0m	2
SAN ANTONIO	USA	55.0m	2

2.2 Well Dock 바닥의 경사각

Well Dock의 형상결정을 위한 두 번째 요소로서 Well Dock바닥의 경사각을 고려하여야 한다. Well Dock입구에서부터 점진적으로 수심이 줄어드는 경우인 바닥의 높이가 높아지는 경우 모함의 동요로 인하여 Well Dock입구에서의 파고 높이가 감소하게 되며 반대의 경우로써 수심이 증가하는 경우인 바닥의 높이가 낮아지는 경우는 Well Dock입구에서의 파고 높이가 높아지게 된다. 이는 종동요로 인하여 Well Dock 내부에서의 유동이 전후로 요동치는 슬로싱(sloshing) 현상이 발생하면서 Well Dock에서 함미로 빠져나가는 유동과 외부에서 Well Dock으로 진입하려는 유동이 Well Dock 입구에서 상호충돌하기 때문이다. 바닥의 높이가 함수방향으로 높아지는 경우는 Well Dock으로 입사되는 파의 속도가 바닥의 경사로 인하여 감쇠되며 Well Dock에서 빠져나가는 유량 또한 바닥경사가 낮아지는 경우보다 작기 때문에 Well Dock입구에서 발생하는 파고의 높이가 상대적으로 작은 편이다. 그러나 바닥의 높이를 높아지게 할 경우 Well Dock 수심이 점차적으로 낮아짐에 따라 감쇠되지 못한 파에너지의 집중현상으로 Well Dock내부로 갈수록 파고의 높이가 점차적으로 증가하는 경향을 나타내게 된다. 이는 상륙정이 모함으로의 진입이 완료된 후 상륙정의 함수쪽에서 높아진 파고로 인한 동요의 증폭으로 Well Dock과 자함간의 충돌이 우려되는 단점이 있다. 실제로 상륙함들의 Well Dock 운용시 Ballasting으로 인하여 Fig.3에서와 같이 함미트림(Stern by Trim)이 발생하게 되어 Well Dock 바닥의 경우는 자연경사각을 가지게 된다. 이러한 영향을 고려하였을 때 바닥의 높이가 낮아지는 경우는 함미트림 발생시 Well Dock 바닥의 경사가 완화되는 효과가 발생하기는 하나 상륙정의 입거가 완료된 이후 Well Dock에 고인 해수의 신속한 배수문제가 해결되어야 하며 국내·외 실적함들의 경우에서도 Well Dock 바닥은 높이 차이를 두지 않고 운용중이므로 본 연구를 위한 Well Dock의 경우도 바닥의 경사각을 주지 않기로 한다.

Fig. 3 Ballasting condition for well dock operating

2.3 Well Dock의 수심

Well Dock의 형상결정을 위한 세 번째 요소로써 Well Dock에서의 수심을 고려하여야 한다. 자함인 상륙정의 만재수심을 기준으로 하여 상륙정의 Well Dock으로의 진입초기와 진입을 완료하

였을 경우, 상륙정의 선저부분과 Well Dock바닥과의 충분한 여유 공간이 확보되지 않으면 진입단계에서 모함과 자함간의 상호충돌이 발생하므로 설계단계에서 이러한 점을 고려하여 Well Dock에서의 충분한 수심확보는 중요한 사안이다. Well Dock의 수심을 결정하기 위하여 본 연구에서는 모함과 자함의 상하동요와 종동요 진폭을 이론해석하여 가장 불리한 조건인 모함과 자함간의 여유공간이 가장 줄어든 조건에서 안정성 확보를 위한 Well Dock 수심을 결정하였다. 모함과 자함의 운동특성치는 Strip Theory를 이용한 이론해석을 수행하여 추정하였다. 자함의 경우 만재상태에서의 흘수가 가장 깊으므로 수심선정을 위한 동요주기 및 진폭의 확인은 만재상태에서만 수행하였으며 Well Dock 천정과와의 충돌을 고려하여 자함과 Well Dock 천정과와의 공간확보는 자함이 화물을 적재하지 않은 공선상태에서의 동요주기 및 진폭을 확인하여 상부공간 확보를 위한 자료로써 활용하였다. 해석을 위한 해상환경은 해상상태 3에서 Bretschneider Spectrum 및 Long-Crested Sea 조건을 사용하였으며 흘수선정시 모함의 Ballasting 능력을 고려하였다. 해상상태 3에서 모함의 상하동요와 종동요각을 각각 Fig.4와 Fig.5에 나타내었으며 함수파향에서 발생하는 최대 상하동요와 종동요는 각각 0.1m(SSA)와 0.3°(SSA)를 보여주고 있다. 자함의 경우는 Well Dock내부에서의 환경조건을 고려하여 동요진폭을 구하였다. 파의 유의주기는 자함의 종동요 RAO를 나타낸 Fig.6과 Fig.7에서처럼 종동요 공진주기인 4.5sec를 적용하였다.

Fig. 4 Disp. of heave(LST, sea state 3)

Fig. 5 Angle of pitch(LST, sea state 3)

그러나 Fig.6과 Fig.7에서처럼 자함의 상하동요의 경우는 대략 4초정도이나 동요진폭이 파장에 비례하는 조화운동을 하므로 계산을 위한 주기는 해상상태 3의 유의주기인 7.5초를 적용하였다. Well Dock에서 자함의 상하운동과 종동요를 Fig.10과 Fig.11에 나타내었으며 상하운동의 최대치는 Beam Sea에서 0.4m(SSA)이며 종동요각의 최대치는 함수파향에서 2.3°(SSA)로 나타났다. 계산된 모함과 자함의 동요진폭을 반영하여 개별적으로 가장 불리한 조건에 대한 Well Dock수심을 정하였으며 이를 Fig.12에 나타내었다.

Fig. 6 RAO of pitch(landing craft, 2kts)

Fig. 7 RAO of pitch(landing craft, 5kts)

Fig. 8 RAO of heave(landing craft, 2kts)

Fig. 9 RAO of heave(landing craft, 5kts)

Fig. 10 Disp. of heave(landing craft, sea state 3)

Fig. 11 Angle of pitch(landing craft, sea state 3)

Fig. 12 Well dock water depth at entrance

2.4 Beach Ramp의 형상

모함의 동요로 인하여 Well Dock으로 진입한 파는 소파장치인 Beach Ramp에 의해 유동이 감쇠되어지며 이러한 소파장치인

Beach Ramp는 형상과 Well Dock바닥과의 각도에 따라 소파성능에 차이가 나타나게 된다. 먼저 Beach Ramp의 경사각은 국내 · 외 유사실적함들이 적용하고 있는 각도와 본 연구를 위한 모함의 일반배치를 고려하여 15°로 선정하였다. 소파장치의 경우 소파장치에 다수의 구멍을 뚫어 소파효율을 높인 다공성 소파장치인 'Porous Type'과 구멍을 뚫지 않은 'Solid Type'이 있는데 국내 실적함인 LPH(독도함)의 Well Dock 소파장치 모형시험(Yoo & sin, 2001) 결과 두가지 소파장치에 의한 파고차이가 크지 않았으며 다공성 소파기의 경우 실선에서 제작 및 운용시 강도상의 문제점이 있어 실적함에서도 채택하지 않고 소파성능을 향상시키기 위하여 Square Bar를 부착하여 운용중에 있다. 본 연구에서도 실적함의 경향에 따라 Square Bar를 부착한 소파장치를 사용하였다.

Fig. 13 Beach ramp of LSD49

3. 모형시험

설계되어진 Well Dock의 실운용시 안전성 여부를 판단하고 평가하기 위하여 모함/자함간의 상대운동 모형시험을 수행하였다. 모형시험은 삼성중공업(주) 조선해양 연구소에서 위탁수행을 하였으며 모형시험은 수조여건상 맞파도인 Head Sea(180°)에서만 수행하였다.

3.1 모형선 제작 및 시험방법

Well Dock 상대운동 모형시험을 위한 모형선은 모함과 자함 모두 1/18의 축척비로 제작하였다. 모함의 부가물로서 Bilge Keel과 Rudder를 부착하였다. 소파장치는 앞서 언급하였듯이 'Porous Type'의 소파기가 아닌 'Solid Type'의 소파기로 제작하였고 소파성능을 돕기 위해 실선에서 Square Bar의 역할을 수행하는 철심을 소파기에 부착하였다. Fig. 14에서 Fig. 16에 그 형상을 나타내었으며 모형시험을 위한 함상태는 Table.2에 나타내었다. 모함의 Well Dock운용을 위한 함상태는 침하조건이며 이때 함미트림은 4M이다. 자함의 경우 Well dock 바닥과 자함과의 충돌여부를

확인하기 위한 만재(Full Load) 조건과 유동하중을 탑재하지 않은 조건에서 Well Dock 천정과의 충돌여부를 확인하기 위한 공선(Ballast load) 조건에서 시험을 수행하였다. 모형시험을 위한 함속의 경우 모함은 0,3,5kts이며 자함의 경우는 모함의 함속보다 2kts 빠른 2,5,7kts에서 시험을 수행하였다. 비접촉 계측장비를 사용하여 6자유도 운동을 계측하였고 자함의 함수와 함미에는 3축 가속도계를 부착하여 상대운동시 발생하는 자함의 가속도를 계측하였다. 자함의 Well Dock 입거가 완료된 후 자함의 함수램프와 Pilot House가 Well Dock측면에 설치되는 이동통로인 Cat walk와의 충돌여부를 확인하기 위하여 자함의 함수램프와 Pilot House끝단에 센서를 부착하였으며 모함과 자함의 상대운동 모형 시험은 Fig. 17과 같은 위치에서 수행하였다. Case 1에서는 자함의 Well Dock 입거전 운동을 계측하였으며 Case 2에서는 Well Dock 입거초기에 자함의 동요로 인하여 Well Dock와의 상호충돌 여부를 확인하였다. Case 3에서는 자함의 Well Dock입거가 완료된 후 Well Dock과의 충돌여부를 확인하였다. 자함의 경우 모함보다 2노트 빠른 함속으로 Well Dock으로 진입을 하기 때문에 불규칙과 조건에서 원하는 상대위치에서는 통과하는 시간이 짧기 때문에 신뢰할 만큼의 계측자료를 얻기는 어렵다. 그러므로 충분한 데이터 수집을 위하여 Case 1,2,3의 위치에서 모함과 자함의 상대속도가 없는 조건으로 실선기준 1시간 동안의 계측데이터를 수집하였으며 데이터 취득 주파수는 50Hz이다.

Fig. 14 Model of well dock

Fig. 15 View of wave breaker

Fig. 16 Model of landing craft

Table 2 Main particulars of ships

Items	LST-II	Landing craft	
		Full load	Ballast load
Draft at FP	3.80m	1.06m	0.64m
Draft at AP	7.80m	1.06m	0.64m
LCG	50.99m	10.63m	10.48m
VCG	6.67m	1.92m	1.28m
GMt	2.34m	2.64m	6.23m
Rxx	6.79m	2.24m	2.24m
Ryy	29.50m	5.40m	5.40m
Rzz	29.50m	5.40m	5.40m

Fig. 17 Relative positions for model test

Fig. 18 View of case 1

Fig. 19 View of case 2

Fig. 20 View of case 3

3.2 파도 조건

Well Dock 상대운동 모형시험을 위한 파도조건은 Table 3에 나타난 해상상태 3과 해상상태 4의 파도조건에서 수행하였다. 해상상태를 재현하기 위한 불규칙 해양파는 ITTC Two-Parameter Wave Spectrum의 하나인 PM Spectrum을 사용하여 γ 를 1로 적용한 Bretschneider Spectrum을 생성하였다. Fig.21과 Fig.22는 모형시험을 위해 파도 교정을 수행한 결과이며 목표 스펙트럼과 잘 일치하고 있다.

Table 3 Wave condition

Item	Sea State 3	Sea State 4
Hs[m]	0.88	1.88
Tp[s]	7.5	8.8
Tz[s]	5.3	6.3

$$S(\omega) = 0.25 \frac{H_s^2}{\omega^5} B \cdot \exp\left(-\frac{B}{\omega^4}\right) \quad (1)$$

$$B = \left(\frac{0.752 \cdot 2 \cdot \pi}{T_z} \right)^4 \quad (2)$$

여기서,

Hs : significant wave height in meter

Tz : average zero up-crossing period in second

Tp : spectral wave peak period in second

Tp=1.408 X Tz for only PM spectrum($\gamma=1.0$)

ω : angular wave frequency in radian per second

Fig. 21 Wave calibration results of sea state 3

Fig. 22 Wave calibration results of sea state 4

4. 결과 및 고찰

4.1 자함의 만재상태

불규칙 해상조건에서 함속에 따른 모함의 상하동요(Heave) 및 종동요(Pitch)를 Fig. 23과 Fig.24에 나타내었으며 만재상태에서 자함의 Case별 상하동요 및 종동요 특성을 Fig.25와 Fig.26에 나타내었다. 해상상태3에서 자함의 5노트 속력으로 단독 내항성능

모형시험 결과 파향 180°에서 상하운동의 경우 0.38m(SSA), 종동요의 경우는 2.39deg(SSA)로 나타났다. Well Dock운동을 위한 Case1의 경우 동일조건에서 상하동요는 22%감소하였으며 종동요는 40% 감소하는 결과를 보여주었는데 이는 모함의 Stern Gate가 자함의 운동에 영향을 주고 있는 것으로 판단된다. 자함의 상하동요 경향을 살펴보면 Case1과 Case2의 경우는 자함의 상하동요 특성이 모함의 동요에 영향을 받지 않는 것처럼 나타났으나 자함이 Well Dock에 입거를 완료한 Case3의 경우는 모함의 상하운동과 유사한 경향을 나타내어 모함의 운동에 영향을 받는 것으로 나타났다. 해상상태 4의 경우는 Case1과 Case2에서 함속이 증가할수록 상하운동이 조금씩 증가하는 경향을 나타내고 있다. 이는 Well Dock에서 밀려나오는 높은 파고를 가지는 파의 영향 때문인 것으로 판단된다. 모함 종동요의 경우는 함속에 따라 동요폭에 큰 변동은 없으나 자함의 경우 해상상태3에서 Case1에서 Case3으로 갈수록 함속의 증가에 따라 종동요 진폭이 약간씩 증가하는 경향을 보인다. 즉 자함이 Well Dock에서 발생하는 파의 영향을 받는 정도에 따라 종동요 진폭이 증가함을 알 수 있는데 이는 Well Dock 입거가 완료된 Case3의 경우 Well Dock으로 파가 진입할 경우 줄어드는 수심의 영향으로 파고가 증가하기 때문이다. 해상상태4에서는 Case2에서 종동요가 확연히 크게 발생하는 것을 볼 수 있는데 이는 Well Dock입구쪽에서 발생하는 높은 파고의 영향 때문인 것으로 판단된다. Well Dock 운용의 경우 Case2의 경우가 가장 주요한 시점이라 볼 수 있는데 이는 자함의 함수가 Well Dock에 진입하는 첫 단계로써 Well Dock입구에서의 충돌이 발생하지 않기 위해서는 Case 2에서의 동요진폭이 작아야 한다. 해상상태별 함속에 따른 모함과 자함간의 상대운동으로 인한 자함과 Well Dock사이의 여유공간의 경향을 RMS(Root Mean Square)로서 Fig.27과 Fig.28에 나타내었다. Fig.27에서처럼 Case2의 경우 해상상태 4에서의 자함과 모함과의 여유공간이 해상상태 3보다 크게 나타나고 있는데 이는 해상상태 4에서 모함과 자함의 상대운동 변위가 크기 때문이며 이로 인한 충돌의 위험 또한 증가하게 된다. 자함이 Well Dock에 입거를 완료한 상태인 Case3에서의 경우 자함의 함수쪽 바닥인 St.5와 Well Dock바닥과의 여유공간 및 자함의 함미쪽 바닥인 Skeg와 Well Dock바닥과의 여유공간을 보여주는 Fig.28을 보면 해상상태 3에서는 함수쪽 St.5에서의 상대변위가 큼으로 인하여 상호 충돌의 위험성이 증가하는 반면 해상상태 4에서는 함미 Skeg에서의 여유공간 변위가 큼으로 인하여 Well Dock바닥과의 충돌가능성이 커짐을 알 수 있다. 이는 모함의 해상상태에 따른 운동주기에 기인하는 것으로써 해상상태 3에서의 경우 Well Dock의 Beach Ramp가까이에서 높은 파고가 발생한 반면 해상상태 4에서는 Well Dock중앙에서 다소 함미쪽 위치에서 Well Dock으로 입사되는 파와 Well Dock에서 빠져나가는 파와의 충돌로 인하여 자함의 함미변위가 증가하였기 때문이다. 모함과 자함간의 상호 충돌 여부는 FP와 AP에 설치한 가속도계에 의하여 계속된 가속도 값이 정규분포 범위를 벗어나면서 크게 변동하는 경우를 모함과 자함이 상호 충돌한 경우로 간주하였으며 상대운동으로 인한

모함과 자함간의 최소간격을 Table.4와 5에 나타내었다. 여유공간(Clearance)이 '0'인 경우는 충돌하였음을 의미한다. 해상상태 3에서의 경우 Case2에서는 충돌현상이 없었고 Case3에서는 자함의 함수바닥과 Well Dock바닥간의 충돌현상이 시간당 7회 발생하는 것으로 나타났다. 이러한 충돌현상의 경우 Well Dock의 실운용시 Deballasting 과정에서 줄어드는 Well Dock함수로 인하여 Well Dock바닥과 자함의 함수바닥과의 충돌은 필연적으로 발생하기 때문에 운용상의 문제는 없을 것으로 판단된다. 해상상태 4의 경우 Case2와 Case3모두 충돌현상이 발생하였으며 Case2에서의 충돌현상 발생은 Well Dock운용이 불가능함을 의미한다. 본 연구를 위한 모함의 경우 실운용을 위한 요구조건은 해상상태 3에서 3노트의 함속을 가질 경우이므로 자함의 만재상태에서 심각한 충돌로 인한 운용상의 문제점은 없는 것으로 판단된다.

Fig. 23 Heave motions of LST

Fig. 24 Pitch motions of LST

Fig. 25 Heave motions of landing craft(full load)

Fig. 26 Pitch motions of landing craft(full load)

Fig. 27 Gap with well dock bottom & top(full load, case2)

Fig. 28 Gap with well dock bottom(full load, case3)

Fig. 29 Acceleration at FP(full load, sea state 3, case2)

Fig. 30 Acceleration at FP(full load, sea state 4, case2)

Fig. 31 Acceleration at FP(full load, sea state 3, case3)

Fig. 32 Acceleration at FP(full load, sea state 4, case3)

Fig. 33 Acceleration at AP(full load, sea state 3, case3)

Fig. 34 Acceleration at AP(full load, sea state 4, case3)

Table 4 Results of relative motion(full load, FP)

Speed [kts]	Clearance between st.5 bottom and well dock bottom(m)			
	Case 2		Case 3	
	Sea State 3	Sea State 4	Sea State 3	Sea State 4
0	0.46	0	0.01	0
3	0.37	0	0	0
5	0.30	0	0	0

Table 5 Results of relative motion(full load, skeg)

Speed [kts]	Clearance between skeg and well dock bottom(m)	
	Case 3	
	Sea State 3	Sea State 4
0	0.17	0
3	0.27	0
5	0.12	0

4.2 자함의 공선상태

4.1절에서는 만재상태인 자함의 Well Dock 입거시와 관련한 운동성능 및 Well Dock바닥과의 상호 충돌 여부에 대하여 언급하였다. 그러나 자함이 유동화물을 탑재하지 않은 공선상태(Ballast

load)일 경우 흘수차이로 인하여 Well Dock바닥 보다는 Well Dock 천정과 자함의 가장 높은 부분과의 충돌여부를 확인하여야 한다. 그러므로 본 절에서는 4.1절에서와 동일한 외부환경 조건에서 자함이 공선상태 일 경우의 운동성능과 상대운동으로 인한 충돌여부에 대하여 확인하였다. 먼저 상하동요 및 종동요 특성을 Fig.35와 Fig.36에 나타내었는데 상하동요의 경우 Full load 조건인 Fig.25와 비교하여 경향 및 진폭이 유사하게 나타난 것을 알 수있다. 그러나 Fig.36과 같이 종동요의 경우 해상상태3과 해상상태4 모두 Case1과 Case2는 Full load조건과 유사한 결과치를 가지는 것으로 나타났으나 Case3의 경우는 Ballast load조건에서 종동요 진폭이 증가하는 것으로 나타났다. 이는 Well Dock내에서 발생하는 파의 경우 파장이 짧으므로 자함의 경우는 자체주기에 근접하는 파의영향을 받았을 경우 동요진폭이 증가하기 때문이다. Case2에서 자함과 모함의 상대운동으로 인한 여유공간을 나타낸 Fig.37의 경우 Full load 조건에서와 큰 차이점은 없으나 해상상태 4에서 Gap의 증가는 가속도의 증가를 유발하여 상호충돌의 가능성이 높아진다. Case3에서의 FP의 최상단부와 Pilot House 천정과 Well Dock 천정과의 여유공간을 확인한 Fig.38에서는 해상상태4의 경우가 해상상태 3의 경우보다 Gap이 증가하여 충돌의 가능성이 증가함을 알 수 있고 FP의 경우 함속이 빨라질수록 Gap 또한 증가하고 있으나 Pilot House의 경우 함속이 빨라질수록 Gap이 줄어들음을 알 수 있다. 또한 만재상태시와 동일하게 해상상태 3과 4에서 모두 함속이 증가할수록 함수쪽 상대운동은 증가하고 있으며 함미쪽 상대운동은 줄어들고 있다. 이 또한 함속의 증가에 따른 모함의 함미와 수면과의 상대운동이 감소하여 Well Dock 입구로의 입사파고는 줄어드는 반면 동요횟수의 증가로 자함의 FP쪽 동요진폭이 증가한 것으로 판단된다. 자함의 공선상태에서 Well Dock과의 상대운동으로 인한 여유공간(Clearance)을 Table 6에서 Table 8에 나타내었다. St.5의 Bottom에서는 Case2와 Case3 모두 충돌이 발생하지 않았으나 해상상태 4에서는 충돌이 발생하는 것으로 나타났다. Skeg에서는 해상상태 4에서 시간당 3회의 충돌현상이 발생하였고 Pilot House 천정과 Well Dock 천정과의 경우는 해상상태 4에서 시간당 2회 충돌이 발생하는 것으로 나타나 해상상태 3에서는 Well Dock 운용에 있어 문제점이 없으나 해상상태 4의 경우 운용성에 있어 다소 무리가 있어 보인다.

Fig. 35 Heave motions of landing craft(ballast load)

Fig. 36 Pitch motions of landing craft(ballast load)

Fig. 37 Gap with well dock bottom & top(ballast load, case2)

Fig. 38 Gap with well dock top(ballast load, case3)

Fig. 39 Acceleration at FP(ballast load, sea state 3, case2)

Fig. 40 Acceleration at FP(ballast load, sea state 4, case2)

Fig. 41 Acceleration at FP(ballast load, sea state 3, case3)

Fig. 42 Acceleration at FP(ballast, sea state 4, case3)

Fig. 43 Acceleration at AP(ballast, sea state 3, case3)

Fig. 44 Acceleration at AP(ballast, sea state 4, case3)

Table 6 Results of relative motion(ballast , FP)

Speed [kts]	Clearance between st.5 bottom and well dock bottom(m)			
	Case 2		Case 3	
	Sea State 3	Sea State 4	Sea State 3	Sea State 4
0	0.86	0	0.37	0
3	0.70	0.08	0.27	0
5	0.61	0	0.09	0

Table 7 Results of relative motion(ballast , skag)

Speed [kts]	Clearance between skag and well dock bottom(m)	
	Case 3	
	Sea State 3	Sea State 4
0	0.49	0
3	0.62	0
5	0.48	0

Table 8 Results of relative motion(ballast , pilot house top)

Speed [kts]	Clearance between Pilot house top and well dock top(m)	
	Case 3	
	Sea State 3	Sea State 4
0	0.39	0
3	0.67	0.06
5	0.83	0.35

5. 결 론

본 연구를 위한 상륙함에 적합한 Well Dock형상을 결정하기 위해 Well Dock을 구성하는 4가지 요소에 대한 검토를 수행하고 상륙정과의 상대운동 모형시험을 수행하여 그 성능을 평가하여 보았다. Well Dock운용시 모함/자함간의 상대운동 평가를 수행하여 본 결과, 모함은 자함과의 상대위치에 따른 운동성능에 변화가 없으며 자함의 경우는 open된 해상조건에서 보다 모함의 영향으로 상하동요 및 종동요가 줄어드는 것을 확인하였다. Well Dock 내부에서의 운동성능은 해상상태 3과 해상상태 4에서 각기 다른 경향을 나타내었는데 해상상태 3에서는 자함의 만재 및 공선상태 모두 운용상 문제점이 나타나지 않았으나 해상상태 4에서는 자함이 Well Dock에 진입하는 초기단계인 Case2에서 충돌현상이 발생하는 것으로 나타났다. 본 연구에서는 수조여건상 문제와 모함의 종동요 진폭과 그에따른 모함과 자함간의 상대운동 변위가 가장 크게 발생할 수 있는 파향 180°에서 모형시험을 수행하였으며, 국내·외에서 건조되어 운용중인 유사실적함과 비교하여 Well Dock의 규모는 작으나 운용시 안전성 측면에서는 양호한 성능을 가지는 것으로 평가된다. 국내에서도 향후 Well Dock을 운용하는 상륙함들이 추가적으로 설계 및 건조되어질 것이며 보다 우수한 성능을 가지는 상륙함정의 설계를 위하여 Well Dock의 형상요소에 대한 세부적인 연구와 다양한 파향에서의 모형시험 수행이 필요할 것이라 판단된다.

참 고 문 헌

- Bass, D.W. Molyneux, W.D. & McTaggart, K., 2004. Simulating Wave action in the Well Deck of Landing Platform Dock Ships using Computational Fluid Dynamics, *Warship 2004*, London, England, 2004.
- Yoo, W.J & Sin, S.C., 2001. Report of Well Dock Model Test. *SSMB Report No SSMB-T-2000-9056-2*.
- Cartwright, M. McGuckin, D. & Cannon, S., 2007. Motions of a Landing Craft in a Flooded Well Dock-Effect of Well Dock Design, *The Royal Institution of Naval Architects 2007*, Australia, 2007.