이산 사건 및 이산 시간 혼합형 시뮬레이션 커널의 통합 시스템을 이용한 블록 탑재 시뮬레이션

차주환*, 노명일[†]**, 조두연***, 이규열****

서울대학교 조선해양공학과 대학원*

울산대학교 조선해양공학부**

목포대학교 기계·선박해양공학부 선박해양시스템전공***

서울대학교 조선해양공학과 및 해양시스템공학연구소****

Block Erection Simulation Using the Integrated System of Combined Discrete Event and Discrete Time Simulation Kernel

Ju-Hwan Cha*, Myung-Il Roh[†]**, Doo-Yeoun Cho*** and Kyu-Yeul Lee****

Department of the Naval Architecture and Ocean Engineering, Seoul National University*

School of Naval Architecture and Ocean Engineering, University of Ulsan**

Department of the Naval Architecture and Marine Engineering, Mokpo University***

Department of the Naval Architecture and Ocean Engineering, and Research Institute of
Marine Systems Engineering, Seoul National University****

Abstract

Recently, requests for the accurate process planning using modeling and simulation technique are increasing in many engineering fields including shipbuilding industry. In this study, Combined DEVS(Discrete Event System specification) and DTSS(Discrete Time System Specification) simulation kernel is developed, and an integration strategy of dynamics simulation module and graphics module is also implemented. To evaluate the efficiency and applicability of the simulation kernel and integration strategy, these are applied to the block erection simulation of offshore structures.

※Keywords: Modeling and simulation(모델링 및 시뮬레이션), Block erection simulation(블록 탑재 시뮬레이션), Discrete event simulation(이산 사건 시뮬레이션), Discrete time simulation(이산 시간 시뮬레이션), Dynamics simulation(동역학 시뮬레이션), Graphics(그래픽스)

접수일: 2008 년 1 월 7 일, 승인일: 2009 년 4 월 7 일

†교신저자: miroh@ulsan.ac.kr, 052-259-2165

1. 서론

Fig. 1 Examples of (a) interference check in the block erection process and (b) calculation of wire tension in the block turn-over process

조선소에서는 해양구조물의 Topside 블록 탑재 시 대상 블록 또는 장비와 선행 탑재된 블록 또는 장비의 복잡성으로 인해 간섭(interference)이 빈번히 발생되고 있다(Fig. 1-(a) 참고). 이와 같은 간섭에 대해 현재는 현장에서의 사후 조치 중심으로 이루어지고 있다. 따라서 재 작업에 따른 자재 및 인력의 추가 투입, 그리고 후행 작업 증가로 인한 생산성 저하가 발생하고 있다. 또한 Turn-Over 작업 시 wire 와 블록을 연결하는 lug 에 작용하는 반력이 허용 반력을 초과하거나 wire 와 블록 사이의 각도가 허용 각도를 벗어날 경우, lug 가 파손되어 블록이 전복되는 큰 사고를 발생시킬 우려가 있다(Fig. 1-(b) 참고). 만약 시뮬레이션을 통하여 간섭 문제 및 lug 에 작용하는 반력을 사전에 파악할 수 있다면 위와 같은 시간 및 비용에서의 추가 손실을 최소화 할 수 있을 것이다.

시뮬레이션은 시간을 진행시키는 방법에 따라 이산 사건 시뮬레이션(discrete event simulation: 특정 사건(event)의 발생에 따라 대상의 상태가 변화하는 것으로 공정 및 물류 시뮬레이션 시스템 등이 이에 해당함)과 이산 시간 시뮬레이션(discrete time simulation: 일정한 단위 시간의 변화에 따라 대상의 상태가 변화하는 것으로 동역학 시뮬레이션 등이 이에 해당함)으로 구분한다. 본

논문에서 대상으로 삼고 있는 시뮬레이션은 이산 사건과 이산 시간 진행을 병행하여야 하기 때문에, 이산 사건 및 이산 시간 혼합형 시뮬레이션 커널을 선행 연구를 통해 자체 개발하였다(Bang 2006, Bang et al. 2007). 또한, 간섭 검사 및 동역학 계산을 수행하기 위한 동역학 모듈과 이를 계층적으로 표현하기 위한 그래픽스 모듈이 필요하다. 따라서 동역학 및 그래픽스 모듈을 통합하는 모듈을 선행 연구를 통해 자체 개발하였다(Cha et al. 2006, Cha et al. 2007). 그리고 자체 개발한 시뮬레이션 커널 및 동역학/가시화 통합 모듈을 이용하여 효과적으로 시뮬레이션을 개발하기 위한 환경인 시뮬레이션 프레임워크를 제안하였다(Bang 2006, Bang et al. 2007).

물론 Dassault 사의 QUEST(QUEuing Event Simulation Tool) 등과 같이 범용 시뮬레이션 시스템이 있지만 이를 이용할 경우, 기존에 개발된 시뮬레이션 시스템의 재사용의 어려움, 상용 시스템의 이용에 따른 현업의 다양한 요구 반영의 어려움 등의 측면에서 효율적이지 못하다. 또한 기존의 설계 및 생산 정보(CAD 정보, 공정 및 일정 계획 정보 등)를 시뮬레이션에 활용하기가 어렵다.

따라서 본 논문에서는 자체 개발한 시뮬레이션 프레임워크를 기반으로, 시뮬레이션 프레임워크의 효율성을 검증하기 위해, 해상 크레인(floating crane)을 이용하여 해양구조물 블록을 탑재하는 작업(CASE 1)과 해상 크레인과 크롤러 크레인(crawler crane)을 이용하여 해양구조물을 Turn-Over 하는 작업(CASE 2)을 시뮬레이션 하였다.

2 장에서는 선행 연구되었던 시뮬레이션 프레임워크와 자체 개발한 시뮬레이션 커널 및 통합 모듈에 대해 언급한다. 3 장에서는 시뮬레이션 프레임워크를 해양구조물 블록 탑재 시뮬레이션에 적용한 결과에 대해, 4 장에서는 해양구조물 블록 Turn-Over 시뮬레이션 결과에 대해 설명하고, 5 장에서는 결론 및 향후 연구 계획을 기술한다.

2. 관련 연구 현황

2.1 시뮬레이션 프레임워크 구성도

Fig. 2 는 선행 연구에서 제안한 시뮬레이션 프레임워크의 구성도이다. 시뮬레이션 프레임워크를 구성하고 있는 역할에 따라 4 개의 요소로 구분하였다.

시뮬레이션 데이터(Fig. 2-④)는 시뮬레이션에 사용될 모델의 데이터(형상 정보, 속성 정보 등)를 기존의 데이터베이스로부터 추출 및 저장하는 역할을 수행한다.

시뮬레이션 커널(Fig. 2-③)은 체계적인 시뮬레이션 모델링 및 진행 방법을 제공하는 것으로 시뮬레이션 모델구조와 시뮬레이션 엔진으로 구성된다(Bang 2006, Bang et al. 2007). 시뮬레이션 모델구조는 계층적 모델구조를 정의하는 역할하며, 시뮬레이션 엔진은 모델간의 사건들을 관리(event scheduling)하고 처리(event handling)하는 역할을 한다.

Fig. 2 Configuration of the proposed simulation framework(Bang 2006, Bang et al. 2007)

기본 시뮬레이션 요소(Fig. 2-②)는 시뮬레이션을 구성하는 최소 단위인 기초 시뮬레이션 모델과 그 모델을 조합하여 응용 시뮬레이션 모델을 만드는 조합 및 방법론, 개발자가 보다 쉽게 시뮬레이션을 개발할 수 있도록 하는 기본 서비스 도구 및

인터페이스를 지원한다.

응용 시뮬레이션 요소(Fig. 2-①)는 역학 모듈, 충돌 검사 모듈, 그래픽스 모듈로 구성된다. 선행 연구를 통해 세 모듈을 통합하는 통합 모듈 DSG (Dynamics Scene Graph)을 개발하였다(Cha et al. 2006, Cha et al. 2007).

2.2 시뮬레이션 커널 - 이산 사건 및 이산 시간 혼합형 시뮬레이션 커널

Bang(2006)과 Bang et al.(2007)은 본 논문의 선행 연구로서 이산 사건 및 이산 시간 혼합형 시뮬레이션 커널을 개발하였다. 기존의 이산 사건 시뮬레이션 모델에 이산 시간 모델을 정의할 수 있는 부분을 Fig. 3 과 같이 추가 하여 혼합형 모델을 개발하였으며, 이를 구동하기 위한 시뮬레이션 엔진도 개발하였다.

Fig. 3 An example of the combined discrete event and discrete time simulation kernel(Bang 2006, Bang et al. 2007)

2.3 응용 시뮬레이션 요소 - 동역학 및 가시화 통합 모듈

선행 연구에서 제안한 시뮬레이션 프레임워크의 응용 시뮬레이션 요소에 사용된 역학 모듈 및 충돌 검사 모듈로는 공개용 동역학 모듈인 ODE (Open Dynamics Engine)를 사용하였고, 그래픽스 모듈로는 공개용 계층적 그래픽스 모듈인 OSO

(Open Scene Graph)를 사용하였다. 그런데 동역학 모듈 ODE 는 평행적 자료구조를 사용하고, 그래픽스 모듈 OSG 는 계층적 자료구조를 사용하기 때문에, 이를 통합할 수 있는 방안이 필요하다. 따라서 선행 연구를 통해 동역학 및 그래픽스 통합 모듈인 DSG(Dynamics Scene Graph)를 개발하였다(Cha et al. 2006, Cha et al. 2007). Fig. 4 는 동역학 및 그래픽스 통합 모듈 DSG 의 개략적인 자료구조를 나타내고 있다.

Fig. 4 Data structure of DSG, an integration module of dynamics and visualization(Cha et al. 2006, Cha et al. 2007)

3. 해양구조물 블록 탑재 시뮬레이션 (CASE 1) 적용 결과

3.1 해양구조물 블록 탑재 시뮬레이션의 개요

본 논문에서 적용 예제로 결정한 해양구조물 블록 탑재 시뮬레이션은 해상 크레인을 이용하여 블록 1 을 들어올리고, 들어올린 블록 1 을 블록 2 위에 탑재하면서 블록 간에 간섭이 발생하는지를 확인하고, 간섭이 발생한다면 간섭을 일으킨 장비와 위치를 출력하는 시뮬레이션이다.

시나리오는 다음과 같다. 우선, 해상 크레인과 블록 1 이 놓여 있다. 해상 크레인에는 4 개의 블록 로더(block loader)가 있는데, 각각 1, 2, 3, 4 번의 번호가 할당되어 있다(Fig. 5). 4 개의 블록 로더에 각각 4 개씩 총 16 개의 wire 를 블록에 연결한다. 1, 2, 3, 4 번 블록 로더를 감아 올려서 블록 1 을 특정 위치까지 들어올린다(Fig. 6). 실제 작업에서는 해상 크레인이 블록 1 을 들어올린 채로 블록 2 가 있는 위치까지 이동해야 하겠지만,

Fig. 5 Initial setting in the block erection simulation, block 1 and one floating crane which has four block loaders

Fig. 6 Lifting of the block 1 in the block erection simulation

Fig. 7 Putting down of the block 1 on the block 2 in the block erection simulation

Fig. 8 Interference check between the block 1 and the block 2 in the block erection simulation

본 논문에서는 해상 크레인이 블록 1을 들어올린 채로 블록 2가 블록 1 아래에 나타나는 것으로 가정하였다. 그 후에 해상 크레인의 1, 2, 3, 4번 블록 로더를 풀어 내려서 블록 1을 블록 2 위에 내려 놓게 된다(Fig. 7). 이 때 블록 1과 블록 2 사이의 간섭을 검사하게 된다. 만약 간섭이 일어나면 시뮬레이션을 정지하고 간섭이 일어난 장비와 그 위치를 확인한다(Fig. 8).

3.2 해양구조물 블록 탑재 시뮬레이션 모델링

해양구조물 블록 탑재 시뮬레이션은 이산 사건과 이산 시간이 혼합된 시뮬레이션으로 구성하였다.

Fig. 9 Modeling of the block erection simulation

Fig. 9와 같이 해양구조물 블록 탑재 시뮬레이션에는 Block controller, Crane, Dynamics model이라는 3개의 시뮬레이션 모델이 존재한다. Block controller는 블록 1, 2를 Crane 모델로 전달해주는 역할을 하고 Crane이 블록 1, 2의 탑재를 완료하면 이를 처리하는 역할을 한다. Crane은 Block controller로부터 블록 1, 2를 전달 받아 블록 1을 들어올리고 블록 2 위에 내려 놓는다. 그리고 매 단위 시간마다 Dynamics model로부터 블록 로더의 위치나 블록 간의 간섭 여부를 전달 받는다. Dynamics model은 해상 크레인과의 블록 1, 2의 형상 정보를 저장하고 있고, 동역학 및 그래픽스 통합 모듈로부터 매 단위 시간마다 블록 로더의 위치, 블록 간의 간섭 여부를 계산하여 Crane에게 전달하는 역할을 한다.

3.3 해양구조물 블록 탑재 시뮬레이션의 결과

블록 1을 블록 2 위에 내려 놓는 과정에서 Fig. 10과 같이 간섭이 발생하였다. 간섭이 발생한 장비와 위치가 출력되는데, 정확히 확인하기 위해 해상 크레인의 원편에서 바라보았다. 간섭이 발생한 장비는 블록 1의 원기둥 형상 지지대와 그 지지대에 사다리와 같이 붙은 장비였다. 실제로는 탑재가 완료된 이후에 사다리를 지지대에 설치하는 것인데, 블록 2의 형상 모델을 추출하는 과정에서 사다리가 함께 추출되었기 때문이다.

Fig. 10 Occurrence of interference during the block erection simulation

본 시뮬레이션 결과를 통해서 이산 사건 및 이산 시간으로 시뮬레이션이 올바르게 진행되는 것을 확인할 수 있었고, 동역학 및 그래픽스 통합 모듈이 간섭 검사를 수행하여 간섭이 발생하는 장비와 위치를 출력할 수 있었다. 실제와 유사한 정확한 블록 형상 모델이 입력된다면 시뮬레이션 결과도 실제와 유사하게 나올 것이라고 판단된다.

4. 해양구조물 블록 Turn-Over 시뮬레이션(CASE-2) 적용 결과

4.1 해양구조물 블록 Turn-Over 시뮬레이션의 개요

본 논문에서 적용 예제로 결정한 해양구조물 블록 Turn-Over 시뮬레이션은 해상 크레인 1 기와 크롤러 크레인 3 기를 사용하여 블록을 Turn-Over 하면서 각 lug 에 작용하는 반력 및 wire 와 블록 간의 간섭 발생 여부를 파악하는 시뮬레이션이다.

시나리오는 다음과 같다. 우선, 해상 크레인 1 기와 크롤러 크레인 3 기, 블록이 놓여 있다(Fig. 11). 해양구조물 블록 탑재 시뮬레이션과 마찬가지로

지로 해상 크레인은 1, 2, 3, 4 번의 블록 로더 4 개를 가지고 있다. 해상 크레인의 1, 2 번 블록 로더에 각각 4 개씩 총 8 개의 wire 를 연결하고, 3 기의 크롤러 크레인에 각각 1 개씩 총 3 개의 wire 를 연결하여 블록이 지면과 약간 떨어질 정도만큼 블록을 들어올린다(Fig. 12). 그 상태에서 해상 크레인의 1, 2 번 블록 로더만 계속 감아 올려서 블록이 거의 수직으로 서도록 한다(Fig. 13). 이 때 3 기의 크롤러 크레인의 wire 를 풀어 내림으로써 블록이 완전하게 해상 크레인의 1, 2 번 블록 로더로만 들고 있도록 한다(Fig. 14).

이제 3 기의 크롤러 크레인에 연결되어 있는 wire 를 해제하고 반대편에 해상 크레인 3, 4 번 블

Fig. 11 Initial setting in the block turn-over simulation

Fig. 12 Hoisting of no.1, 2 block loader and wires of three crawler cranes until the block is lifted up from ground in the block turn-over simulation

Fig. 13 Hoisting of no.1, 2 block loader until the block is lifted up vertically in the block turn-over simulation

Fig. 16 Hoisting down of no.1, 2 block loader until the block is set horizontal in the block turn-over simulation

Fig. 14 Hoisting down of the wires of three crawler cranes until only no.1, 2 block loaders are lifting the block in the block turn-over simulation

Fig. 17 Hoisting down of no.1, 2, 3, 4 block loader until the block is putted down on the ground in the block turn-over simulation

Fig. 15 Hoisting of no.3, 4 block loader until the block is lifted in the block turn-over simulation

록 로더에 각각 4 개씩 총 8 개의 wire 를 연결한다. 해상 크레인의 3, 4 번 블록 로더를 감아 올려서 1, 2, 3, 4 번 모든 블록 로더에 힘이 실리도록 한다(Fig. 15). 그리고는 해상 크레인의 1, 2 번 블록 로더를 서서히 풀어 내림으로써 블록이 Turn-Over 된 상태에서 수평이 되도록 하고(Fig. 16), 마지막으로 해상 크레인의 1, 2, 3, 4 번 모든 블록 로더를 풀어 내려 놓아서 블록이 지면에 닿도록 하면 Turn-Over 과정이 성공적으로 수행된 것이다(Fig. 17).

4.2 해양구조물 블록 Turn-Over 시뮬레이션의 모델링

해양구조물 블록 Turn-Over 시뮬레이션의 모델링 방법은 해양구조물 블록 탑재 시뮬레이션과 거의 유사하다. 이산 사건과 이산 시간이 혼합된 시뮬레이션으로 구성하였다.

Fig. 18 과 같이 해양구조물 블록 Turn-Over 시뮬레이션에는 Block controller, Crane, Dynamics model 이라는 3 개의 시뮬레이션 모델이 존재한다. Block controller 는 블록을 Crane 모델로 전달해주는 역할을 하고 Crane 이 블록의 Turn-Over 를 완료하면 이를 처리하는 역할을 한다. Crane 은 Block controller 로부터 블록을 전달 받아 블록을 Turn-Over 한다. 그리고 매 단위 시간마다 Dynamics model 로부터 블록 로더의 위치나 블록과 wire 의 간섭 여부를 전달 받는다. Dynamics model 은 해상 크레인과 크롤러 크레인, 블록의 형상 정보를 저장하고 있고, 동역학 및 그래픽스 통합 모듈로부터 매 단위 시간마다 크레인의 위치, 블록과 wire 의 간섭 여부 등을 계산하여 Crane 에게 전달하는 역할을 한다.

Fig. 18 Modeling of the block turn-over simulation

4.3 해양구조물 Turn-Over 시뮬레이션 결과

우선, 시뮬레이션이 진행되는 동안 1 번 블록 로더에 연결된 lug 4 개에 작용하는 반력을 계산해 보았다(Fig. 19). 반력은 동역학 및 그래픽스 통합 모듈에서 계산이 된다. 1 번 블록 로더는 각 lug 와 한 개의 wire 로 연결되어 있고, 이퀄라이저(equalizer)라는 기능을 가지고 있기 때문에, 각

lug 에 작용하는 모든 반력의 크기는 같게 되도록 조정된다. 이 예제의 블록 중량은 약 500 ton 이다.

블록이 지면으로부터 리프팅되는 순간 반력이 작용하기 시작하며(Fig. 19-①), 크롤러 크레인에 연결된 wire 를 해제하면, 1,2 번 블록 로더만으로 블록을 리프팅 하기 때문에 블록 중량의 거의 절반인 250 ton 이 1 번 블록 로더에 연결된 lug 4 개에 반력으로 작용하게 되고, 따라서 각 lug 에는 약 60 ton, 즉 약 600kN 이 작용하게 된다(Fig. 19-②). 그 후에 3,4 번 블록 로더가 연결되면서 블록의 중량이 분산되어 1 번 블록 로더에 연결된 lug 에 작용하는 반력은 다시 작아지게 된다(Fig. 19-③). 그리고 블록이 지면에 닿는 순간부터 반력이 급하게 감소하게 된다(Fig. 19-④).

그리고, Turn-Over 과정 중에 블록과 wire 간에 간섭이 발생하는지를 검사하였다. 시뮬레이션이 진행되는 동안 간섭이 발생하지는 않았지만, Fig. 20 과 같이 크롤러 크레인이 wire 를 거의 다 풀어

Fig. 19 Forces acting on the lugs connected with no.1 block loader in the block turn-over simulation

갈 때에 간섭이 발생할 가능성이 매우 크다는 것을 파악할 수 있었다. 간섭이 발생하지 않게 하기 위해서는 크롤러 크레인이 블록의 반대 쪽으로 약간 이동을 해야 한다. 그런데 블록을 들고 있는 상태에서 크롤러 크레인을 움직이면 크롤러 크레인이 중심을 잃을 위험이 있기 때문에 주의하여야 한다.

Fig. 20 A possible interference between the wires of the crawler cranes and the block in the block turn-over simulation

5. 결론 및 향후 연구 계획

본 논문에서는 선행 연구를 통해 제안된 조선용 공정 시뮬레이션을 위한 시뮬레이션 프레임워크와 이산 사건 및 이산 시간 혼합형 시뮬레이션 커널, 동역학 및 그래픽스 통합 모듈에 대해 검토하였다. 최근 중요성이 부각되고 있는 작업인 해상 크레인을 이용한 해양구조물 탑재 및 Turn-Over 시뮬레이션에 이를 적용함으로써 본 논문에서 제안한 시뮬레이션 프레임워크의 효용성을 검증하였다. 시뮬레이션 결과를 분석해 본 결과, 실제 작업에서 발생할 수 있는 간섭 문제를 사전에 확인할 수 있었으며, lug 에 작용하는 반력을 계산하여 lug 의 허용 반력에 대해 검토를 해 볼 수 있었다.

추후에는 시뮬레이션 결과에 대해 실제 데이터와 검증(validation)을 수행할 계획이고, wire dynamics 에 대해 더욱 심층적인 연구를 진행하고자 한다.

후 기

본 연구는

- a) 대우조선해양(주)
- b) 국방과학연구소 수중운동체기술특화센터 SM-11 과제 “수중 운동체의 체계/부체계 기능 및 성능 시뮬레이션을 위한 네트워크 기반의 가상(Virtual) 복합 시스템 모델 구조(Architecture) 연구”

- c) 서울대학교 해양시스템공학 연구소
- d) 서울대학교 BK 21 해양기술인력양성사업단
- e) 울산대학교
- f) 2007 년도 목포대학교 학술연구비

의 지원과 2008 년도 정부재원(교육인적자원부 학술연구조성사업비)으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 연구되었음(KRF-2008-314-D00494)을 밝히며, 이에 감사 드립니다.

참 고 문 헌

- Bang, K.W., 2006, Combined Discrete Event and Discrete Time Simulation Framework for Shipbuilding Process Planning, M.Sc. Thesis, Seoul National University.
- Bang, K.W., Lee, K.Y., Cha, J.H., Roh, M.I., and Kim, H.J., 2007, "Proposal of a Combined Discrete Event and Discrete Time Simulation Framework and Its Application to the Block Erection Process in Shipbuilding," Proceedings of the Annual Meeting, The Society of CAD/CAM Engineers of Korea, pp. 297-305.
- Cha, J.H., Bang, K.W. and Roh, M.I., 2006, Calculation of the Wire Tension and Angle of a Crane Using an Open Dynamics and Collision Calculation Library ODE(Open Dynamic Engine), Technical Report, Advanced Ship Design Automation Laboratory, Seoul National University.
- Cha, J.H., Lee, K.Y., Roh, M.I., Ham, S.H., Suh, H.W., and Park, K.P., 2007, "A Strategy

for Integration of Dynamics Module and Visualization Module for Shipbuilding Process Simulation," Proceedings of the Annual Meeting, The Society of CAD/CAM Engineers of Korea, pp. 385-391.

< 차 주 환 >

< 노 명 일 >

< 조 두 연 >

< 이 규 열 >