

시각적 동요 기반 선박운항 시뮬레이터에서 SSQ와 COP를 이용한 시뮬레이터 멀미 계측에 관한 연구

황태현* · † 장준혁 · 오승빈** · 김홍태***

† , * , ** , *** 한국해양과학기술원 선박해양플랜트연구소 해양안전연구부

Study on Simulator Sickness Measure on Scene Movement Based Ship Handling Simulator Using SSQ and COP

Tae-Hyun Fang* · † Jun-Hyuk Jang · Seung-Bin Oh** · Hong-Tae Kim***

† , * , ** , *** Maritime Safety Research Division, Korea Research Institute of Ships & Ocean Engineering (KRISO), Korea Institute of Ocean Science and Technology (KIOST), Daejeon 305-343, Korea

요 약 : 본 연구에서는 시각적 동요를 기반으로 하는 선박운항 시뮬레이터(ship handling simulator)에서 시뮬레이터 멀미 설문(SSQ, simulator sickness questionnaire)과 압력 중심(COP, Center Of Pressure)을 이용하여 시뮬레이터 멀미(simulator sickness)를 계측할 수 있는 기법을 제안한다. 실험을 위하여 선박운항시뮬레이터에서 피실험자가 시각적 동요에 노출되도록 하였고 해상상태(sea state)를 3단계로 바꾸어 가며 실험을 수행하였다. 시각적 동요 노출의 직후에 피실험자는 SSQ를 통하여 실험동안의 자각증상에 대한 설문을 작성하였고, 시각적 노출 중에는 지면반발력계를 이용하여 피실험자의 COP를 측정하였다. 시각적 동요, SSQ, 그리고 COP의 데이터 분석을 통하여 시뮬레이터 멀미와 피실험자의 COP 사이의 연관성을 고찰하였다. 실험 및 분석을 통하여 해상상태에 따른 SSQ 점수와 피실험자 COP에 대한 각각 관계식을 제시하였고, 피실험자의 종방향 COP가 시뮬레이터 멀미 계측을 위한 지수로 활용될 수 있음을 보였다.

핵심용어 : 시각적 동요, 시뮬레이터 멀미, 선박운항 시뮬레이터, 시뮬레이터 멀미 설문, 압력 중심, 피치동요와 롤동요

Abstract : In this paper, it is proposed that the effects of simulator sickness due to scene movement in ship handling simulator can be measured by using center of pressure (COP) and a simulator sickness questionnaire (SSQ). For experiments of simulator sickness, twelve participants are exposed to scenes movement from ship handling simulator according to three steps of sea states. During experiments, COPs for subjects are measured by force plate. After exposure to scenes movement, subjects describe their sickness symptoms by answering the SSQ. Throughput analysing the results of scene movement, SSQ, and COP, the relation between the simulator sickness and COP is investigated. It is suggested that formulations for SSQ score and COP with respect to sea state are obtained by the curve fitting technique, and the longitudinal COP can be used for measuring the simulator sickness.

Key words : scene movement, simulator sickness, ship handling simulator, simulator sickness questionnaire, center of pressure, pitch and roll

1. 서 론

메스꺼움(nausea)에 의한 다양한 형태의 신체기능의 저하는 인적요소에 의한 해양사고와 직접적인 연관이 있다(Jung and Lee, 2008). 운항 중에 해양 조건이 악화됨에 따라 선박이 급격히 움직일 때, 인간의 신체는 메스꺼움을 느낄 뿐만 아니라 인식 능력의 저하, 활동성 및 숙련성의 감소와 같은 부정적인 영향을 받게 된다(Stevens and Parsons, 2002). Pethybridge(1982)의 연구에 의하면 영국 해군의 경우에 일상적인 해상 조건에서 선원들은 10~30%가 배멀미(sea

sickness)를 경험하였으며 심한 폭풍우의 해상조건에서 50~90%의 선원들이 배멀미를 경험하였다. 심지어 아무런 육체적인 노동 및 작업을 시행하지 않는다고 할지라도 33%의 선원들이 배멀미 증상을 호소하였다(So et al., 1999; Lo and So, 2001).

주변 환경에 대한 시각적 변화에 오랫동안 노출된다면 자신이 움직이는 것과 같은 착각(illusion)과 일반적인 멀미 증상을 경험할 수 있다. 이러한 증상을 시뮬레이터 멀미(simulator sickness)라고 한다(LaViola, 2000). 시뮬레이터 멀미에 대한 연구는 시각적 자극에 기반한 시뮬레이션과 운동 자극에 의한

† Corresponding author : 정희원, jang@kriso.re.kr 042)866-3658

* 정희원, thfang@kriso.re.kr 042)866-3625

** 정희원, sboh@kriso.re.kr 042)866-3656

*** 정희원, hongtae.kim@kriso.re.kr 042)866-3643

(주) 이 논문은 “Measurement of simulator sickness induced by scene movement in a ship handling simulator using SSQ and COP”란 제목으로 “2013 European Navigation Conference(Austria Center Vienna, 2013.4.23.-25)”에 초안이 발표되었음

시뮬레이션으로 구분하여 접근할 수 있다. 시뮬레이터 멀미를 측정하고 평가하기 위한 여러 가지의 다양한 방법이 제안되었다. 생리적인 신호의 변화는 메스꺼움과 밀접한 관계를 가진 것으로 알려져 있다(Kim et al., 2002).

시뮬레이터 멀미에 대한 연구에서 생리학적인 신호의 계측과는 달리 설문지(questionnaire)를 이용하는 방법이 고려될 수 있다. Kennedy(1993)는 멀미 측정을 위하여 시뮬레이터 멀미 설문(Simulator Sickness Questionnaire, SSQ)을 제안하였고 이는 현재 가장 널리 사용되는 방법 중 하나이다. 또한 시뮬레이터 멀미에 대한 지표로서 인체의 동요를 확인하는 방법을 고려할 수 있다. 시뮬레이터 멀미는 가상 현실(virtual reality)로 인한 인체의 동요에 의해 기인한다는 결과가 제시되었다. 이에 따라 관련한 많은 연구가 진행 중에 있으며 가상 현실과 신체 동요 사이의 연관성이 밝혀지고 있다.

압력 중심(center of pressure, COP)을 계측하는 방법은 신체 동요의 대표적인 측정방법 중 하나이다. COP는 신체의 압력 중심을 의미하며 인체의 동요에 따라 무게중심이 변동되는 것을 압력 중심으로 계측하는 방법이다. 일정한 시간동안 지속되는 COP의 값은 동요의 길이, 동요의 속도, 그리고 동요의 면적을 계산하는데 사용되며 체위의 동요를 정량적으로 나타내는데 활용된다.

본 연구는 시각적 모사를 기반으로 하는 선박 운항 시뮬레이터(ship handling simulator)에서 체험하게 되는 특성을 시뮬레이터 멀미로 나타내고자 하는 시도로서 시행되었다. 이를 위하여 해양환경과 유사한 실험환경에서 COP와 SSQ를 이용하여 실험을 시행하고 시뮬레이터 멀미를 조사하고 결과를 고찰하였다.

2. 실험 방법

한국해양과학기술원(KIOST) 부설 선박해양플랜트연구소(KRISO)는 Fig. 1과 같이 선박운항 시뮬레이터 시스템의 설계, 구축 및 운용 기술을 국산화하여 연구용으로 활용하고 있다. 이러한 기술을 이용하여 한국 해군을 위한 훈련시뮬레이터 시스템을 구축한 바 있다. 본 연구에서는 실험을 위하여 KRISO 선박운항 시뮬레이터를 사용하였다. 가상화 장치는 프로젝션 시스템을 통하여 구현되며 3개의 대형 스크린을 가지고 있으며 각 스크린은 원통형의 곡면을 구성하고 있다.

실험 결과의 일반성을 증대하기 위하여 대상 선박을 수량적으로 많은 양을 차지하고 있는 2만톤급의 벌크 수송선(bulk carrier)으로 선정하였다. 선박의 운항 시나리오는 대부분의 구간을 단순 순항을 가정하여 구성하였으며, 맑은 날씨의 시정이 매우 좋은 상황을 설정하였다. 해상상태 변동에 따른 영향을 포함하기 위하여 3가지의 해상상태(sea state)에 대하여 실험을 수행하였다. Table 1은 세계기상기구(World Meteorological Organization, WMO)에 정의된 해상상태를 나타낸다(WMO, 2014). 본 실험에서는 각각 해상상태 4, 해상상태 5, 그리고 해상상태 6을 적용하였다.



Fig. 1 Ship handling simulator in KRISO

Table 1 Sea state of WMO code 3700

Sea state	Descriptive Terms	Significant waves height [meter]
0	Calm(Glassy)	0
1	Calm(Rippled)	0-0.1
2	Smooth(Wavelets)	0.1-0.5
3	Slight	0.5-1.25
4	Moderate	1.25-2.5
5	Rough	2.5-4
6	Very Rough	4-6
7	High	6-9
8	Very High	9-14
9	Phenomenal	Over 14

실험의 참가자는 6명의 항해사와 6명의 일반인으로 구성되었으며, 참가자의 연령은 28.08 ± 2.35 세이다. 실험 전의 평이한(normal) 인체의 동요와 실험이 진행되는 동안 인체의 동요를 측정하였다. 실험 전과 실험 후 2회에 걸쳐 SSQ에 응답하도록 하였다. 신체 동요 측정을 위한 COP의 계측은 Fig. 2와 같은 지면반발력계(force place)를 사용하였으며, 본 실험에서는 Bertec사의 AM6800 모델을 이용하였다.

선박의 동체좌표계(body frame)는 선박의 무게 중심에 원점을 가지며 직각좌표계로 정의된다. 이때 선박의 노우즈(nose) 방향을 x-축으로 하고 x-축에 대한 회전을 롤(roll) 방향으로 정의한다. 또한 선박의 우현(starboard) 방향을 y-축으로

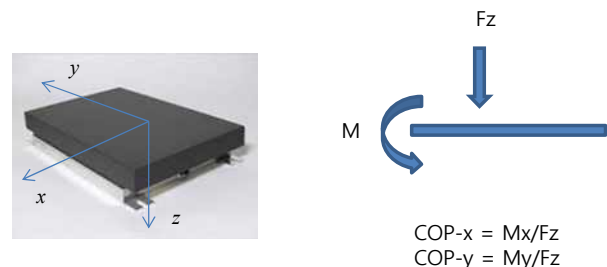


Fig. 2 Force place coordination and center of pressure

로 하고 y-축에 대한 회전을 피치(pitch) 방향으로 정의하였다. 지면반발력계를 이용한 실험에서는 Fig. 2의 지면반발력계의 x-축 방향과 y-축 방향을 선박의 x-축 방향과 y-축 방향에 일치시키고 피실험자는 지면반발력계 위에서 선박의 x-축 방향을 정면으로 응시하도록 하였다. 또한 피실험자의 정상적인 근무자세를 고려하여 피실험자의 양발이 어깨넓이 만큼 간격을 가지도록 하였다.

COP 계측기는 3가지 방향으로 부착된 스트레인게이지(strain gauge)를 포함하고 있으며 평판의 평면에 대하여 수직방향의 힘 F_z 과 롤 방향 모멘트(moment) M_x 및 피치 방향의 모멘트 M_y 를 측정할 수 있다. 따라서 측정치의 회전 모멘트를 힘으로 나누면 면적 중심에서 압력 중심까지의 거리를 결정할 수 있다. x-축 방향에 대한 압력 중심까지의 거리를 COP-x라 하고 x-축 방향의 움직임을 인체의 종방향(longitudinal) 동요라 정의한다. 또한 유사하게 y-축 방향에 대한 압력 중심까지의 거리를 COP-y라 하고 y-축 방향의 움직임을 인체의 횡방향(lateral) 동요라 정의한다.

3. SSQ 및 COP 결과 분석

SSQ는 Table 2와 같이 신체의 증상에 대하여 4점 척도로 구성된다. 증상은 모두 16가지로 구성되어 있으며, 1. 전반적인 불편, 2. 피로, 3. 두통, 4. 눈의 피로, 5. 눈의 초점을 맞추기

Table 2 Simulator Sickness Questionnaire

symptoms (0-3points)	Weight of each symptom		
	Nausea	Oculomotor	Disorientation
1	1	1	0
2	0	1	0
3	0	1	0
4	0	1	1
5	0	1	0
6	1	0	0
7	1	0	1
8	1	0	0
9	1	1	1
10	0	0	1
11	0	1	1
12	0	0	1
13	0	0	1
14	0	0	0
15	1	0	0
16	1	0	0
Total	(1)	(2)	(3)
Symptoms	Nausea=(1)*9.54	Oculomotor=(2)*7.58	Disorientation=(3)*13.92
Total Score	{(1)+(2)+(3)}*3.74		

힘듦, 6. 침 분비의 증가, 7. 발한, 8. 메스꺼움, 9. 집중하기 곤란함, 10. 머리가 팽 찬 느낌, 11. 뿌연 시야, 12. 눈을 떴을 때의 현기증, 13. 눈을 감았을 때의 현기증, 14. 빙빙 도는 느낌의 어지러움, 15. 위에 대한 부담감, 16. 트림으로 구분된다. 실험 참가자들은 증상 정도에 따라 증상 없음은 0점, 미세한 수준은 1점, 보통의 수준은 2점, 그리고 혹독한 수준은 3점으로 작성하도록 하였다.

수집된 결과는 메스꺼움(nausea), 안구운동(oculomotor), 그리고 방향감각 상실(disorientation) 세 가지의 주요 증상에 해당하는 범주로 구분하고, Table 2의 가중치를 이용하여 총점을 계산한다. 각 실험참가자들의 개인차를 고려하여 실험 전과 후의 변화량을 이용하여 분석하였다. Fig. 3에서는 세 가지 범주에 대한 증상의 값을 보여주고 있으며, Fig. 4는 총점을 나타낸다. 각 그림에서 수평축의 ss(sea state)는 해상상태를 나타내며, 수직축은 SSQ 점수를 의미한다. Fig. 3과 Fig. 4는 해상상태가 증가함에 따라 SSQ에 의한 멀미 증상 및 총점수가 유의하게 증가함을 보여준다(p<0.05).

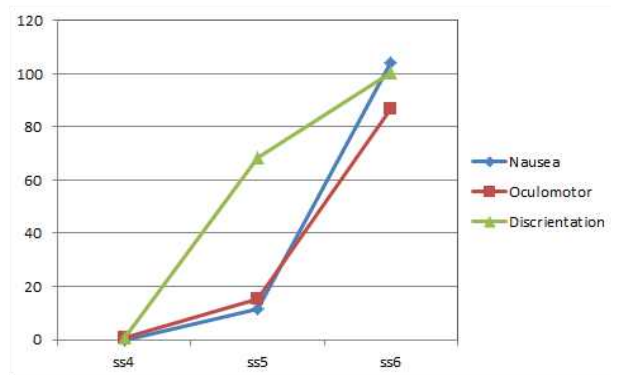


Fig. 3 Symptoms of SSQ

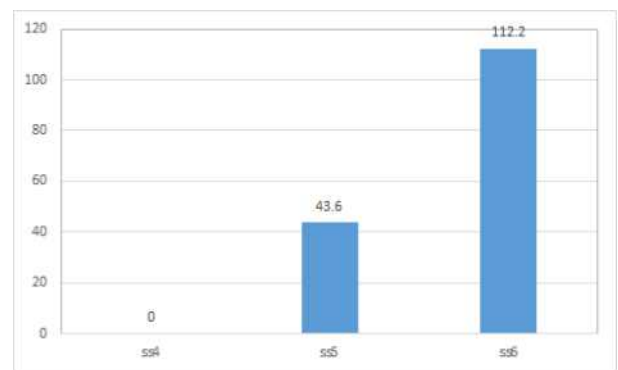


Fig. 4 Total scores of SSQ

인체의 동요를 측정하기 위하여 지면반발력계를 사용하였다. 피실험자는 실험을 수행하는 동안 Fig. 2와 같은 평판 위에 서서 실험에 임하게 되며 무게중심을 이동하게 되면 지면반발력계는 발생하는 모멘트를 계측하여 압력중심을 획득한다. 평판 위의 피실험자는 Fig. 2에서 x-축 방향을 보고 서 있

도록 하였다. 따라서 피실험자가 x-축 방향으로 무게중심을 이동하면 COP-x에 유효한 변동이 생기며, y-축 방향으로 무게중심을 이동하면 COP-y에 유효한 변동이 관찰될 수 있다.

2장에서 언급한 동체좌표계를 Fig. 5와 같이 나타낼 수 있다. 동체좌표계의 x-축 및 y-축과 지면반발력계의 x-축과 y-축을 일치시키면 선박의 피치 방향 동요는 인체의 중방향 동요에 해당하는 COP-x의 유효한 변동을 유발할 수 있을 것으로 쉽게 예측할 수 있다. 유사하게 선박의 롤 방향 동요는 COP-y를 유발할 수 있다. 선박의 자세변화와 인체의 무게중심 동요에 대한 연관성을 확인하기 위하여 실선을 이용한 사전실험을 시행하였다.

실선 실험은 전장 117.2m, 폭 17.8m, 총톤수 6,686톤의 제원을 가지는 크루즈형 실습선인 한국해양대학교 한바다호에서 시행되었다. 피실험자는 한국해양대학교 항해학과 4학년 5명과 일반인 5명으로 구성되었으며 Fig. 6과 같이 지면반발력계 위에서 전방을 주시하도록 하였다.

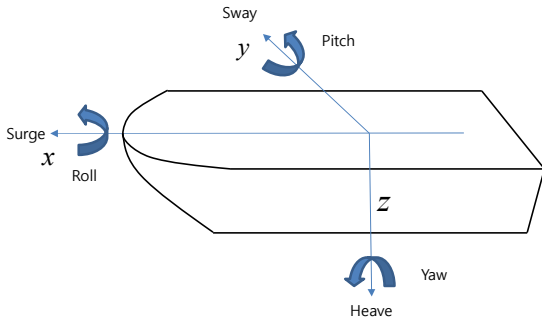


Fig. 5 Definition of body axis for ship



Fig. 6 Experiments in training ship "Hanbada"

선박의 자세변화는 Fig. 5의 피치각과 롤각을 나타내며 실선 실험에서는 관성측정장치(Inertial Measurement Unit, IMU)를 통하여 계측되었다. Fig. 7과 Fig. 8은 실선 실험에서 자세변화와 무게중심 동요의 연관성을 확인하기 위하여 계산한 코히어런스(coherence)를 나타낸다. 각각 COP-x와 COP-y에 대한 코히어런스를 나타낸다.

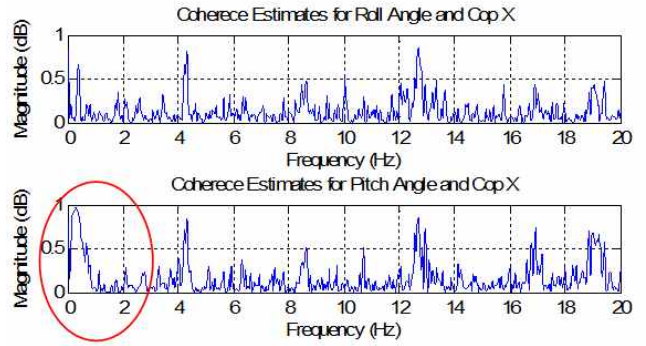


Fig. 7 Coherence between attitude and COP-x

신호처리(signal processing) 분야에서 코히어런스는 두 신호사이의 인과관계를 추정하기 위하여 사용된다. 특정 주파수에서 높은 코히어런스를 가진다면, 선박의 자세변화가 해당 주파수로 발생하는 경우에 무게중심의 동요가 동일한 주파수로 발생한다는 것을 나타낸다. 따라서 선박의 자세변화가 인체의 무게중심 동요를 유발하는 것으로 예상되므로 두 신호의 코히어런스를 계산하면 연관성을 확인할 수 있을 것이다. Fig. 7과 Fig. 8에서 모든 그래프의 수평축은 주파수를 나타내고 수직축은 코히어런스의 크기를 나타낸다. 각각의 그래프에서 상단의 그래프는 롤 동요와 인체의 무게중심 동요 사이의 코히어런스를 나타내고 하단의 그래프는 피치 동요와 인체의 무게중심 동요 사이의 코히어런스를 나타낸다. 선박의 자세변화는 상대적으로 낮은 주파수를 가지므로 낮은 부분에서 연관성을 기대할 수 있다. Fig. 7과 Fig. 8에서 동그라미가 그려진 부분은 상대적으로 높은 코히어런스가 나타나는 부분이다. Fig. 7에서 동그라미가 있는 부분은 선박의 피치 동요와 COP-x 동요사이의 코히어런스를 나타낸다. 이것은 선박의 피치 동요가 COP-x 방향의 무게중심 동요를 유발한다는 예상과 정확히 일치한다. 이와 유사하게 Fig. 8을 통하여 선박의 롤 동요는 COP-y 방향의 무게중심 동요를 유발한다는 것을 확인할 수 있다.

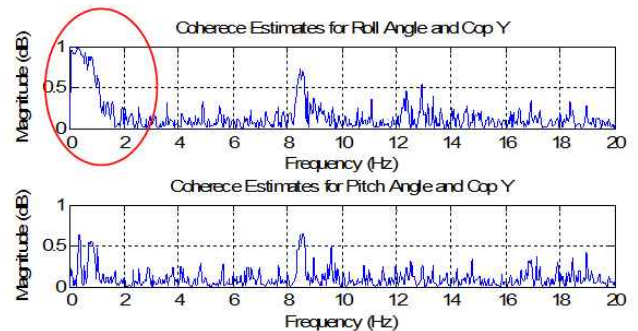


Fig. 8 Coherence between attitude and COP-y

선박의 운항 환경을 시각적으로 구현하는 선박운항 시뮬레이터는 실선의 선박과는 다르게 선박의 자세변화가 시각적인 화면에 의해서만 구현된다. 시뮬레이터 멀미에 대한 체위 안정성의 이론에 의하면 인체가 몸의 균형을 유지하기 위한 체위 안정성을 상실하면 멀미가 발생하는 것으로 볼 수 있다 (LaViola, 2000). 시뮬레이터 멀미가 시각적 동요에 의하여 발

생하므로 시각적 동요에 의하여 인체의 무게중심 동요가 발생할 수 있다. 만약 시뮬레이터에서의 SSQ 결과와 같이 인체의 무게중심 동요가 시뮬레이터에서 발생한다면 시뮬레이터의 멀미를 예측할 수 있는 유효한 지표가 될 수 있다.

인체의 무게중심 동요는 지면반발력계를 이용하여 측정할 수 있으며 시뮬레이터의 선박의 자세에 대한 시각적 동요는 시뮬레이터로부터 직접 추출할 수 있다. Fig. 9는 선박운항 시뮬레이터에서 시행한 실험에서 획득된 선박의 자세와 인체의 무게중심 동요에 대한 코히어런스를 나타낸다. 그래프는 두 동요 사이에 유효한 연관성이 거의 없는 것으로 나타나고 있다. 이것은 시뮬레이터의 시각적 동요가 선박의 물리적 자세 동요와는 달리 주파수 영역에서 직접적인 인과관계로 연관되어 있지는 않다는 것을 의미한다.

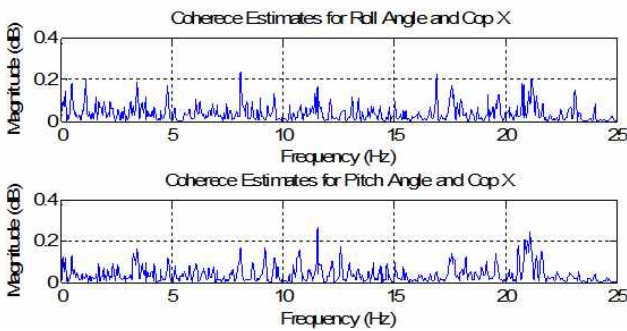


Fig. 9 Coherence between attitude and COP-x in ship handling simulator

Fig. 9에서 확인 가능하듯이 주파수 영역에서 연관성이 없는 것으로 확인되었다. 이러한 결과는 시각적 동요가 물리적인 외력이 아닌 인간의 착각에 기인한 동요를 발생시키므로 인체의 고유한 운동 특성에 따라서 발생하는 것으로 판단할 수 있다. 시뮬레이터에서의 인체의 무게중심 동요는 시각적 착각에 대응하여 인체의 중심을 복원하려는 움직임으로 볼 수 있다. 이러한 움직임은 피실험자의 개별적인 시각적 착각의 정도와 균형감각에 따라서 결정된다. 이러한 특성은 반응에 대한 시간 지연과 반응 속도의 변동을 유발하여 결과적으로 주파수 연관성을 가지지 못하게 한다. 그러나 분산분석을 통한 무게중심동요 분석은 시간 지연에 의한 효과를 포함하지 않으므로 주파수 영역에서의 분석과 별개로 고려할 수 있다.

Fig. 10은 COP-x 방향에 대하여 해상상태에 따라 나타난 압력중심의 길이를 나타낸다. COP-x가 해상상태에 따라서 유의한 수준으로 증가되고 있으며 SSQ의 결과와 유사한 경향을 보여준다. Table 3의 분산분석(ANOVA, analysis of variance)을 통하여 해상상태 4(ss4)와 해상상태 6(ss6) 그리고 해상상태 5(ss5)와 해상상태 6(ss6) 간에 유의한 차이 ($p < 0.05$)가 확인되었다. Fig. 11은 COP-y 방향에 대하여 압력중심의 변위를 나타낸다. COP-y는 해상상태에 따라 일정한 변화를 보이지 않는다. Table 4을 통하여 해상상태 5(ss5)와 해상상태 6(ss6)간에는 해상상태에 따라 증가하는 경향은 보

였으나 유의한 차이를 나타내지 않는다는 것을 확인하였다.

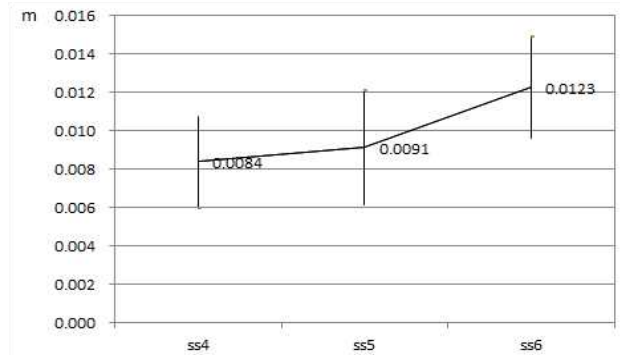


Fig. 10 COP-x according to sea state

Table 3 ANOVA of COP-x according to sea state

	Paired Differences			t	p-value
	Mean	STD	SE		
ss4 - ss5	-0.00072	0.002215	0.000369	-1.95	0.059
ss4 - ss6	-0.00394	0.006563	0.001094	-3.61	0.001
ss5 - ss6	-0.00323	0.006406	0.001068	-3.02	0.005

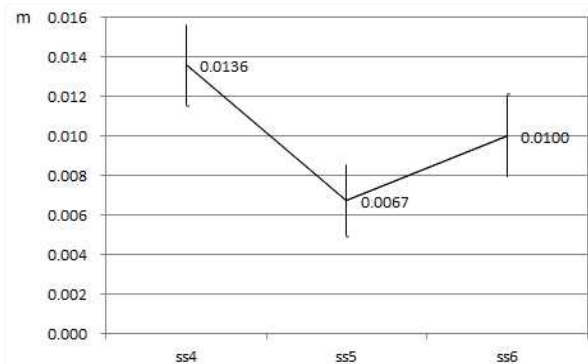


Fig. 11 COP-y according to sea state

Table 4 ANOVA of COP-y according to sea state

	Paired Differences			t	p-value
	Mean	STD	SE		
ss4 - ss5	0.006866	0.018858	0.003143	2.18	0.036
ss4 - ss6	0.003591	0.010533	0.001755	2.05	0.048
ss5 - ss6	-0.00327	0.011507	0.001918	-1.71	0.097

Fig. 12는 해상상태 6에서 획득된 COP-x와 COP-y의 FFT(Fast Fourier Transform)의 결과를 나타낸다. 그래프에서 실선은 COP-x의 FFT를 나타내고 점선은 COP-y의 FFT

를 나타낸다. 시뮬레이터의 시각적 동요는 피치 방향과 롤 방향에서 거의 동일한 크기의 FFT 결과를 가지는 것으로 확인되었다. 즉, 시각적 동요에서는 피치 방향과 롤 방향에서 거의 동일한 크기의 동요가 적용되었는데도 불구하고 인체의 무게 중심 동요를 나타내는 COP-x와 COP-y는 명확하게 차이가 나는 것을 Fig. 12에서 확인할 수 있다. 또한 실험에서 적용한 해상상태 6과 같이 가장 큰 시각적 변동이 적용되었음에도 불구하고 COP-y에서의 변동은 매우 작다는 것을 확인할 수 있다. 따라서 시뮬레이터 멀미 실험에서는 시각적 동요가 있다고 하더라도 인체의 횡방향에 대한 동요는 거의 발생하지 않음을 알 수 있다. Fig. 11의 결과는 인체의 횡방향 동요가 해상상태에 따른 일관된 변동 경향을 가지지 않는 것으로 보여주며, 이것은 인체의 횡방향 동요 특성에 기인하는 것으로 고려할 수 있다. Fig. 11과 Table 4의 결과가 유의미한 차이를 가지지 않는 것은 Fig. 12의 분석 결과에 의하여 설명할 수 있다.

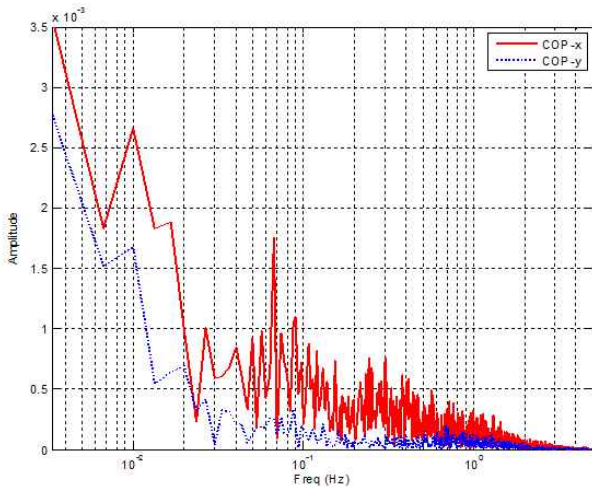


Fig. 12 FFT results of COP-x and COP-y in sea state 6

Fig. 12에서 인체의 종방향 동요를 나타내는 COP-x는 횡방향에 비하여 높은 신호의 특성을 가진다. 인체의 동요는 종방향으로 쉽게 동요된다는 것을 알 수 있다. 해상상태에 따른 인체의 종방향 운동 특성을 나타내는 Fig. 10은 인체의 종방향 동요 특성이 반영된 것으로 볼 수 있으며 해상상태에 따른 SSQ의 점수와 유사한 경향성을 가지는 것을 알 수 있다. Fig. 4 및 Fig. 10과 같은 두 개의 그래프에 대한 경향성의 유사성을 확인하기 위하여 각각에 대한 커브피팅(curve fitting)을 공학계산 프로그램인 MATLAB을 이용하여 수행하였다. 획득된 관계식은 다음과 같다.

$$SSQ = 0.4374x_{ss}^{3.268} - 40.61 \quad (1)$$

$$COP - x = 6.345 \times 10^{-10} x_{ss}^{8.74} + 0.008284 \quad (2)$$

식 (1)은 해상상태 x_{ss} 에 대한 SSQ 점수에 대한 관계식을 나타내고 (2)는 해상상태 x_{ss} 에 대한 COP-x 평균값에 대한 관계식을 나타낸다. 해상상태가 낮아질수록 SSQ 또는 COP-x가 증가할 것으로 예상하기는 어렵다. 따라서 단순한

다항식(polynomial expression)으로 이루어진 관계식은 적합하지 않으며 대신에 (1)과 (2)와 같은 멱함수 곡선(power curve)으로 구성하는 것이 자연스럽다. 이와 같이 구성된 관계식은 스케일의 차이는 존재하지만 증감의 방향 및 변화율에서 거의 유사한 양상을 가지는 것을 확인할 수 있다.

5. 결론

한국해양과학기술원 선박해양플랜트연구소의 선박운항 시뮬레이터를 이용하여 시뮬레이터 멀미 측정에 대한 실험을 수행하였다. 선박운항 시뮬레이터에서 선박 운항을 모사하여 시각적 동요가 발생하는 구간에서 피실험자의 무게중심 동요를 측정하였다. 효과적인 분석을 위하여 주파수역에서 시행하는 코히어런스 분석과 시간역에서 시행하는 분산분석을 시행하였다. 코히어런스 분석의 이해를 돕기 위하여 실선 운항 결과와 시뮬레이터 운항 결과를 각각 그래프로 도시하였다.

코히어런스 분석을 통하여 시각적 동요와 무게중심동요는 주파수역 연관성을 가지지 않는 것으로 판명되었다. 이것은 피실험자의 개별적인 시각적 착각의 정도와 균형감각의 차이에서 비롯되는 것으로 고려할 수 있다. 분산분석을 통한 무게중심동요 분석은 시간 지연에 의한 효과를 포함하지 않으므로 주파수 영역에서의 분석과 별개로 고려할 수 있다. 분산분석의 결과는 시각적 동요가 전후방향 무게중심동요(COP-x)와 연관되어 있음을 나타내었다.

무게중심 동요에 대한 분석과 병행하여 시각적 동요에 노출된 피실험자는 실험을 마친 직후에 설문지를 작성하도록 하였다. SSQ를 이용한 결과에서는 해상상태가 증가함에 따라 시각적 동요에 의한 멀미 증상 및 총점이 유의하게 증가함을 나타냈다($p < 0.05$).

실험을 통하여 획득된 무게중심 변동과 설문지 결과를 이용하여 연관성을 분석하였다. 피실험자의 종방향 무게중심은 해상상태에 따라서 유의미한 변동을 나타내었으며, 각각에 대하여 커브피팅(curve fitting)을 이용하여 관계식으로 제시하였다. 이는 설문지 조사 결과와 유사한 양상을 가지는 것을 확인하였다. 이를 통하여 무게중심의 종방향 변동이 시뮬레이터의 멀미를 확인하는데 이용될 수 있음을 보였다.

후 기

본 연구는 한국해양과학기술원 부설 선박해양플랜트연구소의 지원으로 수행 중인 연구개발과제(PES172C)의 연구결과 중 일부입니다. 실험을 위하여 데이터 추출을 지원해주신 선박해양플랜트연구소 이영주 연구원과 멀미 시험에 기꺼이 참여해주신 모든 피실험자의 노고에 감사드립니다.

References

원고접수일 : 2014년 5월 26일
 심사완료일 : 2014년 10월 28일
 원고채택일 : 2014년 10월 29일

- [1] Chen, D., So, R., Kwok, K., and Cheung, R.(2012), "Visually Induced Motion Sickness after Watching Scenes Oscillating at Different Frequencies and Amplitudes," Proceedings of the international conference on Ergonomics & Human Factors 2012, pp. 253-260.
- [2] Kennedy, R. S., Lane, N. E., Berbaum, K. S., and Lilienthal, M. G.(1993), "Simulator Sickness Questionnaire: An Enhanced Method for Quantifying Simulator Sickness," Aviation Psychology, Vol. 3, No. 3, pp. 203-220.
- [3] Jung, C.-H., and Lee, Y.-S.(2008), "A Study on the Ship's Performance of T.S. HANBADA(II) - The Evaluation of Boarding Comfort with Vertical Acceleration," Journal of Korean Navigation and Port Research, Vol. 32, No. 5, pp. 333-339.
- [4] Kim, Y. Y., Kim, E. N., and Kim, H. T.(2002), "Perspectives of Psychophysiology in Virtual Reality," Proceeding of Conference on Korean Society for Cognitive and Biological Psychology, pp.59-69.
- [5] KMST(2011), Investigations Statistics, Korean Maritime Safety Tribunal.
- [6] LaViola, J. J. Jr.(2000), "A Discussion of Cybersickness in Virtual Environments," SIGCHI Bulletin, Vol 32, No 1, pp. 47-56.
- [7] Lo, W. T. and So, R. H. Y.(2001), "Cybersickness in the Presence of Scene Rotational Movements along Different Axes," Applied Ergonomics, Vol. 32, No. 1, pp. 1-14.
- [8] Pethybridge, R. J.(1982), Sea Sickness Incidence in Royal Navy Ships, INM Report 37/82, Institute of Naval Medicine, England.
- [9] So, R. H. Y., Finney, C. M., and Goonetilleke, R. S.(1999), "Motion Sickness Susceptibility and Occurrence in Hong Kong Chinese," Proceedings of Conference on Contemporary Ergonomics 1999, pp. 88-92.
- [10] Stevens, S. C., and Parsons, M. G.(2002), "Effects of Motion at Sea on Crew Performance: A Survey," Marine Technology, Vol. 39, No. 1, pp. 29-47.
- [11] World Meteorological Organization(2014), WMO Code 3700.