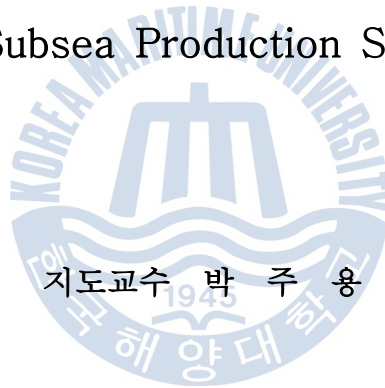


공학석사 학위논문

심해 석유 생산 시스템
시뮬레이션 구현에 관한 연구

Study of Implementation of Simulation
for Subsea Production System



2012년 2월

한국해양대학교 대학원

조선해양시스템공학과

임 영 진

本 論 文 을 任 榮 眞 의 工 學 碩 士 學 位 論 文 으 로 認 准 함 .

위원장 : 공학박사 조효제 (인)

위 원 : 공학박사 박주용 (인)

위 원 : 공학박사 남종호 (인)



2012년 2월

한 국 해 양 대 학 교 대 학 원

목 차

List of Tables	I
List of Figures	II
Abstract	III
제1장 서론	1
1.1 연구배경	1
1.2 연구 목표	2
제2장 심해 석유 생산 시스템	3
2.1 심해 석유 생산의 과정	3
2.2 심해 석유 생산 시스템의 주요 구성품과 역할	4
제3장 객체지향 정보 모델링	10
3.1 객체지향 모델링 기법 (OMT : Object Modeling Technique)	10
3.2 객체와 클래스	13
3.3 UML(Unified Modeling Language)	18
3.4 UML 다이어그램	18
제4장 석유 생산 시스템의 시뮬레이션	21
4.1 시뮬레이터의 의미	21
4.2 시뮬레이터 모델링	22
4.3 심해 석유 생산 시스템의 layout	25
4.4 시뮬레이션의 구현 방법	27
4.5 심해 석유 생산 시뮬레이션	29
제5장 결론	33
참고문헌	34

List of Tables

Table. 1 밸브의 종류와 그 역할	6
Table. 2 해상 광구 개발 시 고려사항	26



List of Figures

Fig. 1 석유 source별 생산현황 및 단기 전망 -----	1
Fig. 2 심해와 천해의 시추 투자 현황 및 전망 -----	1
Fig. 3 광구 개발 과정 -----	3
Fig. 4 심해 석유 생산 시스템 장비의 분류 -----	4
Fig. 5 X-mas tree의 종류 -----	5
Fig. 6 HXT의 구조 -----	6
Fig. 7 Manifold -----	7
Fig. 8 Jumper -----	7
Fig. 9 Pipeline End Termination -----	8
Fig. 10 Flowline -----	8
Fig. 11 Umbilical, Umbilical Termination Assembly -----	9
Fig. 12 Stage of Object Oriented Technique -----	10
Fig. 13 3-models of Object Oriented -----	11
Fig. 14 One-to-one association and links -----	14
Fig. 15 Many-to-many association -----	14
Fig. 16 Example of aggregations -----	15
Fig. 17 Multi-level aggregation -----	15
Fig. 18 Aggregation of system -----	16
Fig. 19 Example of Generalization and Inheritance -----	17
Fig. 20 UML 다이어그램의 class diagram -----	18
Fig. 21 Class diagram of system -----	19
Fig. 22 심해 석유 생산 시스템의 sequence diagram -----	20
Fig. 23 X-mas tree의 모델링 -----	22
Fig. 24 Manifold의 모델링 -----	23
Fig. 25 Pipeline End Termination의 모델링 -----	24
Fig. 26 Umbilical Termination Assembly의 모델링 -----	24
Fig. 27 심해 석유 생산 시스템의 layout -----	26
Fig. 28 시뮬레이션 구현의 방법 -----	27

Fig. 29 Particle의 이동	28
Fig. 30 심해 석유 생산 시뮬레이션	29
Fig. 31 정상상태	30
Fig. 32 정상상태의 결과	30
Fig. 33 문제 상황 1	31
Fig. 34 문제 상황 1의 결과	31
Fig. 35 문제 상황 2-1 (밸브 조정 無)	32
Fig. 36 문제 상황 2-2 (밸브 조정 有)	32
Fig. 37 문제 상황 2-1의 결과	32
Fig. 38 문제 상황 2-2의 결과	32



Study of Implementation of Simulation for Subsea Production System

Young-jin Lim

*Division of Naval Architecture and Ocean Systems Engineering
Graduate School of
Korea Maritime University*

Abstract

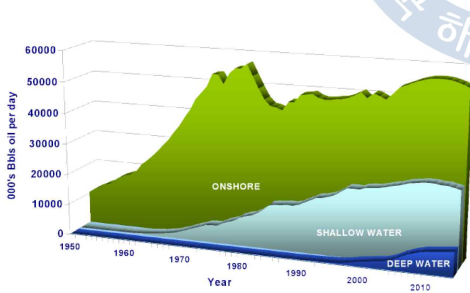
The purpose of this study is implementation of the simulation for subsea production system. Subsea production system is installed under the environment of high pressure and low temperature. Most of processes of production are proceeded in the subsea equipments. Therefore, the understanding and study of subsea production system is very difficult because people cannot observe the process directly. The simulation system can be a solution for this difficulty. In this research the information models and 3-D graphic model for the subsea equipments were built using the object-oriented technology and 3-D CAD. The entire system was implemented with help of simulation software, 3-DVIA Virtools. The simulation system of subsea production system was tested with several scenarios of production process. The test results showed that the simulation system is very useful for the understanding of subsea production system and can be a good education tool.

제1장 서론

1.1 연구배경

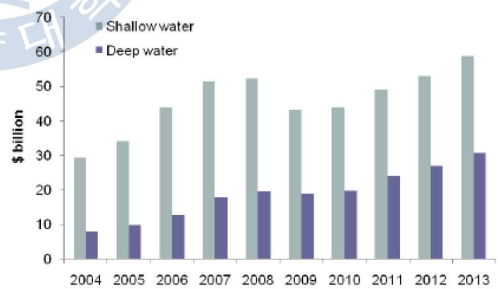
1953년도 멕시코 만에 지금과 같은 현대적인 장비로 유전을 본격적으로 개발하면서 해저 석유 개발 시대가 본격적으로 시작되었다. 초기에는 해안 200m 안쪽인 대륙붕에서의 개발이 이루어 졌다. 시간이 지나 대륙붕에 남은 매장량이 점점 고갈되고 2008년도에는 한때 유가가 배럴당 140달러를 기록하면서 심해의 석유도 경제성이 있는 것으로 평가되었다. 따라서 해양 자원 개발은 연안을 넘어서 점점 심해로 나가고 있다.

IHS(Information Handling Services)에 의하면 2007년을 기준으로 석유의 잔존 매장량 중 해양석유가 약 24%를 차지하고 가스의 경우에는 같은 해를 기준으로 해상가스의 비중이 약 43%를 차지한다. 현재 해양석유생산은 전 세계 석유생산의 약 35%를 차지하고 있다. 그리고 2007년 심해 석유 생산량은 전체의 6%수준이지만 2012년까지 10%로 증가할 것으로 예상되며 이후 지속적으로 성장하는 유일한 부문이 될 것으로 Douglas-Westwood는 전망하고 있다.



자료 : Douglas-Westwood

Fig. 1 석유 source별 생산현황 및 단기 전망



자료 : Douglas-Westwood

Fig. 2 심해와 천해의 시추 투자 현황 및 전망

상부구조물도 석유 생산에 중요한 역할을 하지만, 특히 심해 생산에서는 해저에 설치하는 subsea system의 역할이 중요하다. Subsea system의 장비는 심

해저 환경을 고려하여 높은 수준의 플랜트 설계 및 엔지니어링 기술과 유지관리 등 고도의 첨단기술 개발이 필수적이며, 이러한 기술은 해저 플랫폼에서 각종 구조물 및 설비의 이송, 접합, 고정 등 극한기술로서 특화 경쟁력을 가지고 있어 잠재력이 매우 크다고 할 수 있다.

해저 석유생산장비는 가격이 매우 비싸고 구입한다 하더라도 실제 해저에서 작동하는 환경을 구현할 수 없어 작동원리를 알기 어렵다. 또한 하나의 장비는 다른 장비와 연동하여 움직이고, 연동되는 시스템은 거대하며 실제 장비의 작동 원리, 작동방법, 장비간의 연동성을 교육하는 것이 어려운 현실이다. 또한 위에 언급한 장비에 대한 이해와 그 시설물들에 대한 배치가 매우 중요하여 극히 제한된 회사만이 설계가 가능하다. 이와 같은 이유로 우리나라에서 관련기술에 대한 연구개발과 교육이 미미한 실정이다.

1.2 연구 목표

심해에서 일어나는 생산과정은 주위의 환경이 열악하여 접근이 불가능하다. 이는 실제로 석유가 생산되는 과정을 직접 관찰 할 수 없다는 말과 동일하다. 하지만 심해에서 일어나는 생산과정을 알기 위해서는 시각적인 접근이 효과적일 것이다.

그리고 해저에 설치하는 작업은 비용이 높은 경우가 대부분이며 이를 단시간 내에 끝낼 필요가 있다. 이를 위해서 배치 설계 이후 이를 검증하기 위해 3차원의 가상환경을 이용하여 검증하는 작업이 필수적이라 할 수 있다.

이와 같이 심해에서 일어나는 생산과정을 알고 3차원의 가상환경을 구현하기 위해서 해저에 설치되는 subsea system의 well, x-mas tree, manifold, flowline, umbilical cable, umbilical termination assembly(UTA) 등과 같은 주요 장비들을 중심으로 각 장비들의 특징, 작동 원리를 고려하여 모델링을 수행한다. 그리고 장비들 간의 상호관계를 이해하기 쉽게 표현하며 해저 석유의 생산과정을 시뮬레이션으로 구현한다.

제2장 심해 석유 생산 시스템

2.1 심해 석유 생산의 과정

석유를 생산할 때 주로 쓰이는 표현은 ‘광구를 개발한다.’라는 표현이다. 이는 탄화수소(석유)가 매장되어 있을 것이라고 예상되는 구역을 확보, 탐사, 개발하여 지하에서 지상으로 탄화수소를 끌어올리는 일련의 과정이다.

심해에서 석유를 생산하는 광구 개발 과정은 천해와 크게 다르지 않다. 하지만 서론에서 언급한 것과 같이 심해저 환경을 고려하여 장비의 종류와 세부적인 설치 방법 등이 조금씩 차이가 있다. 기본적인 광구의 개발 과정은 다음의 그림과 같다.

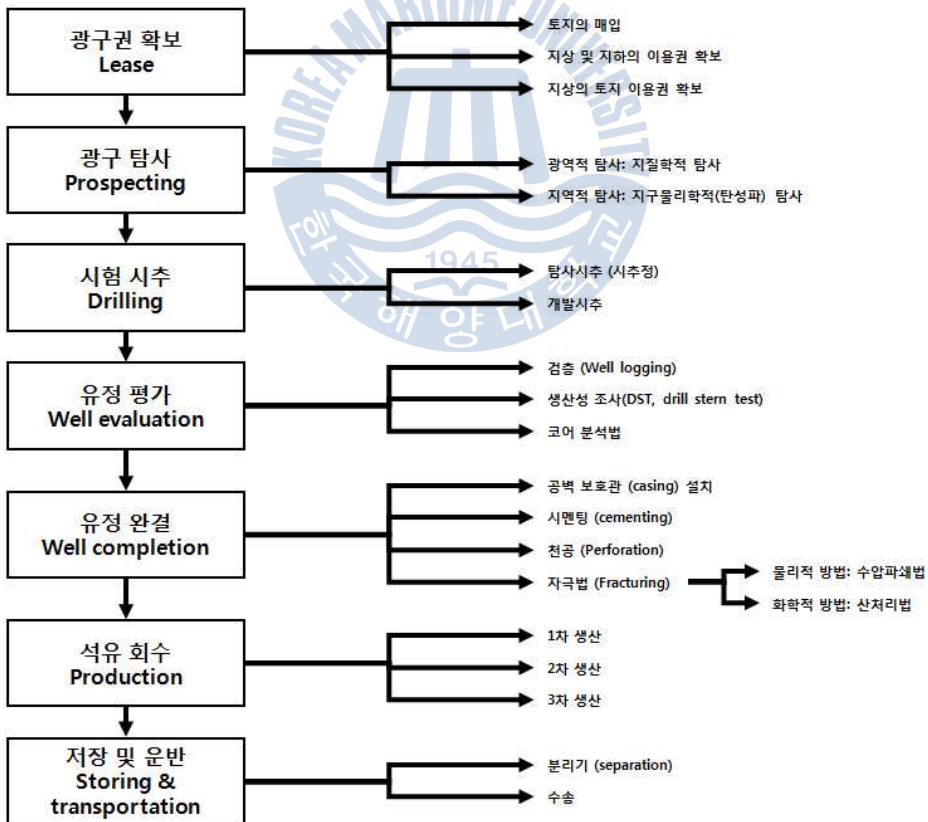


Fig. 3 광구 개발 과정

2.2 심해 석유 생산 시스템의 주요 구성품과 역할

심해 석유 생산 장비의 설계와 작동은 산업계, 국가적, 국제적 표준에 의해 규정된다. 이 규정들은 석유 생산 산업에 오랜 전통을 가지고 있는 미국, 유럽 국가들이 주도하고 있다. 그 종류로는 노르웨이 해양규정(NORSOK Standard), 국제 표준화기구(International Standard Organization, ISO), 국제전기표준회의(International Electrotechnical Commission, IEC) 등이 있다.

심해 석유 생산 시스템의 장비는 안정성과 실적이 중요하게 생각하기 때문에 심해 석유 생산 장비를 설계하고 생산하는 곳은 소수이며 수요가 공급을 초과하는 현상이 나타난다. 이와 같은 점 때문에 심해 석유 생산 시스템 장비 산업은 초기 진입장벽이 매우 높은 산업이라고 할 수 있다.

이와 같은 심해 석유 생산 시스템의 장비를 크게 생산과정 장비, 수송과정 장비, 제어 장비로 나누어 생각해 볼 수 있으며 경우에 따라 IOR(Increase Oil Recovery) 장비도 추가할 수 있다. 하지만 IOR 장비는 아직 설치된 곳이 많지 않아 고려하지 않기로 하였다. 따라서 장비들을 분류에 따라 다음의 그림으로 나타내었다. 그리고 각 장비에 대해 설명하도록 한다.



Fig. 4 심해 석유 생산 시스템 장비의 분류

2.2.1 X-mas tree

X-mas tree는 wellhead 상부에 설치되며 수심, 설치위치, borehole의 직경, 유정의 압력 등에 따라 다양한 종류가 있다.

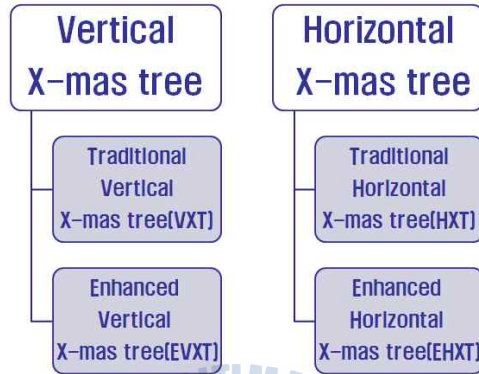


Fig. 5 X-mas tree의 종류

X-mas tree의 기능은 다음과 같다.

- 원유의 생산 제어
- 바다와 유정의 안전 경계
- 안전하게 생산하는 것이나 유체의 주입을 중단
- 유정이나 flowline에 화합물 주입
- Downhole 밸브들의 제어를 가능하게 함
- Downhole 게이지들의 전기적 통신을 가능하게 함
- Annulus의 초과 압력을 빼냄
- Choke를 통해 흐름을 일정하게 유지
- 유정의 간섭을 가능하게 함

X-mas tree의 최우선적인 고려사항은 안전이다. 폭발이나 유출은 큰 재앙을 불러올 수 있기 때문이다. 이와 같은 사항 때문에 위험요소 제어를 위한 다양한 밸브가 있다.

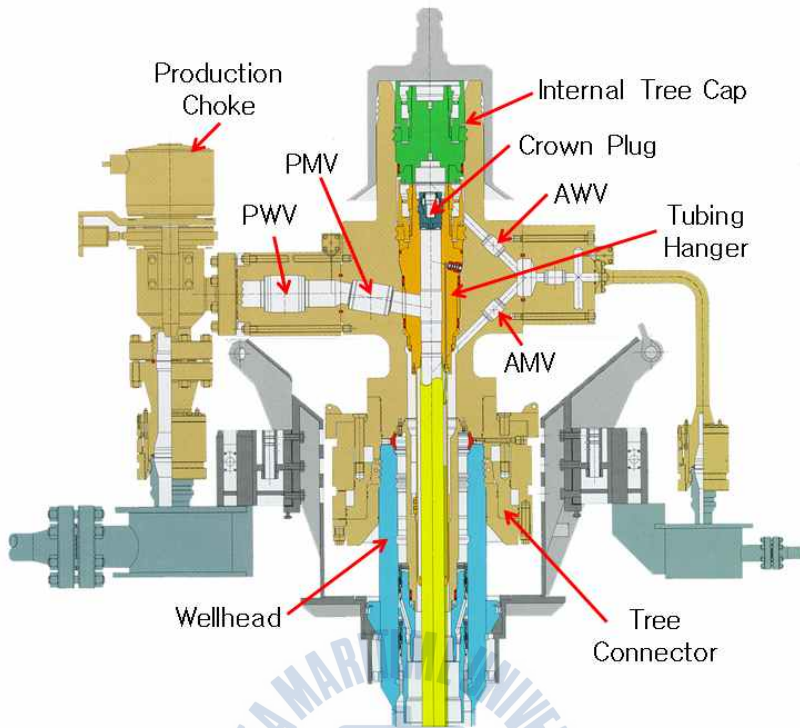


Fig. 6 HXT의 구조

원유나 가스의 흐름을 조절하거나 차단할 수 있는 밸브의 종류와 역할은 다음과 같다.

Table. 1 밸브의 종류와 그 역할

밸브	역할
Surface Controlled Subsurface Safety Valve (SCSSV)	Production tube에 설치되는 밸브로써 유정차단의 첫 번째 밸브
Production Master Valve (PMV)	원유나 가스의 흐름을 차단하는 밸브
Production Wing Valve (PWV)	
Annulus Master Valve (AMV)	Annulus 영역의 압력을 차단하는 역할을 하는 밸브
Annulus Wing Valve (AWV)	
Production Choke Valve	원유나 가스의 유량을 제어하여 생산량을 조절하는 밸브

2.2.2 Manifold, jumper

Manifold는 통상 4~10개의 유정으로부터 뽑아 올린 원유를 모아서 flowline으로 전달하는 역할을 수행한다. 주요 구성은 대형 배관과 차단 밸브로 구성된다. 그리고 해저에서 manifold를 지지와 수평을 맞추기 위하여 다양한 하부구조가 있으며 심해에서는 보통 Suction Pile Foundation을 이용한다. 또한 x-mas tree를 공급하는 업체에서 일괄적으로 manifold까지 공급한다.

Jumper는 해저 장비를 서로 연결하는 관이며, 유연식과 강체관 중에 선택적으로 사용이 가능하다. 다만, 부식이 적은 재질과 고온 고압에 대응할 수 있는 모양으로 제작되는 것이 일반적이다. 그리고 보통 수면에서 해저까지 수직으로 하강시켜 서로 연결시켜 설치한다. 그러므로 x-mas tree와 manifold간의 거리와 설치방법에 따라 길이와 형상을 결정한다.



Fig. 7 Manifold

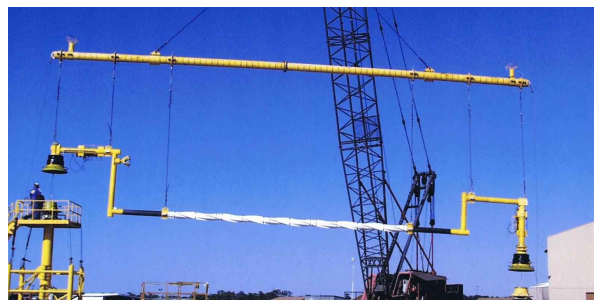


Fig. 8 Jumper

2.2.3 Flowline, Pipeline End Termination(PLET)

Flowline은 처리설비까지 저류층 생산물을 수송하는 관로이며, pipeline이라고 부르기도 한다. 전체 공사비의 1/4 이상을 차지하며 안정적인 생산물 수송을 위하여 단열 혹은 가열 설비를 포함하기도 한다. Flowline을 설치하는 전용선박을 이용하여 S-lay, J-lay, Reel-lay 공법 등을 이용한다.

이와 같은 pipeline의 끝단부에는 pipeline end termination이 설치되어 있다. 이 장비는 특별한 기능은 없으며 pipeline과 다른 장비가 jumper를 통해 효과적으로 연결할 수 있도록 pipeline을 마무리하는 형상을 가지고 있다.



Fig. 9 Pipeline End Termination

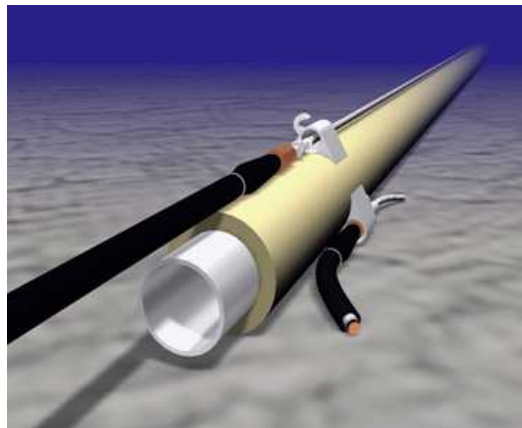


Fig. 10 Flowline

2.2.4 Umbilical, Umbilical Termination Assembly(UTA)

Umbilical은 해양 엔지니어링에 사용되는 복합케이블의 통칭이다. 해저장비에 연결되어, 장비에 전원을 공급하거나 제어하고 모니터링 장비의 신호를 전송하는 역할을 한다. 내부 구성은 상황에 따라 다양하게 조합될 수 있다. Umbilical의 설치는 Flowline의 설치와 마찬가지로 다양한 방법이 사용되지만 보통 Reel-lay 공법을 이용한다.

Umbilical의 끝단부에는 Umbilical Termination Assembly(UTA)라는 장비가 설치되어 있다. 이는 umbilical 내부의 다양한 신호와 화합물을 알맞게 분산시키는 역할을 한다.

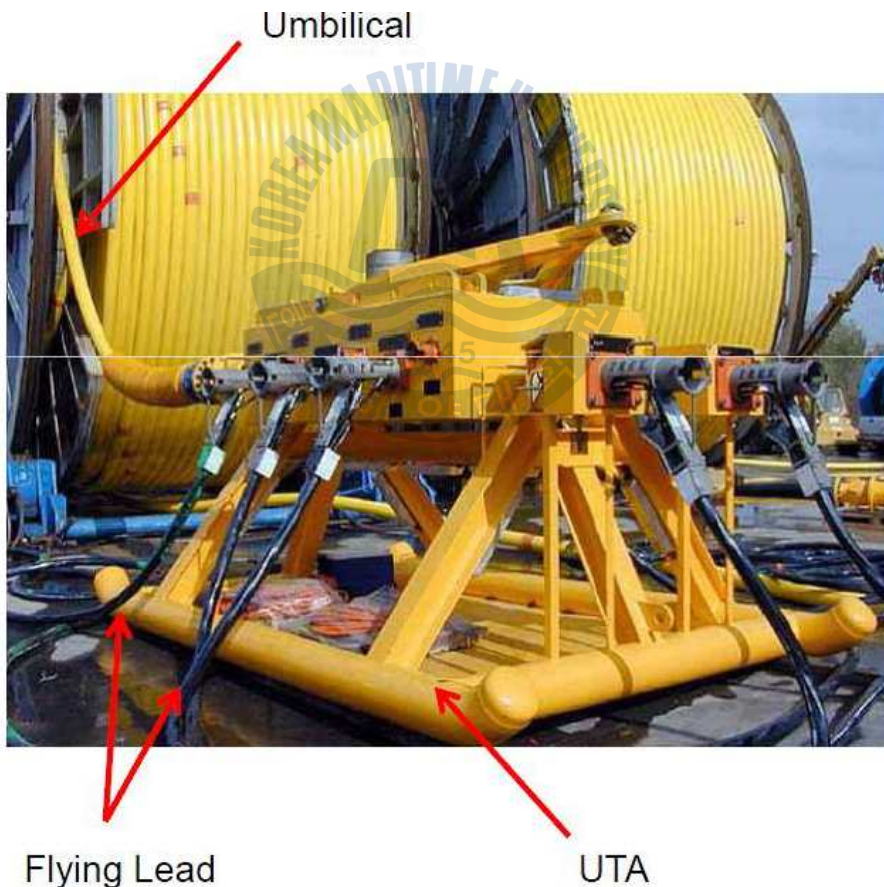


Fig. 11 Umbilical, Umbilical Termination Assembly

제3장 객체지향 정보 모델링

3.1 객체지향 모델링 기법 (OMT : Object Modeling Technique)

객체지향 모델링 기법은 구조화된 모델을 사용하여 실세계에서 일어나는 여러 문제들에 대해 생각하는 새로운 방법으로 객체(Object)를 기본 구조로 한다. 객체지향 모델은 문제의 이해, 작업자간의 의사소통, 문서화 그리고 프로그램과 데이터베이스의 설계에 유용하다. 공통적인 속성(Attribute)을 지니는 객체(Object)를 하나의 클래스(Class)로 정의하고, 링크(Link), 연관화(Association), 일반화(Generalization), 상속(Inheritance), 집단화(Aggregation) 등을 이용하여 클래스와 클래스 또는 객체와 객체간의 관계를 정의한다. 객체지향 모델링 기법을 사용하여 실세계의 문제를 해결하는 과정은 Fig. 12에 나타난 4 단계로 이루어진다.

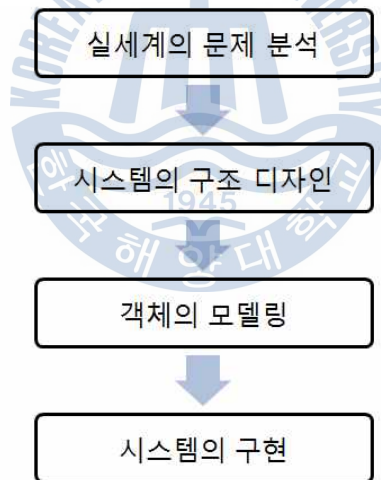


Fig. 12 Stage of Object Oriented Technique

첫 번째 단계는 실세계의 문제를 분석하여 문제 해결을 위한 시스템 구현의 가능성 및 구현 방법에 대한 판단을 하게 된다. 두 번째는 시스템의 전반적인 구조를 결정하는 단계로서 각 서브시스템들의 구성과 그 기능에 대한 결정이 이루어진다. 다음으로 세 번째에서 두 번째 단계까지 구성된 모델에 대하여 상

제한 내용을 모델링하게 되며 시스템에서 필요한 객체 및 클래스를 비롯한 속성(Attribute), 기능(Operation) 그리고 객체들의 상관관계에 대해서 모델링 한다. 마지막 네 번째 단계에서는 이전 단계에서 모델링 된 객체와 클래스의 속성 (Attribute), 기능(Operation) 등을 이용하여 문제 해결을 위한 소프트웨어 또는 하드웨어를 구현하게 된다.

Fig. 13에 나타낸 것과 같이 모델링 단계에서는 객체 모델(Object Model), 동적 모델(Dynamic Model), 기능 모델(Functional Model)의 3가지의 모델이 사용된다. 이 모델들은 서로 완벽히 독립되지는 않지만 큰 범주에서 그 자신만으로 검토, 이해될 수 있으며 다른 모델간의 상호접속은 제한되며 명시적이다.

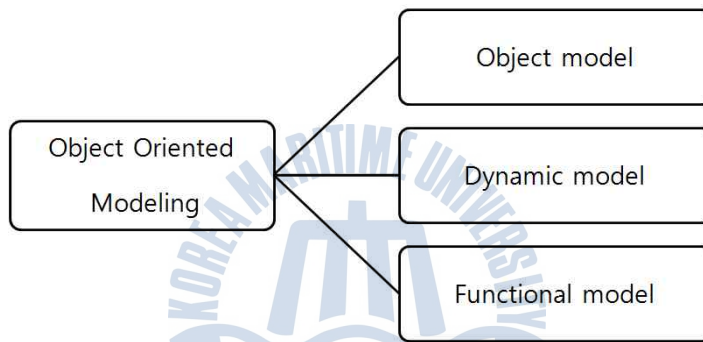


Fig. 13 3-models of Object Oriented

3.1.1 Object Model

객체 모델은 시스템에서 객체의 구조(주체성, 다른 객체와의 관계, 속성 및 기능)를 나타내며, 동적 모델과 기능 모델이 위치하게 될 필수적인 framework 를 제공한다. 객체 모델은 object class들을 포함한 Object diagram으로 표현되며 class는 각 object instance에 의해 동반되는 속성 값과 수행하는 기능 (operation)을 정의한다.

3.1.2 Dynamic Model

System을 모델링할 때 시간의 흐름에 따른 객체와 그 관계의 변화를 고려하는 관점을 Dynamic modeling이라고 한다. Dynamic model은 state diagram으로 표현되며, 각 diagram은 시스템에서 한 클래스에 대해 허용된 상태와 사건의 결과를 보여준다.

3.1.3 Functional Model

기능 모델(Functional Model)은 시스템이 언제, 어떻게 하는지는 전혀 고려하지 않으며 무엇을 하는지를 포착하여 value의 변환과 관련된 시스템 측면을 나타낸다. Function은 Dynamic model 안에서 동작으로 선언되어지고, object model에서는 object의 operation과 같이 나타난다.



3.2 객체와 클래스

3.2.1 객체(Object)

객체는 어떤 대상에 대한 concept, 추상적 개념 그리고 뚜렷한 경계와 명확한 의미를 갖는 구체적인 개념을 말한다. 객체는 다른 객체와 구별되어 독립적이며 유일하다. 이러한 객체는 서로 구분하기 위한 하나의 객체명과 하나 이상의 속성(Attribute)으로 구성되어 있다.

3.2.2 클래스(Class)

클래스는 동일한 속성(Attributes)과 기능(Operations)을 갖는 객체들의 집합을 의미한다. 클래스와 객체가 가지고 있는 객체명, 속성에 더하여 기능(Operations)이라는 요소를 가진다. 이 기능(Operations)은 클래스로부터 생성될 객체의 구체적인 거동을 나타내는 역할을 한다.

3.2.3 링크(Link)와 연관화(Association)

링크(Link)와 연관화(Association)는 개체와 클래스 사이에 관계를 형성하는 것을 의미한다. 링크는 객체 사이의 물리적, 개념적인 연결으로 연관화의 객체라고 할 수 있다. 즉, 연관화는 공통적인 구조와 의미를 가진 링크의 집단을 나타낸다. 모든 링크는 같은 클래스의 개체를 연결한다. 연관화는 보통 특정 방향을 나타내지만 근본적으로 양방향성을 지닌다. Fig. 14는 일대일(1:1)의 링크와 연관화를 나타내고 있다. Class diagram에서 Country와 City라는 클래스 사이에 Has-capital이라는 연관화를 형성하였고, Instance diagram에서 나타난 링크의 집합과 일치한다. 의미가 분명할 경우 링크와 연관화의 이름은 생략될 수 있다.

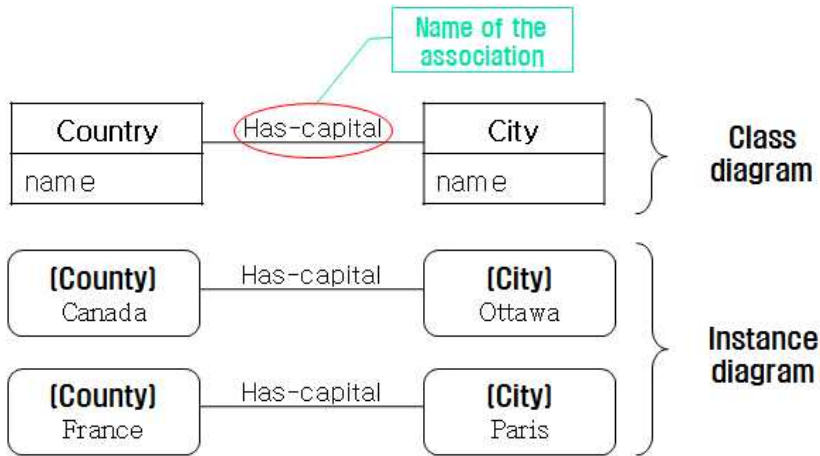


Fig. 14 One-to-one association and links

Fig. 15은 다대다(n:n)의 링크와 연관화를 나타내고 있다. Line 클래스와 Point 클래스는 2개 이상의(2+)의 Line 객체가 교차(Intersects) 하는 곳에 Point 클래스의 객체가 존재하는 연관화(Association)를 이루고 있다.

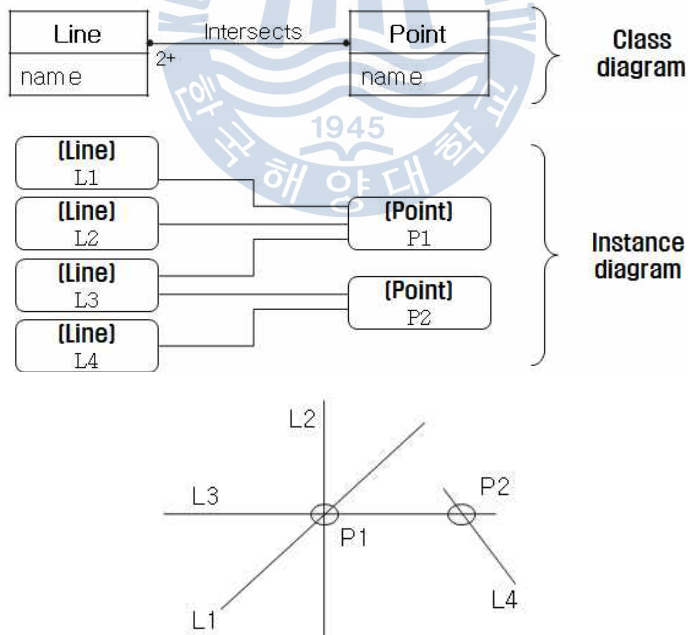


Fig. 15 Many-to-many association

3.2.4 집단화(Aggregation)

집단화(Aggregation)는 연관화(Association)의 특별한 형태로 연관화가 대개 독립적인데 비하여 부분-전체로 강하게 묶여진 관계를 의미하며 “a-part-of” relationship이라고 할 수 있다. 집단화는 Fig. 16과 같이 association의 끝에 다이아몬드 모양으로 표기한다.

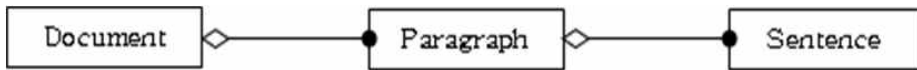


Fig. 16 Example of aggregations

또한 Fig. 17와 같이 다수의 부분을 조합할 수 있다.

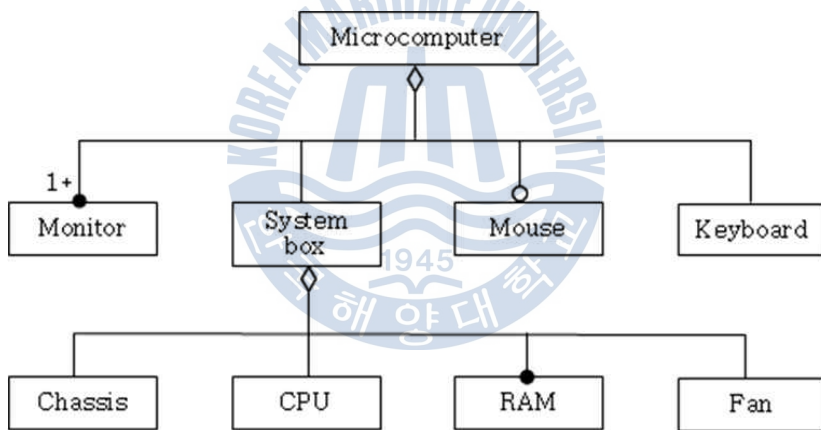


Fig. 17 Multi-level aggregation

Fig. 18은 앞서 설명한 집단화 개념을 생산과정 장비에 적용한 다이어그램이다. Production system은 wellhead, X-mas tree, manifold 장비의 각 클래스와 집단화 관계를 맺고 있으며, 그 중 X-mas tree 클래스는 choke, frame, tree body, valve 클래스와 다시 집단화 관계를 맺고 있다.

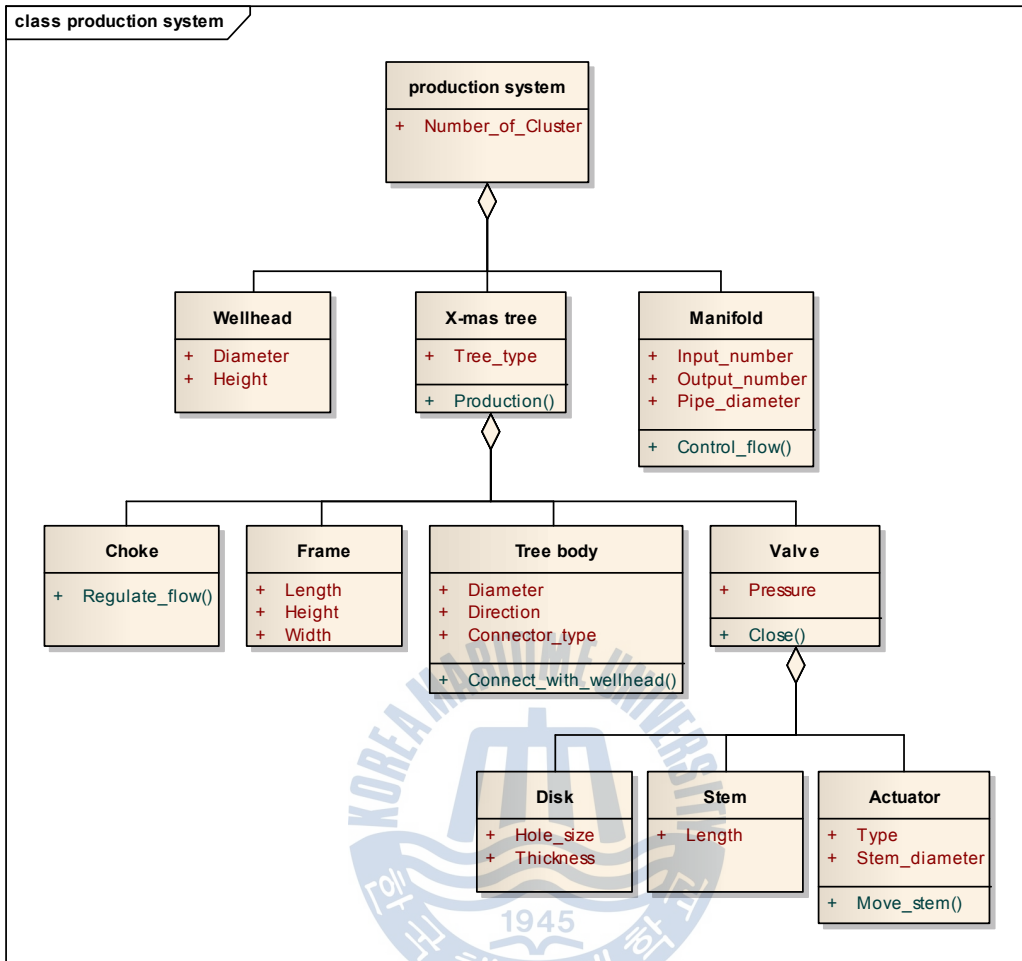


Fig. 18 Aggregation of system

3.2.5 일반화(Generalization)와 상속(Inheritance)

일반화와 상속은 class 사이의 차이는 보호하고 유사성은 공유하기 위해 추상화 하는 단계라 할 수 있다. 유사한 속성들을 포함하고 있는 상위클래스 (Superclass)와 독특하게 구별되는 속성을 포함한 하위클래스 (Subclass)로 구분하는 것이 일반화이며 상속은 하위클래스가 상위클래스로부터 추출된 공통적인 속성과 기능을 물려받는 것을 말한다. 일반화는 "a-kind-of" 또는 "is-a" relationship 이라고 할 수 있으며, Superclass에서 subclass로 연결하는 부분을 삼각형으로 표기한다.

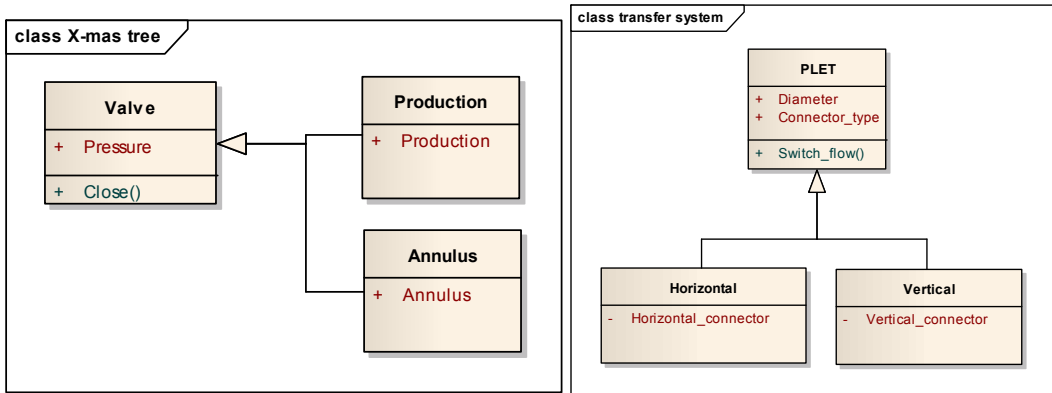


Fig. 19 Example of Generalization and Inheritance



3.3 UML(Unified Modeling Language)

UML은 객체 지향 분석과 설계용의 모델링 언어이다. 기존의 객체 지향 방법론과 함께 제안되어 모델링 언어 표기법의 표준화를 목적으로 한 것이다. 주로 미국의 래셔널 소프트웨어(Rational Software)사에서 방법론의 통일과 표준화 작업에 전념한 결과 1997년 11월에 UML 1.1이 객체 관련 표준화 기구인 객체 관리 그룹(OMG)에 의해 표준으로 채택되었다.

UML은 객체 지향을 기반으로 하는 시스템의 시각적인 모델을 만들어내는 그래픽 표기법을 포함한다. 때문에 요구분석, 시스템 설계, 시스템 구현 등의 과정에서 생길 수 있는 개발자 상호 간의 의사소통의 불일치를 해소할 수 있다. 또한 산업계 표준으로 채택되었기 때문에 UML을 적용한 시스템은 신뢰성이 있다. UML은 현재도 계속 개정 중이며 2011년 현재 UML 2.3 까지 공식적으로 배포되었다.

3.4 UML 다이어그램

Fig. 20은 UML 2.2의 14가지 종류의 다이어그램을 class diagram으로 나타낸 그림이다.

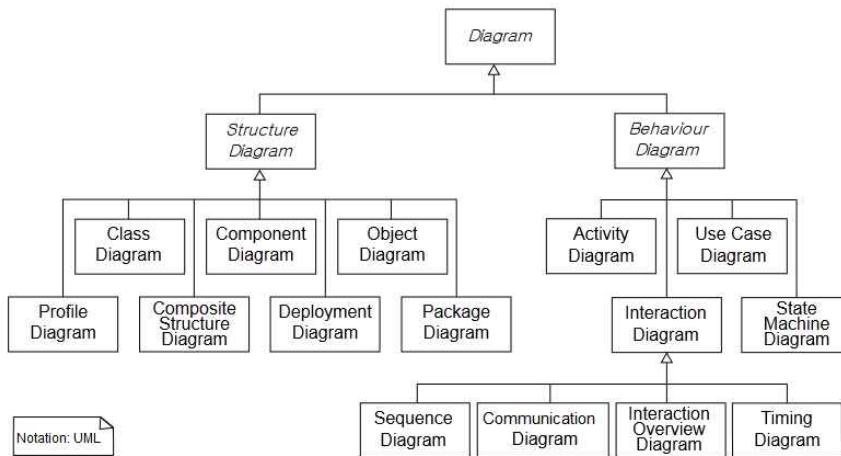


Fig. 20 UML 다이어그램의 class diagram

Fig. 20과 같이 UML 다이어그램은 크게 시스템의 구조적인 측면, 행동적인 측면에서 나누어 생각할 수 있다. 이 논문에서는 심해 석유 생산 시스템의 구조적인 체계를 class diagram으로 작성하고 시스템의 장비가 어떻게 상호작용하며 작동하는지 sequence diagram으로 나타내었다.

3.4.1 Class diagram

Fig. 21의 class diagram은 모델링 된 시스템의 일부 또는 전체에 대한 구조를 나타내는 다이어그램이다. 시스템에서 필요한 객체들의 관계를 나타내어 시스템의 정적인 구조를 파악하게 한다.

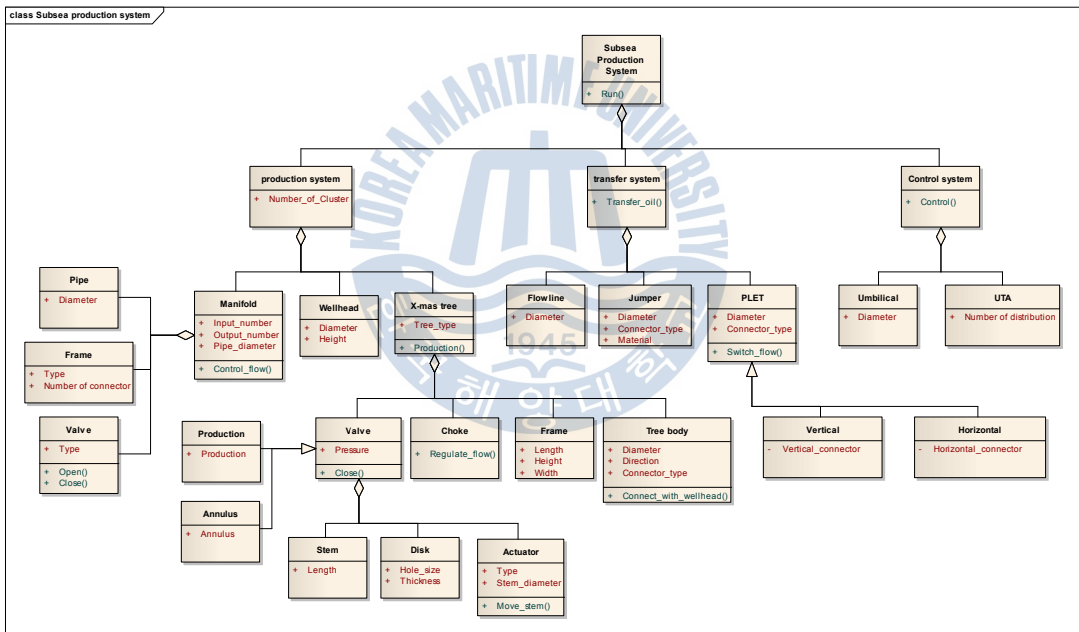


Fig. 21 Class diagram of system

3.4.2 Sequence diagram

심해 석유 생산을 진행할 때 심해 석유 생산 시스템의 장비가 서로 주고받는 신호를 명확히 이해하기 위해서 sequence diagram을 다음과 같이 작성하였다.

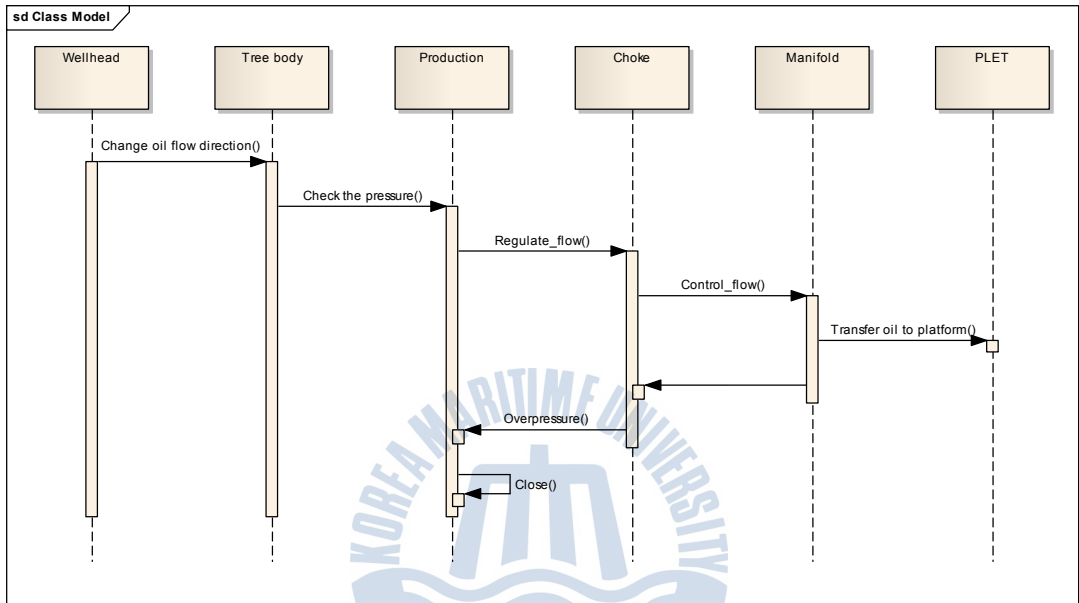


Fig. 22 심해 석유 생산 시스템의 sequence diagram

제4장 석유 생산 시스템의 시뮬레이션

4.1 시뮬레이터의 의의

시뮬레이션은 실제 상황에 대한 모의실험으로써 컴퓨터 프로그래밍 언어를 사용해 표현한 모델을 시간의 경과에 따라 변화시켜 시스템의 동적 거동과 구조, 운영절차, 의사 결정 규칙 등을 효과적으로 결정함으로써 적절한 의사 결정과 정책 수립에 도움을 주며 이러한 목적의 물리적 모델을 시뮬레이터(Simulator)라고 한다.

이러한 시뮬레이터는 풍동 실험이나 수조 실험과 같은 모형 중심의 것, 중심이 되는 현상의 방정식을 아날로그 계산기로 나타내는 장치, 디지털계산기와 아날로그계산기를 결합한 장치, 물리현상을 똑같은 방정식으로 나타내는 전기현상으로 바꾸는 직접상사계산기 등 여러 가지이다. 사용 목적은 연구용, 훈련용, 오락용으로 다양하다.

그 중에 훈련용 시뮬레이터가 있는데, 이것은 비행기나 자동차 등의 조종훈련에서 실물을 사용하여 훈련하는 것이 경제상·실용상 곤란한 경우에 도움이 된다. 이에 따라 심해 석유 생산 시스템이 시뮬레이터를 사용해야하는 이유는 저온 고압의 상태에서 작동하고 실제 장비의 가격이 매우 높기 때문에 경제상·실용상 곤란한 경우에 속한다. 또한 대부분의 과정이 구성품 내부에서 진행 되므로 외부에서 관찰할 수 없는 경우이다. 이를 시각화 하여 직관적으로 이해할 수 있는 도구가 바로 시뮬레이터가 될 것이다.

4.2 시뮬레이터 모델링

이 연구에서는 CATIA로 모델링을 진행하며 2.2에서 설명한 구성품을 객체지향 정보 모델링 방법에 따라 3.4.1 class diagram을 기준으로 모델링을 수행하였다.

4.2.1 X-mas tree

X-mas tree를 앞서 작성한 class diagram을 기준으로 다음 그림과 같이 모델링하였다. 심해 석유 생산 시스템에서 가장 중추적인 역할을 하는 x-mas tree는 벨브의 작동이 중요하다.

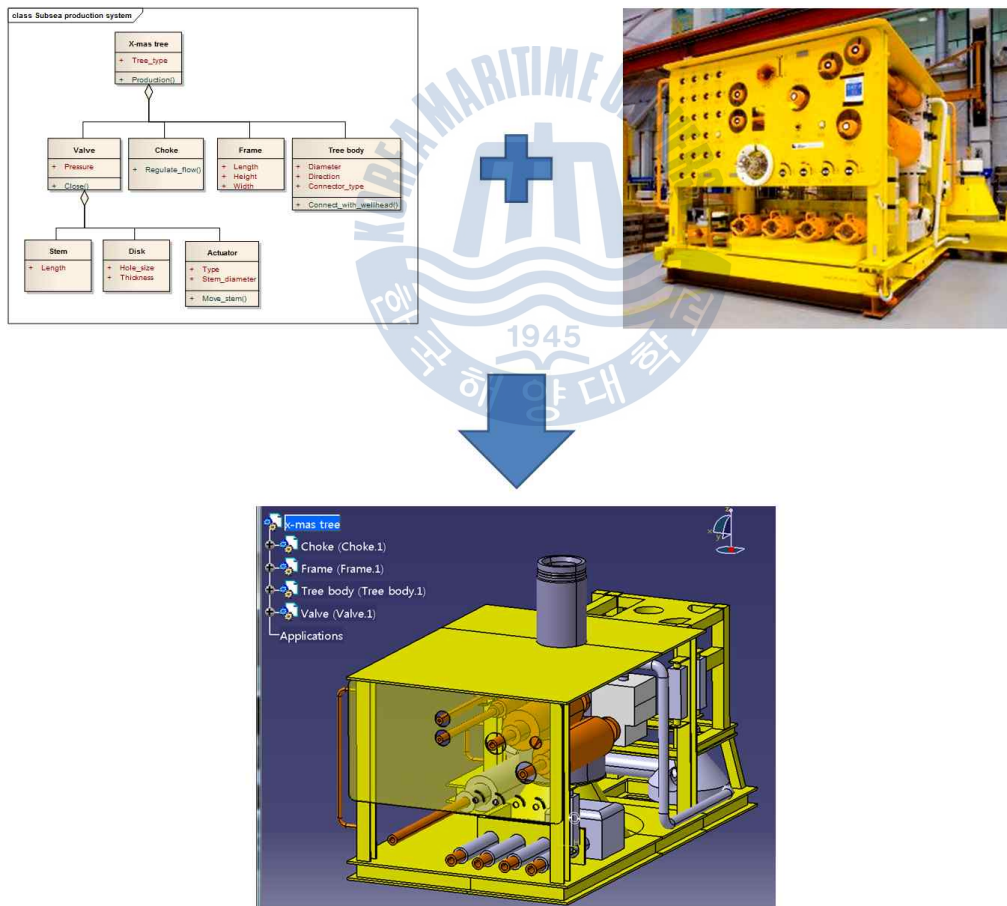


Fig. 23 X-mas tree의 모델링

4.2.2 Manifold

복수의 x-mas tree를 통해 생산된 석유를 하나의 흐름으로 모으는 역할을 수행하는 manifold를 다음과 같이 모델링하였다. 이 구성품 역시 class diagram을 기준으로 모델링하였으며 총 8개의 slot을 가지고 있다.

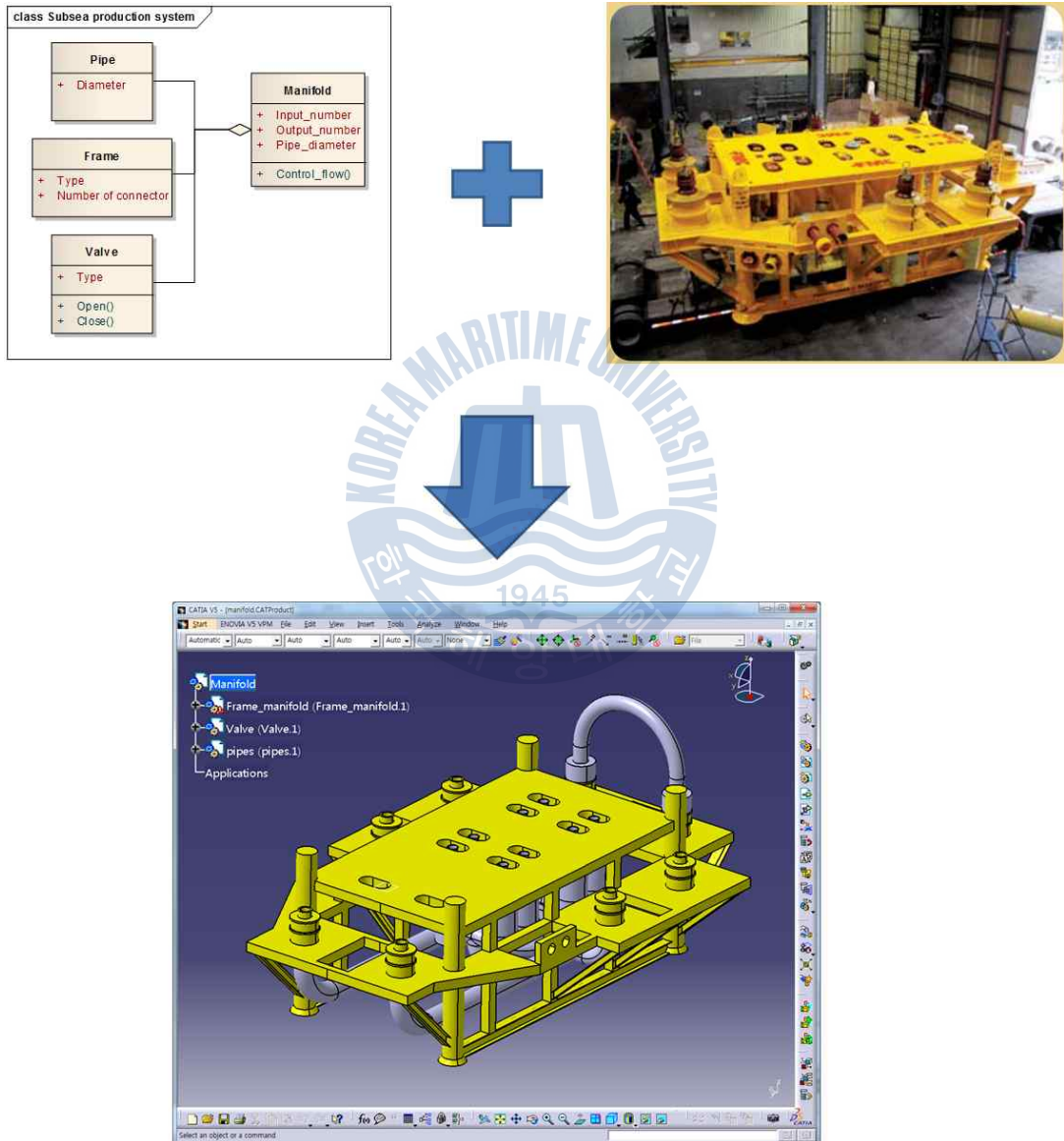


Fig. 24 Manifold의 모델링

4.2.3 Pipeline End Termination

Manifold를 통해 하나의 흐름으로 모인 석유는 상부구조물로 flowline으로 이동한다. 이 논문에서 manifold와 연결 방식은 vertical 타입으로 결정하고 모델링을 진행하였다.

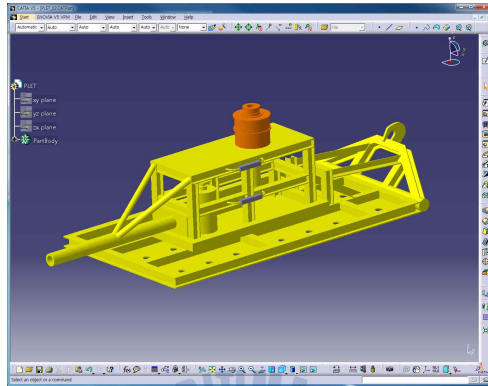


Fig. 25 Pipeline End Termination의 모델링

4.2.4 Umbilical Termination Assembly

X-mas tree와 manifold를 제어하기 위해서는 전기적인 신호가 필요하며 유정내부의 원활한 흐름을 위해 화학물질을 injection할 필요가 있을 수 있다. 이를 위해서 umbilical이 필요하며 umbilical 내부의 신호를 알맞게 분산시키는 장비인 umbilical termination assembly를 다음과 같이 모델링하였다.

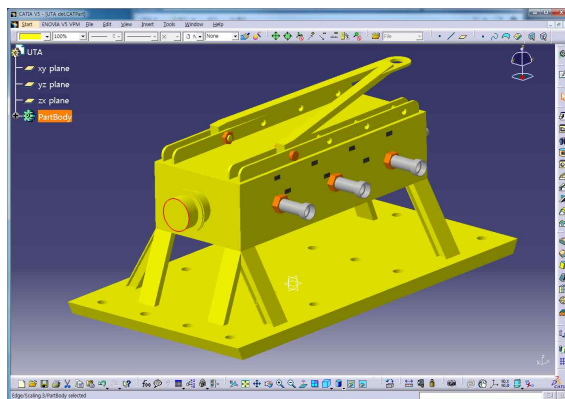


Fig. 26 Umbilical Termination Assembly의 모델링

4.3 심해 석유 생산 시스템의 layout

4.3.1 해상 광구 개발 시 고려사항

2.1절에서 광구 개발과정에 대해 간략히 설명하였다. 이 개발과정 중에서 이 논문에서는 석유 회수 부분이 중점적으로 논의된다. 따라서 이 부분에 알맞게 각 장비의 배치를 고려하여 진행한다. 이러한 배치를 정할 때에도 여러 가지 고려사항을 감안해야 한다. 해상 광구 개발 시 고려사항은 다음과 같다.

Table. 2 해상 광구 개발 시 고려사항

비용	투자비용, 운영비용, 굴착비용, 이자비용 등
광구 속성	온도, 압력, 매장량, 화학조성비, 형상 등
기술적 요건	장비, 공법, 신기술 도입 여부 등
정치적 요건	환경관련 규정, local laws, 광구주 선호도등

하지만 이 논문에서는 장비 운용에 대한 시뮬레이터에 중점을 두고 있으므로 비용, 광구 속성, 정치적 요건은 배제하고 기술적 요건에 따라 이미 개발 중인 광구를 조사하여 원유생산의 시나리오와 함께 적용하는 방법으로 결정하였다.

4.3.2 심해 석유 생산 시스템의 layout 결정

2.3.1에 설명한 바와 같이 이미 개발 중인 광구를 조사하여 이 논문의 기준이 될 심해 석유 생산 시스템의 layout 결정하기로 한다. 하지만 심해 석유 생산의 정의가 명확하지 않고 광구의 수가 많아 일정한 기준에 따라 광구를 한정할 필요성이 있다. 그 기준은 ‘심해’의 요건과 ‘최신의 기술’이 적용되었는지를 생각할 수 있다. 따라서 이 논문의 기준이 될 광구의 조건은 다음과 같다.

- ① 수심 1,000m 이상
- ② 비교적 최근에 개발된 광구일 것
- ③ 비교적 최근에 개발된 장비를 사용할 것
- ④ 비교적 최근에 개발된 생산 기술을 사용 할 것

이를 고려하여 다음 Fig.와 같이 layout을 결정하였다.



Fig. 27 심해 석유 생산 시스템의 layout

4.4 시뮬레이션의 구현 방법

4.4.1 기계적 움직임

3DVIA Virtools는 각 장비와 그 부속품들을 객체로 인식하여 그에 따른 시뮬레이션의 구현이 가능하다. 시뮬레이션의 기초가 되는 building block이란 객체를 이동, 회전 등의 다양한 효과를 부여하여 시뮬레이션을 진행 할 수 있도록 하는 구조화된 언어라고 할 수 있다. Building block을 조합하여 script를 구성하며 객체의 script 들을 모아놓은 것을 이를 schematic 이라고 부른다. 이 연구과제에서는 각 장비에 알맞은 script를 작성하여 원하는 작동이나 효과를 구현하여 시뮬레이션을 할 수 있도록 한다.

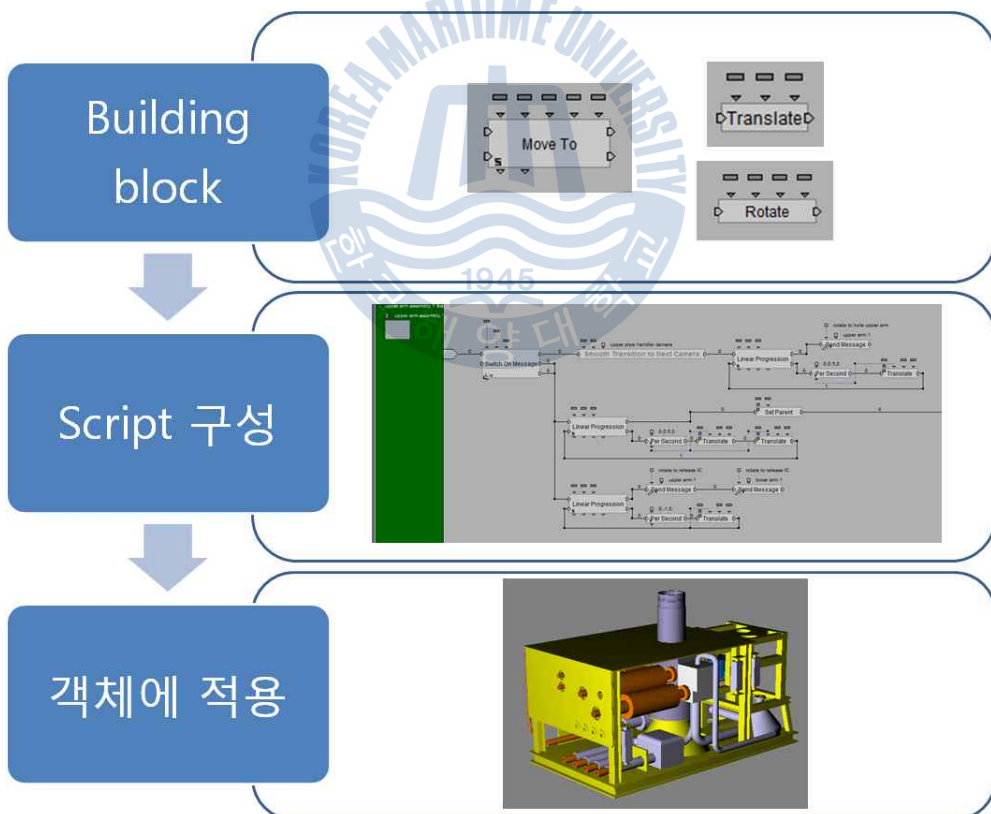


Fig. 28 시뮬레이션 구현의 방법

4.4.2 유체의 움직임

석유의 움직임을 예상한 경로만으로 표현한다면 시뮬레이터로써 의미가 없다고 판단하여 3DVIA Virtools의 particle이라는 기능을 사용하였다. Particle은 본래 연기나 불꽃같이 단시간 내에 생성되었다가 사라지는 시각적 효과를 위해 사용된다. 이 논문에서는 개념을 달리하여 생성주기와 생명주기를 조절하여 석유의 움직임을 나타내었다. Particle을 관이나 심해 석유 생산 시스템의 장비 내부를 따라 이동하게 조정하여 불규칙적인 석유의 유동을 반영할 수 있도록 하였다.

Particle을 구성하는 요소는 emitters, particles, deflectors, interactors로 나뉜다. Emitters는 particle이 만들어지는 소스이며 방향, 생성범위, 온오프 및 일시정지 등을 조절할 수 있다. Particle은 지속시간, 개수, 속도, 무게 그리고 색깔 등을 조절할 수 있다. Deflector는 생성된 particle을 바운싱 시켜 경로를 수정할 수 있는 요소이다. 그 종류로는 box, cylinder, infinite plane, plane, sphere, object가 있다. Interactors는 particle의 행동, 진로, 외형 등을 수정할 수 있는 요소이다. 그 종류로는 disruption, global wind, local wind, magnet, mutation, tunnel, vortex가 있다.

이 논문에서는 wellhead 안쪽에 emitters를 설치하고 관과 심해 석유 생산 시스템의 장비를 deflector로 설정하였다. 따라서 wellhead 안에서 생성된 particle이 x-mas tree, manifold, jumper등의 장비 내부를 따라 이동하며 석유의 이동 경로를 표현할 수 있도록 하였다.

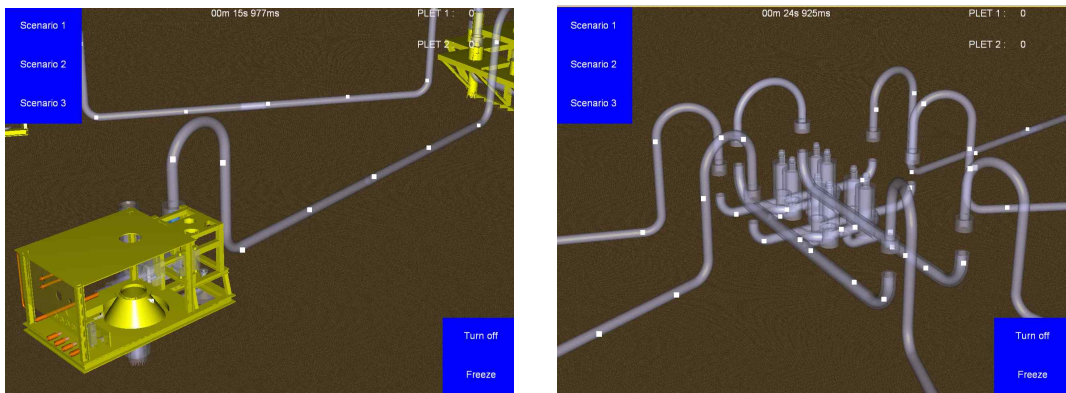


Fig. 29 Particle의 이동

4.5 심해 석유 생산 시뮬레이션

Fig. 30은 본 연구를 통해 개발한 심해 석유 생산 시뮬레이션의 실행 화면이다. Subsea production 버튼을 통해 심해 석유 생산 과정의 시나리오와 sequence diagram을 구현하였다. 각 구성품에 알맞은 작동과정을 직관적으로 알 수 있도록 구성하였다.



Fig. 30 심해 석유 생산 시뮬레이션

각 PLET 앞에는 하나의 판을 설치하여 이 판에 부딪치는 particle의 개수를 셀 수 있도록 프로그래밍 하였으며 이 개수를 통해 개략적인 생산량과 두 PLET의 생산량의 비율을 가늠할 수 있다.

4.5.1 시뮬레이션의 활용

본 논문에서 개발한 시뮬레이션을 활용하여 3가지 정도의 시나리오를 생각해
여 실행해 보았다.

(1) 정상상태

첫 번째로 정상상태 일 때 석유의 흐름을 관찰할 수 있도록 시나리오를 설정
하였다.

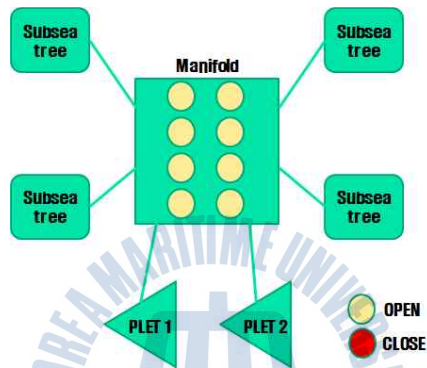


Fig. 31 정상상태



Fig. 32 정상상태의 결과

시뮬레이션을 약 5분 9초 700ms 실행한 결과 PLET 1과 PLET 2에 도착한
particle의 개수가 큰 차이가 없음을 알 수 있었다. 따라서 정상적으로 생산이
실행되고 있음을 알 수 있다.

(2) 문제 상황 1

이 시나리오에는 PLET 1 혹은 manifold에서 PLET로 연결되는 jumper에서 균열이 생기는 문제 상황을 가정해 보았다. 대안으로 PLET 2로 생산을 지속한다고 가정하고 manifold의 밸브를 그림을 다음과 같이 조작하여 시뮬레이션을 수행하여 보았다.

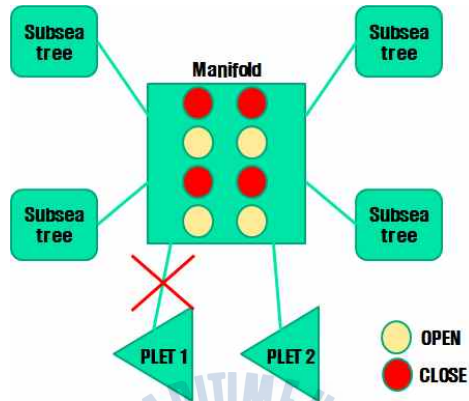


Fig. 33 문제 상황 1



Fig. 34 문제 상황 1의 결과

정상상태와 비교를 위해 시뮬레이션을 약 5분 9초 700ms 동안 실행하였고 PLET 1에 도착하는 particle이 없음을 확인함으로써 PLET 1을 사용하지 않고 석유를 생산할 수 있음을 확인 할 수 있었다.

(3) 문제 상황 2

이 시나리오는 x-mas tree 중 하나가 이상이 생기거나 manifold에서 x-mas tree와 연결되는 jumper에 문제가 발생한 상황을 가정해 보았다.

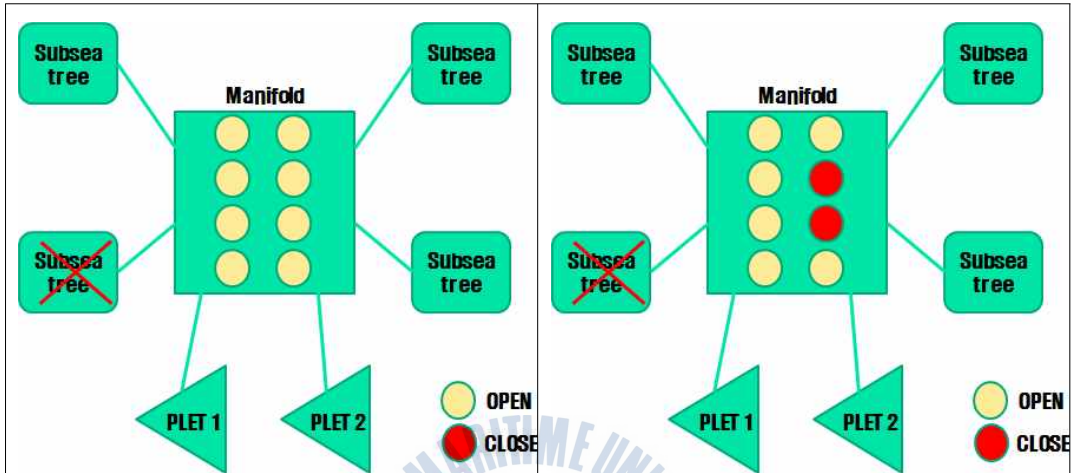


Fig. 35 문제 상황 2-1 (밸브 조정 無)

Fig. 36 문제 상황 2-2 (밸브 조정 有)

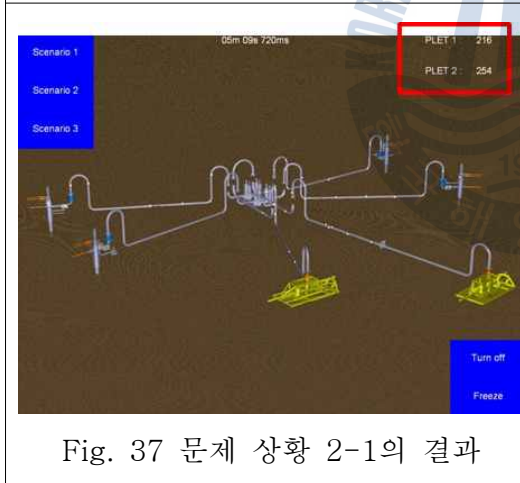


Fig. 37 문제 상황 2-1의 결과

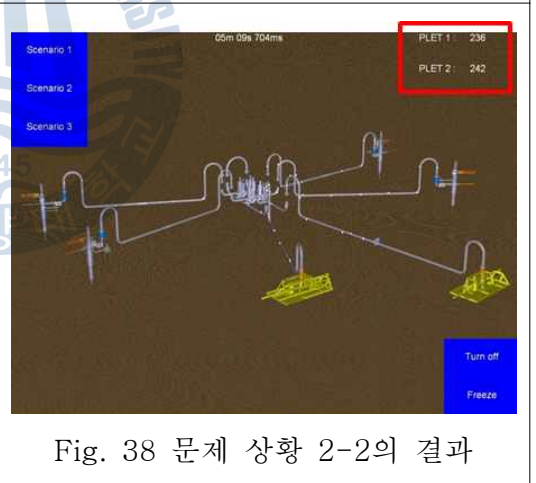


Fig. 38 문제 상황 2-2의 결과

밸브 조정을 하지 않고 약 5분 9초 700ms 동안 실행한 결과 두 개의 PLET에 도착한 particle의 수 차이가 38로 나타났다. 반면에 밸브를 조정하고 실행한 결과 차이가 6으로 줄어들어 두 PLET 부하의 격차가 줄었음을 알 수 있다.

제5장 결론

본 논문에서는 심해 석유 생산 시스템의 시뮬레이터 개발에 대해 연구하였다. 심해 석유 생산시스템의 구성 요소들에 관해 연구하였으며, 시뮬레이터를 개발하기 위해 시스템을 해석하기 위한 방법론으로 객체 지향 정보모델링 방법을 사용하였다.

심해 석유 생산 시스템은 저온, 고압인 환경에 설치되며, 대부분의 생산과정이 구성품의 내부에서 일어난다. 따라서 심해 석유의 생산과정은 직접 관찰할 수 없으며 실제 장비 또한 매우 고가이므로 경제성 측면에서 어려움이 따른다. 이를 해결하기 위해 컴퓨터를 통해 심해 석유 생산 시스템을 가상으로 경험할 수 있는 시뮬레이터 개발을 결정하였다. 심해 석유 생산 시스템의 구성품을 3D 모델링 툴인 CATIA를 통해 모델링하여 시뮬레이터를 구현할 3DVIA Virtools 라는 툴에서 사용하도록 하였다. 3DVIA Virtools를 이용하여 각 구성품의 작동을 시각화하는 과정을 거쳐 시뮬레이터를 개발할 수 있었다.

이 시뮬레이터를 통해 고가의 장비의 구입 없이도 컴퓨터를 통해 가상으로 심해 석유 생산 시스템을 경험할 수 있으며 구성품의 작동원리와 함께 작동과정을 직관적으로 알 수 있다. 이를 관련학과 학생들이 효율적으로 교육을 받을 수 있을 것이며, 관련 산업에서도 심해 석유 생산의 과정과 그 장비에 대해 이해를 높일 수 있을 것이다.

본 연구를 통해 개발된 심해 석유 생산 시스템의 시뮬레이터는 실제 석유의 거동을 고려하지 않고 장비의 작동과정에 중점을 두었다. 실제 산업계에서도 사용할 수 있는 수준의 시뮬레이터를 제작하기 위해서는 원유에 대한 유체의 거동과 신기술에 해당하는 IOR(Increase Oil Recovery) 시스템을 시뮬레이터에 적용해야 할 것이다.

참고문헌

1. 김용욱, “객체지향 정보모델을 기반으로 한 H-Beam 자동절단 프로그램 및 3차원 시뮬레이션 연구” 한국해양대학교 대학원 석사논문, 2010
2. 박주용, 조효제, 이지훈, 임영진, “교육용 해양플랜트 Rig 굴착 시뮬레이션 구현”, 한국시뮬레이션학회, 제20권 제2호, 2011
3. 차태인, “객체지향 정보모델에 기반한 선박조립공정 3차원 시뮬레이션에 관한 연구”, 한국해양대학교 대학원 석사논문, 2002
4. 최한석, “심해석유 탐사 및 개발의 검토”, 한국해양공학회지, 제22권 4호, 2008
5. 최성윤, 채상원, 한영신, 이철기, “교육 훈련용 3차원 항공기 시뮬레이터구현”, 한국시뮬레이션학회지, 제12권 제3호, 2003
6. 한영신, 전동훈, “반도체 공정 교육을 위한 교육용 컴퓨터 모델 설계 및 구현”, 한국시뮬레이션학회, 제18권 제4호, 2009
7. Einar H. Winther-Larssen, “Design of and Electric X-mas Tree Gate Valve Actuator”, Master of Science in Engineering Cybernetics, Norwegian University of Science and Technology, 2007
8. James Rumbaugh, Michael Blaha, William Premerlani, Frederick Eddy, William Lorensen, “Object-Oriented Modeling and Design”, Prentice Hall, 1991
9. 네이버 백과사전, <http://100.naver.com/100.nhn?docid=100447>
10. Wikipedia, http://en.wikipedia.org/wiki/Unified_Modeling_Language