

# 시추 작업장의 이동식 시추 장비 충돌 방지 시스템을 위한 프레임워크 개발

이재용  
동의대학교 조선해양공학과

## Development of a Framework for Anti-Collision System of Moving Drilling Machines on a Drill Floor

Jaeyong Lee

Department of Naval Architecture and Ocean Engineering, Dong-eui University

**요 약** 다수의 대형 이동식 장비들이 운용되는 시추 작업장에는 장비 상호 간의 충돌을 방지하는 시스템이 필요하다. 장비들이 보내는 신호를 수신하여 상대적인 위치를 비교함으로써 충돌 가능성을 검사하고 필요할 때는 정지하도록 하여 사고를 방지하기 위함이다. 복수의 장비 사이에 일어나는 충돌을 검사하기 위해 장비의 형태를 단순화한 경계상자가 사용된다. 경계 상자들이 겹치는 공간을 점검하여 충돌을 파악하는 방식이다. 하지만, 시추 관련 핵심 장비 뿐 아니라, 충돌 방지시스템도 소프트웨어를 수입하여 설치만 하였고, 이에 따라 기본 기술은 확보하지 못한 상태이다. 본 논문에서는 시추 작업에 사용되는 장비의 확장성과 연산속도를 고려한 충돌방지시스템의 프레임워크를 구성하여 장비와 충돌방지시스템 개발의 기반을 마련하였다. 각각의 시추 장비는 해당 소프트웨어에서 특정한 메시지 형식을 가진 오브젝트로 표현되고, 추가되는 장비나 데이터 형식에 유연하게 대처할 수 있도록 데이터를 직렬화/역직렬화 방식으로 구성하였다. 전체 시스템을 제어하는 네트워크로부터 장비의 현 상태를 수신한 후 미리 규정된 약속에 따라 분류하고, 충돌을 검사하며, 바이패스 신호 등을 포함하여 움직임과 관련한 명령을 장비로 되돌려 보내는 데이터 처리 프로세스를 구현하였다. 상용 가시화 소프트웨어를 사용하여 충돌 검사를 위한 경계 상자들이 장비와 함께 움직이며 충돌 발생 상황을 보이도록 하였다. 여러 대의 장비로 임의의 시추 작업장을 구성하고, 제시된 프레임워크가 정상적으로 작동하는 것을 확인하였다. 네트워크로부터 신호를 수신하여 처리한 후 관련 정보를 재송신 하는 데 걸리는 시간이 5ms 이하를 유지함으로써, 100ms의 장비 제어주기에 지장을 주지 않는 것을 확인하였다.

**Abstract** An anti-collision system between equipment is essential on a drill floor where multiple moving machines are operated simultaneously. This is to prevent accidents by halting the machines when required, by inspecting possibility of a collision based on the relative position data sent by the equipment. In this paper, we propose a framework for an Anti-Collision System (ACS) by considering expandability of the number of machines and computational speed, to promote development of drilling machines and corresponding ACS software. Each drilling equipment is represented as an object in the software with its own message format, and the message is constructed with serialization/deserialization to manage any additional equipment or data. The data handling process receives the current status of machines from the drilling control network, and relays a collision related message (including bypass signal) back to the machines. A commercial visualization software shows the bounding boxes moving with the equipment and indicates probable collision. It has been determined that the proposed system maintains total execution time below 5ms to process data from the network and relay the information hence, the system has no effect on the machine control systems having 100ms control cycle.

**Keywords** : Anti-Collision System, Drilling machines, Bypass function, Bounding box, Component

본 논문은 산업통상자원부 산업기술혁신사업(과제번호:10070163)과 2018학년도 동의대학교 연구년 지원에 의하여 연구되었음.

\*Corresponding Author : Jaeyong Lee(Dong-eui Univ.)

email: jlee@deu.ac.kr

Received December 11, 2019

Revised January 9, 2020

Accepted April 3, 2020

Published April 30, 2020

## 1. 서론

시추작업장(Drill Floor)에는 많은 수의 장비들이 좁은 공간에서 함께 운용되며, 때에 따라서는 장비들이 위치를 옮겨가며 작업하는 경우도 있다. 시추작업장에 설치된 장비들은 대형 파이프 등을 대상으로 하므로 크기가 큰 경우가 대부분이다. 또한 파이프의 연결, 해체 및 굴착 관련 작업을 위해 파이프를 상승 및 하강시키는 작업을 할 경우, 여러 대의 장비들이 함께 운용되는 경우가 많다. 이럴 때 대형 장비들이 서로 인접하여 작업하게 되고, 장비 상호 간의 충돌이 발생할 위험이 있다. 장비의 운용은 자동, 반자동, 수동의 형태로 진행되는데, 어느 경우에도 장비 사이에 충돌이 있을 수 있다. 자동 운영 시에는 특정 장비에 부착된 센서의 고장 등으로 잘못된 데이터가 생성될 수 있고, 충돌방지 로직이 비정상적으로 작동하면서 오류가 발생할 수도 있다. 반자동과 수동 작업의 경우 운영자의 실수로 충돌이 일어날 가능성이 존재한다. 반자동의 경우 자동으로 움직이는 장비와 운영자에 의해 수동으로 움직이는 장비 사이에 충돌 가능성이 있으며, 수동의 경우 복수의 운영자가 각각 조작 중인 장비가 다를 때 충돌이 발생할 가능성이 존재한다. 대형 장비의 특성상 장비 간의 작업 구역이 겹치는 경우 대형 사고로 이어질 수 있다. 이를 방지하기 위하여 이동하는 장비들의 위치 정보를 바탕으로 충돌을 방지하기 위해 충돌방지시스템(ACS, Anti Collision System)이 활용되고 있다 [1,2]. 시추시스템의 충돌방지시스템은 일반적으로 SMI (Smart Machine Integrator)의 한 부분으로 구성된다.

충돌방지시스템은 기본적으로 각 장비로부터 위치 등을 포함하는 상태 데이터를 받아 충돌 가능성을 검사한다. 시추작업을 분석하여 상호 충돌이 발생할 수 있는 모든 가능성을 점검하고, 이와 관련되어 있는 모든 장비로부터 데이터를 수신해야 한다. 시추장비의 제어하기 위해 구성된 네트워크를 통해 관련 데이터가 충돌방지용 서버로 수신되면, 충돌방지시스템이 이 데이터를 가공하여 검사를 수행하고, 그 결과에 대한 조치 사항을 각 장비로 재송신하게 된다. 또한 일반적으로 사이버베이스라 불리는 운영 제어 장치로 신호를 보내어 HMI (Human Machine Interface)를 통하여 운영자가 충돌 관련 상황을 점검할 수 있도록 하는 기능이 있다.

가장 일반적으로 사용되는 충돌검사는 개별 장비에 경계상자(bounding box)를 생성하고, 각각의 경계상자 간 중복되는 공간이 존재하는 것을 점검하는 작업이다. 시추장비의 기능 분석 결과에 따라 전체 장비가 하나의

영역으로 표현되기도 하고, 장비의 일부만 점검 영역에 포함되기도 하며, 여러 개의 서브 시스템으로 분류할 수도 있다. 이는 본체의 경계상자가 지나치게 커지는 것을 방지하고, 보다 현실적으로 충돌을 감지하기 위한 목적이다. 경계상자에는 여러 가지 형태가 있으며, 최적화에는 몇 가지 요소가 고려된다. 우선 해당 장비의 경계를 정확히 표현하여 불필요한 영역이 포함되지 않는 것과 충돌과 관련한 연산에 많은 시간이 걸리지 않아야 하며, 상자의 이동이나 회전이 용이하고, 저장 시 메모리 사용도 적어야 한다.

3D 장비를 표현하기 위해 사용되는 경계 상자로는 구(Sphere), 축 정렬 경계 상자(AABB, Axis Aligned Bounding Box), 방향성 경계 상자(OBB, Oriented Bounding Box), k-방향 다면체(k-DOP, k-Direction Discrete Orientation Polytope), 볼록 껍질(convex hull) 등이 사용되고 있다. 앞서 언급한 경계상자의 요구 사항을 모두 만족시키는 것이 이상적이지만 실제로 구현할 때에는 각 경계 상자별로 특징이 대치되는 경우가 많다. 따라서 세밀한 충돌검사를 하면서도 실시간으로 처리가 가능한 형식을 선택하는 것이 필요하다[3].

충돌검사를 위한 데이터를 처리하는 시스템은 전체 시추작업을 총괄하는 작업 제어용 시스템이나 기타 장비와는 별도의 장치에서 처리해야 한다. 이는 바이패스 등의 기능을 구현할 때, 타 장비와 독립적으로 구성되어야 충돌방지 관련 오작동을 막을 수 있기 때문이다. 즉 시스템으로의 접근 권한을 제한하여 작업 책임자에 한정함으로써 안정성을 높일 수 있다. 실제 시추현장에서도 툴 푸셔(Tool Pusher) 등 시추 최고 책임자급만 충돌방지 신호에 대한 바이패스 기능을 실행할 수 있는 권한을 가질 수 있다.

충돌방지시스템은 장비와 연결되어 있는 네트워크로부터 관련 데이터를 받아 처리하고 결과를 다시 네트워크를 통해 장비로 되돌려 보내는 것이 필요하다. 시추 자동화 시스템의 개발 단계에서는 장비의 수량이나 종류, 그리고 배치가 계속 변경되는 것이 일반적이다. 따라서 변화에 유연하게 대처하면서 충돌 감시 기능을 수행할 수 있도록 해야 한다. 장비 수가 늘어나거나, 검사에 필요한 데이터가 추가될 때 충돌방지시스템 자체가 크게 변하지 않도록 유지하는 것이 필요하기 때문이다.

본 논문에서는 장비의 추가와 배치의 변화에 유연하게 대응할 수 있는 충돌방지시스템의 프레임워크를 개발하였다. 장비가 보내는 신호를 수신하여 데이터를 분석하는 모듈, 장비의 위치를 나타내는 가시화 모듈, 장비 사이의

충돌을 감지하는 모듈, 그리고 충돌관련 정보를 가공하여 장비로 보내는 모듈로 구성된 충돌방지시스템의 기본 골격을 이루는 프레임워크를 구성하였다. 장비에서 보내는 데이터를 바탕으로 충돌을 감지하여 안전조치를 취할 수 있으며, 바이패스 기능을 추가하여 필요할 때는 충돌 가능성에도 불구하고 작업이 계속 진행되도록 하는 바이패스 기능도 구현하였다. 모듈형식의 구성을 통해 장비 수의 변화나, 충돌방지 로직에 필요한 데이터의 양이 변경되더라도, 프로그램 코드 변화가 최소화되도록 하였다. 상용 3D 가시화 프로그램을 사용하여 실제 크기의 장비를 운영하면서 프레임워크의 정상 작동을 검증하였다.

## 2. 시스템관련 장비 및 시스템 설계

### 2.1 시추시스템 구성 장비

본 연구에서 고려하고 있는 시추장비는 Fig. 1에 나타난 바와 같이 탑 드라이브(top drive), 캣워크(catwalk), 파이프 래커(pipe racker), 그리고 통(tong) 장비 등이다.

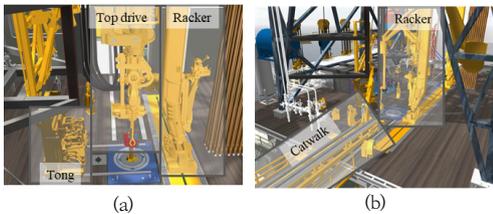


Fig. 1. Drilling machines on a drill floor  
(a) Top drive, racker and tong (b) Racker and catwalk

장비의 이름과 기능은 슐럼버저(Schlumberger)사의 홈페이지에서 제공하는 용어집 사례를 참조로 하였다 [4]. 대부분의 육상 및 해상용 시추설비의 작업장에서는 이 장비들이 주로 자동화에 활용되고 있다.

시추 작업장에서 이루어지는 가장 기본적인 업무 단위는 스탠드 빌딩(stand building)과 굴착 공정이라고 할 수 있다. 시추 작업에 소요되는 시간을 절약하기 위해 2~3개의 파이프를 연결하여 하나의 긴 파이프를 만들어 사용하는 데 이를 스탠드(stand)라고 하고, 스탠드를 만드는 공정을 스탠드 빌딩이라고 한다. 일반적으로 시추 작업장에는 스탠드 빌딩을 위해 마우스 홀(mouse hole)이 설치되어 있다.

시추 작업을 본격적으로 진행하기 위해 시추 파이프들을 저장 위치에서 시추 작업장으로 이송할 때 사용되는

직사각형 모양의 이송 장치가 캣워크(catwalk) 장비이다. 캣워크 장비가 시추작업장까지 접근하면 장비에 설치된 테일 암(tail-in arm) 장치를 사용하여 파이프 기립 작업을 진행하게 된다.

캣워크 장비를 통해 시추작업장으로 이송된 파이프를 마우스 홀 위에 수직으로 세워 스탠드 빌딩 작업을 진행하는 데 사용되는 장비가 파이프 래커이다. 완성된 스탠드를 시추에 사용하도록 시추정 중심(well center)으로 옮기거나, 추후 활용하기 위한 보관 장소인 랙(rack)과 시추정 중심 사이에서 스탠드를 옮기는 데도 활용된다.

마우스 홀이나 랙에 보관되어 있던 스탠드를 파이프 래커를 통해 시추정 중심으로 가지고 오면 통 장비를 사용하여 토크를 가함으로써 2개의 스탠드를 서로 연결한다. 통 장비에는 스탠드 체결용(makeup tong)과 해체용(breakout tong)이 있는데, 현대 시추설비에 활용되는 하이드라통(hydratong)은 두 가지 기능 모두 수행 가능하다.

굴착을 위해 파이프를 하강시키거나 파이프를 위로 다시 들어 올리는 트리핑 공정이나 시추 파이프를 회전시켜 굴착작업을 진행하는 데 사용하는 주 장비가 탑 드라이브이다. 1~2개 정도의 전기 또는 유압 모터를 사용하고 있으며, 시추 작업을 위해 트래블링 블록(travelling block)에 연결되어 상하로 움직인다. 장비 내부의 백업 통(backup tong)을 이용하여 파이프 체결에 사용되기도 한다. 트래블링 블록을 포함하여 탑 드라이브를 상하로 이동시키는 권양기로 사용되는 것이 드로우워크(drawworks)이다. 시추라인을 풀면 트래블링 블록이 자중에 의해 하강하고, 감으면 올라가게 된다. 주로 전기나 디젤엔진을 사용하고 있다.

### 2.2 경계 상자와 충돌 감지

본 연구에서는 Fig. 2에 있는 기존의 경계 상자의 종류를 분석하여 충돌방지시스템에 적용 가능한 방식을 조사하였다. 블록 꺾질 방식의 경우 물체에 최대한 맞게 공간을 생성할 수 있으나 충돌 감지에 필요한 연산이 복잡하게 이루어진다. 정도의 차이는 있으나 k-DOP 방식도 같은 단점을 가지고 있으므로, 실제 충돌 감지를 위한 경계상자는 축 정렬 경계상자 방식과 방향성 경계상자 방식이 적합하다. 통신 속도의 제한 및 공간 사용 효율성을 고려하여 축 정렬 경계상자 방식을 기본적으로 적용하고, 일부 회전운동을 고려해야 하는 장비(파이프 래커)의 경우 방향성 경계상자 방식을 적용하였다.

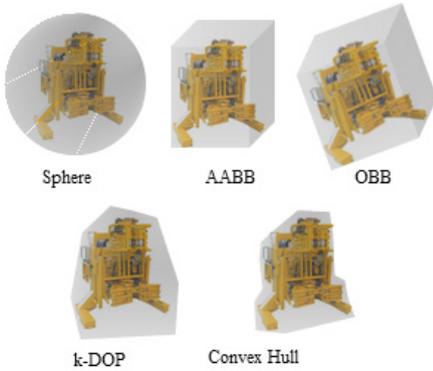


Fig. 2. Example of various bounding boxes for NOV hydratong

일부 시추장비의 경우 여러 개의 세부 장치들로 이루어져 있으며 이들 중 일부는 이동 본체와 별개로 활동 영역을 가지기도 한다. 즉, 몸체에서 관절 등을 통하여 움직이는 것이다. 이러한 세부 장치들은 별도의 경계 상자를 구성하는 것이 바람직하다. 이를 통해 본체의 경계상자가 지나치게 커지는 것을 방지할 수 있는 동시에 보다 세밀한 충돌 검사를 수행할 수 있기 때문이다.

본 논문에서 고려하는 장비의 세부 장치들의 명칭과 개수를 Table 1에 나타내었다. 탑드라이브는 엘리베이터 링크(elevator link) 또는 배일(bail)의 회전 각도 등을 고려하여 이동 본체와 분리하는 것이 필요하나, 현 시점에서는 고려하지 않고, 하나의 몸체가 상하운동을 하는 것으로 한정하였다.

Table 1. Subsystems for each drilling equipment

Equipment	Subsystems
Top Drive	Top Drive
Tong	Spinner, Tool Frame, Base Frame
Racker	Upper Arm, Main Arm, Pick Up Elevator, Tail Arm, Trolley
Catwalk	Skate

또한, 컷워크의 경우에도 테일 암(tail arm)을 고려하지 않고 이동 본체(skate)의 움직임만 고려하였다. 통은 베이스 프레임이 이동 본체이며, 툴 프레임과 스피너를 세부 장치로 설정하여 파이프 관련 작업 시 타 장비와의 간섭을 검사할 수 있도록 하였다. 래커는 트롤리(trolley)을 이동 본체로 하고, 3개의 작업용 팔과 컷워크와 파이프 기립에 필요한 픽업 엘리베이터로 세부 장치를 구성하였다.

### 2.3 바이패스 기능

경우에 따라서는 충돌방지시스템에서 보낸 정지 신호에 의해 정지된 장비를 충돌방지용 로직을 적용하지 않고 이동 시켜야 하는 경우가 있다. 수리의 목적으로 지추 작업장의 특정 구역으로 이동하는 경우나 충돌이 일어난 상황에서 두 장비를 분리하는 경우 등이다. 시추설비의 충돌방지시스템과 관련해서는 크게 무시(ignore)와 해제(release) 두 가지의 경우로 구분할 수 있다. 무시나 해제 기능은 SMI에 있는 스위치 박스의 형태로 구현된다. 해당 스위치가 On 됨에 따라 기능이 활성화되는 방식이다.

무시 신호의 경우 시추작업장에서 특정 장비가 “센서 신호 불안정” 상태에서도 계속 운영될 수 있도록 한다. 해당 장비가 다른 장비들에게 보이지 않게 만드는 효과가 있다. 즉 어떤 장비의 무시 스위치가 On된 경우 충돌방지시스템은 해당 장비로부터 받은 위치 정보를 무시하고 다른 장비들에게 충돌 위험을 알리지 않는 것이다. 따라서 충돌 가능 영역에 해당 장비를 포함한 복수의 장비가 위치하더라도 다른 장비들에게 정지 신호를 보내지 않게 된다.

해제 신호는 해당 장비가 충돌방지시스템에 의해 생성되는 다른 모든 장비와의 정지 신호에 반응하지 않도록 만드는 효과가 있다. 해당 장비가 명령에 의해 움직일 경우 다른 장비들과 충돌할 수 있으나, 다른 장비들의 움직임은 여전히 ACS의 신호를 받고 있으므로 해당 장비와 충돌하지 않도록 정지하게 된다. 즉 해제가 적용되는 장비의 경우 이는 해당 장비가 자신의 위치 정보를 계속 충돌방지시스템으로 송신하는 경우이다.

## 3. 충돌방지시스템 서버 설계

### 3.1 시추용 제어 네트워크

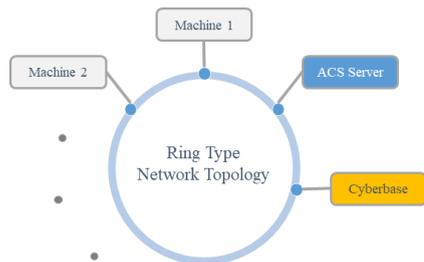


Fig. 3. Drilling control networks

충돌방지시스템을 포함한 전체 시추작업을 제어하는 네트워크의 구성은 Fig. 3과 같다. 시추작업장 위의 각 장비들은 IP가 할당된 통신용 장치를 가지고 있으며, 이를 통해 장비 관련 데이터를 링 토폴로지를 구성하고 있는 네트워크로 송신하고, 사이버베이스나 충돌방지시스템에서 보낸 데이터를 수신한다. 충돌방지시스템(ACS) 서버는 다른 장비에서 송신한 링 토폴리지 상의 데이터를 선별하여 수신한다. 시추용 장비의 IP와 그 장비별로 할당되어있는 ACS 서버측 포트 번호를 통해 네트워크로부터 수신된 데이터의 발송지를 확인하고, 해당하는 충돌방지시스템 S/W로 보내어 관리하도록 한다. 속도를 고려하여 통신용 프로토콜은 UDP 방식을 채용하였다.

### 3.2 ACS 서버의 구성

ACS 서버의 전체적인 구성은 Fig. 4와 같다. 크게는 하드웨어 측면의 네트워크 모듈과 소프트웨어 측면의 ACS 프로그램으로 구성된다.

서버의 네트워크단에서 수신된 메시지는 헤더 부분에 포함되어 있는 아이피와 포트 정보를 바탕으로 해당 정보를 충돌방지시스템 소프트웨어로 보내진다. 충돌방지시스템을 구현하기 위해 각각의 시추장비를 하나의 객체(object)로 하고, 가져야 하는 기능들을 컴포넌트로 구성하였다. 기능별로 컴포넌트를 작성하고, 각 장비에 해당하는 객체에서 관련 컴포넌트를 삽입하는 방식으로 작성되었다.

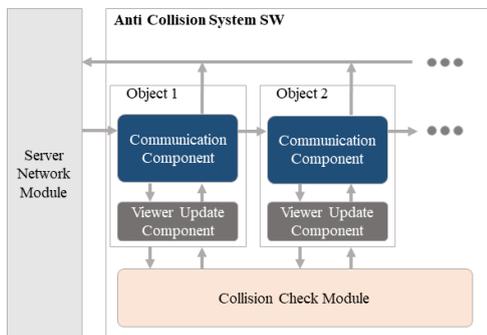


Fig. 4. Structure of ACS server

4종류의 장비(탑 드라이브, 래커, 통, 캣워크)에 대하여 객체를 형성하고, 동일 종류의 장비가 추가되는 경우 같은 형태의 객체에 아이피와 포트 정보만 변경하면 되도록 설정하여 확장성을 확보하였다. 메시지는 객체 별로 생성된 통신 컴포넌트를 순서대로 통과하도록 하였다. 메

시지의 헤더부분에 포함되어 있는 송신측 장비의 아이피와 대상 포트 값을 확인하고, 해당 장비에 해당하는 경우 메시지를 받아서 처리하게 된다. 해당 장비가 아니라고 판단할 경우 데이터를 다음 객체의 통신 컴포넌트로 넘기게 된다. 자신에게 해당하는 메시지는 데이터 처리 프로세스 절차에 따라 작업을 진행한 후 충돌 점검 모듈로 보내어 충돌 검사를 수행하게 된다.

### 3.3 데이터 처리 프로세스

컴포넌트 내부로 들어온 데이터는 각 장비별로 미리 정해진 규약에 따라 데이터를 처리하게 된다. 데이터 분리 함수(Data split function)에서 규정된 순서로 나누어진 데이터는 해당 정보에 해당하는 경계상자의 위치를 할당하게 되고 뷰어(viewer)는 이를 업데이트 하여 장비 위치를 이동시킨다. 메시지 구성은 장비와 정보의 추가를 염두에 두고 직렬화 방식을 적용하여 유연성을 가지도록 하였다. Table 2.에 현재 구현된 장비별 데이터 형식과 구성을 나타내었다.

Table 2. Types of data in ACS communication

Equipment	Data Types (quantities)
Top Drive	Bool (2), Float (1)
Tong	Bool (2), Float (9)
Racker	Bool (2), Float (11)
Catwalk	Bool (2), Float (1)

장비별로 2개의 불(bool)형 데이터는 장비의 센서 시스템에 문제가 있음을 나타내는 'Not Healthy' 신호와 장비의 해제 바이패스 신호를 나타내도록 구성하였다. 충돌과 관련한 기본 데이터의 위치와 자세 관련 정보는 실수형으로 처리하였다. 다른 하나의 불형은 해당 장비의 바이패스 여부를 포함하게 하였다. 탑 드라이브의 경우 수직 운동만 진행하므로 하나의 높이 관련 실숫값으로 표현하였다. 통은 3개의 세부장치의 위치 데이터를 기반으로 구성하였다. 래커는 일부 세부장치는 직선 운동, 일부 세부장치는 회전운동을 수행하므로 이를 반영한 데이터 구성을 하였다. 트롤리는 1개의 축 방향 직선운동만 수행하므로 1개의 위치 값으로 표현하고, 3개의 팔들은 각각 3차원 위치데이터를 포함하도록 하였으며, 회전이 일어나는 칼럼(column)을 위해 회전 값을 포함하였다. 캣워크의 경우 마우스 홀까지의 수평운동만 고려하였다.

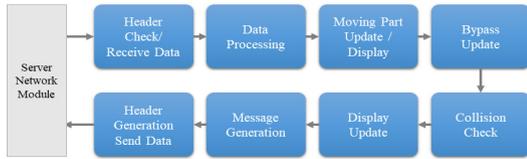


Fig. 5. Data flow sequence in an object

컴포넌트 별로 수신된 메시지를 처리한 후 Fig. 5에 나타난 바와 같이 컴포넌트 별 속성을 업데이트 한다. 이를 통해 뷰어로 가시화하여 화면으로 움직임을 볼 수 있게 구성하였다. 이후 수신된 데이터를 기반으로 바이패스 관련 값을 확인하고 이를 반영하여 충돌검사를 수행한다. 충돌이 있을 시에는 경계상자의 색상을 변경하여 디스플레이 함으로써 사용자가 충돌이 있음을 감지할 수 있도록 한다. 충돌이 없을 때는 이전의 화면을 유지한다. 충돌 여부에 따라 해당하는 메시지를 작성하고, 컴포넌트가 대변하는 장비의 아이피를 헤더에 삽입하여 네트워크로 전송하여 해당 장비가 대응할 수 있도록 하였다.

#### 4. 시뮬레이션

시뮬레이션을 위한 장비의 배치를 Fig. 6과 같이 설정하고 시추작업장에서의 대표적인 작업인 스탠드 빌딩과 트리핑 공적에 대해 시뮬레이션을 진행하였다. 탑 드라이브는 유정 중심에 한 대를 배치하고, 래커와 통은 유정 중심과 마우스 홀에 각각 한 대씩 배치하여 작업 시 사용되는 이동식 장비들의 충돌 방지를 검증할 수 있게 구성한 것이다.

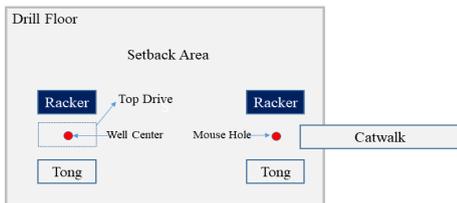


Fig. 6. Arrangement of a proposed drill floor

유정중심과 마우스 홀 사이의 거리는 6.2m, 통의 중심을 기준으로 유정중심에서 최대 5.3m 지점에 파킹 위치를 설정하고 작업 시 유정 중심 쪽으로 움직이는 것으로 하였다. 래커의 중심위치는 2.6m 지점에서 좌우로 움직이는 것으로 설정하였다. 충돌 관련 시각화는 3차원 개발 플랫폼인 유니티(Unity ver. 2018.2.11.f1)을 이용하여 구현하였다.

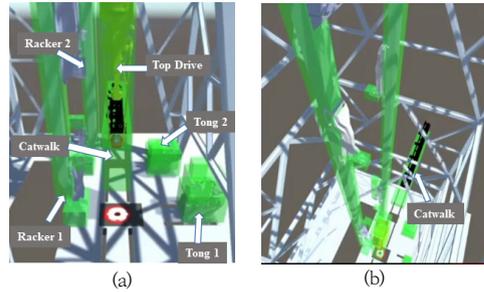


Fig. 7. Viewer screen of drilling equipment  
(a) Side view (b) Diagonal view

구현된 충돌방지시스템의 작동을 보여주는 3D 뷰어의 예가 Fig. 7에 나타나 있다. (a)에 붉은색 원의 형태로 나타나 있는 유정 중심에 래커 1과 통 1, 그리고 탑 드라이브가 작업을 위해 내려와 있는 상태를 나타내고 있고, (b)에 마우스 홀 쪽으로 접근한 캐트워크 장비가 표시되어 있다. 각 장비의 외곽에 경계상자가 표시되어 있다.

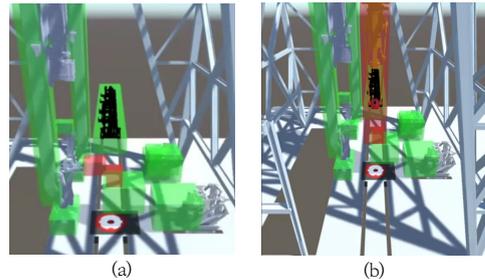


Fig. 8. Collision detection  
(a) Racker vs. Tong (b) Top Drive vs. Tong

Fig. 8은 충돌 감지에 따른 정지신호의 생성과 뷰어 업데이트의 예시 상황을 보여주고 있다. (a)는 래커와 통 사이의 충돌 감지의 예이고, (b)는 탑 드라이브와 통 사이의 충돌 감지 상황이다. 두 상황 모두 통의 스피너와 톨 프레임 장치가 본체 앞쪽으로 나온 상태에서 탑 드라이브나 래커의 팔과 부딪치는 상황이다.

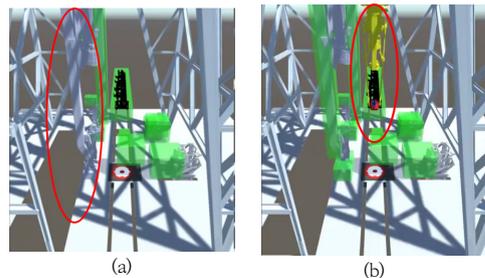


Fig. 9. Activation of ignore function  
(a) Racker vs. Tong (b) Top Drive vs. Tong

바이패스에 의한 신호의 오버라이드(override) 상황의 예를 Fig. 9에 나타내었다. (a)는 래커와 통의 충돌 상황에서 래커에 무시 신호를 보내 이동을 시작하는 동작을 보여주고 있다. (b)는 탑 드라이브와 통의 충돌 상황에서 탑 드라이브에 무시 신호를 전송하여 이동을 시작하는 상황을 구현하였다. 장비의 경계 상자가 정상적으로 제거되어 타 장비와의 충돌 감지를 무시하는 상황을 성공적으로 보여주고 있다. 충돌 구역에서 벗어난 후 무시 신호에 대한 오버라이드를 해소할 경우 Fig. 7에 나타난 바와 같이 경계상자가 정상적으로 재 생성되는 것도 확인하였다.

### 5. 결론

본 논문에서는 시추 작업장에 설치된 이동식 장비들의 상호 충돌을 감지할 수 있는 충돌방지시스템의 프레임워크를 구성하였다. 시추작업에 사용되는 장비들이 충돌방지시스템에 전송해야할 데이터의 내용과 형식 뿐 아니라 충돌 검사 후 충돌방지시스템이 장비로 회신할 데이터의 형식과 내용도 정의하였다. 한 장비 내에서도 이동 부위에 따라 경계상자를 별도로 설정할 수 있도록 하여 보다 세밀한 충돌 검사가 이루어 질 수 있도록 하였다.

장비들이 보내는 데이터를 수신하고 아이피와 포트번호를 사용하여 해당 장비를 대변하는 컴포넌트에서 관련 데이터가 처리하는 프로세스를 수립하였다. 3D 뷰어를 사용하여 장비의 이동과 충돌 검사 결과를 가시적으로 보여주도록 하였고, 장비가 추가되거나 데이터 양이 늘어 나더라도 능동적으로 처리할 수 있도록 직렬화 방식으로 데이터를 구성하였다.

장비의 제어 주기인 100ms에 영향을 주지 않기 위해 ACS의 신호처리 주기를 10ms 이내로 유지할 것이 요구 되었으며, 모든 시나리오에 대해 검증한 결과 5ms 이내에 모든 작업이 완료되는 것을 확인하였다.

탑 드라이브의 경우 엘리베이터(elevator)와 베일(bail)등 하부에 부착되는 장치의 길이와 각도를 반영하고, 캣워크는 시추정 중심부로 향하는 측에 붙어 있는 테일 암(tail arm)의 관절의 길이와 각도 정보를 반영하여 경계 상자를 장비 형태에 맞게 반영하여 불필요한 정지 상태가 생기지 않도록 개선할 예정이다. 또한 장비들의 특성을 반영하여 시뮬레이션에 반영할 수 있는 HILS(Hardware in the Loop Simulation)과의 연동 통해 성능을 확인할 수 있도록 추가 연구가 필요하며, 이를 통

해 해양시추장비의 국산화에 적용할 수 있을 것으로 기대된다.

### References

- [1] NORSOK Standard D-001 Drilling facilities Rev. 3, Dec. 2012.
- [2] Z. Q. Jiang, "Anti-Collision Control Research on Ocean Drilling Platform Drill String Automated Processing," *Advanced Materials Research*, Vol.945-949, pp.2665-2669, Jun. 2014.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.945-949.2665>
- [3] J. T. Klosowski, M. Held, J. S. B. Mitchell, H. Sowizrai, K. Zikan, "Efficient collision detection using bounding volume hierarchies of k-DOPs", *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, Vol.4, No.1, pp.21-36, Jan. 1998.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/2945.675649>
- [4] Schlumberger Oilfield Glossary, Available from: <https://www.glossary.oilfield.slb.com/> (accessed Nov. 10, 2019)

이 재 용(Jaeyong Lee)

[정회원]



- 2002년 8월 : Texas A&M Univ., 기계공학과 (공학석사)
- 2007년 8월 : Texas A&M Univ., 기계공학과 (공학박사)
- 2007년 9월 ~ 2012년 8월 : 삼성중공업 연구소 책임연구원
- 2012년 9월 ~ 현재 : 동의대학교 조선해양공학과 교수

<관심분야>

해양시스템 자동화, 해양플랜트 동적위치유지시스템, 수상정 군집 주행 제어