

# 멕시코만의 BP사 오일유출 해저 대책에 대한 분석

최한석\* · 이승건\* · 도창호\*\*

\*부산대학교 조선해양공학과

\*\*현대중공업(주) 해양사업부

## Subsea Responses to the BP Oil Spill in the Gulf of Mexico

Han-Suk Choi\*, Seung-Keon Lee\*, Chang-Ho Do\*\*

\*Dept. of Naval Architecture and Ocean Engineering, Pusan National University, Busan, Korea

\*\*Hyundai Heavy Industries Co. Ltd., Ulsan, Korea

**KEY WORDS:** Oil spill 기름유출, Subsea responses 해저 대응책들, Relief well 감압구조유전, Blowout preventer 폭발방지

**ABSTRACT:** On April 20, 2010, a well control event allowed hydrocarbon (oil and gas) to escape from the Macondo well onto Deepwater Horizon (DWH), resulting in an explosion and fire on the rig. While 17 people were injured, 11 others lost their lives. The fire continued for 36 hours until the rig sank. Hydrocarbons continued to flow out from the reservoir through the well bore and blowout preventer (BOP) for 87 days, causing an unprecedented oil spill. Beyond Petroleum (BP) and the US federal government tried various methods to prevent the oil spill and to capture the spilled oil. The corresponding responses were very challenging due to the scale, intensity, and duration of the incident that occurred under extreme conditions in terms of pressure, temperature, and amount of flow. On July 15, a capping stack, which is another BOP on top of the existing BOP, was successfully installed, and the oil spill was stopped. After several tests and subsea responses, the well was permanently sealed by a relief well and a bottom kill on September 19. This paper analyzes the subsea responses and engineering efforts to capture the oil, stop the leaking, and kill the subsea well. During the investigation and analysis of subsea responses, information was collected and data bases were established for future accident prevention and the development of subsea engineering.

### 1. 서 론

2010년 4월 20일 멕시코 만의 Mississippi canyon 광구 252 구간의 Macondo well에서 시추작업이 거의 완료단계에 있던 시추선 Deepwater horizon(DWH)에서 폭발과 함께 화재가 발생했다. 이로 인하여 11명이 목숨을 잃고, 87일 동안 추정 2.5~4.9백만 배럴의 기름이 유출되는 사상 최대, 최악의 사고가 발생했다. 이 사건은 전례가 없는 스케일에 Oil 유출의 강도와 장기간의 사고와 복잡한 대응책들이 모두가 새로운 도전들이었다. 그리고 Oil 유출 문제는 수심 1,530m에서 오는 압력과 4°C의 낮은 수온과 분출되는 막대한 유량 등의 극한 조건들이었다.

미국 정부와 BP사는 Oil의 유출을 차단하려고 Top kill 등의 여러 가지 방법들을 수행했으나 번번이 실패를 거듭하였다. 동시에 BP사는 Oil을 회수하는 여러 방법도 시도하여 약 80만 배럴의 Oil을 수면 위의 Vessel들로 회수하였다. 7월 15일 BP사는 BOP 위에 또 다른 BOP인 Capping stack을 성공적으로 설치하여 oil의 유출을 사고 발생 후 87일 만에 차단하였다. 그 이후 여러 가지 테스트와 static kill등의 해저 작업을 통하여 유전차단(Well sealing)을 하였다. 추가로 사고유정 1km 거리에서 Relief well을 2개 더 시추하여 사고가 발생한 유정의 생산 케이

싱과 해저면 5.5km 아래에서 완전히 교차(Intercept)시켜 Cement 를 주입시킴으로서 영구적인 유전차단인 Bottom kill을 9월19일 성공적으로 수행하였다(The New York Times, 2010).

저자는 이 연구를 통하여, BP사가 수행한 여러 가지 Oil 유출 1의 회수와 유전차단에 관한 방법들을 검토하여 시추와 Subsea engineering을 잘 이해할 수 있게 하는 데이터베이스를 구축하여 해양산업에서 신기술로 부상하는 Subsea engineering의 발전에 기여 한다(최한석, 2008).

### 2. BP사의 사고원인 조사

BP사는 약 50명으로 구성된 자체 조사를 통하여 다음과 같은 여러 사고 원인들을 파악할 수 있었다(BP, 2010b). 사고의 원인은 단순원인 사고가 아니고, 여러 가지 원인이 복합적으로 나타났다. Fig. 1에는 사고원인 규명용 스케치가 나타나있고, 번호순으로 아래에 사건의 원인들이 설명되어있다.

#### 2.1 유정하부의 구조적 오일차단실패

① 해저면 5.5km에 위치한 유전 근처에서 Drill 케이싱과 암벽 사이의 Annulus 차단을 위해 사건 전 날 투입한 가버운

교신저자 최한석: 부산광역시 금정구 장전동 산30, 051-510-2343, hanchoi@pusan.ac.kr

본 연구는 2010년 목포에서 개최된 한국해양공학회 학술대회에 발표된 논문을 근간으로 하고 있음을 밝힙니다.

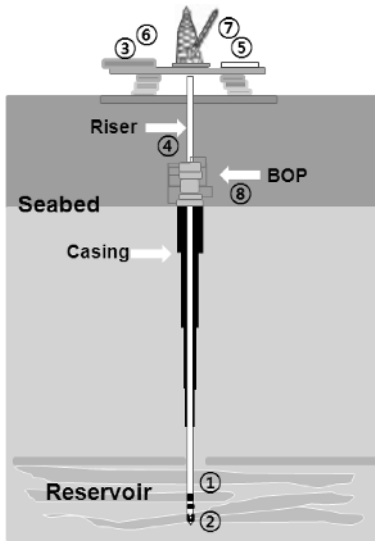


Fig. 1 A sketch of eight causes of the accident

Cement에 의해 Oil 압력을 완전히 차단하지 못했다.

② Annulus에 침투한 Oil이 생산 케이싱 하단에 설치된 Shoe track을 통하여 생산 케이싱 안으로 침투 하였다.

2.2 유정속으로 침투된 오일의 불감지와 유정 조절실패

③ 유정하부의 Shoe track과 생산케이싱과 케이싱 Hanger seal assembly의 기계적 차단을 시험하는 방법은 Negative-pressure이다. 이 테스트 결과 Well이 완전하지 못함에도 불구하고, 시추선의 승무원과 BP사의 대표자들이 테스트 결과를 수용했다.

④ Negative-pressure test가 통과 되었으나 유전은 불균형 상태였다. 이 후 정상적인 작동의 일부로서 유정속의 Heavy drilling mud를 바다물로 교체하자, 유전은 불균형이 더 심해졌다. 시추선 Crew는 Oil이 상승하여 BOP를 통과하여 Drilling riser에 올라올 때까지 알지 못했고, 시추선 갑판에 Oil이 분출된 이후에 Well control이 수행되었다.

⑤ Well control은 첫째 BOP와 Diverter를 잠그는 것이다. 유출된 Oil을 diverter를 차단하여 갑판 위를 통하여 바다위로 보내는 것이었다. 그러나 Oil은 Diverter를 통하여 Mud gas separator(MGS)를 통해 흘러 들어갔다. 만약 이 때 Oil이 MGS로 가지 않고 갑판에서 바다로 보낼 수 있었다면, 더 많은 시간을 가지고 대처할 수 있었고, 사고의 규모도 줄일 수 있었다.

2.3 DWH 리그선상의 점화

⑥ MGS로 흘러간 Oil은 gas와 함께 Rig 위로 계속 흘러갔고, 이 흘러간 Gas는 Rig 선상에서 점화 요인으로 추정된다.

⑦ Rig 위로 계속 흘러간 Oil과 Gas는 전기가 있는 장소와 엔진룸까지 도달하여 더욱 높은 점화요인이 된 것으로 판단된다.

2.4 BOP의 미작동

⑧ 비상시에 분출되는 Well의 압력을 차단하기 위하여 BOP를 운영하는 3가지 방법 모두 유전을 성공적으로 차단하지 못

했다.

a. 폭발과 함께 화재 때문에 Rig crew가 비상차단을 할 수 없었다.

b. BOP에 장착된 Yellow control pod의 전기 밸브에 이상이 있었고, Blue control pod의 배터리가 충분히 충전되지 않아서, 유압, 전기, 통신이 두절되는 비상시에 자동으로 차단 System이 작동하지 못했다.

c. 폭발 33시간 후에 20회 이상 시도된 ROV에 의한 BOP의 Blind shear ram(BSR)의 잠금 시도가 실패로 돌아갔다.

2.5 사고원인 분석

이상의 사고원인들로 부터의 분석결과가 Table 1에 나타난다.

Table 1 Analysis of accident causes

Accident analysis	Element of accident
Mechanical failure	BOP, Diverter, Casing hanger seal
Human judgement	Negative-pressure test, Replacement of heavy mud with seawater
Engineering design	Cement, Diverter, MGS
Operational implementation	BOP, Emergency shut-down
Team communication	Well control explosion & fire

3. 날짜별 해저 대응책들

Oil 유출 사건과 이에 대처한 여러 대응책들이 날짜 순서대로 Table 2에 나타난다. 사고 발생 후 이틀 만에 Rig가 가라앉고 Oil이 유출되기 시작하였다. 유전을 완전히 차단 할 수 있는 최후 해결책인 Relief well의 시추가 약 1km 떨어진 거리에서 5월 2일 첫 번째로 시도 되고, 두 번째 Relief well의 시추가 5월16일 시작되었다. 이 작업은 약 3개월의 기간이 예상되었으며, 이와 동시에 여러 방법들이 Oil을 회수하며, 유전을 차단하려 시

Table 2 Timeline of responses

Date	Description	Result
Apr. 20	Fire on rig	Rig sank on Apr. 22
Apr. 25	BOP repair	Fail
Apr. 30	Chemical dispersants	Partially OK
May 2	First relief well started	Finished on Sept. 19
May 7	Containment dome	Fail
May 16	RITT insert	22,000 bbl oil collected
May 26	Top kill and junk shot	Fail
June 3	LMRP cap installed	Began to capture oil
July 15	Capping stack installed	No spill to sea
Aug. 3	Static kill started	Casing pipe sealed
Sept. 4	BOP was lifted to surface	Hold by Dept. of Justice
Sept. 19	Relief well interception	Bottom kill completed

도했다. 7월15일 사고 발생한 BOP 위에 Capping stack이 성공적으로 설치되어 기름 유출이 차단되었다. 마침내 9월19일 Relief well이 해저 5.5km에서 교차되어 Cement를 투입하여 영구적인 유전 차단인 Bottom kill이 성공되었다(BP, 2010c).

#### 4. Oil 회수를위한 해저 대응책들

##### 4.1 Oil 회수용 대형 Dome

사고 이후 Rig로부터 분리되어 해저 면에 놓여있던 Riser의 끝에서 Oil과 Gas가 유출되었고, Riser 끝에 대형의 Oil 회수용 Containment dome(길이 7.3m×폭 4.3m, 높이 12m)을 5월 7일 설치하였다. Dome에 수거된 Oil은 상부에 파이프를 통하여 수면위의 Vessel enterprise호로 회수하려고 했다. Oil과 같이 흘러나오는 Gas는 1,530m의 고압에서 Methane hydrate 생성을 방지하기 위하여 Dome과 연결된 외부 파이프를 통하여 50°C의 물을 내려 보냈다. 그러나 Dome 상부에서 너무 많은 Hydrate가 일찍 생성되어 흐름을 완전 차단하여 실패로 돌아갔다. 급박한 상황에서 충분한 검증과 Test를 거치지 않은 Subsea engineering design이었다.

##### 4.2 Lower marine riser package cap (small cap)

Containment dome의 실패 원인 분석 결과로서 BOP 상부구조물인 Lower marine riser package(LMRP)에서 Oil을 직접 회수하는 Hydrate 생성억제가 가능한 Small cap 설계에 착수했다. 이를 위해 BOP위의 LMRP에 연결되어 파손된 해저 면에 놓인 직경 21-inch, 관두께 25mm Riser 파이프를 잘라내는 작업을 LMRP와 BOP에 Damage를 주지 않게 조심스레 수행하고, 즉시 잘려진 Riser pipe는 수면으로 회수하였다. Riser가 제거된 후 LMRP 상부에 cap을 설치하는 설계가 시작되어 약 10가지 종류의 설계가 급히 진행되었고, 총8개가 제작되었고, 그 중에서 1개가 6월5일 설치되었다. 이 cap이 성공적으로 설치되어

BOP 위로 분출되는 Oil을 파이프를 통하여 수면에 있는 Vessel Enterprise호로 뽑아 올리기 시작하여 멕시코 만에 Oil 유출을 상당 부분 줄일 수 있었다. 이 Cap은 일평균 17,000 배럴의 Oil을 회수하여 7월10일에 Capping stack이 설치되기 시작될 때까지 Oil이 계속 회수되었다. 참고로 LMRP cap의 Hydrate 생성 억제 System은 다음과 같다.

- (1) Nitrogen이 Drill pipe에 계속적으로 주입되어서 파이프가 Oil을 회수하기 전에 해수가 파이프 안으로 침투하는 것을 막는다.
- (2) Methanol이 hydrate 생성 억제제로서 사용되어 LMRP cap에 계속 주입된다.
- (3) Oil이 Drill 파이프를 통하여 올라올 때, 바깥의 Riser 파이프에 뜨거운 물을 계속 펌프 시켜 넣는다.

Fig. 2는 설치된 LMRP cap을 보여준다.

##### 4.3 Riser에 투입된 오일회수장치

Containment dome이 실패로 돌아가고 LMRP cap이 설계 설치되는 동안 해저 면에 놓인 파손된 Riser 끝에 Riser insertion tube tool(RITT)이 설치되었다. 이 장치는 LMRP cap이 설치되기 이전의 임시 oil 회수 장치이며 5월16일부터 9일간 약 22,000 배럴의 Oil이 회수되었다. RITT는 3개가 제작되었으며 그 중에서 1개가 설치되었다. Fig. 3은 설치되는 RITT를 보여준다.

##### 4.4 오일 회수 장치의 증가

LMRP cap 설치 이후 또 다른 Oil retrieve system 으로서 BOP의 Choke와 Kill line을 해저 면에 놓인 Manifold와 연결하여 다른 Vessel인 Q4000호로 Oil 회수가 6월 16일 확대되었다. Oil을 회수하는 작업과 동시에 유정을 차단하려는 여러 가지 시도가 수행되었고, 이러한 방법들은 5절에 설명되어져 있다. 5.3 절에 설명되어있는 LMRP cap 제거와 Capping stack 설치 후, 유정차단 작업 지원 가능성과 Hurricane을 대비하기 위한 장기적 Oil 회수 전략으로서 2개의 부유식 Riser를 더 설치하여 Flexible hose를 이용한 Quick connect/Disconnect system을 설치하여 Oil 회수를 하였다. 또한 Capping stack에서 2개의 파이프

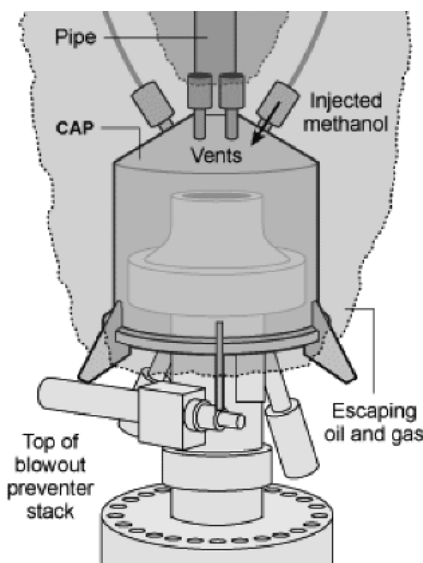


Fig. 2 A sketch of installed LMRP cap (source: NY times)

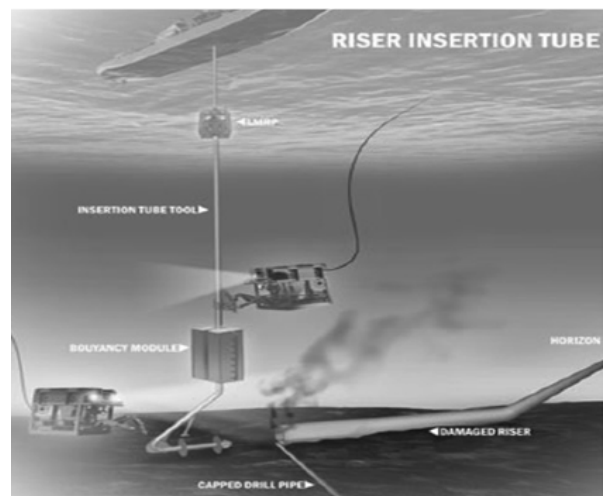


Fig. 3 Animation of the riser insertion tube tool (source: BP)

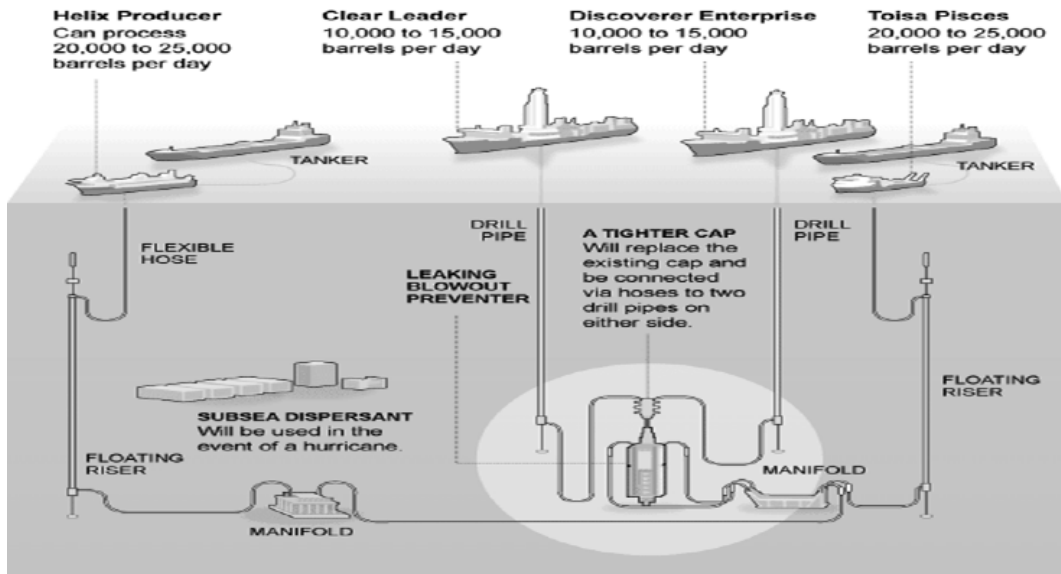


Fig. 4 Adding more capacity for long-term oil retrieve (source: BP)

프를 연결하여 다른 2개의 배에서도 Oil을 회수하는 장기적 계획을 세웠다. 그러나 5.4절에서 설명하는 유정차단이 성공함으로서, 장기계획의 일부만이 Oil 회수에 사용되었다. 3개의 Vessel을 이용하여 약 80만 배럴의 Oil이 회수되었다. Fig. 4는 장기적으로 Oil을 회수하는 계획을 보여준다.

### 5. 유정을 봉쇄하는 해저 대응책들

#### 5.1 BOP 작동

BOP의 비상 작동에는 3가지 방법이 있다(Leffler et al., 2003). 첫째는 비상시에 Rig 선상의 Crew에 의해 작동되는 Manual 방법, 둘째는 BOP 자체가 자동으로 작동하는 Automatic mode function(AMF) 방법, 셋째는 ROV를 이용한 Intervention에 의한 방법이 있다. Manual 방법은 Rig에서의 폭발과 화재 시에 연결 Cable과 Hydraulic line이 손상되어 BOP 차단에 실패했다. AMF 방법은 BOP에 장착된 Yellow control pod의 전기 밸브에 흠이 있었고 Blue control pod의 Battery가 충분히 충전되어 있지 않아서 작동되지 않았다. 사건 발생 33시간 후 시도된 4개의 ROV에 의해 BOP의 Blind shear ram(BSR)의 작동으로 차단이 20회 이상 시도되었으나 실패하여 Oil 유출을 중지시킬 수 없었다. BSR이 작동되지 않은 이유는 명확하지 않으나, 잘려지지 않는 Riser pipe 혹은 심해저에서 불충분한 유압 혹은 과도한 유량분출 등의 복합요소로 추정된다.

#### 5.2 Top kill and junk shot

Top kill이라고 불리는 유정차단 법은 Heavy drilling mud가 분출되고 있는 Well 속으로 주입되어 Mud의 무게가 솟아오르는 Oil의 압력을 극복하는 것이다. 이 방법은 육상에서는 여러 번 성공하였으나 수심 1,530m의 해저에서는 처음시도였다. Junk shot이라고 불리는 또 다른 방법은 Golf ball과 고무 조각

등의 여러 가지 물체를 섞어서 BOP에 투입시켜서 BOP를 막히게 하여 올라오는 Oil을 차단하는 것이다.

Top kill과 Junk shot은 다음과 같은 순서로 수행되었다.

- (1) 수면에 있는 Drillship에서 Heavy drilling mud가 파이프를 통해 Pumping된다.
- (2) 해저면 BOP 근처에 설치된 Manifold에서 Mud는 BOP의 Choke and kill line을 통하여 주입된다. 이 Manifold는 투입할 Junk material을 포함하고 있다.
- (3) Mud가 well 아래로 밀고 내려가 Oil의 압력을 밀어내려고 시도한다.
- (4) Junk material도 BOP를 막기 위해 여러 차례 여러 성분과 다른 양으로 투입되어 BOP를 막기를 시도한다.

그러나 이 두 가지 방법은 Oil의 압력을 이기지 못하고 Mud가 밀려 올라와서 실패로 돌아갔다.

#### 5.3 Capping stack installed on BOP

6월3일 설치되어 oil 회수용으로 사용되던 LMRP cap을 더욱 Tight한 Capping stacking으로 7월10일 교체하여 Well에서 Oil의 흐름을 중단시키려고 했다. 이 새로운 Cap은 BOP와 같은 Type의 3개의 Ram을 가지고 있어서 BOP 위의 또 다른 BOP라고 불린다. 7월15일 LMRP cap 제거 후 Capping stack이 Oil이 분출되는 상태에서 설치되었고, 많은 Methanol이 Hydrate 생성 방지용으로 투입되었다. 이 Capping stack은 Oil 회수용으로도 사용되어 질 수 있다. 설치 후 Ram이 닫혀져서 Oil의 흐름을 성공적으로 차단했다. 이를 통해 사건 발생 후 87일 만에 처음으로 Oil 유출은 중단되고 엔지니어들은 유정의 압력을 읽을 수 있었다. 그리하여 다음단계인 Well integrity test가 시작되었다.

Capping stack의 설치는 다음과 같은 기술 혁신을 가져왔다.

- (1) 1,530m의 수심에서 21-인치 직경, 25mm 관 두께를 파손된 Riser pipe를 Digital radiography 후에 잘라서 제거함.



Fig. 5 Capping stack on drillship ready to be installed (source: BP)

(2) 심해의 기존장비를 해체하고 새로운 장비를 Live well 상태에서 다시 설치함.

(3) 최대 16개의 ROV가 동시에 좁은 지역에서 운영됨.

Fig. 5는 설치 준비 상태에 있는 Capping stack의 사진을 보여준다.

5.4 Static kill

7월15일 Capping stack의 성공적 설치 후 Well integrity test

가 6가지(BOP 압력, 온도, ROV visual 검사, Seismic, Sonar, Acoustic) 항목으로 수행되어 Well이 새지 않음을 확인하고 유정차단 작업인 Static kill이 8월3일 시작되었다. Static kill은 5.2 절에서 설명한 Dynamic한 Top kill 보다 훨씬 더 안정적이고 Control이 쉬운 방법이다. 이번의 Static kill은 BOP 상부의 Capping stack이 흐름을 차단하고 있기 때문에 Mud의 투입속도와 압력 조절이 쉬운 방법이다.

Static kill은 다음과 같이 수행되었다.

(1) 수면의 Vessel에서 Heavy mud가 파이프를 통하여 투입된다.

(2) BOP 옆에 위치한 Top kill에서 사용된 Manifold를 통하여 Choke와 Kill line을 통하여 Mud가 BOP를 거쳐 Well 속으로 투입되어 Oil과 Gas를 Reservoir로 되돌려 보낸다.

(3) Well의 압력이 안정되면 Cement를 투입하여 유정의 케이싱 파이프를 차단한다. Cement는 케이싱 파이프와 Annulus까지 차단 할 수 있다.

8월5일 Cement 투입 후 8월 5~12일 사이에 Pressure test로서 Cement가 케이싱을 차단함을 확인하였다. 8월 12일 Near-ambient test를 통하여 Annulus를 Test하여 압력의 증가가 없음을 확인한 후 8월19일 Ambient test를 위하여 모든 Valve를 48시간 동안 열어서 Well이 더 이상 새지 않음을 확인한 후 DWH의 BOP를 철수할 준비를 하였다.

(4) 9월2일 Capping stack이 Drillship Enterprise호에 의해서 회수되었다.

(5) 9월3일 사고가 난 DWH BOP가 Q4000호에 의해서 Wellhead에서 분리되고 두 번째 relief well 시추에 사용되었던 BOP로 교체하였다.

(6) 9월4일 DWH의 BOP가 수면위로 회수되었다.

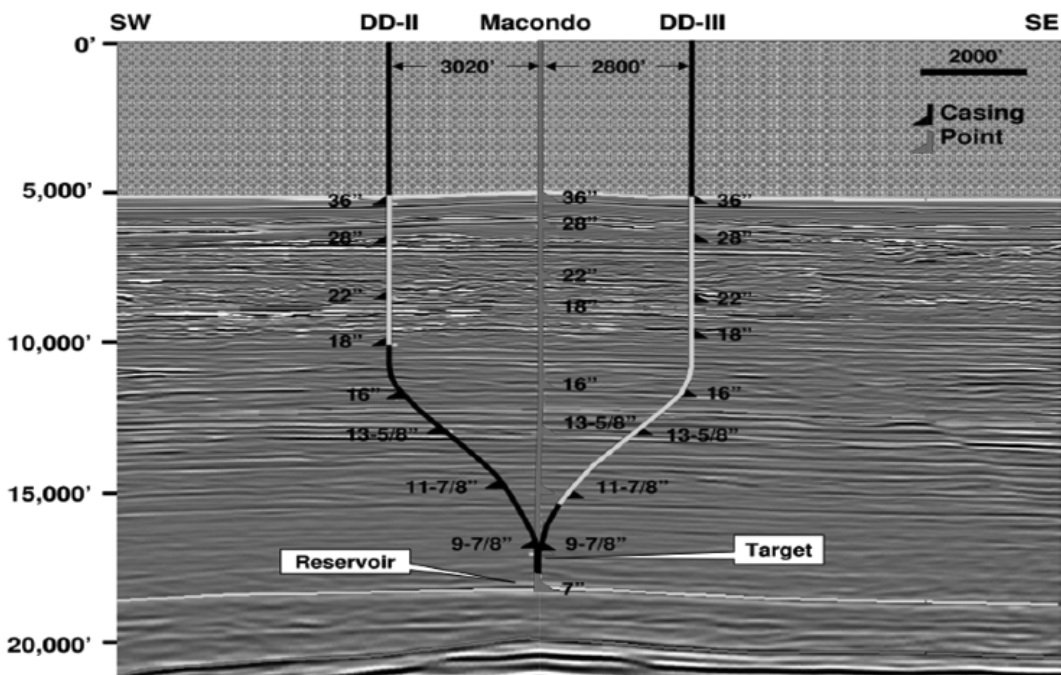


Fig. 6 A sketch of relief wells and interception target (source: BP)

이 BOP는 더 자세한 사건 조사의 증거로서 US Dept. of Justice가 보관중이다.

5.5 Relief well and bottom kill

유정차단의 Ultimate solution인 Relief well의 첫 시추가 약 1km 떨어진 곳에서 5월 2일 시작되었다. 두 번째 Relief well이 Backup용으로서 5월16일 다른 쪽에서 시작되었다. 이것은 장기적 해결책으로서 최소 3개월 이상이 소요된다. 이것은 해저면 5.5km 아래에서 Relief well의 시추봉의 끝단이 사고유정의 기존 생산 케이싱 파이프와 교차(Interception) 되어 기존 케이싱 파이프를 뚫고 들어가서 Mud와 Cement를 투입시켜서 유전을 영구히 막는 Bottom kill 방법이다.

기존 유정의 케이싱 파이프와 Relief well의 Drill bit가 해저면 하 5.5km에서 교차하기 위해서 Magnetomer를 이용한 Ranging technic을 사용한다. 이 방법은 해양석유산업이 지난 40년의 시도를 성공적으로 수행했고, 이번이 41번째 시도이다. 마침내 해저면 하 5.5km에 위치한 Reservoir에서 240m의 위에서 교차가 9월15일 시작되었고 Mud와 Cement를 투입시켜서 Bottom kill 이 9월19일 완료되었고 연방정부의 확인을 받았다. 이로써 사건 발생 5개월 만에 Macondo well은 영원히 차단되었다.

6. 해저 대응책들로 부터의 교훈

이 사고에서 인명 11명을 잃고, 17명이 부상당했다. 87일 동안 오일유출은 최대 4.9백만 배럴이고 그중에서 80만 배럴이 회수되었다. 최대 5,300개의 vessel이 동원 되었고, 13,000km의 Boom이 해상에 설치되었다 사건은 5개월 만에 종결되었고 다음과 같은 교훈을 남겼다(BP, 2010a).

- (1) Collaboration: 관계되는 모든 단체와 기관이 같이 협력하여 효과적인 해결책과 새로운 능력의 장비를 개발하였다.
- (2) Systemization: 대응책들은 독특한 조건들에 적용할 수 있는 광범위한 system과 순서와 조직력의 개발을 요구했다.
- (3) Information: Oil 회수와 유전차단에 더 좋은 결정을 내리고 안전한 운영과 대중과 관계기관에 알리기 위하여 시기적절하고 신뢰 할 수 있는 정보는 필수적이었다.
- (4) Innovation: Oil 회수와 유전차단과 그 처리과정은 기술과 도구 및 장비 그리고 처리순서와 Know-how에서 혁신을 가져왔다.

7. 결 론

본 논문에서는 BP사가 Oil 회수와 유전 차단을 위해 수행한 해저 대응책들을 면밀히 검토 분석한 결과 다음의 결론들을 얻을 수 있다.

(1) 사고분석과 대응책을 검토한 결과 사고방지와 더 좋은 Subsea 장비 개발을 위해서는 Mechanical failure, Engineering judgement, Operational implementation, Team communication 이 중요하고 그 중에 가장 중요한 것은 Human judgement이다.

(2) Subsea용 장비의 개발, 설계 및 제작에는 해저에서 설치, 교체 및 제거 등을 고려한 Installation flexibility 개념도입이 필수적이다.

(3) BOP와 Subsea의 다른 안전장치들은 비상시에 작동 운영 중지 시킬 수 있는 Redundancy와 Reliability가 필수적으로 고려 되어야한다.

(4) Subsea의 모든 장비는 Robust design이 요구되고 엄밀한 품질관리와 검사를 거쳐야 하고, ROV intervention이 용이해야 한다.

(5) 이 사건의 대책상황들은 State-of-the-art한 새로운 신기술 들을 만들어 냈으며, 이후 어떤 Oil spill에도 적용될 수 있다. 이러한 신기술들은 Subsea engineering의 Data base로써 가치가 있다.

후 기

This work was supported for two years by Pusan National University Research Grant.

참 고 문 헌

최환석 (2008). "심해석유 탐사 및 개발의 검토", 한국해양공학 회지, 제22권, 제4호, pp 72-77.  
 BP (2010a). Deepwater Horizon Containment and Response: Harnessing Capabilities and Lesson Learned, BP Internal Report, September 1.  
 BP (2010b). Deepwater Horizon Accident Investigation Report, BP Internal Report, September 8.  
 BP (2010c). <http://bp.com/sectiongenericarticle.do?categoryId=9034442&contentId=7063846>, Kent Wells Technical Updates.  
 Leffler, W.L., Pattarozzi, R. and Sterling, G. (2003). Deepwater Petroleum Exploration & Production, PennWell Corporation.  
 The New York Times (2010). <http://www.nytimes.com/interactive/2010/05/25/us/20100525-topkill-diagram.html>.

2010년 10월 4일 원고 접수  
 2011년 1월 13일 심사 완료  
 2011년 6월 20일 게재 확정