

선박운항 시뮬레이터를 위한 해양파 가시화 방안 고찰

박세길*† · 오재용** · 박진아***

*, ** 한국해양과학기술원 부설 선박해양플랜트연구소, *, *** 카이스트 전산학과

A Review on the Visualization Plan of Ocean Waves for Ship Maneuvering Simulator

Se-Kil Park*† · Jae-Yong Oh** · Jin-Ah Park***

*, ** Korea Research Institute of Ships & Ocean Engineering (KRISO), Daejeon 305-343, Korea

*, *** Department of Computer Science, KAIST, Daejeon 305-701, Korea

요약 : 본 기술보고에서는 선박운항 시뮬레이터를 위한 해양파 가시화의 개선을 목적으로 여러 해양파 가시화 요소 및 그에 대한 전체적인 재현 방안에 대해 고찰하였다. 이를 위해 우선 해양파 가시화 요소를 해양파 표면, 해양파 부서짐, 상호작용, 광원, 수중 등으로 구분하고, 각 구성 요소별 가시화가 필요한 세부 가시화 요소들을 정리 하였다. 또한 이를 재현하는 과정에서 설계에 반영해야 할 내용들을 사실적 해양파 가시화 및 실시간 해양파 가시화, 선박 운동특성 재현, 시뮬레이터의 활용 관점에서 분석하였다. 분석을 통해, 사실적 해양파 가시화가 몰입감 형성 및 보다 정확한 선박 운동특성 재현, 다양하고 제어 가능한 시뮬레이션 시나리오 생성 등에 중요한 역할을 수행함을 확인하였다. 또한 선박운항 시뮬레이터를 위한 해양파 가시화는 고려해야 할 요소 및 그에 대한 구현 방안, 관련 제약 사항이 많은 만큼 구현 전 종합적이고 체계적인 접근이 필요함을 확인하였다.

핵심용어 : 선박운항 시뮬레이터, 해양파, 가시화, 몰입감, 해기 교육

Abstract : To improve the ocean waves of the ship maneuvering simulator, we study and summarize the visualization elements of the ocean waves and the overall direction of their implementation in detail. We categorize the visualization elements of the ocean waves into five groups, including wave surface, wave breaking, interaction, lighting effects, and underwater. We also analyze the design and implementation issues of the visualization of the ocean waves for ship maneuvering simulator with respect to realistic and real-time ocean visualization, ship dynamics, and application purposes. Through the analysis, we have found that the realistic visualization of ocean waves plays an important role in the generation of immersiveness, more accurate ship motion, and the various and controllable simulation scenarios for the ship maneuvering simulator. Additionally, we have confirmed that there are many visualization elements, methods, and limitations to be considered for the visualization of the ocean waves for ship maneuvering simulator, and we have concluded that the systematic design is required before implementation.

Key Words : Ship maneuvering simulator, Ocean wave, Visualization, Immersiveness, Maritime training

1. 서론

선박운항 시뮬레이터는 시뮬레이터 체험자가 실제 선박을 운항하는 것과 유사한 경험을 할 수 있도록 설계한 시스템으로 선원의 교육 및 해상교통 안전진단, 해상교통 안전성 향상 연구 등 여러 분야에 유용하게 활용되고 있다. 자동차나 비행기 시뮬레이터와 달리 선박운항 시뮬레이터는 해

양이라는 다소 특수한 환경을 묘사해야 한다. 이는 선박이 운용되는 대상 공간인 해양, 특히 해양파에 대한 사실적인 묘사가 선박운항 시뮬레이터의 성능 판단에 핵심 지표로 활용되고 있으며, 시뮬레이터 사용자가 가상공간에서 현실성을 느끼는 정도를 의미하는 몰입감(immersiveness)에 대한 형성 및 시뮬레이터 활용 효과와 관련하여 매우 중요한 역할을 수행하기 때문이다. 그러나 해양파는 그 모양이 매우 복잡하고 시시각각 불규칙적으로 변화하기 때문에 3차원 영상 가시화 관점에서 상당한 난해성을 가진다. 더욱이 정확성을

† Corresponding Author : skpark@kriso.re.kr, 042-866-3647

중요시하는 비실시간 시뮬레이션과 달리 시뮬레이터에 활용하기 위한 해양과 가시화는 정확성이 다소 떨어지더라도 실시간성이 우선 보장되어야 한다. 이를 위해 일반적으로 해양과에 대한 묘사를 상당부분 간략화 또는 생략하여 가시화 하는데, 이 부분이 시뮬레이터로부터 실제 선박운항과 유사한 수준의 경험을 얻는데 있어 저해 요인으로 작용하고 있다. 비록 현 수준의 해양과 가시화가 선박운항 교육 등에 필요한 해상 정보 전달 측면에서는 크게 부족함이 없는 수준으로 여겨지고는 있으나, 몰입감 부여 측면에서는 아직 많이 부족한 수준이다. 정보전달 측면에서 몰입감은 핵심 요소이기보다는 정보전달 기능을 보다 강화하는 부수적인 요소로 볼 수 있다. 그러나 현장감 부여 및 임무 수행 성능 측면에서 몰입감은 가장 중요한 핵심 요소로 이를 통해 선박운항 시뮬레이터의 활용 효과나 효용성, 상용으로써의 완성도 등이 결정 되므로 이를 강화하기 위한 사실적인 가시화를 시도할 필요가 있다.

본 기술보고에서는 선박운항 시뮬레이터의 활용 효과와 관련하여 상당히 중요한 역할을 하나 그 복잡성으로 인해 사실적인 묘사가 매우 어려운 해양과에 대한 효과적인 가시화를 위해 해양과를 먼저 세부 가시화 요소들로 분류 및 정리하였다. 그리고 시뮬레이터가 요구하는 실시간성과 함께 몰입감 향상에 필요한 사실성 강화 방안을 설계와 구현 관점에서 분석하였다. 또한 정보전달과 몰입감 형성 측면에서 보다 활용도 높은 선박운항 시뮬레이터가 될 수 있도록 설계 과정에서 고려해야 할 사항들에 대해 정리하였다.

2. 관련 연구

관련 연구에서는 선박운항 시뮬레이터 및 선박운항 시뮬레이터를 위한 3차원 영상 가시화의 핵심 요소인 해양과 가시화에 대해 관련 연구를 간략하게 정리하였다.

2.1 선박운항 시뮬레이터

선박운항 시뮬레이터는 실제 선박운항과 비교하여 운용에 대한 시간적, 공간적 제약이 적어 선원의 교육 및 해상교통 안전진단, 해상교통 안전성 향상 연구 등 여러 분야에 널리 활용되고 있다. 여기에는 선박운항 시뮬레이터의 하드웨어 및 소프트웨어적 사실성을 바탕으로 한 가상/증강 현실의 장점이 큰 기여를 하고 있다. 선원의 교육을 예로 들면, 우선 선박운항 시뮬레이터를 이용한 교육은 항법 교육, 해양사고 예방 교육, 각종 항해 장비에 대한 조작 교육, 팀워크 향상 교육, 입출항 및 접이안 교육, 천수 및 협수로 통항 교육 등 실제 선박에서 발생 가능한 거의 모든 주제와 시나리오에 대해 수행이 가능하다. 또한 시뮬레이터의 장점을

살려 기상이나 시간, 지리적 상황 등을 자유롭게 변경해 가며 실제 선박에서는 교육이 쉽지 않은 황천항해나 충돌, 좌초 등의 상황에 대해서도 반복적인 교육이 가능하다. Fig. 1은 FMB(Full Mission Bridge)급 선박운항 시뮬레이터의 모의 선교(bridge)와 3차원 가시화 영상의 예를 보여준다.

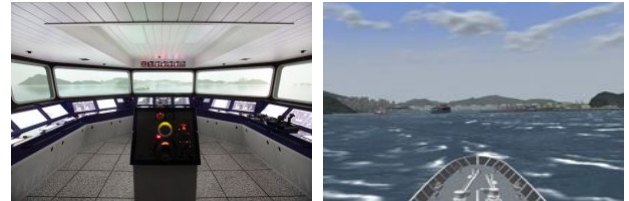


Fig. 1. Ship maneuvering simulator.

선박운항 시뮬레이터에 대한 기존 연구들은 시스템 구축 및 활용에 대한 연구와 시스템 구축에 필요한 요소 기술에 대한 연구로 구분할 수 있다.

1) 시뮬레이터 시스템 구축 연구

- ① 범용이나 특수목적 또는 새로운 형태의 선박운항 시뮬레이터 시스템에 대한 구축을 주요 연구 주제로 다룸.
- ② 시뮬레이터 개발 관점에서는 기존 여러 연구의 조합이 주를 이룸.
- ③ 최근 모바일 디바이스 및 음성인식 기술, 센서 장비, HMD(Head-Mounted Display)와 같은 착용형 가상/증강 현실 장비 등의 성능이 우수해지면서 간결하고 실용적인 시뮬레이터 개발이 가능하게 되었고, 이와 함께 관련 연구도 활성화 될 것으로 보임.

2) 시뮬레이터를 도구로써 활용하는 연구

- ① 선원의 교육에 대한 연구, 해상교통 안전성 연구, 해난사고 분석 연구 등이 주요 연구 주제임.
- ② 시뮬레이터 개발 관점에서는 시뮬레이터의 발전 방향이나 개발 지향점을 설정할 수 있도록 도움을 줌.

3) 시뮬레이터 시스템 구축에 필요한 요소 기술 연구

- ① 시뮬레이터 개발 및 개발 결과물의 성능 및 품질 수준, 원가 절감 등에 직접적인 도움을 주는 연구 분야임.
- ② 실시간 선박 운동특성 재현, 실시간 영상 가시화, 항해 장비 모사, 효율적인 데이터베이스 구축 등이 주요 연구 주제임.
- ③ 현재의 기술 완성도는 다소 낮으나 상기 타 연구 분야에 비해 높은 기술 수준을 요구하고 연구에 많은 시간이 요구되는 연구 분야임.
- ④ 특히 물리적 또는 시각적 사실성과 관련된 분야는 실제의 자연 현상을 실시간으로 사실감 있게 재현해 내야 하는 매우 난해한 부분으로 지속적으로 관심을 가지고 연구해 나가야 할 분야임.

선박운항 시뮬레이터 개발에 대한 전반적인 사항은 Sohn and Lee(1998), Yim and Kim(1999), Lee et al.(2003)에서 확인할 수 있다.

2.2 해양파 가시화

전통적으로 전산 유체 역학(CFD, Computational Fluid Dynamics)에서의 유체 시뮬레이션은 대부분 나비에-스토크스 방정식(Navier-Stokes equations)을 기반으로 한다. 그리고 시뮬레이션 접근 방법에 따라 격자(grid) 기반의 오일러(Eulerian) 방식과 입자(particle) 기반의 라그랑주(Lagrangian) 방식으로 나뉜다. 시각적 가시화에 중점을 둔 컴퓨터 그래픽스 분야에서의 유체 시뮬레이션 또한 Foster and Metaxas(1996)의 시도를 시작으로 Stam(1999), Foster and Fedkiw(2001) 등을 통해 발전해온 오일러 방식과 입자 기반의 대표적인 기법인 Lucy(1977), Gingold and Monaghan(1977)의 SPH (Smoothed Particle Hydrodynamics) 기법을 기반으로 Desbrun and Gascuel(1996), Muller et al.(2003)의 연구 등을 통해 발전해온 라그랑주 방식으로 구분된다. 두 방식의 접근법은 다소 상이하나 지향하는 바는 모두 사실적인 유체 가시화이며, 유체가 차지하는 범위나 밀집도, 운동 복잡도 등 주어진 시뮬레이션 상황에 따라 장점을 가지는 접근법을 선택하여 활용한다. 그리고 최근의 Fan et al.(2013)과 Wang et al.(2013)의 연구와 같이 두 방식의 장점을 모두 활용하려는 혼합(hybrid) 방식에 대한 연구 또한 지속적으로 수행되어 왔다. 그러나 이러한 접근 방법들은 많은 계산량을 요구하여 실시간으로 유체를 시뮬레이션 하기가 매우 어렵다. 다행히 최근 하드웨어의 급격한 발전으로 실시간으로도 실제와 매우 흡사한 유체 가시화가 가능하게 되었으나, 해양파와 같이 넓은 영역에 대한 실시간 가시화는 여전히 난해한 실정이다. 이로 인해 뛰어난 사실성에도 불구하고 대규모 해양파에 대한 실시간 가시화에는 전산 유체 역학 기반의 접근보다는 고전 해양파 역학 기반 모델이나 통계학적 모델을 주로 활용한다. Fournier and Reeves(1986)의 연구와 같이 고전 해양파 역학 기반 모델은 Gerstner(1804)와 Airy(1841) 등의 이론을 바탕으로 정현파 또는 직선을 따라 구르는 원 위의 고정점이 그리는 곡선과 유사하게 표현되는 트로코이드파(trochoidal wave)의 조합을 통해 절차적(procedural) 방법으로 해양파를 가시화 한다. 이는 쉽게 넓은 해역을 가시화할 수 있는 장점은 있으나 사실적인 해양파 가시화를 위해서는 서로 다른 다수의 파에 대한 합성이 필요하다. 이 경우에는 역시 성능상의 문제가 발생하여 단순한 시뮬레이션 가시화에 주로 활용되며, Thon et al.(2000)의 연구에서와 같이 통계학적 모델과 혼합하여 활용하기도 한다. 통계학적 모델은 장기간 해양 관측을 통해 얻은 해양파 스펙트럼(spectrum)을 샘플링(sampling) 및 백색 잡음(white noise)

으로 필터링(filtering)하고, 이를 역 고속 푸리에 변환(FFT, Fast Fourier Transform)하여 해양파 표면에 해당하는 높이장(height field)을 생성, 가시화한다. 컴퓨터 그래픽스 분야에는 Mastin et al.(1987)에 의해 처음 소개된 이후, Tessendorf(1999) 등의 연구를 통해 개선 및 일반화 되었다. 비록 넓은 해역에 대한 가시화 시, 해양파의 주기적인 반복 패턴이 발생하는 단점은 있으나, 실시간으로 다수의 해양파를 빠르게 합성할 수 있어 사실적인 시뮬레이션이 가능하다. 해양파 스펙트럼 기반의 통계학적 모델은 현재 게임 및 시뮬레이션 분야에서 가장 널리 활용되고 있는 실시간 해양파 가시화 모델이다.

다음 Table 1에 지금까지 살펴본 해양파 가시화 방법들을 간략하게 비교 정리 하였다.

Table 1. The comparison of the visualization method of ocean waves

Category	Sub-category	Real time	Reality
CFD	Eulerian Lagrangian	Low	High
Classical model	Airy Gerstner	High	Medium
Statistical model	Spectrum-based method	Medium	High

3. 해양파 가시화 요소

해양파 가시화 요소에 대한 재현 방안을 논하기에 앞서 해양파 가시화 요소를 해양파 표면, 부서짐, 상호작용, 광원, 수중 등으로 분류하고, 각 요소에 속하는 세부 요소들에 대해 그 주요 사항들을 정리 하였다. 다만 실제 해양파는 대상 해역의 수많은 상황들에 따라 매우 불규칙한 형상과 거동을 보이며 관련 이론 역시 본 기술보고에서 다루기에 너무 방대하므로, 단순화된 이론들을 바탕으로 개론 수준에서 그 내용을 기술 하였다.

3.1 해양파 표면

해양파 가시화 요소 중 가장 기본이 되는 부분은 해양파 표면의 기하학적(geometric) 형상에 대한 3차원 메쉬(mesh) 표현 부분이다. 해양파는 지진 및 달의 인력 등에 의해 생성되기도 하지만 대부분은 해상의 바람에 의해 생성되며, 바람의 세기 및 지속성에 따라 그 형상이 다르게 나타난다. 풍속이 낮을 때 나타나는 표면 장력파와 풍속이 높아지면 나타나는 중력파, 중력파가 너울(swell)로 변화 되어 해안으로 밀려들면서 생기는 쇄파 등이 대표적인 형상이다. 이 또한 바람의 정도에 따라 파고, 파향, 파장, 파봉(wave crest)의 모

양 등이 매우 다양하게 형성되어 시뮬레이션의 목적에 따라 적절하게 도입 및 정량화하여 가시화할 필요가 있다. 널리 알려진 해양파 표면 가시화에 활용 가능한 정량화된 자료로는 보퍼트 풍력 계급(Beaufort wind force scale)을 들 수 있다. 이는 해양파의 복잡성으로 인해 풍속에 따른 바다의 상태를 목적을 통해 경험적 방법으로 측정된 값으로 선박운항 시뮬레이터 가시화에서는 풍속 제어에 따른 해양파 표면의 형상을 조율하는데 활용이 가능 하다. 또 다른 해양파 표면 가시화 관련 정량화된 자료로는 여러 해양파 스펙트럼(spectrum) 자료가 있다. 실제 해양 관측을 통해 제작된 PM(Pierson-Moskowitz) 스펙트럼이나 JONSWAP(Joint North Sea Wave Project) 스펙트럼 등은 불규칙한 해양파의 주파수 및 방향별 에너지 분포 특성을 재현하는데 활용할 수 있다.

3.2 해양파 부서짐(Wave breaking)

해양을 해양파의 파장에 따라 분류할 때 보통 수심이 파장의 1/2 이상인 심해(deep water)와 수심이 파장의 1/20 이하인 천해(shallow water)로 나눈다. 이때 해양파의 부서짐은 심해와 천해에서 서로 다른 양상을 보인다. 심해에서의 해양파는 파 경사도(wave steepness)가 0.17을 초과할 때 부서지는데, 여기서 파 경사도는 파고를 파장으로 나눈 값으로 파고가 파장의 0.17배를 초과할 경우 파가 부서짐을 의미한다. 부서진 파도는 파봉 부분이 흰색으로 나타나는데 이 때문에 부서지는 파도를 백파(whitecap)이라고 부르기도 한다. 심해에서의 해양파 부서짐이 파장에 대한 파고의 관계인 반면 천해에서의 부서짐은 수심에 대한 파고의 관계로 파고가 수심의 0.8배를 초과하면 해양파가 부서지는 것으로 알려져 있다. 천해에서의 부서짐은 쇄파라고도 하며, 해저면의 경사도에 따라 붓파(spilling breakers), 권파(plunging breakers), 쇄기파(surging breakers)와 같이 모양이 다르게 형성된다. 해양파의 부서짐은 항상 스프레이(spray) 및 버블(bubble), 폼(foam) 등의 부산물을 동반하는데, 몰입감 높은 가시화를 위해서는 이에 대한 생성과 거동, 소멸에 이르는 과정을 이해하고 정량화할 필요가 있다.

3.3 상호작용

해양파의 상호작용은 선박과 항로표지, 육지, 방파제, 저고도의 헬리콥터(rotor wash) 등 해양에 접한 여러 객체로부터 관측할 수 있다. 이러한 상호작용은 해양파와 대상 객체가 서로 영향을 주고받는 양방향 상호작용과 어느 한 쪽이 다른 한 쪽에게만 영향을 주는 단방향 상호작용으로 나눌 수 있다. 시뮬레이션 목적에 따라 양방향 상호작용은 단방향 상호작용으로 간략화 하여 재현하기도 한다. 선박은 해양파와 상호작용을 통해 선수파와 선미파, 프로펠러 후류, 와류,

항주파(ship wave) 등을 생성하는데, 이러한 요소들은 대부분 선형별로 그 모양이 달라지며, 선박이 클수록, 속도가 빠를수록 그 관측 값이 커지는 경향을 가진다. 객체와의 경계 처리 역시 중요한 상호작용 요소 중 하나인데 가시화 시, 선박이나 수계선(shoreline) 등과의 경계 부분을 정확히 묘사하지 못하고 해양파가 대상 객체에 침투하는 현상이 발생할 경우 몰입감이 크게 저해되므로 주의해야 한다. 또한 해양파가 수심 및 장애물 등의 영향을 받아 굴절과 회절이 일어나는 상호작용은 파랑장(wave field) 해석을 통한 접근을 시도해 볼 수 있으며, 빙해나 빙하, 유출된 유류와의 상호작용 등 특수한 상황에 대한 묘사도 가시화 목적에 따라 검토가 필요한 요소들이다. 그리고 비 또는 선수파, 쇄파 등의 파티클(particle) 객체가 잔잔한 해양파에 떨어지는 상황에 대한 묘사도 사실성을 위해 고려해 볼 만한 요소이다. 그러나 해당 요소들은 전체적인 가시화 기여도에 비해 컴퓨팅 자원 소모가 큰 요소이므로 활용 목적을 고려하여 신중하게 접근할 필요가 있다.

3.4 광원

해양파는 태양, 달, 별, 선박의 등화 및 탐조등, 항로표지, 육상의 불빛 등 다양한 광원들에 반응하여, 반사, 굴절, 회절, 그림자, 수중 황혼 광선(crepuscular rays, god rays), 화선(caustics) 등의 여러 시각적 요소를 만들어 낸다. 이러한 광원 요소들은 해양파의 구성 성분이나 해양파 메쉬 및 수심과의 상호작용, 하늘 및 주변 환경에 대한 맵핑(mapping) 결과와 함께 해양파의 사실성에 큰 영향을 주는 반사도와 투명도, 색채, 명암, 질감 등을 결정하는데 핵심적인 역할을 한다. 특히 잔잔한 해상의 경우, 해양파 메쉬의 기여도가 극히 낮고, 대신 환경 맵핑(environment mapping)이나 범프 맵핑(bump mapping)과 같이 광원과의 상호작용을 기반으로 한 가시화가 보다 중요한 역할을 한다. 이와 더불어 해양파는 해양파의 움직임, 광원의 강도 및 방향, 고도에 따라 전체적인 색감 변화를 보이며, 해양파를 바라보는 시선의 방향에 대해서도 점진적이고 다양한 색감 변화를 보이는데 이 역시 해양파에 대한 사실적 재현을 위해 고려가 필요하다.

3.5 수중

수중 묘사는 일반적으로 조명 처리와 함께 안개 효과를 이용하여 가시거리를 제한함으로써 묘사하는데, 여기에 광원의 수중 침투에 의한 효과(god rays, caustics)를 함께 고려할 필요가 있다. 또한 해양파의 구성 성분이나 해저 지면의 상태에 따른 다양한 혼탁 상황을 묘사해 주어야 하는데, 이러한 수중 묘사들은 해상에서의 시뮬레이션이 주를 이루는 선박운항 시뮬레이터 가시화에 있어서는 크게 중요한 요소는 아니다.

선박운항 시뮬레이터를 위한 해양파 가시화 방안 고찰

지금까지 기술한 해양파 가시화 요소들을 Table 2에 정리하였다. 나열한 해양파 가시화 요소들은 모두가 필수적인 가시화 요소는 아니며, 시뮬레이션 목적에 따라 선택적으로 가시화하여 활용하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

Table 2. The visualization elements of ocean waves

Category	The visualization elements
Ocean surface	Seas and swells Capillary waves (ripples) Others: storm surge, tsunami, etc.
Wave breaking	Spilling, plunging, and surging breakers Whitecaps: spray, bubbles, foam, etc.
Interaction	Floating object: ship, buoy, etc. Bow/stern wake/wave and propeller backwash Shoreline, water depth, and wave field Helicopter rotor wash Other interactions with obstacles, ice fracture, iceberg, oil spill, rain, etc.
Light	Reflection, refraction, diffraction, and shadow Light source: ship light, AtoN, harbor/city background light, fire, flare, etc.
Underwater	Visibility control Crepuscular rays and caustics Haze, bubbles, muddy water, etc.

Fig. 2는 지금까지 기술한 해양파 가시화 요소들과 선박운항 시뮬레이터의 관계를 간략하게 도시한 것이다.

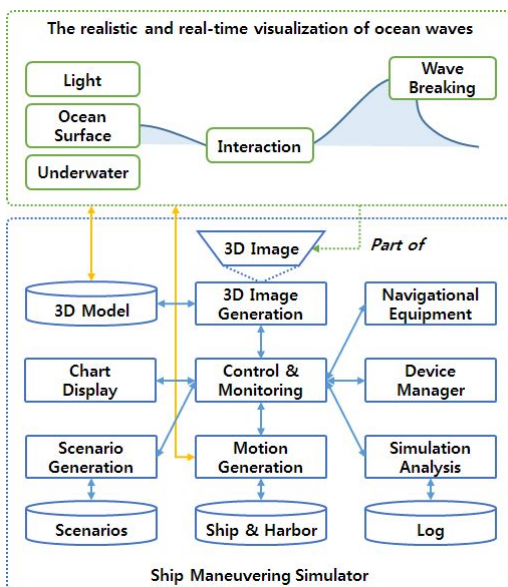


Fig. 2. The relationship between the visualization elements of ocean waves and ship maneuvering simulator.

해양파 가시화 요소는 기본적으로 3차원 영상 생성 모듈에서 생성한 3차원 영상의 일부에 해당한다. 시뮬레이션 된 해양파 가시화 요소들은 상호작용 대상인 3차원 형상 모델이나 선박 등의 부유체에 대한 운동 재현 모듈에 요청 정보를 제공하거나 출력 정보를 반영하여 가시화하는 역할을 수행한다.

4. 해양파 가시화 방안

시뮬레이터의 활용도를 높이기 위해서는 우선 시뮬레이터 체험자에게 선박운항에 필요한 여러 정보를 정확하게 전달하는 것이 중요하다. 그러나 Cummings et al.(2012)의 논문 등에서 알 수 있듯이 이에 못지않게 시뮬레이터 체험자가 가상공간에서 느끼는 몰입감이나 현장감 역시 시뮬레이터의 활용도에 큰 영향을 준다. 따라서 본 기술보고에서는 정보 전달과 몰입감 형성을 중심으로 해양파 가시화 요소에 대한 재현 방안을 기술한다. 그러나 고려해야 할 해양파 가시화 요소가 많고 각 요소별 요구사항 또한 다양하므로, 설계 및 개발 관점에서 추가 되는 요소인 해양파 가시화의 사실성 및 실시간성, 선박 운동특성 재현, 시뮬레이터 활용 등의 공통 요소에 대한 검토 사항 및 접근 방안에 대해 제시한다.

4.1 사실적 해양파 가시화

해양파에 대한 가시화 사실성은 시뮬레이터 체험자의 몰입감 향상에 큰 도움을 줄 뿐만 아니라 전체 시뮬레이터 시스템의 가치와 상품성을 높여준다. 가시화 사실성은 일반적으로 시각적 사실성을 의미하나 눈에 보이는 대상의 거동 또한 시각적 사실성에 영향을 주므로 넓은 의미에서는 물리적 사실성을 포함한다. 따라서 특정 해양파 가시화 요소에 대한 사실적 재현은 해당 요소에 대한 시각적 특성 및 물리적 특성을 정확하게 분석하고, 이를 가시화 목적 및 대상 시스템의 성능에 따라 모델링하는 과정이 필요하다. 이와 함께 현재 운용되고 있는 선박운항 시뮬레이터의 보완 필요사항으로부터 해양파 가시화에 대한 개선 요구사항을 도출하고, 이를 해양파 가시화 요소별 특성과 연관 지어 해결하려는 시도가 필요하다. 예를 들어, 해양파 표면 가시화의 경우, 현 선박운항 시뮬레이터의 보완 필요사항으로부터 가시화 사실성 강화를 위해 해양파 표면 가시화 영역이 무한한 영역으로 느껴질 만큼 충분히 넓어야 하며, 동시에 충분히 상세하고 불규칙해야 한다는 개선 요구사항을 도출할 수 있다. 그리고 요구사항 해결을 위해 적용 가능한 기존 연구로 정현파나 트로코이드파의 중첩을 통한 해양파 표면 가시화 방법이나 해양파 스펙트럼 기반의 해양파 표면 가시화 방법 등을 고려할 수 있다. 그러나 정현파나 트로코이드파의 중첩을 통한 해양파 표면 가시화 방법은 넓은 영역의 해양파 표면을 가시화 하는 데에는 장점을 가지나 해양파 표면의

상세함을 표현하기에는 다소 부족한 방법이다. 그리고 해양과 스펙트럼 기반의 해양과 표면 가시화 방법은 해양과 표면에 대한 상세한 묘사에 장점을 가지나, 넓은 해양과 표면 영역을 표현하기 위해 일정 크기의 해양과 표면 조각을 주기적으로 이어 붙이는 방법을 사용하고 있어 해양과 표면에 반복적인 패턴이 발생하는 문제점이 있다. 따라서 기존 연구를 활용하는 대신 해양과 가시화 요소의 시각적 특성 및 물리적 특성을 살리면서, 현 선박운항 시뮬레이터의 해양과 가시화 요구사항을 만족할 수 있는 방안을 강구할 필요가 있다. 이를 위해 해양과 표면의 형성에 긴 주기의 너울과 그에 비해 다소 짧은 주기의 풍랑이 함께 기여하는 점에 착안하여, 너울은 정현파나 트로코이드파의 중첩을 통해 재현하고, 풍랑은 해양과 스펙트럼 기반 모델을 통해 재현하는 방안을 생각해 볼 수 있다. 이는 반복 패턴을 상당부분 해소함과 동시에 넓은 바다 재현에도 유리한 방안으로 생각된다. 이처럼 해양과 가시화에 대한 사실성 강화를 위해 해양과 가시화 요소별 특성과 현 선박운항 시뮬레이터의 보완 필요사항에 대한 분석 및 연구가 효과적이다. 그러나 해양과 가시화 요소가 다수이고, 요소별 시각적 특성과 물리적 특성이 다르며, 중요하게 가시화해야 할 특성 또한 다르다. 따라서 모든 요소를 한 번에 재현하려 하기보다는 시간을 두고 단계적으로 접근하는 방안이 타당할 것으로 판단된다.

4.2 실시간 해양과 가시화

선박운항 시뮬레이터에서 3차원 가시화가 시뮬레이터 체험자에게 줄 수 있는 가장 직접적인 기여점은 몰입감이다. 그리고 몰입감은 선박운항 시뮬레이터를 이용한 교육에 있어 교육 효과를 높이는 데 중요한 역할을 한다. 하지만 사실성이나 정확성을 추구하는 가시화와 달리 시뮬레이터를 위한 가시화는 실시간성이 우선적으로 보장되지 않으면 몰입감이 생기지 않음은 물론 활용이 불가능하다. 따라서 시뮬레이터 시스템을 위한 가시화는 사실성과 실시간성 모두를 극대화 하려는 노력이 필요하다. 그런데 사실성의 증대와 실시간성 보장 사이에는 상호 교환 관계(trade-off)가 성립하여 둘 사이의 조율이 매우 중요하다. 선박운항 시뮬레이터를 위한 해양과 가시화 역시 사실적이고 정확한 결과 제공과 함께 안정적인 결과 제공이 이루어져야 한다. 아무리 정확한 결과를 제공한다고 하더라도 불규칙적인 응답 속도로 인해 안정적인 실시간 가시화가 되지 않으면 몰입감 또한 생기지 않으므로, 일차적으로 안정적인 결과 제공이 선행되어야 한다. 이를 위해 해양 환경에 대한 묘사를 비롯한 기상 현상, 시간 변화, 광원 처리, 장면 관리, 특수 효과, 충돌 처리, 데이터베이스 관리 등 전체 가시화 요소들에 대한 소요 자원(CPU, GPU, 메모리 등)을 중요도에 따라 상위 레벨에서 적절히 배분해야 한다. 그리고 요소별 적절한 응답이 이

뤄질 수 있도록 개별적으로 관리하는 전략이 필요하다. 해양과 가시화의 경우, 현재 해양과 표면 묘사에 대부분의 자원을 소모하고 있으며, 해양과 부서짐이나 상호작용 등에는 충분한 자원이 분배되지 못하고 있는 실정이다. 분명 해양 환경 묘사에 있어 해양과 표면 묘사가 가장 기본이 되면서도 중요한 요소이긴 하나, 해양과 부서짐이나 상호작용 등이 더불어 사실적으로 묘사되지 않는 한 몰입감 증대를 크게 기대하기 어려운 것도 사실이다. 따라서 해양과 표면 묘사에 대한 알고리즘 개선 및 최적화가 우선적으로 연구되어야 할 것으로 판단된다. 나아가 해양과 부서짐과 상호작용에 보다 많은 자원 배분을 시작으로 이들에 대한 효율적인 가시화 연구가 뒤따라야 할 것으로 보인다. 또한 이러한 직접적인 해결 방안 이외에 LOD(Level of Detail)나 킬링(culling) 등과 같은 전통적인 그래픽 기법을 적용하거나 오버레이(overlay) 카드와 같은 하드웨어의 도입, 미리 작성한 텍스처(texture)나 데이터베이스를 적절히 활용하는 기법 등도 사실성을 저해하지 않는 범위 내에서 활용 가능한 효과적인 방안으로 판단된다.

4.3 선박 운동특성 재현

선박 운동특성 재현은 선박 고유의 조종 특성과 바람, 파도, 조류 등 여러 환경 외력에 대한 선박의 동적인 운동 응답을 수식으로 모델링하여, 주어진 시뮬레이션 상황에서 선박의 위치와 자세를 재현하는 것을 말한다. 선박운항 시뮬레이터에서 선박 운동특성 재현은 선박운항 체험자에게 다양한 정보를 전달해 주는 핵심 요소 중 하나이다. 그리고 선박 운동특성 재현의 정밀도는 오락적 요소가 주목적인 게임과 차별화 되는 주요 특성으로 선박운항 시뮬레이터의 활용효과에 큰 영향을 준다. 이 때문에 정밀한 선박 운동특성 재현을 위한 많은 연구가 수행되어 왔으며, 선박의 운동에 가장 큰 영향을 주는 선박 고유의 조종 특성에 대한 연구 결과는 실제 선박의 운동특성과 비교했을 때 매우 작은 오차 수준까지 재현이 가능하다. 그러나 이러한 선박 운동특성 재현 알고리즘의 기술 완성도에 비해 선박의 운동에 영향을 주는 또 다른 요소인 대상 해역의 환경 외력에 대한 실시간 모델링 및 시뮬레이션 기술은 보완할 점이 많이 남아 있는 상황이다. 특히 해양과 가시화의 경우, 해양과에 대한 실시간 모델링과 가시화뿐만 아니라 해양과의 특성을 정량화하고 선박 운동특성 재현 알고리즘에 반영하는 부분에 대한 연구가 심도 있게 다뤄질 필요가 있다. 또한 보다 사실적인 해양과 가시화 모델이 보다 사실적인 데이터를 선박 운동특성 재현 알고리즘에 제공할 수 있음이 분명한 만큼 해양과 가시화의 사실성에 대한 부분도 함께 고려되어야 한다. 현재 운용되고 있는 선박운항 시뮬레이터들에서도 파랑에 의한 중동요(pitching), 횡동요(rolling), 선수동요(yawing) 운동이

선박운항 시뮬레이터를 위한 해양파 가시화 방안 고찰

나 선속 저하 및 보침성 저하 등 여러 현상이 재현 되고는 있다. 그러나 시뮬레이션 상황에 대한 3차원 해양파 가시화 및 이를 선박 운동특성 재현 알고리즘에 반영하는 과정이 다소 부정확하여 해양파 가시화 결과와 재현된 선박의 운동 사이에 동기화가 어긋나는 경우가 발생하고 있다. 이에 대한 해결을 위해 우선 보다 정밀도 높은 해양파 가시화가 이뤄져야 할 것으로 보이며, 다음으로 해양파 가시화 알고리즘과 선박 운동특성 재현 알고리즘 간 동기화를 위해 실시간 데이터 공유가 필요할 것으로 보인다. 해양파 표면 가시화의 경우, 해양파 표면 메쉬 정보를 공유 데이터로 볼 수 있으며, 가시화 영역이 넓어 공유해야 할 데이터의 양이 많은 만큼 관심 영역에 대해서만 공유하거나 핵심 정보만 추출하여 공유하는 방법 등을 고려해 볼 수 있다. 그리고 공유한 해양파 표면 메쉬 데이터에 대해 선박 운동특성 재현 알고리즘에서 활용이 가능하도록 정량화 하고, 해양파 표면의 임의 지점에 대한 파고, 파향, 파장, 수심 등의 각종 정보를 즉각적으로 구할 수 있도록 설계가 필요하다. 나아가 선박의 운동에 의한 에너지가 반대로 해양파 표면에 영향을 주는 시나리오에 대해서도 설계 시 함께 고려가 필요하다. 이러한 시도는 비단 선박 운동특성 재현에만 국한된 부분은 아니며, 등부표 등의 부유체에 대한 운동특성 재현 시에도 유사하게 적용된다. 야간 항해 시 등부표의 광원에 대한 시인성은 등부표의 운동에 따른 자세와 그로 인한 광원의 수직 발산각 영향 범위에 따라 크게 달라진다. 선박 운항자 관점에서 등부표의 시인성은 안전 운항을 위해 매우 중요한 요소로 이에 영향을 주는 등부표의 정확한 운동특성 재현 역시 선박 운동특성 재현과 함께 중요한 요소라고 할 수 있다.

4.4 시뮬레이터의 활용

시뮬레이터 활용 관점에서 해양파 가시화는 활용 목적에 따른 사실성 강화, 시뮬레이션 시나리오의 다양성 확보 등을 고려해 볼 수 있다. 활용 목적에 따른 사실성 강화는 실용적 측면의 접근으로, 시뮬레이터 활용 목적에 따라 중점 가시화 요소를 다르게 설정하고 상황에 맞게 가시화함으로써 사실성이나 실시간성의 한계를 극복하는 방법이다. 예를 들어, 항로 속지가 시뮬레이터의 활용 목적인 경우, 여러 해양파 가시화 요소들을 생략 또는 간략화 하는 것이 바람직하다. 그리고 해양파 표면 가시화가 중점 가시화 요소인 경우, 해양파 표면의 상세도를 최대한 높이고 대상 해역의 해양파 특성이 잘 반영되도록 구현해야 한다. 또한 실시간성을 위해 중점 가시화 요소가 아닌 해양파 부서짐이나 상호작용 요소 등은 간략하게 묘사하여 컴퓨팅 자원을 확보하는 전략을 사용할 수 있다. 유사하게 해양파 부서짐이 중점 가시화 요소인 경우, 상호작용 요소가 중점 가시화 요소인 경우 등도 계획이 가능하다. 이 과정에서 시뮬레이션 시나리

오에 따라 특정 해양파 가시화 요소에 대한 시각적 사실성이나 물리적 사실성이 다소 낮아지더라도 시뮬레이터 활용 효과가 높아진다면 의미 있는 시도라고 할 수 있다. 활용도 높은 시뮬레이터 개발을 위해 다음으로 고려할 수 있는 항목은 시뮬레이션 시나리오의 다양성 확보이다. 이는 시나리오 종류가 다양하거나 특정 시나리오가 높은 자유도를 가지는 것을 말하며, 시뮬레이션 수행 시 선택할 수 있는 옵션의 다양화가 뒷받침 되어야 한다. 해양파 가시화의 경우, 해양파 가시화 요소별 제어 가능한 파라미터를 선별하여 목록으로 만들고, 이들을 대상으로 사전 또는 실시간으로 값을 제어하는 방안을 고려해 볼 수 있다. 이 경우 각 해양파 가시화 요소에 대한 제어를 직접적으로 수행할지, 바람과 같은 환경 요소에 대한 제어를 통해 파향, 파고를 제어하는 것과 같이 간접적으로 제어할지에 대한 부분도 함께 고려하면 보다 활용도를 높일 수 있을 것으로 본다.

다음 Table 3에 지금까지 기술한 해양파 가시화 방안들을 정리하였다. 제시한 해양파 가시화 방안들이 모든 시뮬레이션 상황들에 적합할 수는 없겠으나 시뮬레이션 목적에 맞춰 적절히 검토하여 적용한다면 개발 방안 수립에 효과적인 지침이 될 수 있을 것으로 판단된다.

Table 3. The visualization considerations of ocean waves

Category	The design considerations
Reality	Unlimited/wide open sea Nonlinear, irregular waves High resolution ocean surface Key point: finding the key visual properties of each visualization element
Real time	Trade-off with reality Stable response time Resources (CPU, GPU, etc.) management Optimization with LOD, Culling, etc.
Motion	Accurate input from accurate ocean waves Sharing ocean surface information Two-way coupling
Application	Selecting key elements (optimization hints) Various and controllable scenarios

5. 결론

본 기술보고에서는 선박운항 시뮬레이터를 위한 해양파 가시화 요소에 대해 분석해 보고, 효과적인 정보전달과 몰입감 형성 측면에서 해양파 가시화 요소 재현 시 고려해야 할 사항과 개발 접근 방안에 대해 고찰하였다. 사실적인 해양파 가시화는 선박운항 시뮬레이터 체험자의 몰입감 형성

및 선박운항 시뮬레이터의 활용 효과에 큰 영향을 주지만, 기술적 난이도가 높은 만큼 활용 목적에 맞춰 지속적인 연구가 필요한 것으로 파악하였다. 비록 해양과 가상화 요소별 재현에 대한 구체적인 방법을 논하기에 그 내용이 방대하여 주요 항목 위주로 핵심 사항만 간략하게 살펴보았으나, 보다 활용도 높은 선박운항 시뮬레이터 개발을 위한 해양과 가상화 모듈의 설계 방향을 설정하는 데에는 많은 도움을 줄 수 있을 것으로 기대한다. 그러나 활용도를 높이기 위해 제어해야 할 항목이 많아져 복잡도가 높아지는 경우에는 시뮬레이터 운용자의 편의성 증대가 함께 이뤄지지 않으면 실제 활용이 쉽지 않을 수 있다. 따라서 시뮬레이터 설계시, 효율적인 사용자 인터페이스에 대한 고려와 융통성 있는 제어를 위한 스크립트 기반의 이벤트 시스템 도입, 모바일 기기 활용을 고려한 HTML5 기반 멀티 플랫폼 지원 등을 검토해 볼 수 있다. 또한 세밀한 제어로 인해 모듈 간 시뮬레이션 결과의 불일치가 일어나지 않도록 데이터 및 모델에 대한 공유 방안을 함께 수립할 필요가 있을 것으로 판단된다.

후 기

본 논문은 한국해양과학기술원 부설 선박해양플랜트연구소의 고유 임무형 주요사업인 ‘해양사고 분석 및 재현 시뮬레이션 핵심기술 개발 (PES1860)’과 기관 역량 강화 주요사업인 ‘웹기반 플랫폼 독립형 시뮬레이터 핵심 기술 개발 (PES1980)’의 지원으로 작성되었습니다.

References

- [1] Airy, G. B.(1841), Tides and Waves, Encyclopaedia Metropolitana, Vol. 5, pp. 291-396.
- [2] Cummings, J. J., J. N. Bailenson and M. J. Fidler(2012), How Immersive is Enough?: A Foundation for a Meta-analysis of the Effect of Immersive Technology on Measured Presence, Proceedings of the ISPR Presence Live Conference, pp. 1-13.
- [3] Desbrun, M. and M. P. Gascuel(1996), Smoothed particles: A new paradigm for animating highly deformable bodies, Proceedings of the Eurographics Workshop on Computer Animation and Simulation '96, pp. 61-76.
- [4] Fan, Y., J. Litven, D. I. W. Levin and D. K. Pai(2013), Eulerian-on-Lagrangian Simulation, ACM Transactions on Graphics (TOG), Vol. 32, No. 3, Article No. 22, pp. 1-9.
- [5] Foster, N. and D. Metaxas(1996), Realistic animation of liquids, Graphical Models and Image Processing, Vol. 58, No. 5, pp. 471-483.
- [6] Foster, N. and R. Fedkiw(2001), Practical animation of liquids, Proceedings of ACM SIGGRAPH 2001, pp. 23-30.
- [7] Fournier, A. and W. T. Reeves(1986), A simple model of ocean waves, Computer Graphics (Proceedings of ACM SIGGRAPH 1986), Vol. 20, No. 4, pp. 75-84.
- [8] Gerstner, F. J.(1804), Theory of waves, pp. 1-65.
- [9] Gingold, R. A. and J. J. Monaghan(1977), Smoothed particle hydrodynamics - theory and application to non-spherical stars, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Vol. 181, pp. 375-389.
- [10] Lee, K. D., J. B. Yim, J. S. Jung, S. H. Park, C. K. Kim, Y. H. Sim and K. Y. Cho(2003), PC Based Virtual Reality Ship Handling Simulator, Proceedings of the Korean Society of Marine Environment & Safety, pp. 53-57.
- [11] Lucy, L. B.(1977), A numerical approach to the testing of the fission hypothesis, Astronomical Journal, Vol. 82, pp. 1013-1024.
- [12] Mastin, G. A., P. A. Watterberg and J. F. Mareda(1987), Fourier Synthesis of Ocean Scenes, IEEE Computer Graphics and Applications, Vol. 7, No. 3, pp. 16-23.
- [13] Muller, M., D. Charypar and M. Gross(2003), Particle-based fluid simulation for interactive applications, Proceedings of the 2003 ACM SIGGRAPH/Eurographics symposium on Computer animation, pp. 154-159.
- [14] Sohn, K. H. and S. W. Lee(1998), A Study on Development of PC-based Ship Handling Simulator, Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety, Vol. 4, No. 2, pp. 25-33.
- [15] Stam, J.(1999), Stable fluids, Proceedings of ACM SIGGRAPH '99, pp. 121-128.
- [16] Thon, S., J. M. Dischler and D. Ghazanfarpour(2000), Ocean waves synthesis using a spectrum-based turbulence function, Proceedings of Computer Graphics International, pp. 65-72.
- [17] Tessendorf, J.(1999), Simulating ocean water, ACM SIGGRAPH Course Notes.
- [18] Wang, C. B., Q. Zhang, F. L. Kong and H. Qin(2013), Hybrid particle.grid fluid animation with enhanced details, The Visual Computer, Vol. 29, No. 9, pp. 937-947.
- [19] Yim, J. B. and H. J. Kim(1999), The System Design of Virtual Reality Ship Simulator, Proceedings of the Korean Society of Marine Environment & Safety, pp. 7-17.

Received : 2015. 02. 05.

Revised : 2015. 04. 10.

Accepted : 2015. 04. 27.