

공학석사 학위논문

컨테이너 크레인의  
실시간 운전 시뮬레이터 개발

Development of Real Time Operating  
Simulator for Container Crane

지도교수 소명옥

2004年 2月

한국해양대학교 대학원

기관시스템공학과 최한우

# 목 차

Abstract .....	ii
Nomenclature .....	iv
제 1 장 서론 .....	1
1.1 연구배경 .....	1
1.2 연구동향 .....	2
1.3 연구내용과 구성 .....	3
제 2 장 컨테이너 크레인 시스템의 개요 .....	5
제 3 장 스프레더 흔들림의 수학적 모델링 .....	8
3.1 흔들림 운동방정식 .....	8
3.2 시스템의 단순화 .....	13
제 4 장 시뮬레이션 구현을 위한 3차원 그래픽 기법과 모델링 .....	15
4.1 좌표계 및 좌표변환 .....	15
4.2 3차원 물체의 형상화와 절단 .....	23
4.3 사실성 부여와 성능의 향상 .....	27
4.4 3차원 모델링 .....	31
제 5 장 시뮬레이터 개발환경 .....	32
5.1 하드웨어와 소프트웨어 .....	32
5.2 시뮬레이터의 구성 및 기능 .....	32
제 6 장 결론 .....	40
참고문헌 .....	41

# **Development of Real Time Operating Simulator for Container Crane**

*Han-Woo Choi*

*Department of Marine Engineering, Graduate School  
Korea Maritime University*

## **Abstract**

The large scaling and automation of stevedore facility is progressing in container terminal according to modernization of maritime transportation today. The improving productivity of container work highly depends on the operating efficiency of container crane because the bottle neck exists on container crane work in the transportation of container.

A study on automation or reduction of working time using the various control techniques is limited due to uncontrollable working condition near the ship. The personal ability of operator is very important and the difference of productivity can not help showing according to difference of personal ability

Thus, improving the skill of crane operator is important in special working condition for example, weather, decline of container ship for rapid works. This leads to reducing the economic loss and the waste of working time with low rate of safety accidents.

The operation training of real crane demands high cost and complicate training process. Therefore the development of container crane simulator is necessary to solve such problems. the simulator must have the various working condition, low training cost, no danger.

This paper presentes the development of training simulator which has adjustable working environment and changable foreign product.

The simulator can be operated in real time and has sway of spreader, display, sound and operating sequence like a real working condition.

In the work the mathematical equations of spreader sway, and effective

the three dimensional graphic technique, and development environments for developing simulator are studied.

The developed simulator can provide an economic and technical effectiveness for expert training of container crane operators.

## Nomenclature

$M_t$	mass of trolley
$J_t$	equivalent mass inertia moment of trolley system
$r_t$	radius of trolley drive drum
$\theta_t$	revolving angle of trolley drum
$T_t$	torque of trolley drum
$x_t$	displacement of trolley
$m_{td}$	equivalent mass of trolley motor and drum
$F_t$	tractive force of trolley
$M_h$	mass of container
$J_h$	equivalent mass inertia moment of hoist system
$r_h$	radius of hoist drive drum
$\theta_h$	revolving angle of hoist drum
$T_h$	revolving force of hoist drum
$x_h$	displacement of hoist
$m_{hd}$	equivalent mass of hoist motor and drum
$F_h$	torque of hoist
$\phi$	sway angle of container
$l$	distance from trolley to container center
$g$	gravity acceleration
$T$	total kinetic energy
$P$	total potential energy

# 제 1 장 서 론

## 1.1 연구배경

오늘날 해상 운송의 현대화와 컨테이너화의 급진전에 따라 컨테이너 선박이 대형화되고 컨테이너 하역장비도 대형화, 자동화 및 고속화되어가고 있는 추세이다. 컨테이너 운송에서 병목현상은 컨테이너 크레인 하역작업에서 자주일어나기 때문에 컨테이너 터미널 전체의 생산성 향상은 컨테이너 크레인의 작업효율에 크게 의존하고 있다. 따라서 컨테이너 크레인의 하역시간을 단축하여 생산성을 높이려는 여러 방법들이 연구되고 있다.

그러나 여러 제어기법들을 사용한 컨테이너 크레인의 자동화나 작업시간 단축에 대한 연구가 이루어지고 있지만, 예측 할 수 없는 선박주위의 작업조건들로 인해 현재까지는 이에 대한 연구가 미비하여 컨테이너 크레인의 생산성 향상은 운전자의 개인적 능력에 의존하고 있는 형편이다.

컨테이너 터미널의 하역효율은 장비운영 요원의 능력에 따라 큰 차이를 보이고 있어서 숙달된 고급 운영 인력의 확충이 더 시급한 문제이다. 또한 작업 중 안전사고를 줄여 컨테이너 항만의 작업시간 낭비와 경제적 손실을 줄이고 대외 신임도를 높이는 것이 필요하다. 단위시간당 높은 하역처리율 달성, 다양한 작업 상황별 대처능력과 안전작업능력 등을 갖춘 전문 운영인력 양성은 컨테이너 터미널에서 필수적이며 고급 운영인력의 확충을 위한 교육프로그램의 확보가 중요한 문제로 대두되고 있다.

항만에 설치된 장비를 이용한 교육훈련이 최상의 교육효과를 얻을 수 있겠으나 실제 컨테이너 크레인은 너무 고가이고 자중이 천톤에 이르는 대형 장비이므로 운전 인력양성을 위한 교육훈련에 있어서 공간, 기간, 훈련경비 문제등 여러 가지 어려움이 따르고 있어 실제 장비로 훈련을 실시한다는 것은 거의 불가능하다. 따라서 다양한 작업상황에서 훈련을 할 수 있고 훈련경비가 저렴하고 위험성이 없는 컨테이너 크레인의 가상 시뮬레이터 개발이 필요하다.

한국에는 현재 허치슨터미널, 신선대터미널, 감만터미널, 감천 한진터미널, 신감만 동부터미널 등의 컨테이너 부두가 운영 중에 있고 가덕도, 광양만, 용당동 등의 새로운 컨테이너 부두 신설과 확장을 추진하고 있다. 이러한 부두에 설치되어 있거나 설치될 컨테이너 크레인의 신규 운전인력은 2011년까지 수천명이 필요할 것으로 추산되어 태부족 현상을 보이고 있다. 따라서 필요 인력 수요를 충당하고 원활한 신항만 운영을 위해서는 단기간에 많은 운전인력이 훈련되어야 한다. 이러한 점을 감안한다면 실제 크레인으로 훈련하는 것은 불가능하고

개인 컴퓨터를 기반으로 구동되는 보급형 컨테이너 크레인의 가상현실 구현이 시급하다.

한국과 더불어 중국의 상해항등 개발도상국에서의 항만 건설이 급증하고 있어 시뮬레이터의 개발로 수출효과도 거둘 수 있을 것으로 보인다.

국내외적으로 여러 종류의 크레인 시뮬레이터 연구개발이 활발히 이루어지고 있으나 제품화에 성공하여 시판되고 있는 컨테이너 크레인 시뮬레이터는 외국의 두 종류에 지나지 않는다[1][2].

컨테이너 크레인의 가상 시뮬레이션 시스템을 이용한 교육은 운전 조작방법과 사용법, 각종 환경 하에서의 작업 실무에 대한 간접적 경험의 확보, 위험한 환경에서의 사고방지 연습 등의 내용을 짧은 기간 내 습득할 수 있게 해준다. 또한 선형별 동작을 설정한 후 운전준비, 전원투입 등 기본 운전 준비상황의 교육과 기본적 반복운전을 통한 운전기술의 숙달 및 운전 중 날씨가 선박의 작업 조건 등으로 발생될 수 있는 이상 상황에 대처할 수 있는 특수 운전능력을 향상시킬 수 있다.

실제적으로 국외 항만에서 시뮬레이터를 사용하여 훈련한 결과 25% 이상의 생산성 향상과 안전사고 방지에 큰 도움이 되고 있다는 사실이 보고 되고 있다 [3].

## 1.2 연구동향

가상현실 기반기술은 교육훈련, 설계공학, 의학, 의사소통, 제품개발, 과학기술, 음악예술, 오락 등에서 널리 응용되고 있고 미국 등 선진국의 기술력이 국내보다 앞서있는 것은 사실이다. 특히 군사시뮬레이션이나 기상예보와 관련된 리얼타임 시뮬레이션을 위해서 개발된 ONYX2 Infinite Reality, 비주얼 컴퓨팅 솔루션인 실리콘그래픽스의 OCTANE 워크스테이션 등이 현재 세계적으로 널리 사용되고 있다[4].

또한, MAX, MULTIGEN 등 가상환경을 제작할 수 있는 도구와 이를 이용하여 개발된 가상환경을 현실감있게 재현하기 위한 VEGA, VTREE, GVS 등의 도구도 외국에서 개발되어 가상현실 관련제품의 상용화에 널리 사용되고 있으며, 가상환경의 복잡도와 직접적으로 관련되어있는 렌더링(Rendering)시간에 관한 다양한 실시간 렌더링 기법들에 대한 연구도 활발히 이루어지고 있는 실정이다. 기본적으로는 OPEN GL을 이용하여 개발하는 것이 보통이다.

컨테이너 크레인 운전 시뮬레이터를 개발한 업체로는 미국의 KQ 사와 영국의 Maritime Dynamics 사 2곳이며, 일본의 경우 자체 개발하여 사용중이나 시

관할 정도는 아닌 것으로 알려져 있다.

위의 2개 업체가 주로 독점적으로 공급되고 있으나 고가이고 유지보수 비용이 많이 들며 환경설정 및 시뮬레이터 관리를 위한 교관 등의 추가인력이 필요하고 암실설비를 필요로 하여 사용지역이 한정되어 있는 단점이 지적되고 있다.

컨테이너 크레인 시뮬레이터가 설치된 항만은 호주(시드니), 미국(버지니아, 롱비치), 노르웨이(Stavanger), 캐나다(밴쿠버), 프랑스(Le Havre), 싱가포르(SPI), 말레이시아(Westport, Port Klang), 인도네시아(Jobbor port) 등이고 고가이기 때문에 한 국가에 한 두 대 정도 설치되어 있다.

가상현실(Virtual Reality)을 연구하거나 개발하고 있는 업체는 국내에서 다수 존재하나 이를 가상환경에 활용할 수 있는 제품개발은 아직 초보적인 단계에 머물러 있고, 가상환경을 제작할 수 있는 제작도구도 현재로서는 개발초기 단계에 머물러 있다.

항만의 컨테이너 크레인 운전 시뮬레이터를 연구개발하고 있는 곳은 2개 기관 정도로 알려져 있고 시제품을 개발하여 판매할 정도는 아니다.

컨테이너 하역장비 시뮬레이터의 개발은 대상 플랜트인 하역장비의 지식과 가상현실 설계구현 기술로 대별된다. 그러므로 컨테이너 하역장비의 지식을 갖추고 있으면서 컨테이너 운동 알고리즘 구성, 가상현실 제작 및 프로그램 작성 등의 능력을 동시에 소유하고 있어야만 시뮬레이터 개발이 가능하다.

### 1.3 연구내용과 구성

실제 컨테이너 하역작업과 거의 비슷한 작업환경을 조성하고 보급형 시뮬레이터 개발을 위해 PC 상에서 효과적으로 구동되도록 화면 최신율(Frame rate)을 높이고 시뮬레이터가 가지는 장점인 훈련기록과 효과적인 시나리오 구성하는 것이 중요하다. 또한 스프레더 흔들림을 실제 장비와 유사하게 구현하고 실제 장비와 거의 같은 작동순서와 인터록을 유지하는 것이 매우 중요하다.

본 논문에서는 위와 같은 요구사항을 반영하기 위해 컨테이너 크레인 시스템을 조사하고 스프레더 흔들림에 대한 수학적 모델링을 세우고 시뮬레이션 개발 기법에 대해 설명한다.

본 논문은 총 6장으로 구성되어 있으며 제1장은 서론이고 제2장은 시뮬레이터 개발 대상 플랜트인 컨테이너 크레인 시스템에 대해 간단히 기술한다.

제3장은 수학적 모델링 부분으로 컨테이너 크레인 스프레더의 흔들림 운동방정식을 유도하고 이를 시뮬레이터에 적용하기 위해 운동방정식을 단순화한다.

제4장은 시뮬레이션 구현을 위해 좌표, 물체의 형상화, 렌더링, 셰이딩

(Shading) 및 텍스처 맵핑(Texture mapping) 등의 3차원 그래픽 기법과 모델링에 대해 설명한다.

제5장은 하드웨어, 소프트웨어 및 컨테이너 크레인 교육 훈련 방법, 시뮬레이터의 구성과 기능 등에 대해 설명한다.

제6장은 결론부분으로 시뮬레이터 개발 결과를 요약한다.

## 제 2 장 컨테이너 크레인 시스템의 개요

컨테이너 크레인은 컨테이너 터미널 에이프런(Apron)의 레일 상에 설치되어 컨테이너를 선박과 육상 사이에서 적화 및 양화를 담당하는 컨테이너 하역 전용크레인이며 컨테이너 터미널의 핵심장비이다[5].

컨테이너 선박이 부두에 접안하게 되면 컨테이너 크레인이 컨테이너 화물을 육상으로 내리거나, 선박으로 선적함으로써 화물의 해상운송과 육상운송을 연결시켜 주는 역할을 담당하고 있다. 그러므로 컨테이너 화물의 물류의 병목현상이 여기에서 일어날 경우가 많다. 크레인의 하역 사이클 시간을 줄여 하역효율을 높이는 것이 선박의 체항시간을 단축하게 하여 궁극적으로 컨테이너 항만의 서비스 질을 높이는 것이 되므로 이 크레인은 항만에서 가장 근본적이고 중요한 장비가 된다.

컨테이너 크레인은 형태와 크기별로 구분될 수 있는데 형태별로는 A형 구조(A-frame type), 수정된 A형 구조(Modified A-frame type), 2중 중첩식 붐 A형 구조(A-frame with articulated boom type), 롱 백리치 구조(Long back reach type), 롱 스패ن 구조(Long span type), 로우 프로파일 구조(Low profile type) 등이 있으며, 크기별로는 피더 형식(Feeder type), 파나막스 형식(Panamax type), 포스트-파나막스 형식(Post-panamax type) 등이 있다. 현재 한국의 항만에서는 수정된 A형 구조와 포스트-파나막스 형식의 컨테이너 크레인을 가장 많이 사용하고 있다.

컨테이너 크레인의 주요동작은 컨테이너가 위 아래로 이동하는 호이스트, 바다 측이나 육지 측으로 이동하는 트롤리, 크레인 전체가 좌우로 움직이는 갠트리, 붐 상하 이동의 붐 호이스트 동작으로 구분된다. 이러한 네 가지 주요동작 중 작업의 시작과 끝에서는 갠트리와 붐 호이스트 동작, 컨테이너 홀드 사이의 이동시는 갠트리 동작, 특정 홀드에서의 작업은 호이스트와 트롤리의 반복적인 동작으로 이루어진다.

컨테이너 크레인은 Fig. 2.1과 같이 트롤리 거더와 붐 위에 설치된 레일을 따라 움직이는 트롤리가 설치되어 있으며, 트롤리 형식은 와이어 로프에 의해 트롤리가 움직이는 와이어 로프 트롤리 형식이 많이 사용된다. 트롤리가 전진 또는 후진하는 방법은 기계실에 설치된 트롤리용 구동모터에 전압을 가하여 모터를 정·역방향으로 작동시키면 축단에 설치되어 있는 기어박스를 통하여 트롤리용 와이어 드럼이 회전하게 되고 이 드럼에 감겨 있는 와이어 로프가 트롤리의 양쪽으로 연결되어 드럼의 정·역회전에 따라 와이어 로프의 어느 한쪽을 당김으로써 이루어진다. 또한 호이스트용 와이어 로프는 기계실의 와이어 드럼에서 거

더 후부를 거쳐 트롤리의 시브(Sheave)를 통과하여 스프레더와 수직 하방으로 연결되어 있어서 드럼을 돌려 호이스트용 와이어 로프를 감거나 풀어서 스프레더를 위 아래로 움직이게 한다.

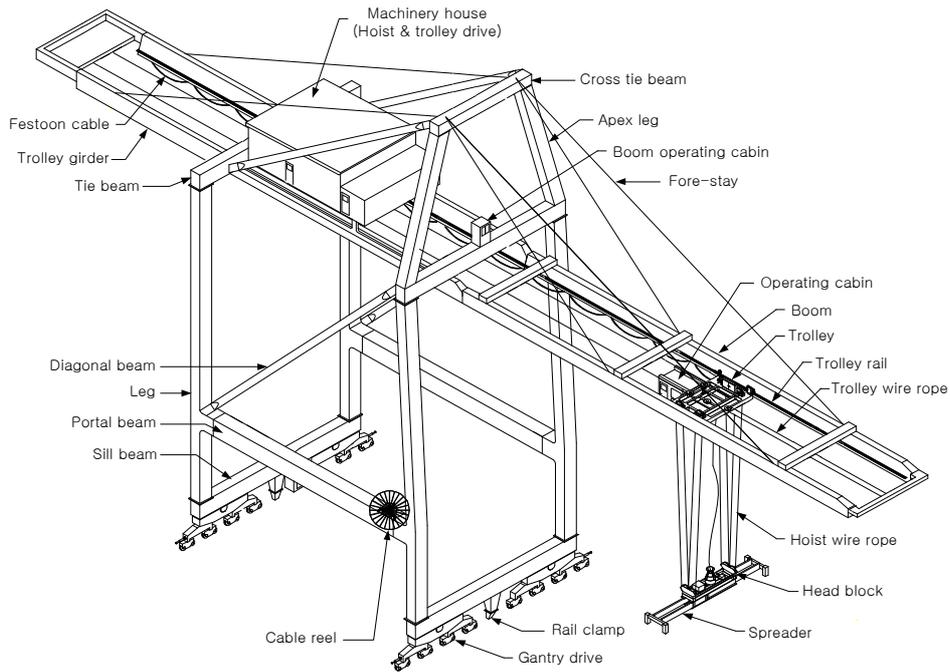


Fig. 2.1 Structure of container crane system

컨테이너 크레인에는 다음과 같은 대표적인 장치들로 구성되어 있다. 크레인이 계류 중에 바람에 밀리거나 넘어지지 않도록 하기 위한 앵커(Anchor) 및 타이 다운(Tie down), 작업 중에 바람에 밀리지 않도록 하기 위한 레일 클램프(Rail clamp) 등의 지상 안전장치가 있다.

로프 텐션너(rope tensioner)는 와이어 로프 트롤리 형식에서 와이어의 처짐을 자동으로 방지하여 트롤리의 운전을 원활하게 해 주는 장치이다. 와이어로프 트롤리 형식을 사용하는 일반 크레인에도 보통 사용한다.

틸팅 디바이스(tilting device)는 스프레더를 앞뒤좌우 및 회전방향으로 기울이는 장치이다. 선박의 기울어짐이나 지면의 경사로 인해 컨테이너가 기울어졌을 때 본 장치를 사용하여 스프레더를 기울여 맞춤으로써 컨테이너를 원활하

게 집기 위한 장치이다. 그 틸팅의 동작에는 트림, 스큐, 리스트, 로테이팅, 엔티 스내깅이 있다.

붐 랫치(boom latch)는 붐을 올렸을 때 걸어두기 위한 장치로 붐을 올렸을 때 붐 호이스트 와이어로프에 많은 장력이 걸리지 않도록 하기 위한 것이다.

컨테이너 크레인의 두드러진 특징은 전문적으로 컨테이너를 인양할 수 있도록 특수 구조로 되어있는 스프레더에 있다. 스프레더의 세부동작 기능에는, 컨테이너의 코너 캐스팅(Corner casting)에 스프레더의 콘(Cone)을 끼워 90°로 회전시켜 잠그고 풀어주는 트위스트 록(Twist lock) 기능, 콘이 코너 캐스팅에 잘 들어가도록 안내판 역할을 하는 플리퍼(Flipper) 기능, 컨테이너의 특정 길이(20, 40피트 등)에 맞춰 취급할 수 있도록 스프레더를 신축시키는 텔레스코픽(Telescopic) 기능 등이 있다. 스프레더는 수동 트위스트 록에 의해 헤드블럭(Head block) 장치의 하부에 연결되어 있으며 스프레더의 세부동작은 헤드블럭에 설치된 유압장치에 의해 작동되고 있다.

그리고 대부분의 작업은 트롤리와 호이스트 동작만으로 이루어지는 홀드단위 작업이기 때문에 컨테이너 화물의 이송경로는 거의 평면 운동으로 볼 수 있고 적화나 양화 곡선운동의 형태를 이룬다.

컨테이너 크레인의 작업을 세분하면 컨테이너 집기(Picking, 운반할 컨테이너를 스프레더가 집는 것), 호이스트 업(Hoist up, 컨테이너를 적정 높이로 들어 올리는 것), 트롤리(Trolley, 들어올린 컨테이너를 목표 위치까지 이동시키는 것), 호이스트 다운(Hoist down, 원하는 지점까지 컨테이너를 내리는 것), 위치 선정(Placing, 컨테이너를 제 위치에 놓는 것) 등의 5가지로 나눌 수 있다.

최근, 컨테이너 크레인의 최고 이동속도는 일반적으로 호이스트의 경우는 90[m/min](정격하중일 때), 트롤리의 경우는 220[m/min], 갠트리의 경우는 45[m/min]이다.

## 제 3 장 스프레더 흔들림의 수학적 모델링

### 3.1 흔들림 운동방정식

수학적 운동방정식을 유도하는데 있어서 트롤리 등의 가속, 감속으로 인한 칼럼 등 구조물의 변형이나 흔들림이 스프레더의 흔들림에 영향을 주게 되나 이러한 흔들림은 미약하므로 크레인 구조물은 고정된 강체로 가정하고 탄성변형은 무시한다. 또한 컨테이너 하중은 집중질량으로 하고 하중에 의한 호이스트 와이어로프의 길이변화는 무시한다.

Fig. 4.1은 트롤리와 컨테이너의 직교 좌표계를 표시한 것이고 트롤리 수평 방향을  $x$ , 수직방향의 변위를  $y$ 로 한다. Table 4.1은 컨테이너 크레인의 파라미터들을 정리한 것이다[7].

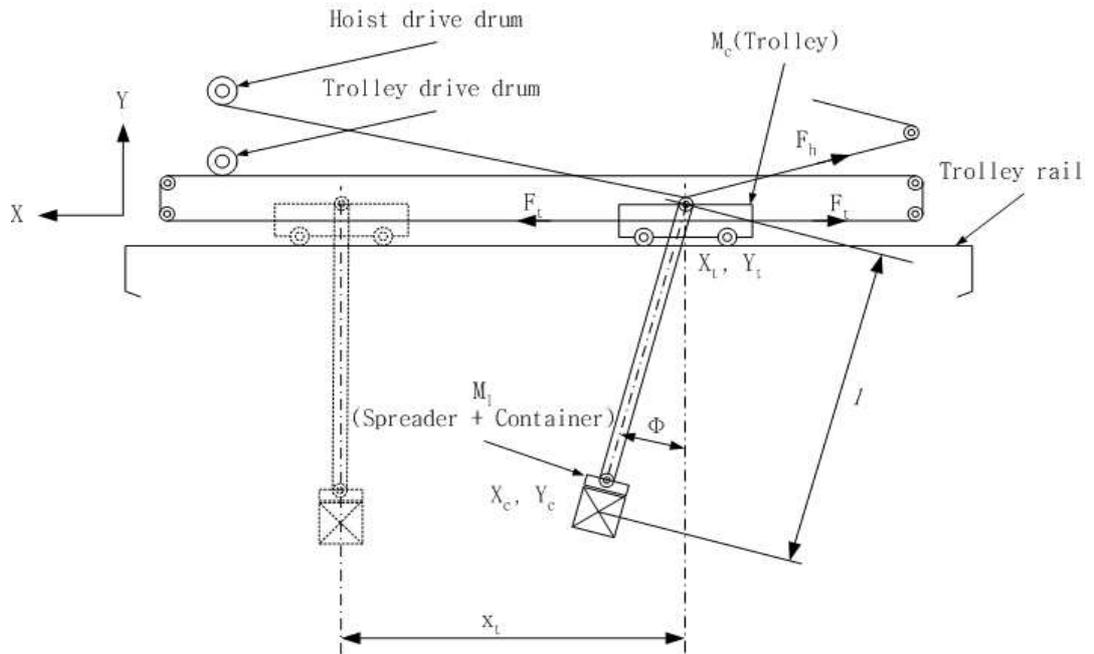


Fig 4.1 Coordinates of the container crane system

Table 4.1 Parameters of container crane

Symbol	Description
$M_t$	mass of trolley
$J_t$	equivalent mass inertia moment of trolley system
$r_t$	radius of trolley drum
$\theta_t$	revolving angle of trolley drum
$T_t$	torque of trolley drum
$x_t$	displacement of trolley
$m_{td}$	equivalent mass of trolley motor and drum
$F_t$	tractive force of trolley
$M_h$	mass of container
$J_h$	equivalent mass inertia moment of hoist system
$r_h$	radius of hoist drum
$\theta_h$	revolving angle of hoist drum
$T_h$	torque of hoist drum
$x_h$	displacement of hoist
$m_{hd}$	equivalent mass of hoist motor and drum
$F_h$	tractive force of hoist
$\phi$	sway angle of container
$l$	distance from trolley to container center
$g$	gravity acceleration
$T$	total kinetic energy
$P$	total potential energy

본 논문에서는 일반화된 좌표계를 사용하여 각각의 질점에 대한 문제를 간이화 할 수 있는 Lagrange 운동방정식을 이용하여 크레인 시스템의 운동방정식을 유도하도록 한다.

여기에서의 수학적 모델링은 호이스트 와이어로프의 길이가 변하면서 트롤리 레버의 조정에 따른 트롤리의 가속과 감속으로 발생한 스프레더의 흔들림을 구현하는 것이다.

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i} \right) - \frac{\partial L}{\partial q_i} = Q_i \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (1)$$

여기서,  $q_i$ 는 일반화된 좌표계를 나타내며,  $Q_i$ 는 일반화된 좌표  $q_i$ 에 대응하는 비보존 일반력이고, Lagrange  $L$ 은 다음과 같이 운동에너지  $T$ 와 위치에너지  $P$ 의 차로써 정의된다.

$$L = T - P \quad (2)$$

트롤리 및 컨테이너의 원점으로부터의 변위를 각각  $x_t, x_h$ 라 하면

$$x_t = r_t \theta_t \vec{i} \quad (3)$$

$$x_h = \left( r_t \theta_t + \frac{1}{2} r_h \theta_h \sin \phi \vec{i} - \frac{1}{2} r_h \theta_h \cos \phi \vec{j} \right) \quad (4)$$

위의 식을 시간에 대해 미분하면

$$\dot{x}_t = r_t \dot{\theta}_t \vec{i} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \dot{x}_h = & \left( r_t \dot{\theta}_t + \frac{1}{2} r_h \dot{\theta}_h \sin \phi + \frac{1}{2} r_h \theta_h \dot{\phi} \cos \phi \vec{i} \right) \\ & - \left( \frac{1}{2} r_h \dot{\theta}_h \cos \phi - \frac{1}{2} r_h \theta_h \dot{\phi} \sin \phi \right) \vec{j} \end{aligned} \quad (6)$$

따라서 트롤리 드럼부의 회전운동, 트롤리의 병진운동, 호이스트 드럼부의 회전운동, 컨테이너의 평면운동에 대한 총 운동에너지는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} T = & \frac{1}{2} J_t \dot{\theta}_t \cdot \dot{\theta}_t + \frac{1}{2} M_t \dot{x}_t \cdot \dot{x}_t + \frac{1}{2} J_h \dot{\theta}_h \cdot \dot{\theta}_h + \frac{1}{2} M_h \dot{x}_h \cdot \dot{x}_h \\ = & \frac{1}{2} J_t \dot{\theta}_t^2 + \frac{1}{2} M_t r_t^2 \dot{\theta}_t^2 + \frac{1}{2} J_h \dot{\theta}_h^2 + \frac{1}{2} M_h (r_t^2 \dot{\theta}_t^2 + \frac{1}{4} r_h^2 \dot{\theta}_h^2 \\ & + \frac{1}{4} r_h^2 \theta_h^2 \dot{\phi}^2 + r_t r_h \dot{\theta}_t \dot{\theta}_h \sin \phi + r_t r_h \dot{\theta}_t \theta_h \dot{\phi} \cos \phi) \end{aligned} \quad (7)$$

또한, 컨테이너의 수직이동에 따른 위치에너지  $P$ 는 다음과 같다.

$$P = - \frac{1}{2} M_h g r_h \theta_h \cos \phi \quad (8)$$

따라서 Lagrange  $L$ 은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 L &= T - P \\
 &= \frac{1}{2} J_t \dot{\theta}_t^2 + \frac{1}{2} M_t r_t^2 \dot{\theta}_t^2 + \frac{1}{2} J_h \dot{\theta}_h^2 + \frac{1}{2} M_h g r_h \theta_h \cos \phi \\
 &\quad + \frac{1}{2} M_h (r_t^2 \dot{\theta}_t^2 + \frac{1}{4} r_h^2 \dot{\theta}_h^2 + \frac{1}{4} r_h^2 \dot{\theta}_h^2 \phi^2 + r_t r_h \dot{\theta}_t \dot{\theta}_h \sin \phi \\
 &\quad + r_t r_h \dot{\theta}_t \dot{\theta}_h \phi \cos \phi)
 \end{aligned} \tag{9}$$

일반화된 좌표계로서  $q_1 = \theta_t, q_2 = \theta_h, q_3 = \phi$ 로 잡아 Lagrange 운동방정식에 대입한다.

$$\begin{aligned}
 \text{a) } q_1 &= \theta_t \\
 [J_t + (M_t + M_h) r_t^2] \ddot{\theta}_t + \frac{1}{2} M_h r_t r_h \ddot{\theta}_h \sin \phi + \frac{1}{2} M_h r_t r_h \ddot{\phi} \cos \phi \\
 + M_h r_t r_h \dot{\theta}_h \dot{\phi} \cos \phi - \frac{1}{2} M_h r_t r_h \dot{\theta}_h^2 \sin \phi &= T_t
 \end{aligned} \tag{10}$$

$$\begin{aligned}
 \text{b) } q_2 &= \theta_h \\
 \frac{1}{2} M_h r_t r_h \ddot{\theta}_t \sin \phi + (J_h + \frac{1}{4} M_h r_h^2) \ddot{\theta}_h - \frac{1}{4} M_h r_h^2 \dot{\theta}_h^2 \phi^2 \\
 - \frac{1}{2} M_h g r_h \cos \phi &= T_h
 \end{aligned} \tag{11}$$

$$\begin{aligned}
 \text{c) } q_3 &= \phi \\
 \frac{1}{2} M_h r_h^2 \dot{\theta}_h \dot{\phi} + \frac{1}{4} M_h r_h^2 \dot{\theta}_h^2 \ddot{\phi} + \frac{1}{2} M_h r_t r_h \ddot{\theta}_t \theta_h \cos \phi \\
 + \frac{1}{2} M_h g r_h \theta_h \sin \phi &= 0 \\
 2r_t \ddot{\theta}_t \cos \phi + r_h \ddot{\theta}_h \ddot{\phi} + 2r_h \dot{\theta}_h \dot{\phi} + 2g \sin \phi &= 0
 \end{aligned} \tag{12}$$

이제 트롤리의 수평이동과 로프의 길이를 나타내는 새로운 변수  $x, l$ 을 정의하고 등가 관성모멘트와 회전력에 대해 다음의 관계식을 도입한다.

$$x = r_t \theta_t \quad (13)$$

$$l = \frac{1}{2} r_h \theta_h \quad (14)$$

$$J_t = m_{td} r_t^2 \quad (15)$$

$$J_h = m_{hd} r_h^2 \quad (16)$$

$$T_t = F_t r_t \quad (17)$$

$$T_h = F_h r_h \quad (18)$$

여기서  $F_t$ 는 트롤리 모터의 견인력,  $F_h$ 는 호이스트 모터의 견인력이다.

$$\dot{\theta}_t = \frac{\dot{x}}{r_t}, \ddot{\theta}_t = \frac{\ddot{x}}{r_t}, \dot{\theta}_h = 2 \frac{\dot{l}}{r_h}, \ddot{\theta}_h = 2 \frac{\ddot{l}}{r_h} \quad (19)$$

식 (19)의 관계식을 식 (10), (11), (12)에 대입하면 다음 식으로 표현된다.

$$(m_{td} + M_t + M_h) \ddot{x} + M_h \ddot{l} \sin \phi - M_h l \dot{\phi}^2 \sin \phi + 2 M_h \dot{l} \dot{\phi} \cos \phi + M_h l \ddot{\phi} \cos \phi = F_t \quad (20)$$

$$\begin{aligned} & \frac{1}{2} M_h \ddot{x} \sin \phi + 2 (m_{hd} + \frac{1}{4} M_h) \ddot{l} - \frac{1}{2} M_h l \dot{\phi}^2 \\ & - \frac{1}{2} M_h g \cos \phi = F_h \end{aligned} \quad (21)$$

$$l \ddot{\phi} + 2 \dot{l} \dot{\phi} + g \sin \phi + \ddot{x} \cos \phi = 0 \quad (22)$$

여기서, 컨테이너의 흔들림 각도  $\phi$ 는 작다고 가정할 수 있으므로  $\phi^\alpha \phi^\beta$  ( $\alpha \geq 0, \beta \geq 0, \alpha + \beta \geq 2$ )의 형태로 표시되는 모든 항들은 선형화시 사라지게 됨을 알 수 있다. 또한,  $\cos \phi \cong 1, \sin \phi \cong \phi$ 로 근사화하는 것이 가능하므로 위의 운동방정식은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$(m_{td} + M_t + M_h) \ddot{x} + M_h \phi \ddot{l} + M_h l \ddot{\phi} + 2 M_h \dot{l} \dot{\phi} = F_t \quad (23)$$

$$\frac{1}{2}M_h\phi\ddot{x} + 2(m_{hd} + \frac{1}{4}M_h)\dot{l} - \frac{1}{2}M_hg = F_h \quad (24)$$

$$l\ddot{\phi} + 2\dot{l}\dot{\phi} + g\phi + \ddot{x} = 0 \quad (25)$$

### 3.2 시스템의 단순화

식 (23), (24), (25)를 다시 쓰면 다음과 같다.

$$(m_{td} + M_t)\ddot{x} = F_t - M_h(l\ddot{\phi} + 2\dot{l}\dot{\phi} + \ddot{x}) - M_h\phi\ddot{l} \quad (26)$$

$$2(m_{hd} + \frac{1}{4}M_h)\dot{l} - \frac{1}{2}M_hg = F_h - \frac{1}{2}M_h\phi\ddot{x} \quad (27)$$

$$l\ddot{\phi} + g\phi = -\ddot{x} - 2\dot{l}\dot{\phi} \quad (28)$$

위 식의 오른쪽에 나타나는 항들 중에서  $F_t, F_h, -\ddot{x}$ 를 제외한 모든 항들은 트롤리 운동, 호이스트 운동, 컨테이너의 흔들림 현상들이 운동 방정식에 서로 결합되어 나타남을 보여 주는데, 이들 각각의 항들에 대해서 살펴보면 먼저 식 (28)을 이용하면 식 (26)의 오른쪽의 두 번째 항은  $-M_h(l\ddot{\phi} + 2\dot{l}\dot{\phi} + \ddot{x}) = M_hg\phi$ 의 관계가 성립되고 이는 컨테이너의 흔들림이 트롤리 운동에 미치는 반력으로  $\phi$ 가 작을 때 무시할 수 있음을 알 수 있다.

또한  $-M_h\phi\ddot{l}$ 는 호이스트의 가속도에 따라 발생하는 반력이 트롤리의 수평운동에 미치는 힘으로 흔들림 각도  $\phi$ 가 '0'일 때 '0'이 됨을 알 수 있다.

$-\frac{1}{2}M_h\phi\ddot{x}$ 는 트롤리의 가속도에 따라 발생하는 반력이 호이스트의 수직운동에 미치는 힘으로  $\phi$ 가 '0'일 때 '0'이 된다.

$-2\dot{l}\dot{\phi}$ 는 호이스트 로프의 길이의 변화량이 흔들림 각의 동역학에 미치는 양으로  $l$ 이 일정할 때 그 값은 '0'이 된다. 주목할 것은 이 양은 흔들림 각의 동역학에 감쇠효과를 나타낸다. 즉, 호이스트의 상하운동은 컨테이너가 좌우로 흔들릴 때 컨테이너의 좌우로 흔들림을 감쇠시켜 주는 효과가 있다. 따라서 컨테이너의 흔들림 각  $\phi$ 가 작다고 가정하여 단순화한 시스템은 다음과 같다.

$$(m_{td} + M_t)\ddot{x} = F_t \quad (29)$$

$$(2m_{hd} + \frac{1}{2}M_h)\ddot{l} - \frac{1}{2}M_hg = F_h \quad (30)$$

$$l\ddot{\phi} + g\phi = -\ddot{x} \quad (31)$$

단순화된 시스템에 대한 동역학을 간략히 설명하면 다음과 같다.

첫 번째, 트롤리의 이동과 호이스트 이동을 서로 독립적으로 할 수 있다.

두 번째, 트롤리의 견인력  $F_t$ 는 트롤리의 질량( $M_t$ ) 그리고 트롤리 모터 및 기어 박스의 등가질량 ( $m_{td}$ )을 움직여야 하며 이때, 마찰력은 고려되지 않았다.

세 번째, 호이스트의 견인력  $F_h$ 는 컨테이너의 중량 ( $\frac{1}{2}M_hg$ )를 극복하고 또 질량 ( $2m_{hd} + \frac{1}{2}M_h$ )을 움직여야 한다. 마찰력은 무시되고 있다.

네 번째, 컨테이너의 흔들림 각도를 제어할 수 있는 제어입력은 트롤리의 가속도( $\ddot{x}$ )임을 알 수 있다.

흔들림 제어의 관점에서 상기의 미분방정식을 해석해 보면, 식 (29) 및 (30)은 트롤리계의 가속도 및 트롤리 모터의 견인력  $F_t$  그리고 호이스트계의 가속도  $\ddot{l}$  및 호이스트 모터의 견인력  $F_h$  사이의 관계만을 나타내고 있다. 따라서 이들 두 식은 컨테이너의 흔들림 제어의 관점에서는 고려하지 않아도 된다. 그러나 주어진 제어입력  $\ddot{x}$ 을 얻기 위해서 어느 정도 크기의 입력을 트롤리 모터에 가해야하는가 등에 대한 문제를 고려해야 한다. 제어입력을  $u$ 로 표시할 때 흔들림 제어의 관점에서 필요한 최종적인 운동방정식은 다음과 같다.

$$\ddot{x} = u \quad (32)$$

$$\ddot{\phi} + \frac{g}{l}\phi = -\frac{u}{l} \quad (33)$$

## 제 4 장 시뮬레이션 구현을 위한 3차원 그래픽 기법

### 4.1 좌표계 및 좌표변환

#### 1. 좌표계

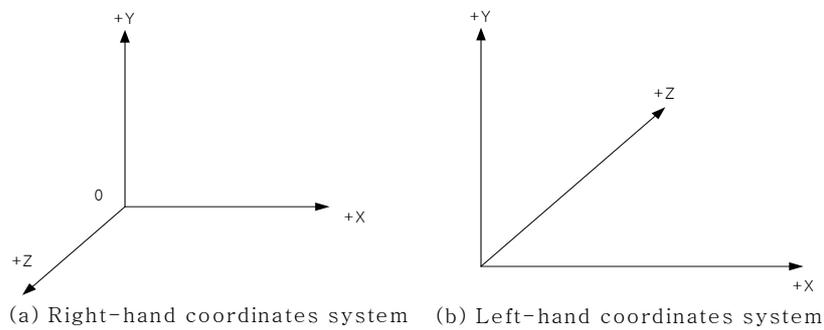


Fig. 5.1 Coordinates system

공학적 설계와 관련된 대부분의 물체는 3차원으로 다루어진다. 3차원 실세계에서의 점들은 3차원 좌표계에 의해 표현되는데 이는  $xy$ 의 2차원 좌표계의 확장이라 할 수 있다. 2차원 실세계에서는  $xy$ 평면이 모든 물체를 포함한다. 3차원에서는 이 평면과 직교인  $z$ 축이 추가되어 Fig. 5.1에서 보인 바와 같이 두개의 새로운 주평면  $xz$ 와  $yz$ 가 생성된다[8].

3차원 그래픽에서의 좌표계에는 오른손 좌표계와 왼손 좌표계 2가지 방법이 있다. 오른손 좌표계는 Fig. 5.1(a)와 같으며 이는 주로 공학에서 사용된다. 그 이유는 오른손 좌표계가 왼손 좌표계보다 도표를 그리거나 문제를 분석하기가 더 용이하기 때문이다. 왼손 좌표계는 Fig. 5.1(b)와 같으며 3차원 그래픽에서는 이를 사용한다.

한편, 3차원 그래픽은 복수의 왼손좌표계를 이용하는데, 이는 3차원 시계 장면을 구성하는 각 물체를 그 물체 고유의 국부 좌표계 원점에 대하여 상대적으로 정의해야 하기 때문이다. 그리고 국부 좌표계의 원점에 대하여 정의된 각 물체는 3차원 실세계 좌표계의 원점에 대해 상대적인 위치 어딘가에 배치되어야 하고, 3차원 공간에서의 크기변환, 회전변환, 이동변환의 적당한 좌표변환을 수행한 후 최종적으로 스크린에 투영된다.

이 좌표계에 대한 설명은 다음과 같다.

①국부 좌표계(Local Coordinates system)

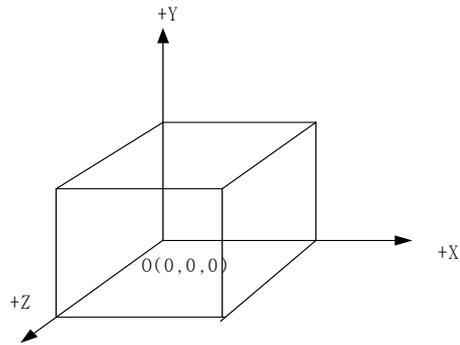


Fig. 5.2 Local Coordinates system

3차원 시계장면에서의 모든 물체 형상들은 Fig. 5.2와 같이 그 물체에 고정된 국부 좌표계의 원점에 대해서 꼭지점이나 점들의 집합으로 정의된다. 따라서 3차원 장면구성에 사용될 물체들은 이러한 각각의 독립된 국부 좌표계를 사용하여 모델링되고, 도형이 어떤 이동을 하더라도 실제의 좌표 값들은 변화되지 않게 유지할 수 있는 편의성을 제공한다.

②실세계 좌표계(World Coordinates system)

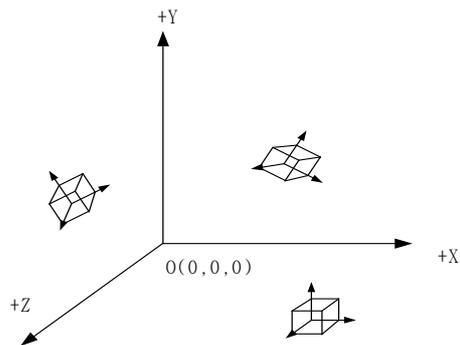


Fig. 5.3 World Coordinates system

각각의 국부좌표계에서 정의된 물체들을 3차원 공간 내에 배치하기 위해서는 별도의 좌표계가 필요하게 되는데 이 좌표계를 실세계좌표계(World

Coordinates system)라고 한다. 따라서 국부 좌표계와 실세계 좌표계를 동시에 사용하여 물체의 배치를 정의하면, 모든 물체의 정점(Vertex)에 대하여 좌표변환을 수행할 필요 없이 단지 각각의 국부 좌표계와 실세계 좌표계사이의 위치 관계만을 이용하여 좌표변환을 수행할 수 있다. 이들의 관계를 Fig. 5.3에 나타낸다.

### ③뷰잉 기준 좌표계(Viewing reference Coordinates system)

3차원 장면에 대한 뷰잉(Viewing)작업은 공간상의 여러 위치와 다양한 각도에서 카메라로 사진을 찍는 것과 비슷하다. 3차원 장면에서 카메라의 위치는 물체의 어떤 모습이 포착되고 화면에 사상될 것인지를 결정하기 위하여 반드시 정해져야 한다. 공간상에서 카메라의 위치를 정하기 위해서는 새로운 좌표계인 뷰잉 기준 좌표계를 설정할 필요가 있다. Fig. 5.4는 뷰잉 좌표계를 보여 주고 있다.

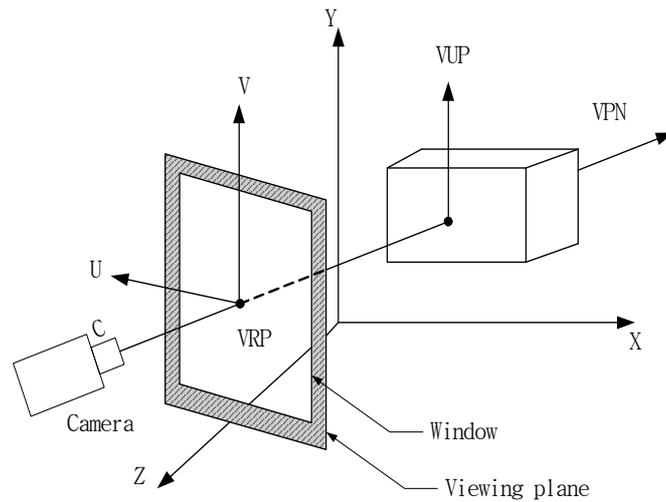


Fig. 5.4 Viewing reference Coordinates system

Fig. 5.4에서 VRP-UVN(VRP:View reference point, VPN:View plane normal)은 뷰잉 기준 좌표계를 나타내는데, 뷰잉 기준 좌표계를 정의하는 데는 세가지 매개변수가 필요하다. 첫 번째는 실세계좌표계에서 카메라가 바라보는 방향의 한점으로 정의되는 뷰 기준점(VRP:View Reference Point)이다. 이 점은 Fig. 5.4에 나타난 바와 같이 뷰잉 기준 좌표계의 원점으로 사용될 수 있다. 두 번째 매개변수는 이들의 방위를 결정하는 뷰평면에 수직인 방향의 뷰 평면

법선벡터(VPN:View Plane Normal)이다. 세 번째 매개변수는 카메라의 상(up) 방향이다. 뷰평면 수직벡터와 그곳에서의 카메라 위치는 공간상에서의 카메라의 위치를 결정한다. 그러나 카메라는 본래의 위치를 유지하며 여전히 법선주위를 회전할 수 있다. 뷰 상향벡터는 실세계 좌표계에서 물체에 대하여 정의되며, 뷰잉 기준 좌표계의  $V$ 축 방향은 이 상향벡터 성분과 같다. 그리고 뷰잉 기준 좌표계의  $U$ 축 방향은 뷰 평면 법선 벡터와 뷰 상향벡터와의 외적으로서 정의된다. 따라서 뷰잉 기준 좌표계를 UVN좌표계라고도 한다. 관찰자가 지정한대로 물체의 모습을 생성하기 위해서는 실세계 좌표계에서 정의된 물체의 좌표 값들이 뷰잉기준 좌표계로 변환되어야 한다. 실세계 좌표계에서 정의된 물체의 좌표 값들이 뷰잉 기준 좌표계로 변환하는 일련의 이동과 회전은 이러한 작업을 수행한다. 다음 절차는 그 연속된 변환과정을 나타낸다.

(i) 뷰 기준점을 실세계 좌표계의 원점으로 이동한다.

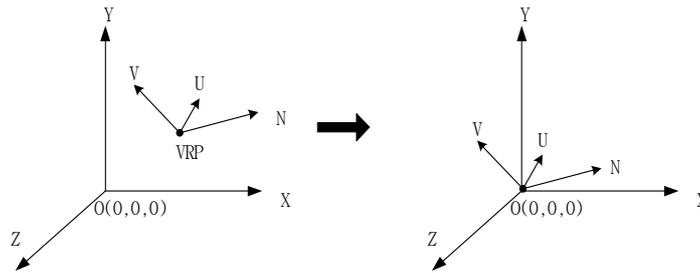


Fig. 5.5 Schematic of coordinate conversion(No. 1)

(ii)  $N$ 이  $XZ$ 평면에 오도록  $X$ 축에 대하여 회전시킨다.

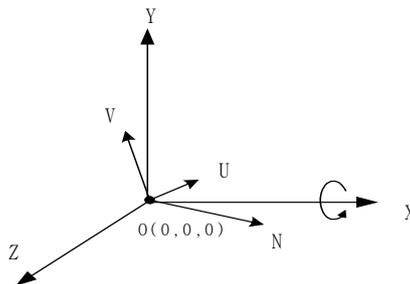


Fig. 5.6 Schematic of coordinate conversion(No. 2)

(iii) N이 Z축과 일치하도록 Y축에 대하여 회전시킨다.

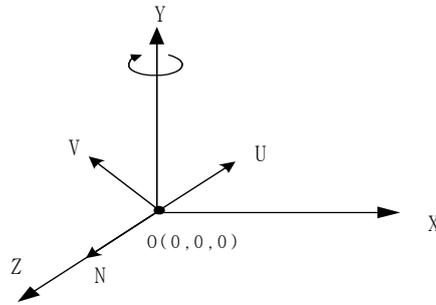


Fig. 5.7 Schematic of coordinate conversion(No. 3)

(iv) 모든 축이 일치하도록 Z축에 대하여 회전시킨다.

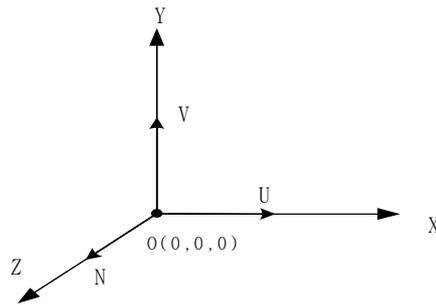


Fig. 5.8 Schematic of coordinate conversion(No. 4)

이러한 과정은 물체를 임의의 축에 대하여 회전시킬 때와 비슷하므로 3차원 변환 행렬을 적절히 사용함으로써 수행되어질 수 있다.

## 2. 좌표변환

좌표변환은 3차원 세계 안에서 객체들을 이동, 회전, 조작하기 위한 수단이다. 변환의 한 가지 용도는 3차원 좌표를 2차원의 화면에 투영하는 것이다. 또 다른 용도는 이동, 회전, 확대·축소이다. 이러한 변환들은 객체를 직접 수장하는 것처럼 보이지만, 실제로 변하는 것은 대상 객체의 좌표계이다. 예를 들어서 모델의 좌표계를 회전시키면 모델은 회전된 위치에 그려진다. 마찬가지로 모델의

좌표계를 원점에서  $z$ 축으로 100단위 떨어진 곳으로 이동시키면 모델은 카메라로부터 100단위 떨어진 곳에 그려지게 된다.

3차원 장면을 렌더링할 때, 정점들은 세 가지 종류의 변환들을 거친 후에야 최종적으로 화면상에 그려진다. 세 종류의 변환들은 다음과 같다.

- 뷰잉 변환(Viewing transformation) : 카메라의 위치를 지정한다.
- 모델링 변환(Modeling transformation) : 장면 안에서 객체를 움직인다.(이동, 회전, 확대·축소).
- 투영변환(Projection transformation) : 뷰잉 입체와 절단면들의 정의한다.

그리고 뷰포트 변환(Viewport transformation)이라는 것도 있는데, 이것은 장면의 2차원 투영을 화면상의 창에 대응시키는 것이다. 뷰포트 변환은 전적으로 렌더링 창에 관련된 것이므로 정점의 좌표변환에는 포함되지 않는다. 또한 모델뷰 변환(Modelview transformation)이라는 것은 이것은 뷰잉변환과 모델링 변환을 결합한 것이다.

이러한 변환들을 구현할 때에는 순서를 잘 지켜야 한다. 뷰잉 변환은 반드시 모델링 변환 이전에 수행되어야 한다. 그러나 투영변환과 뷰포트 변환은 렌더링 이전이기만 하다면 언제라도 수행할 수 있다. Fig. 5.9는 이러한 변환들이 수행되는 일반적인 순서를 나타낸 것이다.

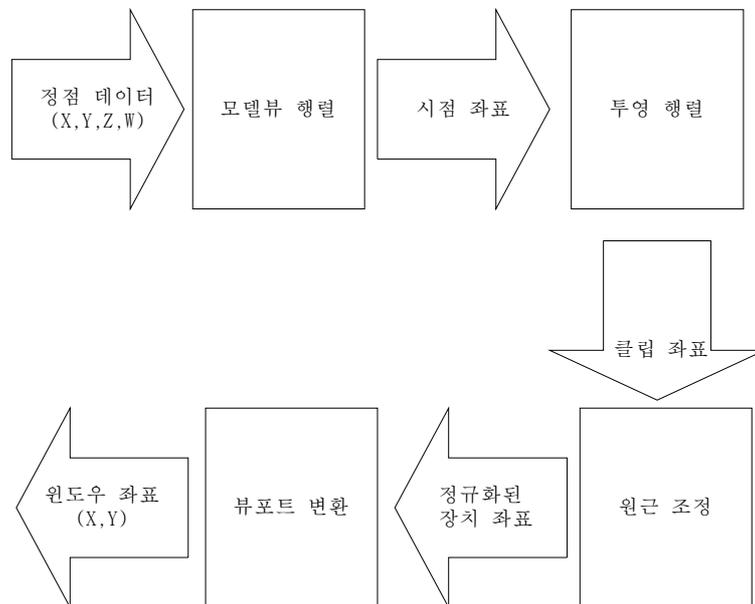


Fig. 5.9 Viewport transformation

### 3. 3차원 변환

기하학적 변환에서는 물체를 구성하는 점들의 원래의 위치로부터 변환된 위치로의 새로운 좌표를 계산해야 한다. 변환은 모든 점들을 특정한 법칙에 의거하여 재배치한다. 그러므로 크기변환, 이동변환, 회전변환 등은 단순히 특정 점들의 좌표를 변화시킴으로써 달성된다. 이러한 변환들은 움직이는 과정에서 물체를 찌그러뜨리지 않기 때문에 강체변환(Rigid body transformation)이라 불린다. 원래의 한점에 대해 반드시 하나의 변환된 점만이 얻어진다. 기하학적 변환들은 다음과 같은 두 가지로 나누어 연구될 수 있다.

- 객체변환(Object transformation) : 주어진 좌표계는 변경하지 않고 객체를 구성하는 점들의 좌표를 바꾼다.

- 좌표계변환(Coordinates transformation): 새로운 좌표계를 생성하여 객체를 구성하는 모든 점을 이 새로운 좌표계상에서 표현한다.

이 두 접근방법은 동등하나 좌표계 변환은 객체변환의 반대개념으로 작동한다. 컴퓨터 그래픽스에서는 객체변환을 사용하는 것이 일반적이다.

#### ①크기 변환

크기변환은 일반적인  $4 \times 4$ 행렬의 주 대각선상에 값들을 대입함으로써 얻어진다. 국부적 및 전체적 크기변환은 이러한 방법으로 얻어진다. 한 점  $P(x, y, z)$ 는 다음 변환에 의해  $P'(x, y, z)$ 로 크기가 조절된다.

$$[x' \ y' \ z' \ 1] = [x \ y \ z \ 1] \begin{bmatrix} s_x & 0 & 0 & 0 \\ 0 & s_y & 0 & 0 \\ 0 & 0 & s_z & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (34)$$

여기서  $s_x, s_y, s_z$ 는 각각  $x, y, z$ 방향의 크기변화율이다.

#### ②이동변환

다음 변환 행렬은 점  $(x, y, z)$ 를  $(dx, dy, dz)$ 만큼 이동시켜 새로운 점  $(x', y', z')$ 이 되도록 한다.

여기서  $dx, dy, dz$ 는 각각  $x, y, z$ 방향으로의 점의 상대적인 이동거리를 나타낸다.

### ③회전변환

3차원에서 회전변환은 객체의 형상을 이해하거나 설계를 여러 각도 검증하는데 중요한 역할을 한다. 이는 2차원의 경우보다 복잡한데 그 이유는 회전의 기준 점 대신 회전축이 사용되기 때문이다. 임의의 축에 대한 회전변환은 세 좌표축에 대한 단순한 회전변환으로 분할하여 2차원 회전변환의 경우와 유사하게 다음과 같은 절차를 통하여 이루어진다.

Fig. 5.10은 좌표축에 대한 세 가지 기본적인 회전변환을 보이고 있다. 2차원 회전변환에서는 회전축이 원칙적으로  $z$ 축이었다. 3차원에서의  $z$ 축에 대한 회전변환 행렬은 다음 식과 같다.

$$[T_R]_z^\theta = \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta & 0 & 0 \\ -\sin\theta & \cos\theta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (35)$$

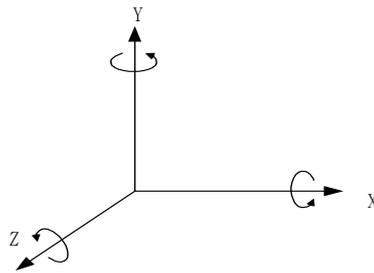


Fig. 5.10 회전변환

이와 유사한 방법으로  $y$ 축에 대해 각도  $\theta$ 만큼 회전하는 경우는 Fig. 5.10으로부터 유도되어 다음 식과 같이 얻어진다.

$$[T_R]_y^\theta = \begin{bmatrix} \cos\theta & 0 & -\sin\theta & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ \sin\theta & 0 & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (36)$$

Fig. 5.7로부터  $x$ 축에 대한 회전변환은 다음 식과 같다.

$$[T_R]_x^\theta = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\theta & \sin\theta & 0 \\ 0 & -\sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (37)$$

여기서 행렬 $[T_R]_y^\theta$ 의 경우는 오른손 법칙의 결과로  $\sin$ 함수의 부호가 다른 두 행렬의 경우와 다른 것에 유의한다.

## 4.2 3차원 물체의 형상화와 절단

### 1. 형상화

3차원 그래픽은 어떤 물체를 직선과 곡선의 집합체로 표현한 다음 투영을 통해 테두리를 표시하는 와이어 프레임모델과 어떤 물체를 그것을 둘러싸고 있는 면으로 나타낸 다음 은선과 은면제거 알고리즘이나 셰이딩 알고리즘을 가미하여 보다 현실감 있게 표현하는 Surface모델 그리고 수학적인 고체로 어떤 물체를 표현하는 True solid 표현방식인 Solid모델로 나누어진다. 본 논문에서는 surface모델 방식으로 3차원물체를 형상화 하였다. Fig. 5.11은 이들 물체 형상화 기법을 보여준다.

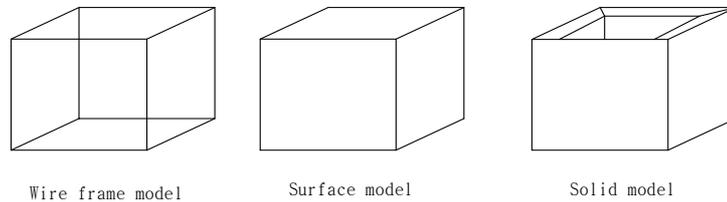


Fig. 5.11 Shape anger of object

### 2. 투영

3차원 장면에서의 모든 객체를 구성하는 점들이 뷰잉 기준 좌표계로 변환되면, 3차원 좌표를 2차원으로 변환하는 일이 필요한데 이를 투영(Projection)이라 한다. 가장 간단한 투영법은 평행투영으로서 단지 3차원 좌표에서  $z$ 축을 생략하는 것이다, 이러한 투영은 어떤 장면의 깊이를 제공하지 못한다. 투영의 또 다른 방법은 원근 투영으로 2차원 화면으로 성취할 수 있는 현실성의 극한치이다. 이 방법은 광선이 사용자의 관측점에 수렴한다는 전제에 기초한다. Fig.

5.12는 이러한 원근 투영법에 대해 설명하고 있고 투영식은 다음과 같다.

$$x' = d_d \times \frac{x}{z} \quad (38)$$

$$y' = d_d \times \frac{y}{z} \quad (39)$$

여기서  $d_d$ 는 카메라가 위치한 관측점과 투영면과의 거리이다.

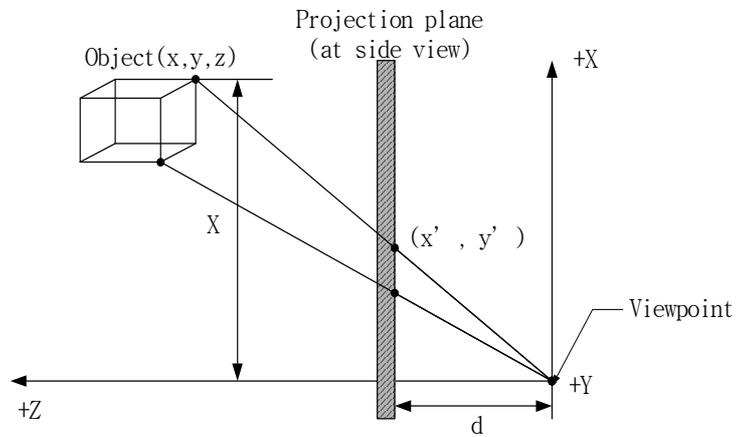


Fig. 5.12 원근 투영

### 3. 3차원 절단

Fig 5.13은 뷰잉프러스텀(Viewing frustum)을 나타내고 있는데 여기서  $\square ABCD$ 는 전면절단면(Front clipping plane),  $\square A'B'C'D'$ 는 후면 절단면(Back clipping plane)을 나타내고 있다. 일반적으로 절단면은 원근 투영 전 또는 후에 진행되느냐에 따라 오브젝트 스페이스 절단과 이미지 스페이스 절단으로 나뉜다. Fig. 5.14는 절단 프로세스를 나타낸다.

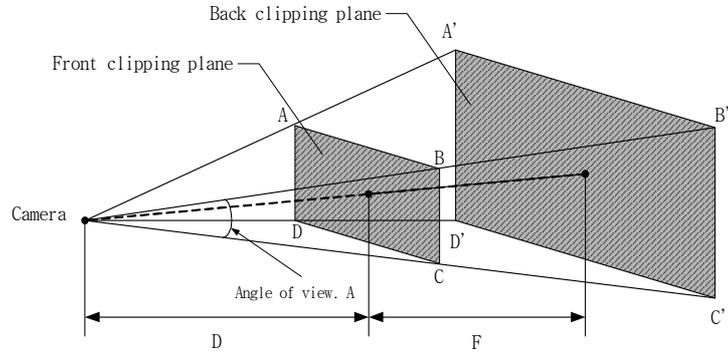


Fig. 5.13 Viewing frustum

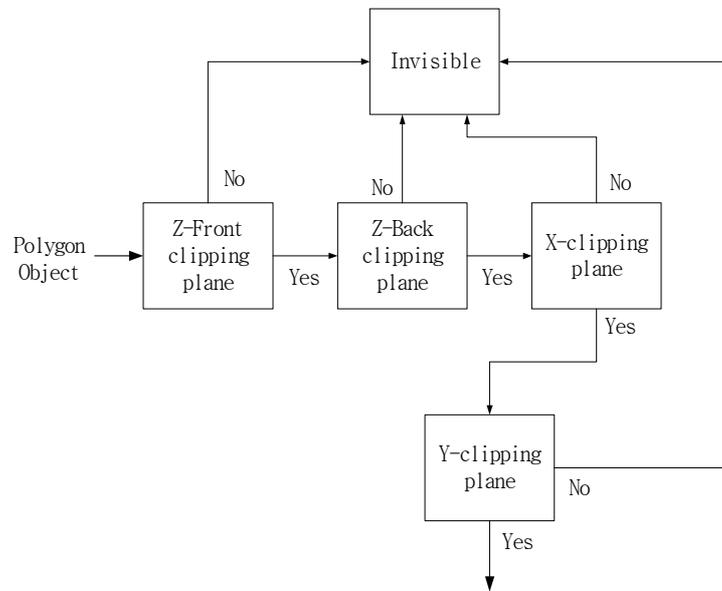


Fig. 5.14 Clipping process

①오브젝트 스페이스 클리핑(Object space clipping)

오브젝트 스페이스 클리핑은 물리적인 렌더링에 관계없이 순수한 수학적 스페이스에서 수행하는 클리핑을 의미한다. 이는 기본적으로 인지적 부피 외부에 놓여있는 다각형과 오브젝트를 제거하는 방법이다. 수학적으로 객체를 구성하는 점들을 인지적 부피로 정의된 여섯 개의 클리핑 면들과 비교함으로써 실행할 수 있다.

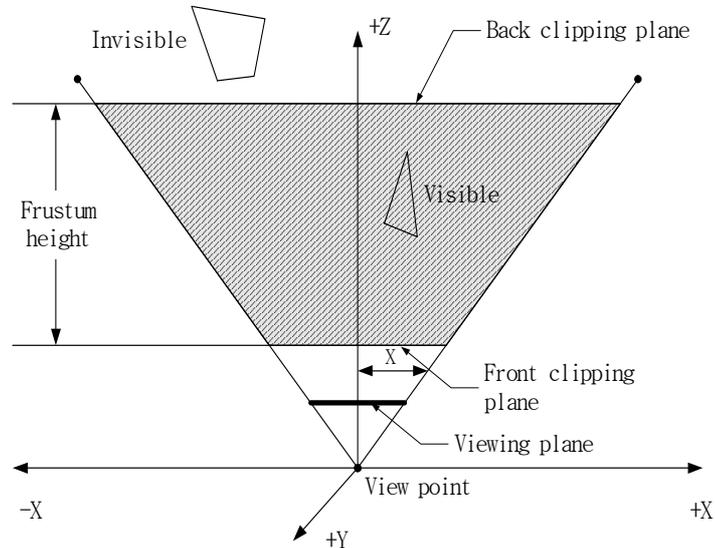


Fig. 5.15 Object space clipping

Fig. 5.15은  $z$ 축에 기초한 절단면의 배치를 나타내는데,  $y$ 축에서 바라본 뷰이다. 이 Fig. 5.15을 기초로 하여 삼각형의 닳은꼴의 성질을 이용하면 절단을 나타내는 식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$-\frac{W \times z}{2 \times d_d} \leq x \leq \frac{W \times z}{2 \times d_d} \quad (40)$$

$$-\frac{W \times z}{2 \times d_d} \leq y \leq \frac{W \times z}{2 \times d_d} \quad (41)$$

$$d_b \leq z \leq d_f \quad (42)$$

여기서,  $W$ 는 화면의 폭,  $d_d$ 는 관측점과 투영면사이의 거리,  $z$ 는 객체위치의  $z$ 좌표,  $d_b$ ,  $d_f$ 는 각각 관측점에서 전후 절단면사이의 거리를 의미한다.

## ② 이미지 스페이스 클리핑(Image space clipping)

이미지 스페이스 클리핑이란 단순히 물체의 2차원 래스터라이제이션(rasterization)을 살펴보는 클리핑의 한 형태로서, 객체의 원근투영 후 수행된다. 오브젝트 클리핑이 수학적으로는 합리적이지만 3차원 시계장면의 재현이라는 면에서 사용하기에는 비효율적이기 때문에 본 논문에서는 시계장면 재현 프

로세서의 초기단계에만 오브젝트 스페이스 클리핑을 수행한 후 최종적인 시계 장면 구현에서 이미지 스페이스 클리핑을 수행한다. Fig. 5.16은 이미지 스페이스 클리핑의 2차원 래스터라이제이션을 설명하고 있다.

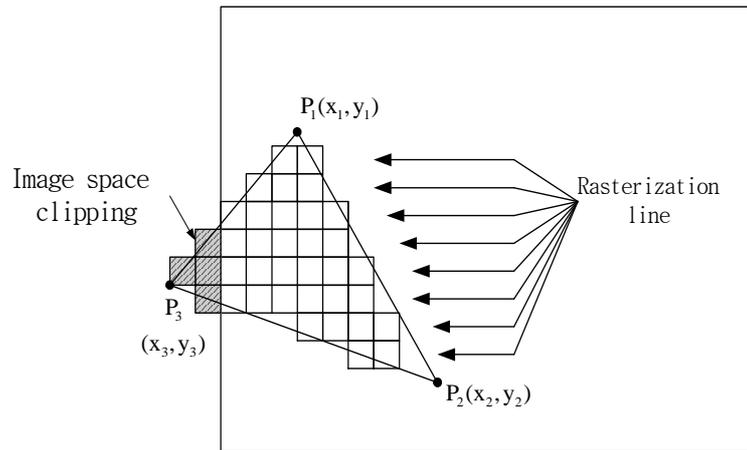


Fig. 5.16 Image space clipping

### 4.3 사실성 부여와 성능의 향상

#### 1. 은면제거

은면제거란 올바른 순서대로 3차원 객체를 그리는 것으로서 3차원 그래픽에서 가장 복잡한 측면인데, 3차원 시계장면 재현의 속도를 느리게 만드는 병목 현상의 제1의 원인이고, 렌더링과 혼합되어 나타난다. 은면제거에는 2가지 명확한 단계가 있다. 첫 번째 단계는 후면발취(Back-face cutting)이라 부르며, 이는 기본적으로, 프로세스 할 필요 없는 다각형은 제거하는 방법이다. 두 번째 단계는 후면발취를 수행한 후 일단 보이는 다각형들의 리스트를 결정하고, 렌더링을 시작하는 것이다. 후면발취에 의한 은면제거로 보통 장면의 복잡함이 50% 줄기 때문에 렌더링의 속도는 2배정도 빨라져서 3차원 시계장면의 재현속도를 빨라지게 할 수 있다. 각각의 단계에 대한 설명은 다음과 같다.

#### ① 후면 발취

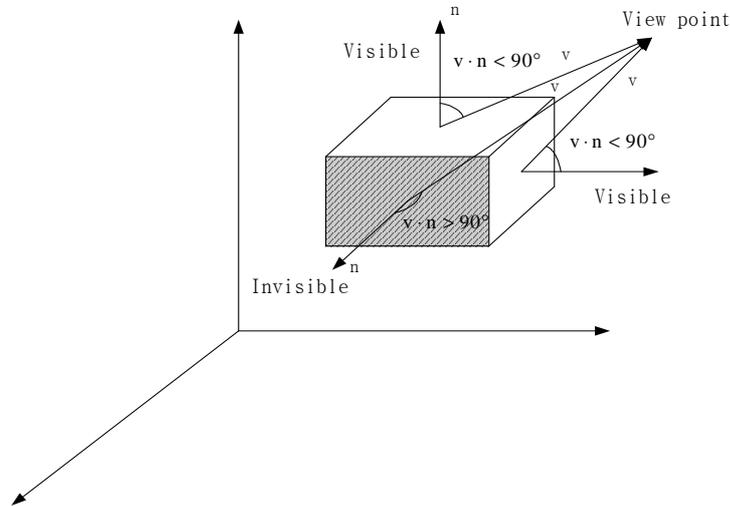


Fig. 5.17 Back-face cutting

후면발체란 Fig. 5.17에서 보는 바와 같이 한 물체에 있어서 보이지 않는 면은 제거하는 것을 말하며, 원리는 벡터연산을 통해서 알 수 있다. Fig. 5.17을 참조하면 정육면체의 각각의 면들에 대한 수직벡터들의 세트와 함께 시선벡터  $v$ 를 볼 수 있다. 후면발체는 이러한 수직벡터와 시선벡터의 도트 프로덕트를 수행한 결과가 양인지 음인지를 판단하여 양이면 보이고, 음이면 보이지 않는다는 것이 그 원리이다.

## ② 렌더링

렌더링과 은면제거의 개념은 자주 혼동되고 서로가 혼합되기도 한다. 렌더링은 다각형이 어떻게 그려지느냐와 관련이 있고, 은면제거는 단지 감추어진 면을 제거함을 의미한다. 3차원 렌더링 알고리즘은 다각형이 어떻게 그려지느냐에 따라 분류될 수 있는데, 이에 는 페인터 알고리즘(Painter Algorithm)과 깊이정렬 알고리즘(Deep-sort Algorithm), z-버퍼 알고리즘(z-buffer Algorithm)등이 있다. 이들에 대한 상세한 설명은 참고문헌을 참고하고 여기서는 본 논문에서 사용한 z-버퍼 알고리즘에 대하여 설명하기로 한다.

z-버퍼 알고리즘은 하드웨어와 소프트웨어 모두에서 가장 보편적이고 광범위하게 사용되는 렌더링 기술이다. z-버퍼란 디스플레이 화면과 같은 해상도를 갖는 2차원 행렬을 말한다. z-버퍼 알고리즘은 먼저 각 다각형의 평면 방정식을 계산하고, 그런 후 다각형을 구성하는 각 화면 위치  $(x, y)$ 에 대하여 z구성요

소를 계산하고 어떤 임의의 값으로 초기화된 z-버퍼에 대하여 검사를 수행하는 것이 그 원리이다. Fig. 5.18은 z-버퍼의 초기화를 나타내고, Fig. 5.19는 z-버퍼 알고리즘의 원리를 구체적으로 나타내고 있다.

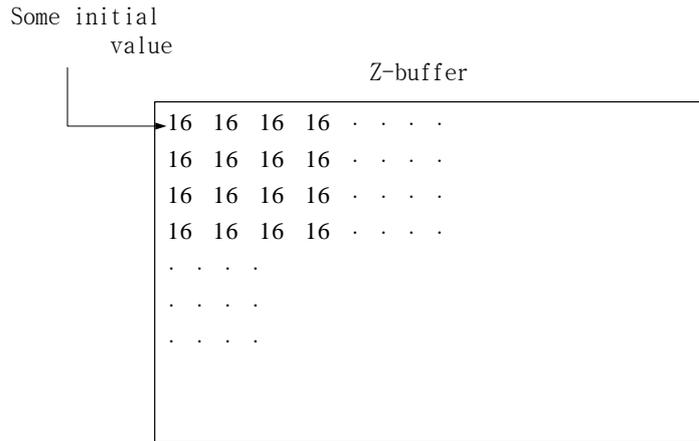


Fig. 5.18 Initialize of z-buffer

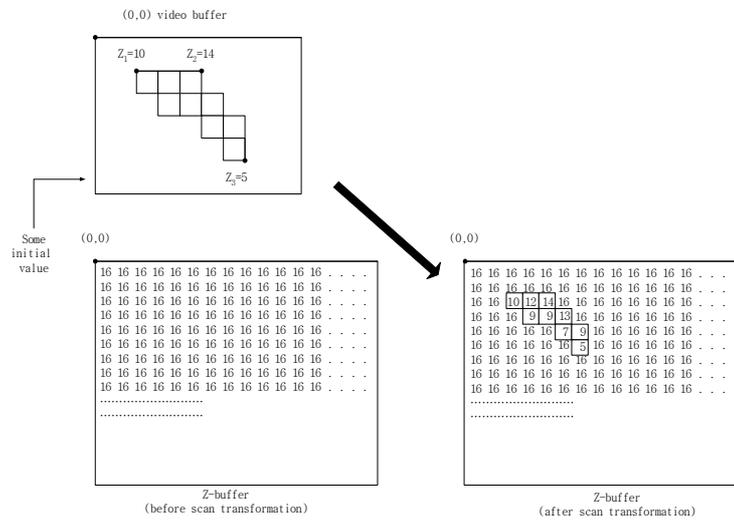


Fig 5.19 z-buffer algorithm

## 2. 셰이딩

셰이딩이란 물체를 현실감 있게 표현하기 위해 물체 표면에 음영을 주는 것을 말하는데 그라우드(Graud) 셰이딩과 플랫 셰이딩이 있다. 그라우드 셰이딩의 경우는 전체적인 수행속도를 지연시키기 때문에 본 논문에서는 플랫 셰이딩에 대해서만 살펴보도록 하겠다.

플랫 셰이딩은 어떤 임의의 지점에서의 광원과 셰이딩을 하려고 하는 보이는 면의 수직벡터 사이의 도트 프로덕트를 수행하여 광원의 입사각을 구한 후 64 또는 256가지의 음영 또는 기타 여러 개수의 음영을 스케일하여 표면에 적용하는 방법이다.

## 3. 텍스처 맵핑(Texture mapping)

텍스처 맵핑(Texture mapping)은 색색의 삼각형들만으로 구성된 3차원 장면을 사실적인 모습으로 바꾸기 위한 기법이다.

텍스처란 미리 만들어진 이미지로, 3차원 상의 표면에 '입히는' 옷감 또는 무늬라고 할 수 있다. 사람은 사물을 볼 때 크기, 모양, 그리고 재질로 사물들을 구별한다. 3차원 가상공간에서도 마찬가지이다. 객체들은 크기, 모양뿐만 아니라 객체를 덮고 있는 텍스처에 의해 구별된다.

하나의 텍스처 맵핑을 표면에 입히려면 표면에 대한 텍스처의 방향을 지정할 수 있어야 한다. 그렇게 하기위해서 쓰이는 것이 매개 좌표라고 하는 것으로, 일반적으로 Fig. 5.20에서처럼  $(u, v)$ 로 지칭한다. 일반적인 텍스처 맵핑의 경우  $u$ 와  $v$ 의 값들은 0에서 1사이이다. 텍스처가 입혀진 표면 상에서의  $u$ 와  $v$ 의 최대, 최소값은 텍스처 맵핑의 범위를 결정하게 된다. 이 값들을 바꾸면 텍스처가 다르게 입혀지게 된다. 본 논문에서의 각각의 객체는 대부분 텍스처 맵핑으로 사실감을 주고 있다.

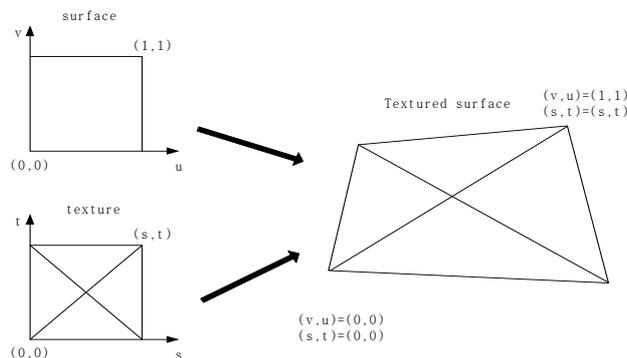


Fig. 5.20 Texture mapping

#### 4.4 3차원 모델링

아래 그림들은 본 논문에서 3차원 그래픽 기법들을 이용하여 제작한 모델들이다.

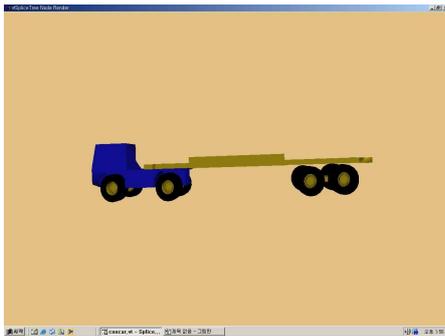


Fig. 5.21 Container car

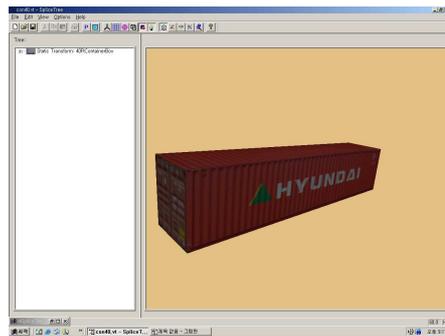


Fig. 5.22 Container box

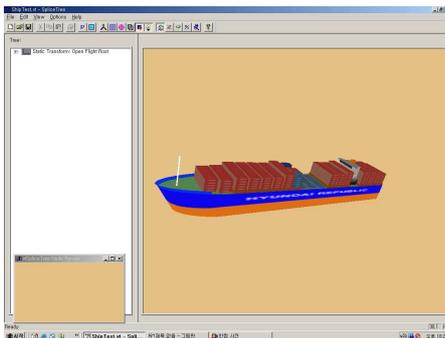


Fig. 5.23 Container ship

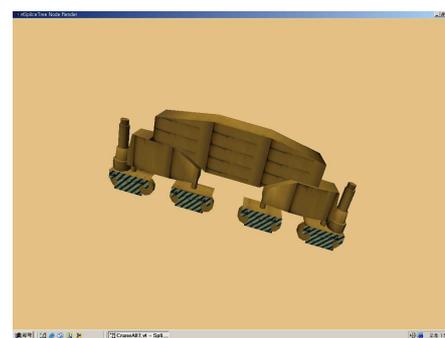


Fig. 5.24 Container crane wheel

## 제 5 장 시뮬레이터 개발 환경

### 5.1 하드웨어와 소프트웨어

본 논문에서 사용된 하드웨어 사양은 Table 6.1과 같으며, 운영체제 (Operating system)는 Windows 2000을 사용하였다. 그리고 최종적인 시뮬레이터 개발에 사용되어진 컴파일러는 MicroSoft Visual C++ 6.0이다.

CPU	Intel Pentium III 933MHz
Memory	512MB
HDD	20GB
Video Card	nVidia Geforce2 GTS

Table 6.1 Specification of computer hardware

또한, 스캐너로 생성한 데이터를 Auto CAD와 3D Studio max, Adobe Photoshop 등의 그래픽 툴을 사용하여 3차원 물체를 생성하였으며, 그래픽 라이브러리로는 CG<sup>2</sup>사의 Vtree를 사용하였다. Vtree는 OpenGL 기반의 그래픽 라이브러리로 여러 표현 및 특수효과를 효과적으로 구현할 수 있게 한다.

### 5.2 시뮬레이터의 구성 및 기능

#### 1. 시뮬레이터의 구성

시뮬레이터를 구성하기 위해 몇 가지 구성방법이 제시될 수 있으나 기본적인 구성장치는 Simulation engine, Control console, Motion system, Sound system, Visual system으로 구분된다. 본 논문에서는 저비용 고효율의 시뮬레이터를 구성하고 작업조건과 운전조건의 변경에 대해 융통성을 부여하고 Simulation engine과 상호 호환성을 유지하기 위해 Operation condition system(instructor system)과 PLC(Programmable logic controller) 시스템을 도입하여 Simulation engine과 연결하였다. 시뮬레이터의 운전 중에 어떤 특수 작업조건이 추가나 작업환경을 변경하는 것은 Operation condition system이 담당하는데 교관(또는 운전자)에 의해 간단한 스위치나 키보드 조작으로 이루어질 수 있도록 하였다. 또한 컨테이너 크레인의 인터록 및 시퀀스 등의 제어조건

이나 운전조건 및 순서를 PLC에서 프로그램으로 조정하도록 하였다.

운전자가 Control console에서 각종 스위치 조작에 의해 PLC의 접점이 동작되고 Simulation engine이 구동되어 최종적으로 화면은 Visual system으로, 소리는 Sound system 그리고 의자의 움직임은 Motion system으로 출력된다. 이들은 모두 LAN으로 연결되어 상호 통신하고 있으며 각 서브시스템마다 관련된 데이터를 송수신한다.

Fig. 6.1은 시뮬레이터의 구성을 나타낸 것이다.

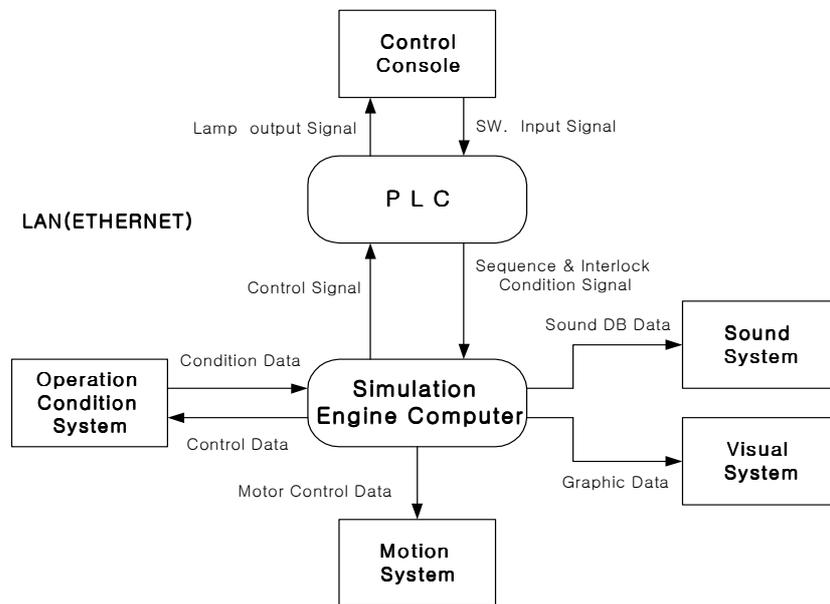


Fig. 6.1 Composition of simulator

## 2. 크레인 운전교육 훈련방법

컨테이너 크레인 운전에 관한 교육훈련을 실시하는데 보통 기본훈련, 중간훈련 및 숙달훈련 과정으로 나누어 생각할 수 있다.

### ①기본훈련 과정

이 과정의 대상은 컨테이너 크레인 운전경험이 전혀 없는 사람이며 육상의 기중기나 BTC, LLC, Unloader, 천정크레인 등의 유사 크레인 경험자도 역시 초심자로 간주한다. 주로 이 과정에서는 다음과 같은 교육훈련이 주로 이루어지며, 사정에 따라 약간씩 다르나 3주나 4주정도 실시된다. 훈련내용은 주로 기본

동작과 스위치 조작훈련이다.

- 높은 위치에서의 공포감 제거와 안전 강화훈련
- 스프레더의 수직거리 측정 숙달 훈련
- 마스트 컨트롤러의 작동과 속도인지 훈련
- 좌우 제어반의 스위치와 푸시버튼의 기능과악과 작동훈련
- 주행, 횡행, 권상하 작동훈련
- 스프레더의 정확한 위치지정 훈련
- 스프레더 램프 인지 훈련
- 스프레더의 피드백 제어 훈련
- 컨테이너의 착상(Landing)과 트위스트 록(Twist lock) 작동훈련
- 주 동작인 권상하와 횡행 조종레버의 병행 작동훈련
- 컨테이너의 적·양하 작업 훈련

## ② 중간훈련 과정

이 과정의 훈련대상은 컨테이너 크레인 운전경력이 1년 미만이거나 현장작업에서 시간당 컨테이너 처리량이 약 20개 미만인 운전자가 될 것이다. 주로 이 과정에서는 다음과 같은 교육훈련이 주로 이루어진다. 훈련내용은 호이스트와 트롤리의 병행동작을 사용한 스프레더의 피드백 제어훈련과 다소 특수한 작업 훈련이다.

- 주 동작인 권상 권하와 횡행 조종레버의 병행작동과 속도인지 훈련
- 약 20m의 긴 권상하 거리에서의 스프레더의 피드백 제어 훈련
- 본선의 해치 커버 취급 연습
- 권상 권하와 횡행 동작의 고속 이송작업 훈련
- 이중 사이클(Double cycle) 작업 훈련
- 야간작업 훈련
- 바람 등의 조건 하에서의 훈련
- 문제부여(System fault) 등에서의 대처 훈련

## ③ 숙달훈련 과정

이 과정의 훈련대상은 컨테이너 크레인 운전 경력이 1년 이상이거나 실제 작업에서 시간당 컨테이너 처리량이 약 20개 이상인 운전자이다. 주로 이 과정에서는 다음과 같은 교육훈련이 주로 이루어지며, 사정에 따라 약간씩 다르나 약 1주일 정도 실시된다. 훈련내용은 고급훈련으로 작업환경이 열악한 조건의 어려운 작업 훈련이다.

- 호이스트와 트롤리의 병행동작을 사용한 긴 양정거리에서 고속작업 훈련

- 선박이 기울어진 상태에서 틸팅 디바이스를 사용한 작업 훈련
- 각종 특수 문제가 부여된 작업환경 하에서의 작업 훈련
- 바람, 야간, 안개, 우천 등의 악조건 하에서의 고난도 작업 훈련
- 각종 고장(Fault)발생 부여 및 어려운 작업 조건이 겹쳐진 경우의 작업 훈련

### 3. 시뮬레이터의 환경설정 및 시나리오 구성

시뮬레이터의 첫 화면은 Fig. 6.2와 같이 시뮬레이션 구동시 사용자와 작업환경 및 시나리오를 구성할 수 있는 메뉴이다. 가장 먼저 입력해야 할 항목은 Scenario ID로 시뮬레이터를 사용할 훈련생의 Group 및 개인 ID를 입력한다. Group ID를 기록하는 이유는 훈련과정별로 구분하기 위해서이다. 그리고 사용자 정보(ID와 이름)를 입력하며 이것은 사용자별 개인의 훈련기록을 저장하거나 훈련 시나리오를 별도의 구성이 가능하도록 한다.

다음은 각종 환경설정부분으로 날씨, 시계(Visibility), 시뮬레이션 시간, 선박의 상태, 작업의 종류 및 작업홀드의 설정부분으로 구분된다.

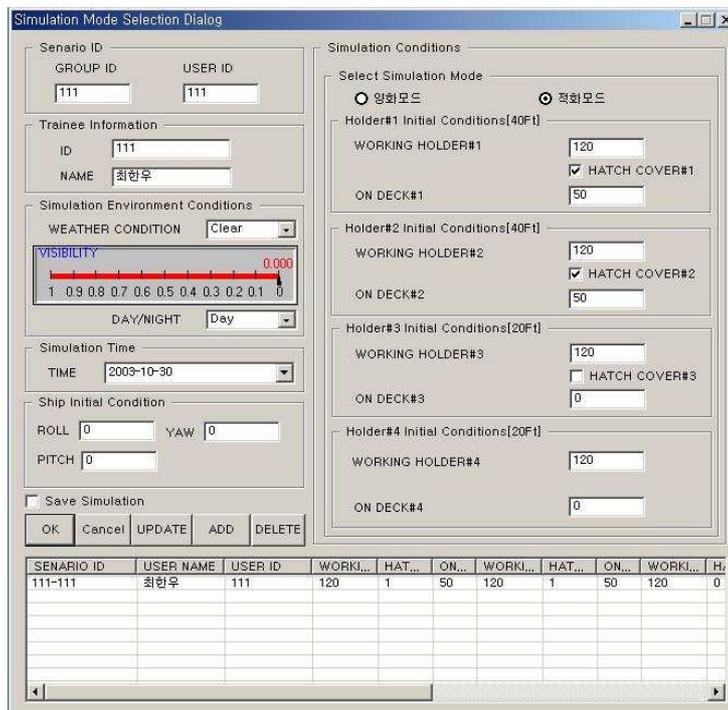


Fig. 6.2 Option of simulator

날씨는 Clear, Rain, Snow의 세 가지 모드가 있으며, 시계는 완전히 맑은 상태(0)에서 전혀 안 보이는 상태(1) 까지 0.25씩 단계별로 조정할 수 있다.

시뮬레이션 시간은 기본적으로 윈도우 상의 날짜와 연동이 되나 달력의 형태로 된 날짜선택 창에서 임의로 조정이 가능하므로 총 시뮬레이션 시간을 계산하는데 용이하다. 다른 하나는 주간작업과 야간작업의 훈련을 하기 위한 것으로 Day, Night high, Night middle, Night low의 네 가지 모드로 구성된다.

선박의 상태는 선박의 기울어져 있는 경우에 컨테이너 적.양화 훈련을 하기 위한 것으로 Yaw, Roll, Pitch 세 가지 방향으로 기울기를 조정할 수 있다.

작업의 종류(Select simulation mode)는 양화작업과 적화작업을 임의적으로 선택할 수 있도록 한 것이다.

작업홀드의 설정부분은 40피트 2개의 홀드와 20피트 전용 2개의 홀드에 대해 작업환경을 설정하기 위한 것이다. 이 부분은 홀드 내부와 데크(Deck) 위의 컨테이너 개수를 설정하고 해치카바의 유무를 조정하여 홀드작업 또는 갑판 위의 작업으로 구분한다.

시뮬레이터의 중요한 기능중의 다른 하나는 시나리오 구성이다. 시나리오 ID 별로 각 여러 작업환경의 설정사항을 하나의 시뮬레이션 시나리오로 추가(Add), 갱신(Update)하고 삭제>Delete)할 수 있도록 한다. 저장된 시나리오를 다시 사용할 수 있으며 시나리오 저장목록에 더블클릭함으로써 간단히 시나리오를 로딩시킬 수 있다. 또한 시뮬레이션을 저장(Save simulation)기능을 사용하면 각 운전자별 훈련 중의 내용을 기록하고 저장하며 시뮬레이션 종료 후 이를 파일이나 프린터 형태로 훈련성적을 출력할 수 있다.

#### 4. 시뮬레이터의 기동과 기능

##### ① 기본 시작화면

시뮬레이션의 시작은 환경설정이 완료되고 Fig. 6.3과 같이 실행된다. 환경설정을 하지 않으면 환경설정 기본값(Default value)인 날씨는 Clear, 시계는 0, 작업시간은 주간(Day)이며 선박의 상태는 Yaw, Roll, Pitch가 전혀 없는 상태의 적화작업 상태 화면이 나타나게 된다. 시작화면은 실제 크레인에서 운전자가 주요 작업창을 통해 작업현장을 보는 모습과 같은 화면이 전개된다. 시작과 동시에 컨테이너 트레일러가 크레인 아래에 자동적으로 도착하게 되고 운전자의 키 조작에 의해 작업이 시작하게 된다. 여기에 추가된 기능으로는 Simulation Mode Select가 있다. 보기 메뉴의 하부 메뉴로 등록되어 있으며 이 메뉴의 기능은 훈련도중 시뮬레이션 환경설정 화면을 불러서 설정을 변경하여 작업을 다시 시작할 수 있다.

그 외 메뉴바는 기본적으로 윈도우 기본메뉴와 동일하다.

### ② 화면 설정

본 시뮬레이터는 여러 각도에서 작업상태와 진행을 파악할 수 있도록 다양한 화면을 제공하며 키보드의 조작에 의해 화면이 변경된다.

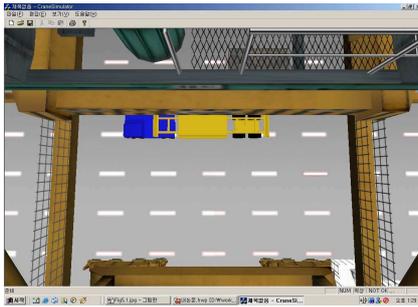


Fig. 6.3 Starting view

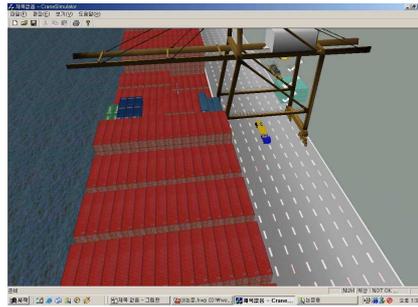


Fig. 6.4 Long range view

시뮬레이션 화면은 Fig. 6.3과 같은 운전자의 눈에 의해 보이는 기본적인 화면 이외에 트롤리에서 수직하방으로 스프레더를 내려다본 화면, 스프레더의 측면에서 바라본 화면, 대각선 방향에서 컨테이너 크레인과 선박을 바라본 원거리 화면(Fig. 6.4) 그리고 운전실에서 앞으로 정면으로 바라본 화면으로 디스플레이 된다.

### ③ 환경설정과 화면조작

시뮬레이터는 작업시작 전 Fig 6.2의 환경설정 화면에 의해 작업환경을 조정할 수도 있지만 작업도중 키보드 조작으로 작업환경을 변경시킬 수 있다. 또한 시뮬레이터의 Control console의 레버나 스위치 조작으로 운전할 수 있고 동시에 키보드만으로 운전할 수 있도록 하여 일반 PC상에서 사용이 가능토록 하였다. Control console의 레버 위치(1단-5단)에 의한 속도조절은 키보드의 누르는 횟수를 조절함으로써 가능토록 하였다. 예를 들어 트롤리의 전진은 키보드의 ↑를 이용하고 누르는 횟수에 따라 속도가 증가된다.

또한 컨테이너 크레인의 가장 중요한 장치인 스프레더의 조작은 Twist lock, Flipper, Telescopic beam으로 구분되는데 스위치이나 키보드로 동시에 조작이 가능하도록 구성된다.

컨테이너 하역작업에서 선박이 Yaw, Roll, Pitch 방향으로 기울어짐에 따라

그 각도만큼 스프레더를 기울이는 Tilting device 장치에서 스프레더는 Trim, List, Skew 세 가지 방향으로 동작이 가능해야 한다. 또한 선박 홀드 내부에 컨테이너나 스프레더를 이탈하지 않도록 안내하는 셀 가이드에 Collision detection 기능이 추가되어 컨테이너나 스프레더의 충돌을 탐지하도록 함으로써 실제 크레인 작업과 유사하도록 환경을 조성하는 것이 중요하다.

Fig. 6.5는 스프레더의 Tilting 동작을 보여주고 있으며 Fig. 6.6은 선박의 기울어짐을 보이고 있다.

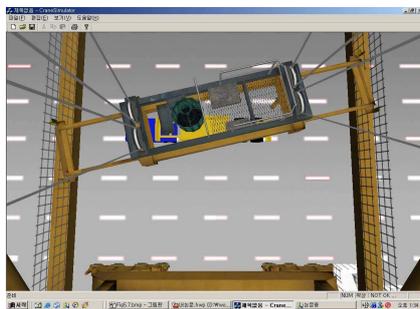


Fig. 6.5 Spreader tilting



Fig. 6.6 tip of ship

날씨에 관한 환경설정도 간단히 키보드를 조작하여 설정할 수 있는데 이는 설정화면에서 환경을 설정하는 것과는 달리 날씨의 중복설정이 가능하다. 예를 들면 눈과 비, 안개와 비 등으로 혼합하여 디스플레이 할 수 있다. Fig. 6.7은 날씨의 변경화면을 보여주고 있다.

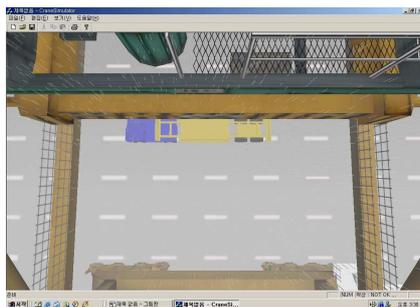


Fig. 6.7 Weather control(Rain)

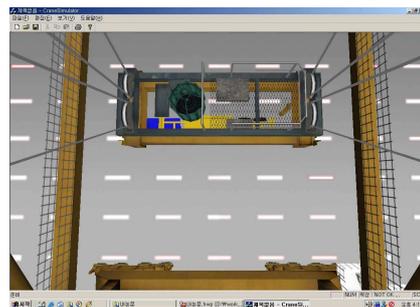


Fig. 6.8 Working time(Night)

실제 컨테이너 하역현장에서 주간과 야간작업에 따라 운전자의 시야 및 물체



## 제 6 장 결 론

본 논문에서는 컨테이너 크레인의 효율적인 운용과 운전자의 훈련을 위해 실시간 운전 시뮬레이터 시스템을 개발하였다. 여기에서 가장 중요하다고 생각되는 현실감을 살리기 위해 컨테이너 크레인 시스템에 대해 연구하였고, 산업현장에서의 크레인 운전 교육훈련 방법을 설명하였다. 또한 스프레더의 흔들림 운동방정식을 유도하였으며, 각종 3차원 그래픽 기법에 대해 연구하였다.

시뮬레이터 개발을 위해 16열의 포스트 파나막스 형식의 컨테이너 선박과 컨테이너 크레인을 포함한 객체들을 산업현장과 거의 유사하게 3차원으로 모델링하였다. 시뮬레이터는 크레인 자체의 기본적 작동훈련 기능과 시뮬레이터가 가지는 장점인 작업환경 설정과 훈련통계 및 기록기능을 가지고 있다.

또한 시뮬레이션 시스템은 주요 동작인 호이스트의 상하동작, 트롤리의 전·후진동작 및 주행의 좌우동작이 가능하며 컨테이너 크레인의 핵심 장치인 스프레더의 세 가지 동작이 가능하다. 그리고 실제 크레인과 거의 비슷한 스프레더의 흔들림, 틸팅 동작, 운전순서 및 인터록 등의 기능이 구현되었다. 작업형태를 양화와 적화작업, 홀드 및 갑판 위에서의 작업으로 구분하고 날씨, 작업시간, 시계 및 선박의 조건 등의 작업환경을 설정 가능한 시스템으로 구성하였다.

본 논문에서 개발된 컨테이너 크레인 실시간 운전 시뮬레이터는 장소, 비용, 안전문제로 인해 실물장비를 사용한 지속적인 반복훈련 및 다양한 작업환경 하에서 운전훈련이 불가능한 문제점을 해결하는데 많은 도움을 줄 것으로 예상된다. 또한 개인 컴퓨터를 기반으로 하는 3차원 가상 실시간 시뮬레이션 시스템의 개발로 저가이고 유지보수 비용이 적은 범용적인 보급형 시뮬레이터의 개발이 가능하였다는 것이 큰 의의가 있다.

향후 산업체로의 폭넓은 시뮬레이터의 보급과 많은 운전자의 양성을 위해 노트북 형, 이동 형 및 데스크톱 형 등의 다양한 형식으로 개발하는 것이 필요할 것으로 예상된다.

## 참 고 문 헌

- [1] Brochure, “Crane Simulation System”, Digitran Simulation System.
- [2] Maritime Dynamics LTD. “MARDYN Crane Simulator Specification”, 1994.
- [3] Magazine, “The Straits Time 1994, 3- Singapren”, 1994.
- [4] 해사산업연구소, “컨테이너 크레인 시뮬레이터 가상현실 프로그램 개발”, 한국해양대학교부설 해사산업연구소, 2002.
- [5] 소명옥, 최재준, “컨테이너 크레인 시스템”, 한국해양대학교, 2002.
- [6] 소명옥, 최재준, “컨테이너 크레인 시뮬레이터 개발을 위한 기초연구”, 한국해양대학교 학술진흥회, 1999.
- [7] 소명옥, 최재준, 강인철, “컨테이너 화물의 흔들림에 관한 수학적 모델링과 그 부속 연구”, 한국해양대학교부설 해사산업연구소, 2001.
- [8] 이성욱, “출입항 조종의 실시간 시뮬레이션 기법 및 데스크탑형 시뮬레이터의 개발에 관한 연구”, 한국해양대학교대학원, 공학석사 학위논문, 1998.
- [9] 편집기획실, “Microsoft Visual C++ Object-Oriented Programming”, 삼양출판사, pp. 15 - 23, pp. 28 - 416, 1999.
- [10] 이현찬, 채수원, 최영, “컴퓨터 그래픽스 및 형상모델링” pp. 111-147, 시그마프레스, 1997.
- [11] James D. Foley, Andries van Dam, Steven K. Feiner John F. Hughes and Richard L. Phillips 저, 조동섭, 한정현 공역, “컴퓨터 그래픽스”, 홍릉과학출판사, 1998.
- [12] Kevin Hawkins and Dave Astle, “OpenGL Game Programming”, 정보문화사, 2001.
- [13] Ivor Horton, “Beginning Visual C++6”, 정보문화사, 1999.
- [14] 김용성, “Visual C++6 완벽가이드”, 영진출판사, 2003.
- [15] CG2.Inc, “VTree User’s Manual”, 2001.
- [16] 최재준, “CONTAINER CRANE MECHANISM 개론”, 한국항만연수원, 1999.
- [17] 최홍엽, “항만하역실무”, 동명대학, 1999.
- [18] 한진중공업주식회사, “감천항 40LT 컨테이너 크레인 운전 및 정비지침서” 1996.
- [19] 한국컨테이너부두공단, “Container Crane 운전 및 정비지침서”, 한국중

공업주식회사, 1990.

[20] 한국컨테이너부두공단, “부산항 4단계 컨테이너 크레인 운전 및 정비 지침서”, 한국중공업주식회사, 1997.

[21] Digitran Inc., “Crane Simulator”, 1991.

[22] Maritime Dynamics LTD., “Crane Simulator Product Description”, 1995.

abstract(한글)

오늘날 해상운송의 현대화에 따라 컨테이너 터미널에서 하역장비의 대형화와 자동화가 진전되고 있고 하역시간을 단축하려는 노력이 꾸준히 이루어지고 있다. 컨테이너 운송에서 병목현상은 컨테이너 크레인 하역작업에서 자주 일어나기 때문에 컨테이너 터미널 전체의 생산성 향상은 컨테이너 크레인의 작업효율에 크게 의존하고 있는 실정이다.

여러 제어기법을 사용한 컨테이너 크레인의 자동화나 작업시간 단축에 대한 연구가 이루어지고 있지만, 예측 할 수 없는 선박주위의 작업조건들로 인해 현재까지는 이에 대한 연구가 미비하여 컨테이너 크레인 운전자의 개인적 능력에 의존하고 있는 형편이다.

따라서 크레인 운전자의 운전능력을 향상시키는 것이 급선무이며 특히 날씨나 선박의 기울어짐 등 특수한 작업조건에서 신속한 작업이 가능하도록 운전능력을 향상시키는 것이 중요하다. 또한 안전사고율을 줄여 터미널의 경제적 손실과 작업시간 낭비를 줄이는 것이 필요하다.

실제 장비가 너무 고가이고 많은 훈련경비가 소요되며 위험성이 따르므로 실제 크레인으로 운전자를 양성하는 것은 거의 불가능하다. 그러므로 여러 가지 작업상황에서 훈련을 할 수 있고 훈련경비가 저렴하고 위험성이 없는 컨테이너 크레인의 시뮬레이터 개발이 필요하다.

그러므로 본 논문에서는 여러 가지 작업환경을 조정할 수 있고 외국제품을 대체하는 PC기반 범용적인 시뮬레이터 개발에 대해 연구한다.

또한 실시간으로 동작이 가능하며 실제 작업상황과 비슷한 스프레더의 흔들림, 화면, 소리 및 작동순서를 가진 시뮬레이터 개발에 대해 연구한다.

본 논문에서는 효과적인 시뮬레이터 개발을 위해 컨테이너 크레인 시스템과 교육훈련 방법을 기술하고, 스프레더 흔들림의 수학적 모델링 식을 세운다. 또한 시뮬레이션 구현을 위한 3차원 그래픽 기법과 개발환경에 대해 논한다.

이러한 시뮬레이터의 개발은 항만 생산성 향상을 위한 항만 전문인력 양성과 외국의 수출확대 및 기술기반 저변확대의 경제적 기술적 효과가 있을 것이다.