

선박 운항 시뮬레이터에서 해양파와 연동된 선박 및 부표 운동의 실시간 가시화

여동진*, 차무현**, 문두환***

Real-time Visualization of Ship and Buoy Motions Coupled with Ocean Waves in a Ship Handling Simulator

Dong Jin Yeo*, Moohyun Cha** and Duhwan Mun***

ABSTRACT

Ship handling simulator should have capabilities of calculating ship motions (heave, pitch, and roll) at given sea state and displaying the calculated motions through a real-time 3D visualization system. Motion solver of a ship handling simulator generally calculates those motions in addition to position for an own ship, a main simulation target, but provides only position information for traffic ships. Therefore, it is required to simulate real-time traffic ship and buoy motions coupled with ocean waves in a ship handling simulator for the realistic visualization. In the paper, the authors propose a simple dynamics model by which ship and buoy motions are calculated with the input data of wave height and discuss a method for the implementation of a ship and buoy motions calculation module.

Key words : Ocean waves, Real-time 3D visualization, Ship and buoy dynamics model, Ship handling simulator

1. 서 론

시뮬레이션 가시화는, 응용 목적에 맞는 추상적인 모델을 정의한 후, 정의된 모델과 외부 객체 및 환경과의 상호작용을 전산도구를 이용하여 수치 연산을 수행하여 계산된 결과를 사용자에서 시각적으로 묘사하는 것이다. 시각 정보는 사용자와의 상호작용을 위한 대표적인 인터페이스로서, 실시간 3D 가시화 기술은 현실감 있는 직관적인 영상을 제공함으로써 사용자의 인지력을 향상시켜 선박 운항 시뮬레이터를 이용한 교육의 효과를 높이는 중요한 요소이다.

조선해양 시뮬레이션은 해양파의 거동, 해수면 및 해저에서의 광원 처리, 해양 환경의 기하학적인 특성, 해양파와 해양 운송체와의 상호작용 등의 고유의

가시화 요구가 존재하나, 상업용 그래픽 엔진을 활용한 가시화 방법으로는 대응에 한계가 있다. 주요 원인으로서는 상업용 그래픽 시스템의 폐쇄성으로 인한 기능 확장 및 최신 그래픽 기술의 적용 제한, 특정 소프트웨어 및 하드웨어의 종속성을 들 수 있다^[1].

선박 운항 시뮬레이터를 위한 실시간 3D 가시화 요구 중 대표적인 것으로 해양파와 연동된 타선 및 부표의 운동 묘사가 있다^[2]. 일반적으로 선박의 기동에 있어 조종 정보는 선박의 수평면 상 거동을 의미하고 운동 정보는 선박의 수직면 상 거동을 의미한다. 따라서 이 요구는 선박 운항 시뮬레이터가 해상 상태에 따른 선박의 수직면상의 거동(상하동요, 종동요, 횡동요)을 정확하게 계산하여 그 결과를 가시화 시스템을 통해 전시해야 함을 의미한다.

선박 운항 시뮬레이터의 운동 해석기(motion solver)는 시뮬레이션의 대상인 타선의 경우 위치와 운동을 계산하고 타선의 경우 위치 정보만을 제공한다. 그러므로 선박 운항 시뮬레이터에서 현실감 있는 가시화를 위해서는 타선과 부표에 대해서 해양파와 연동된 운동을 실시간으로 묘사하는 것이 필요하다. 타

*한국해양연구원 해양시스템안전연구소

**정회원, 한국기계연구원

***교신저자, 종신회원, 경북대학교 기계자동차공학부

- 논문투고일: 2010. 12. 08

- 논문수정일: 2011. 03. 07

- 심사완료일: 2011. 04. 11

선과 부표의 운동 모사 기능은, 선박 운항 시뮬레이터를 구성하는 여러 시스템들 중에서, 해양파 모사 기능을 제공하는 실시간 3D 가시화 시스템이 제공하는 것이 타당하다. 예로, 선박 운항 시뮬레이터의 가시화 기능 개발을 위해 많이 사용되는 상업용 실시간 3D 그래픽 도구인 VEGA의 경우 선박과 부표의 운동 모사를 위한 플러그인으로 VEGA Marine^[3]을 제공한다. 그러나 VEGA Marine의 선박과 부표의 운동 모사 기능에 관한 자세한 내용은 공개되어 있지 않다.

이 연구는 선박 운항 시뮬레이터에서 해양파에 따른 타선과 부표 운동의 가시화를 효과적으로 수행하기 위한 방법에 대한 것이다. 즉, 해양파로 인한 선박 및 부표의 실제 거동을 정확히 예측하는 것이 초점이 아니라 해양파에 의한 선박 및 부표의 운동을 실시간 처리가 가능한 한도 내에서 시각적으로 타당한 결과를 주는 것이 목적이다. 이를 위해 실시간 3D 가시화 시스템의 해양파 모사 모듈이 생성한 파고 데이터를 입력으로 하여 선박과 부표의 운동을 계산하기 위한 단순 운동 모델을 제안하고 운동 계산 모듈을 구현하는 방법에 대해서 논의한다. 그리고 공개형 그래픽 엔진인 Ogre3D를 기반으로 개발된 실시간 3D 가시화 시스템에 운동 계산 모듈을 적용한 결과를 설명한다.

이 논문의 구성을 다음과 같다. 2절에서는 그래픽 분야에서 사용되는 실시간 해양파 모사 방법에 대해서 살펴본다. 3절에서는 선박 및 부표의 단순 운동 모델을 제안한다. 4절에서는 제안 한 운동 모델을 활용하여 선박 및 부표의 운동 계산 모듈을 구현하는 방법을 논의한다. 5절에서는 공개형 3D 그래픽 엔진을 기반으로 개발 한 선박 운항 시뮬레이터용 실시간 3D 가시화 시스템에 운동 계산 모듈을 적용한 결과에 대해서 설명한다. 6절에서는 운동 계산 모듈에서 생성한 선박 및 부표의 운동 데이터를 분석한다. 마지막으로 7절에서 결론 및 향후 연구에 대해 논의한다.

2. 그래픽 분야의 실시간 해양파 모사 방법

2.1. 실시간 해양파 모사 방법

선박 운항 시뮬레이터용 실시간 3D 가시화 시스템은 실시간으로 해양파를 모사 하는 기능을 제공해야 한다. 해양파 모사를 위한 주요 기술로는 해수면 격자 생성, 파고맵 생성, 해수면 셰이딩(shading)이 있다. 파고맵 생성은 해수면 격자의 각 점에서의 파고의 높이를 계산하는 기술이고 해수면 셰이딩은 굴절, 반사, caustics, godray와 같은 해수면에 대한 빛의 효과를

모사하는 기술이다. 이 외에도 선미 계적의 경우와 같이 해양파와 다른 객체와의 상호작용 모사도 요구된다.

해양파의 가시화는 매우 넓은 영역에 대해서 해수면 격자를 구성하고 실시간으로 격자의 각 점에서의 파고를 계산해야 하기 때문에 유체 역학 분야에서 주로 사용하는 내비어-스톡스(Navier-Stokes) 방정식^[4,5]과 많은 계산이 요구되는 방법을 적용하기 어렵다. 그래서 그래픽 분야에서는 해양파의 실시간 가시화를 위해 경험적 모델을 사용하여 바다의 모습을 표현하는 접근법이 주로 채택되었다. 실시간 해양파 모사를 위해 일반적으로 사용되는 모델은 스펙트럼(spectrum) 모델^[6]과 Gerstner 모델^[7]이다.

Gerstner 모델은 바다를 트로코이드(trochoid)의 중첩으로 표현한다. 트로코이드는 뾰족한 마루와 평평한 골을 가지고 있어 실제 파도와 같은 날카로운 모습을 표현하기에 적합하고 바다를 연속함수로 정의하여 무한히 넓은 바다를 표현할 수 있다. 그러나 실제와 같은 바다의 모습을 표현하는 과정에서 많은 수의 트로코이드를 중첩 해야 하기 때문에 실시간으로 처리하기가 어렵다.

스펙트럼 모델은 바다를 정현파(sinusoidal wave)의 중첩으로 표현한다. 통계적으로 측정된 해양파의 주파수 스펙트럼으로부터 푸리에 변환을 통해 시간에 따른 해양파의 높이장(height field)을 생성한다. 정현파들을 중첩할 때 불규칙적인 위상차를 적용하여 해양파 모사의 사실감을 더한다. 그리고 수면 물결의 분산성 전파특성을 이용하면 뾰족한 물마루의 표현이 가능하다.

최근에는 해양파 모사에 필요한 각종 계산을 CPU가 아니라 GPU를 이용하여 수행하는 연구들^[8,9]이 보고되었다. GPU는 부동소수점 데이터의 병렬 계산이 가능하고 내적, 외적 등의 벡터 연산 라이브러리를 내장하기 때문에 CPU에 비해서 처리 속도가 빠르다. 이 연구에서 해양파 모사를 위해 사용하는 공개형 라이브러리인 Hydrax에도 GPU를 사용한 연산 방법이 일부 적용되었다.

2.2. 스펙트럼 모델

이 연구에서는 선박 운항 시뮬레이터의 실시간 3D 가시화 시스템이 해양파를 모사하기 위해서 스펙트럼 모델을 사용한다고 가정한다. 이 절에서 스펙트럼 모델에 대해서 간략하게 살펴본다.

스펙트럼 모델에서 임의의 시간 t , 임의의 위치 $X = (x, z)$ 에서 수면의 높이 $h(X, t)$ 는, 식 (1)과 같이, 시

간에 따라 바뀌는 진폭을 가진 다수의 정현파의 합으로 정의된다.

$$h(X, t) = \sum_K \bar{h}(K, t) \exp(jK \cdot X) \quad (1)$$

여기서 $K = (k_x, k_z)$ 는 2차원 파형 벡터(wave vector)로서 $k_x = 2\pi n/L_x$, $k_z = 2\pi m/L_z$ 이다. L_x 와 L_z 는 해수면 격자의 가로 세로 크기이다. N , M 을 격자의 가로, 세로 방향 해상도라고 할 때, n , m 은 $N/2 < n < N/2$, $M/2 < m < M/2$ 의 범위에 속하는 정수이다. 이에 따라 파고 (높이장)는 2차원 균일격자의 각 점 $X (nL_x/N, mL_z/M)$ 에서 계산된다.

스펙트럼으로부터 역푸리에 변환에 의해 계산된 파고(높이장)은 넓은 영역의 바다를 표현하기 위해 반복해서 이어 붙일 수 있어야 한다. 따라서 계산된 높이장의 각 높이 값이 실수가 되어야 한다. 이를 위해서는 주파수 영역의 입력 값이 복소켄레 특성 (complex conjugation property)을 만족하는 복소수이어야 한다. Tessendorf는 이러한 조건을 만족하는 입력 값을 만들기 위해서 임의의 시간 t 에 주파수 영역의 입력 값 t 큰 식 (2)와 같이 정의하였다.

$$\bar{h}(X, t) = \bar{h}_a(K) \exp(j\omega(k)t) + \bar{h}_a^*(K) \exp(-j\omega(k)t) \quad (2)$$

여기서 $\omega(k)$ 는 분산 관계(dispersion relation)에 의해 정해지는 물결의 이동 속도이다. 분산관계에 따라서 심해의 바다에서 바닥까지의 깊이와 표면 장력을 고려하지 않을 때 수면을 따라 움직이는 물결의 속도는, 식 (3)과 같이, 그 물결의 파장에 의해 결정된다. g 는 중력상수이고, $k = 2\pi/\lambda$ 는 파장 λ 에 의해 정해지는 파수(wave number)이다.

$$\omega(k) = \sqrt{gk} \quad (3)$$

$\bar{h}_a(K)$ 는 시간 $t = 0$ 에서의 초기 진폭값으로서 식 (4)와 같이 Phillips 스펙트럼 $P_b(K)$ 에 잡음(noise)을 더해서 생성한다. 이때 ϵ_r 과 ϵ_i 은 각각 평균이 0이고 표준편차가 1인 가우스(Gaussian) 난수 생성기로 생성한 의한 난수로서 2차원 영역의 잡음을 만든다.

$$\bar{h}_a(K) = 1/\sqrt{2}(\epsilon_r + j\epsilon_i) \sqrt{P_b(K)} \quad (4)$$

Phillips 스펙트럼 $P_b(K)$ 는 식 (5)와 같이 정의된다. 식 (5)에서 A 는 전체적인 스펙트럼의 크기를 조절하

는 상수이고 $L = \sqrt{g}$ 은 중력가속도가 g 일 때 속력이 1인 바람에 의해서 일어날 수 있는 파도의 최대 높이를 의미한다. k 는 파수이고 \hat{K} 는 정규화된 파형 벡터, \hat{w} 는 정규화된 바람 방향 벡터이다.

$$P_b(K) = A \frac{\exp\left(-\frac{1}{(kL)^2}\right)}{k^4} |\hat{K} \cdot \hat{w}|^2 \quad (5)$$

3. 해양파와 연동된 선박 및 부표의 단순화된 운동 모델

3.1. 선박 및 부표 운동 모델의 정의

해양파와 연동된 선박 및 부표의 단순화된 운동 모델은 매 가시화 프레임 시간(frame time) t 에서의 타선 및 부표의 종동요 Θ , 횡동요 Φ , 상하동요 ζ 를 계산하기 위한 미분 방정식이다. 단순화된 운동 모델의 목적은 해양파에 의한 객체의 거동을 해석적으로 정확하게 계산하기 보다는 실시간으로 사실감 있는 운동을 모사하는데 있다.

운동 모델을 정의하기 위해서 사용하는 변수들의 기호, 의미, 단위는 List 1과 같다.

List 1. Variables used in the proposed dynamics model for ship and buoy

L: 길이 (m)
B: 폭 (m)
A: 배수량 (displacement) ($kg \cdot m^3$)
GM _L : Longitudinal metacentric height (m)
GM _T : Transversal metacentric height (m)
m: 선박 질량 (kg)
A _w : Waterplane area (m ²)
I _{zz} = mK _{zz} ² , 여기서 K _{zz} = 0.24L
I _{yy} = mK _{yy} ² , 여기서 K _{yy} = 0.4B
ρ : 해수의 밀도 (kg/m^3), 1,025 kg/m^3 으로 정의
g: 중력 가속도 (m/s^2), 9.8 m/s^2 으로 정의

해양파와 연동된 선박 및 부표의 운동 모사를 위해서 식 (6), (7), (8)과 같은 미분 방정식을 정의하였다.

$$I_{zz} \ddot{\Theta} + B_{pitch} * \dot{\Theta} + \Delta GM_L (\Theta - \Theta_c) = 0 \quad (6)$$

$$I_{yy} \ddot{\Phi} + B_{roll} * \dot{\Phi} + \Delta GM_T (\Phi - \Phi_c) = 0 \quad (7)$$

$$m \ddot{\zeta} + B_{heave} * \dot{\zeta} + \rho g A_w (\zeta - \zeta_c) = 0 \quad (8)$$

운동 방정식에서 Θ_c , Φ_c , ζ_c 는 해양파에 의한 외력 특성을 표현하는 변수로 식 (9), (10), (11)과 같이 정의된다. 식 (9), (10), (11)에서 Y_b , Y_r , Y_s , Y_p

는, Fig. 1과 같이, 각각 선수, 선미, 우현, 좌현에서의 파고 값을 의미한다. 그리고 fLongiSlope, fTransSlope, fHeaveAverage는 운동 방정식에서 외력의 크기를 조절하는 튜닝 상수이다.

$$\theta_c = fLongiSlope * \text{atan2}((Y_f - Y_a)/L) \quad (9)$$

$$\phi_c = fTransSlope * \text{atan2}((Y_p - Y_s)/B) \quad (10)$$

$$\zeta_c = fHeaveAverage * (Y_f + Y_a + Y_p + Y_s)/4 \quad (11)$$

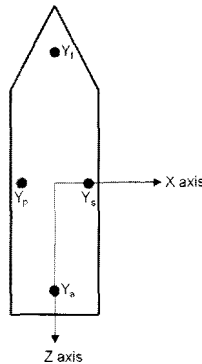


Fig. 1. Input variables of the proposed dynamics model: wave heights at four positions.

운동 방정식 (6), (7), (8)에서 B_{pitch} , B_{roll} , B_{heave} 는 선박 및 부표의 뱀퐁 특성을 표현하는 변수로 식 (12), (13), (14)와 같이 정의된다. 식 (12), (13), (14)에서 fPitchDamping, fRollDamping, fHeaveDamping은 운동 방정식에서 뱀퐁 특성을 조절하는 튜닝 상수이다.

$$B_{pitch} = fPitchDamping * I_{yy} \quad (12)$$

$$B_{roll} = fRollDamping * I_{xx} \quad (13)$$

$$B_{heave} = fHeaveDamping * m \quad (14)$$

운동 방정식에 사용되는 6개의 튜닝 상수는 선박 및 부표에 따라 다르게 되고 실시간 3D 가시화 시스템에서 선박 및 부표별로 튜닝 상수들을 별도의 파일에 저장하여 관리한다.

3.2. 운동 방정식에 사용되는 변수의 단순화

선박 운항 시뮬레이터는 일반적으로, Fig. 2와 같이, 운동 해석기, 시뮬레이터 관리자(Fig. 2의 IOS), 사용자 조종장치, 항해지원 디스플레이, 그리고 실시간 3D 가시화 시스템으로 구성이 된다. 시뮬레이터 관리자는 시뮬레이터의 전체적인 제어를 담당하고 시

뮬레이션 시작을 위한 초기 설정 정보와 시뮬레이션 진행 과정에서 계산된 결과 데이터를 항해지원 디스플레이와 실시간 3D 가시화 시스템에 전달한다.

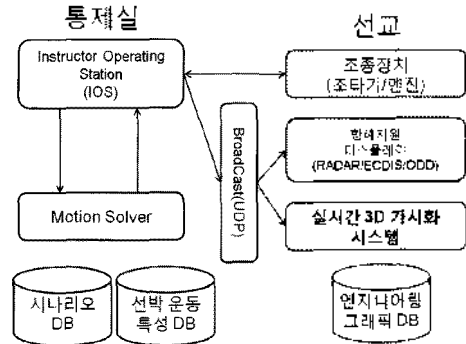


Fig. 2. Typical system configuration of a ship handling simulator.

시뮬레이션 시작을 위한 초기 설정 단계에서 시뮬레이터 관리자는 네트워크를 통해 선박의 및 부표의 특성 값을 전달한다. 시뮬레이터 관리자가 전달하는 주요 특성 값으로 선박(과 부표)의 길이 L과 폭 B가 있고, 다른 특성 값들의 전달 여부는 시뮬레이터마다 다르게 된다. 따라서 운동 방정식의 일반성을 확보하고 추가적인 선박과 부표의 데이터베이스 작성 부담을 줄이기 위해서, 선박의 형상을 직육면체로 가정하고, 운동 방정식에 사용되는 특성 값들을 다음과 같이 단순화 하였다.

List 2. Simplification of ship and buoy properties used in the proposed dynamics model

GM_L	\rightarrow	1.
GM_T	\rightarrow	B
A_w	\rightarrow	L.B
m	\rightarrow	$\rho L.B^2$
Δ	\rightarrow	$g\rho L.B^2$

4. 선박 및 부표의 운동 계산 모듈의 구현 방법

4.1. 운동 방정식의 수치해법

해양과와 연동된 선박과 부표의 운동 모사 문제는 미분 방정식(단순 운동 모델)과 초기 조건(이전 시간 t_{i-1} 의 상태 값)이 주어지는 초기값 문제로 정의할 수 있다. 이 문제의 해를 구하기 위해서 고계 미분 방정식의 수치 해법으로 많이 사용되는 4차 Runge-Kutta 법^[10]을 사용한다.

일반적으로 고계 미분 방정식의 수치 해법은 시간의 경과에 따라서 오차가 발산하는 문제점이 있다. 그러나 이 연구에서 제안하는 방법에서는 외부 입력에 해당되는 외력이 내 계산주기마다 계속 업데이트가 된다. t_{i-1} 시점에서 실시간 3D 가시화 시스템의 해양파 보사 모듈로부터 파고 값을 받아와서 외력을 먼저 계산한 후에 4차 Runge-Kutta 방법을 이용하여 운동 방정식을 풀어 t_i 시점에서의 선박의 운동 정보를 계산한다. t_i 시점에서도 역시 해양파 보사 모듈로부터 업데이트된 파고 값을 가져와서 외력을 먼저 계산하고 t_{i-1} 시점에서의 선박의 운동을 계산한다. 즉, 특정 시점 t_{i-1} 에서 업데이트된 외력은 그 다음 시점 t_i 에서의 상태를 계산하는 데만 사용되고 t_i 시점에서는 새로 업데이트된 외력을 이용하기 방식이기 때문에 오차가 발산하지 않는다. 또한 계산 간격도 2차 미분방정식인 선박의 운동 방정식을 고려할 때 수치 적분법이 안정성을 가지는 범위에 있도록 충분히 작다.

선박 및 부표의 운동 계산 모듈은 앞 절에서 설명한 운동 모델을 이용하여 선박 및 부표의 운동 정보를 생성하게 되고 계산 절차는 다음과 같다.

1. 현재 가시화 프레임의 시간 t_i 에서, 실시간 3D 가시화 시스템의 해양파 보사 모듈로부터, 선박 및 부표의 지역 좌표계를 기준으로 미리 정의된 한 내선에서의 파고 값을 받아 Θ , Φ , ζ 를 계산
2. 고계 미분 방정식의 수치 해법을 이용하여 이전 프레임의 시간 t_{i-1} 에서 계산된 Θ , Φ , ζ , $\dot{\Theta}$, $\dot{\Phi}$, $\dot{\zeta}$ 값으로부터 현재 프레임의 시간 t_i 에서의 Θ , Φ , ζ , $\dot{\Theta}$, $\dot{\Phi}$, $\dot{\zeta}$ 값을 계산
3. 계산된 Θ , Φ , ζ 값을 실시간 3D 가시화 시스템의 신 그래픽 관리 모듈에 전달. 신 그래픽 관리 모듈은 선박 및 부표의 위치(상하동요 ζ) 및 방향(종동요, 횡동요)에 대한 좌표변환을 수행

4.2. 운동 계산 모듈의 적용

4.2.1. 스레드를 활용한 운동 계산 모듈의 병렬 실행
 실시간 3D 가시화 프로그램에서 프레임 주기 (frame rate)는 영상을 생성하는 시간 간격을 의미하는데, 실시간 가시화를 위해서는 일반적으로 프레임 주기가 0.04초 이하여야 한다. 그리고 가시화 대상 객체의 수(폴리곤 개수)나 객체의 복잡도(신 그래픽 노드 수), 특수 모듈(3D 파티클, 웨이더 등)의 사용 여부에 따라 프레임 주기가 달라질 수 있다.

해양파에 의한 선박과 부표의 운동 계산을 위해서 수치 해법을 사용한다. 미분 방정식의 수치 해법에서

이전 프레임의 시간 t_{i-1} 와 현재 프레임 시간 t_i 의 차이 Δt 를 특정 값 이내로 일정하게 유지해야 안정적인 계산 결과를 얻을 수 있다. 그리고 이러한 운동 계산 모듈의 계산 주기는 일반적으로 위에서 설명한 가시화 시스템의 프레임 주기보다 작다.

운동 계산 모듈을 실시간 3D 가시화 시스템에 적용하기 위해서는 위에서 설명한 프레임 주기와 운동 계산 주기의 차이와 프레임 주기의 변동 가능성을 고려해야 한다. 그래서, Fig. 3과 같이, 하나의 프로세스 내에서 병렬적 자료 처리가 가능한 다중 스레드 기법을 적용하였다. 즉, 주 스레드(main thread)에서는 그래픽 렌더링을 담당하고, 별도의 독립 스레드에서는 운동 계산을 담당한다. 그리고 스레드들 간에 지역 변수는 공유할 수 없기 때문에 운동 계산 모듈의 입력 데이터와 출력 데이터를 모두 전역 변수로 정의하여 실시간 3D 가시화 시스템의 타 모듈들과 공유할 수 있도록 하였다.

다중 스레드 구동 시, 하나의 자원(변수)에 대해 동시에 쓰기(write) 명령이 일어나는 경우, 해당 자원의 접근 순서에 대한 동기화가 필요하다. 이를 위해 전역 변수에 대해, 각 스레드 별로 접근 권한을 서로 분리하여, 한 변수에 대해 동시에 쓰기접근을 수행할 수 없도록 하였다. 즉, 주 스레드는 파고에 관한 전역 변수를 쓰고, 선박 운동에 관한 전역 변수를 읽는다. 반면에 운동 계산 스레드는 파고에 관한 전역 변수를 읽고 선박 운동에 관한 전역 변수를 쓴다. 따라서 두 스레드들이 한 전역 변수를 동시에 쓰는 상황은 발생되지 않으며, 따라서 스레드간 동기화 문제는 발생하지 않는다.

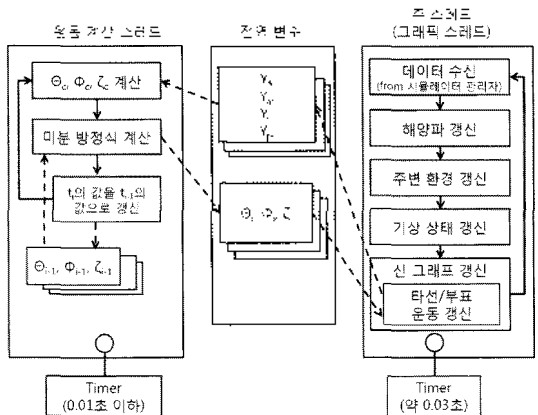


Fig. 3. Application of a ship and buoy motion calculation module into a real-time 3D visualization system.

4.2.2. 실시간 3D 가시화 시스템의 신 그래픽 갱신
실시간 3D 가시화 시스템은 매 프레임 주기에 시뮬레이터 관리자로부터 시뮬레이션 데이터를 수신한다. 수신된 데이터에는 자신의 경우, 조종 정보(x, z, yaw)와 운동 정보(pitch, roll, y)가 모두 포함되어 있지만, 타선의 경우 일반적으로 조종 정보만이 저장된다.

데이터를 수신 한 후, 주 스레드에서는 해양과 갱신, 주변 환경 갱신, 기상 상태 갱신, 신 그래픽 갱신 작업을 수행한다. 신 그래픽 갱신 과정에서, 자신의 경우 시뮬레이터 관리자로부터 받은 정보에 따라 위치와 방향을 갱신하면 되고, 타선과 부표의 경우 조종 정보 외에 운동 정보는 운동 계산 모듈을 통해 값을 받아 갱신한다.

타선 부표 운동 정보 갱신 과정에서 각 타선 및 부표의 네 점에 대한 파괴 값을 해양과 모사 모듈로부터 받은 후 전역 변수에 저장한 후 전역 변수로 저장된 운동 정보를 받아 타선 및 부표의 운동 정보를 갱신한다. 운동 계산 모듈은, 별도의 스레드에서, 전역 변수로 저장된 파괴 값을 읽어 운동 방정식을 풀은 후 결과 값(운동 정보)을 전역 변수에 저장한다.

5. 구현 및 실험 - 실시간 3D 가시화 시스템 프로토타입 개발

선박 운항 시뮬레이터용 실시간 3D 가시화 시스템의 개발 과정에 3절과 4절에서 제안하는 방법을 적용하여 타선과 부표의 운동 계산 모듈을 구현하였다. 실시간 3D 가시화 시스템의 구현 환경은 다음과 같다.

- OS: Windows XP
- IDE: MS Visual Studio 2008 SP1
- 네트워크 통신: Windows Socket 2.2
- XML Parser: TinyXml
- 데이터 로깅: Apache log4cxx
- 3D Graphics Engine: Ogre 1.6.3 SDK
- Hydrax(해양파), Sky-X(주변환경), DotSceneLoader(데이터로딩)
- 3D Modeling Tool: 3dsMax 2009
- Ogre용 데이터 변환: OgreMaxSceneExporter 2.1.2

개발된 실시간 3D 가시화 시스템은, Fig. 4와 같이, 공개형 3D 그래픽 엔진인 Ogre3D를 기반으로 개발되었으며, 크게 가시화 요소 기능, 시스템 관리 기

능, 네트워크 통신 기능을 제공한다. 타선과 부표 운동 계산 모듈은 Fig. 4에서 회색 사각형으로 표시된 부분으로 가시화 요소 기능에 해당된다.

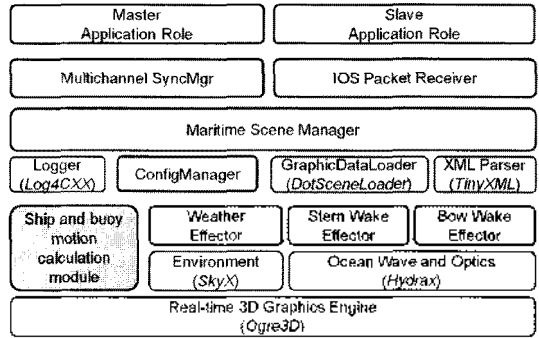


Fig. 4. System architecture of a real-time prototype 3D visualization system.

운동 연산 스레드는 일정한 주기마다의 갱신이 필요하므로, 시간 제어를 위해 타이머를 적용해야 한다. 수치해석 등의 비교적 정확한 시간주기가 필요할 경우, Multimedia 타이머와 Windows Queue 타이머 등이 고려될 수 있으며, 이 연구에서는 Queue 타이머를 사용하였다. Queue 타이머는 윈도우 스레드 풀(Windows thread pool)을 활용하기 때문에 Multimedia 타이머보다 성능이 좋으며 시스템 리소스를 적게 차지한다^[11].

실시간 3D 가시화 시스템 프로토타입에서, 운동 계산 모듈을 활용하여 타선의 운동을 모사한 그림이 Fig. 5이다. 해양과의 파괴는 3 m로 설정하였고 타선의 길이는 150 m, 폭은 15 m이었다. 그리고 운동 모델의 튜닝 상수인 fLongiSlope, fTransSlope, fHeaveAverage, fPitchDamping, fRollDamping, fHeaveDamping를 각각 0.35, 0.05, 0.3, 0.2, 0.5, 3으로 설정하였다. 실험 후 긍정적인 시각적 평가로는 운동 계산 모듈이 사실감 있는 선박의 운동을 모사하는 것으로 판단된다.

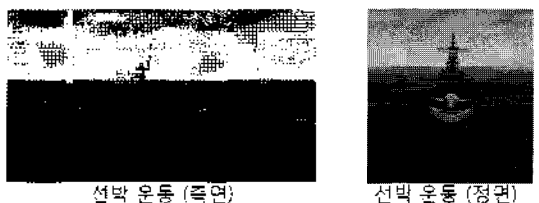


Fig. 5. Motion calculation result of a traffic ship in the implemented real-time 3D visualization system.

6. 선박 및 부표 운동 계산 결과 분석

이 연구에서 제안하는 단순화된 선박 운동 모델의 효율성을 확인하기 위해서는 정성적인 시각적 평가와 아울러 정량적으로 선박 운동 모사 결과를 분석하였다. 정량적인 운동 모사 결과 분석을 위해 모사된 선박 운동의 시계열 자료를 확인하고 이에 대한 푸리에 변환을 수행하여 주파수 영역에서의 스펙트럼을 도출

하였다.

선체 고정 좌표계의 원점을 기준으로 하는 해양파의 파고 및 상하동요, 종동요, 횡동요의 시계열을 나타낸 것이 Fig. 6이다. 그림에서 각각의 운동 응답이 파고가 변화하는 특성을 반영한 장주기의 운동 응답 형태를 보여주고 있음을 확인할 수 있다.

해양파의 파고, 상하동요, 종동요, 그리고 횡동요의 시계열에 대하여 푸리에 변환을 수행한 결과가 Fig. 7

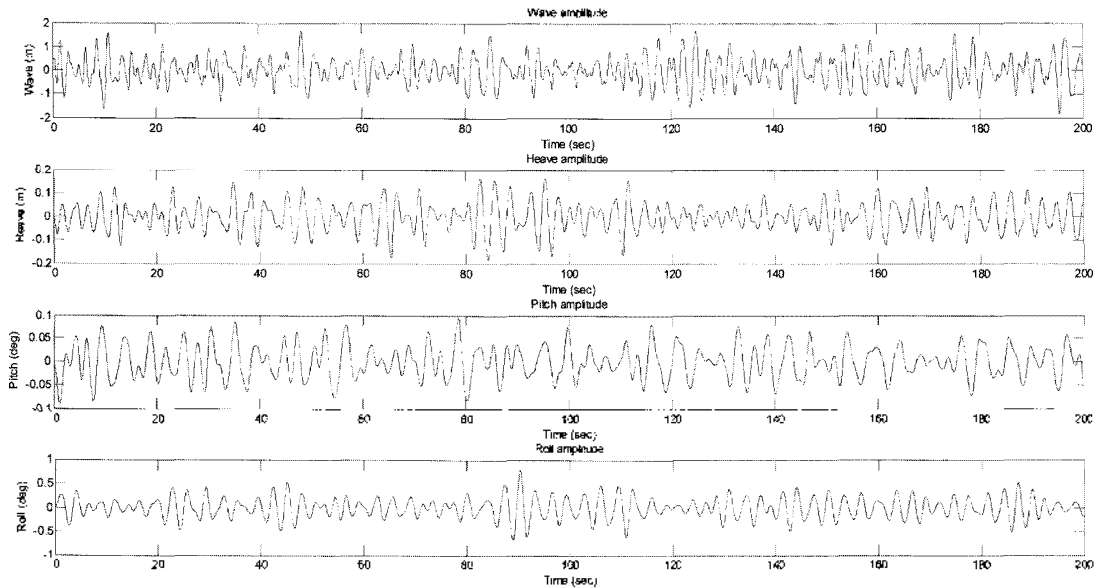


Fig. 6. Time History of Wave & Motion.

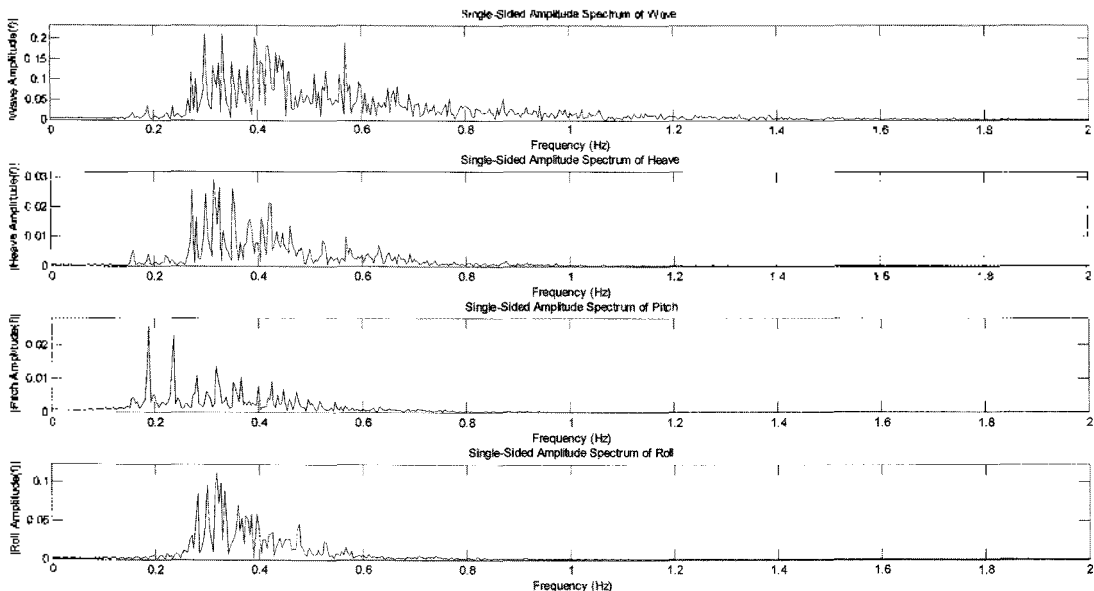


Fig. 7. Wave & Motion Spectrum.

이다. 각각에 있어 저주파 영역을 중심으로 운동 응답이 형성되어 있음을 확인할 수 있다. 이러한 주파수 영역의 응답 특성은 모델링 파라미터를 조절하여 변화시킬 수 있으므로 각 선박 및 부표 등에 대한 운동 응답의 고유 주파수를 감안하여 모델링 파라미터를 조절하면 보다 효과적인 운동 모사가 가능할 것이라 판단된다.

Fig. 6과 Fig. 7의 분석 결과로부터 이 연구에서 제안하는 해양파에 의한 선박 및 부표 운동의 모사 방법이 실제 운동을 심각하게 왜곡하고 있지 않으면서 시각적으로 타당한 결과를 주고 있음을 알 수 있다.

7. 결 론

이 연구에서 선박 운항 시뮬레이터용 실시간 3D 가시화 시스템에 요구되는 해양파와 연동된 타선 및 부표의 운동 모사를 위해, 선박 및 부표의 단순화된 운동 모델을 제안한 후 이 모델에 기반한 운동 계산 모듈의 구현 방안을 제시하였다. 그리고 공개형 3D 그래픽 엔진에 기반한 프로토타입 실시간 3D 가시화 시스템에 구현된 운동 계산 모듈의 적용하여 제안하는 방법의 유효성을 검증하였다.

이 연구에서 제안하는 해양파와 연동된 선박과 부표의 운동 계산 방법은 시뮬레이터 관리자에서 제공하는 선박 및 부표 제원 정보의 활용, 운동 방정식 및 선박 및 부표 특성치의 단순화, 해양파 모사 모듈의 결과 데이터를 활용함으로써 선박 운항 시뮬레이터에서의 활용성을 제고하였다. 또한 단순화로 인해서 선박이나 부표의 운동 특성이 손실되는 것을 보완하기 위해서 운동 방정식의 외력 값과 댐핑 값을 보정하는 튜닝 변수를 선박이나 부표별로 정의하여 관리하는 방법을 사용하였다.

이 연구와 비교할 수 있는 상용 도구로 VEGA Marine이 있지만 VEGA Marine의 자세한 내용은 외부에 공개되어 있지 않다. 다만, API 매뉴얼을 통해 VEGA Marine에서 선박의 운동 모사를 위해서 입력해야 하는 파라미터는 확인할 수 있는데, 이 연구의 방법과 유사하게, 선박의 폭과 길이를 입력해야 하고 선박이나 부표 운동의 정도를 제어하기 위한 튜닝 파라미터가 있다.

이 연구에서 제안하는 해양파에 의한 선박 및 부표 운동 모델을 개선하거나 구현 방법을 최적화하면 계

산 결과의 신뢰성을 더 높일 수 있을 것이다. 예를 들어, 현재는 운동 방정식의 외력을 계산하기 위해서 종동요와 횡동요의 경우 두 점, 상하동요의 경우 네 점에서의 추출한 파고 데이터를 사용하지만, 여러 점에서의 추출한 파고 데이터를 적분하여 외력을 계산함으로써 선박 및 부표 운동 모사의 정확성을 높일 수 있다.

후 기

이 연구는 한국해양연구원의 2010년도 기관목적사업(여동진)과 2010학년도 경북대학교 신임교수정착연구비(분두환)의 지원으로 수행된 연구 결과임을 밝힙니다.

참고문헌

1. 황호진, 분두환, “선박 운항 시뮬레이션 가시화를 위한 그래픽 렌더링 엔진 기술의 개선 방향”, 한국항해만학회지, 제34권, 제3호, pp. 153-160, 2010.
2. Mun, D., Hwang, H., Park, S. and Oh, J., “Real-time 3D Visualization with an Open Source 3D Graphics Engine for Maritime Safety Simulation”, *Proceedings of Martech 2010*, 2010.
3. Presagis, <http://www.prcsagis.com/>, 2009.
4. Stam, J., “Stable Fluids”, *Proceedings of the 26th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques*, 1999.
5. Foster, N. and Fedkiw, R., “Practical Animation of Liquids”, *Proceedings of the 28th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques*, 2001.
6. Tessendorf, J., *Simulating Ocean Water*, SIGGRAPH Course Notes, Addison-Wesley, 1999.
7. Hinsinger, D., Neyret, F. and Cani, M. P., “Interactive Animation of Ocean Waves”, *Proceedings of the 2002 ACM SIGGRAPH/Eurographics Symposium on Computer Animation*, 2002.
8. Mitchell, J. L., *Real-Time Synthesis and Rendering of Ocean Water*, ATI Research Technical Report, 2005.
9. 이동민, 이성기, “바다물결 모형의 합성 및 GPU를 이용한 시뮬레이션”, 정보처리학회논문집A, 제14권, 제7호, pp. 421-434, 2007.
10. 권길현 등, KREYSZIC 공위수하 하권, 병한서적, 2000.
11. Trifunovic, N., Timers Tutorial, http://www.codeproject.com/KB/system/timers_intro.aspx, 2010.



여 동 진

1997년 서울대학교 조선해양공학과 학사
 1999년 서울대학교 대학원 조선해양공학과 석사
 2005년 서울대학교 대학원 조선해양공학과 박사
 2005년~2006년 한국해양연구원 연수연구원
 2007년~현재 한국해양연구원 선임연구원
 관심분야: Dynamics modeling & control of ocean vehicles, Optimal input design for the identification of ocean vehicles' dynamics, Manoeuvring tests of ocean vehicles in towing tank & open sea, Uncertainty analysis of ship manoeuvring tests



차 무 현

2000년 포항공과대학교 기계공학과 학사
 2006년 한국과학기술원 기계공학과 석사
 2006년 현재 한국기체연구원 선임연구원
 관심분야: Engineering-based VR System, VR Simulator for Training, Modeling & Simulation



문 두 환

1999년 고려대학교 기계공학과 학사
 2001년 한국과학기술원 기계공학과 석사
 2006년 한국과학기술원 기계공학과 박사
 2006년~2010년 한국해양연구원 선임연구원
 2010년~현재 경북대학교 조교수
 관심분야: Computer-aided design, Industrial data standards for product data exchange, Product lifecycle management, Knowledge-based engineering, VR for Engineering Applications