

Deepwater Horizon 사고 사례분석을 통한 심해 시추선 사고의 인적요인에 관한 연구

강민승* · 이강기** · † 예병덕

*한국해양대학교 대학원, **,† 한국해양대학교 해양플랜트 운영학과 교수

요 약 : Deepwater Horizon 사고 사례 분석을 통해 Kick 제어와 Blowout 및 인적요소 사이에 서로 관련성이 있음을 확인하였다. Deepwater Horizon 사례가 다른 시추선 사고에도 적용되는지 확인하기 위해 본 논문에서는 인적요소, Kick 제어 및 Blowout 사고와의 상관관계에 대해 분석하였다. 분석에 사용된 사고사례는 Trident V 프로그램으로 분석된 1981년부터 2015년까지의 60건이며, 인적요소가 예측 불가능한 Kick 발생 및 심각한 유정폭발에 어떠한 영향을 주는지 SPSS 프로그램을 통해서 분석하였다.

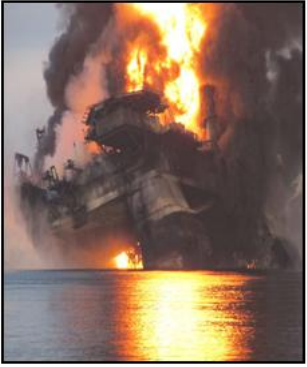
분석 결과 인적요소는 Kick의 제어에 더 많은 영향을 주는 것으로 판단되었고 이 결과를 토대로 향후 선급 및 국제표준기구의 관련 규정 개정 방안에 관해 제안하였다.

핵심용어 : Deepwater Horizon, Kick, Blowout, BOP, Human factor, Blind shear ram

목차

1. 서론
2. Deepwater Horizon 사고 원인
3. Deepwater Horizon사고의 인적 요인
4. Kick발생 및 Blowout사고 관계 및 Deepwater Horizon사고 이후 주요 변경사항
5. Kick, Blowout과 인적과실 상관관계
6. 결론

부록A. Accident list
부록B. KMO & Bartlett's Test



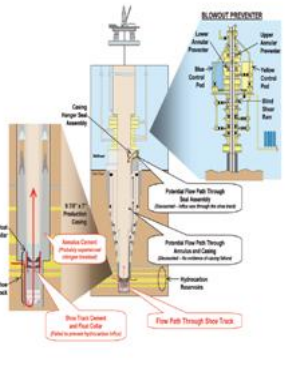
3. Deepwater Horizon사고 인적 요소

1. 운항 및 시추작업 지연 : 약 3개월(Marianas호 손상)
 - Centralizer 21개 필요
 - 본선에 6개만 이용가능
 - 15개 추가 공급 되었지만 규격 맞지 않아 반품함.



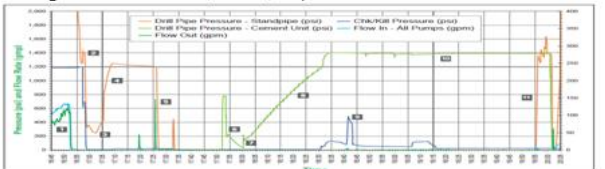
2. Deepwater Horizon 사고 원인

1. The annulus cement barrier did not isolate the hydrocarbons.
2. The shoe track barriers did not isolate the hydrocarbons.
3. The negative-pressure test was accepted although well integrity had not been established.
4. Influx was not recognized until hydrocarbons were in the riser.
5. Well control response actions failed to regain control of the well.
6. Diversion to the mud gas separator resulted in gas venting onto the rig.
7. The fire and gas system did not prevent hydrocarbon ignition.
8. The BOP emergency mode did not seal the well.



3. Deepwater Horizon 사고 인적 요소

2. Negative-Pressure test
 - Positive pressure 2,700psi로 성공,
 - Negative Press test는 1,200->1,400psi 압력상승 하였으나 성공으로 판단.



■ Spacerc displacement complete, mud pumps stopped
 ■ Annular preventer closed, attempt to bleed drill pipe pressure to zero.
 ■ Drill pipe pressure decreases to only 273 psi, annular preventer leaking.
 ■ Drill pipe pressure increases as annular preventer leaks, hydraulic closing pressure increased to seal annulus.
 ■ Drill pipe pressure bleed to zero for negative pressure test.
 ■ Decision made to conduct negative-pressure test via kill line, kill line operated, 3 bbls to 15 bbls bleed to cement unit.

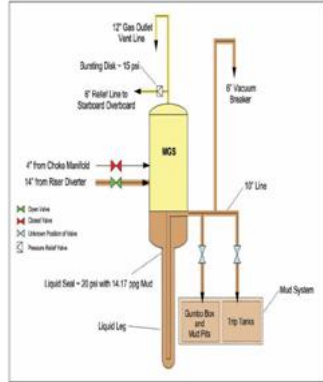
■ Shut on kill line at cement unit, drill pipe pressure starts to increase.
 ■ Drill pipe pressure slowly increases to 1,400 psi.
 ■ Fluid pumped into kill line to cement unit.
 ■ Discussion ongoing about 'annular compression' and 'bladder effect' while monitoring kill line.
 ■ Drill pipe pressure static at 1,400 psi.
 ■ Negative-pressure test conducted, declared a success, preparation made to continue displacement.

† 교신저자 : 종신회원, byea@kmou.ac.kr
* 정희원, 9414081@daum.net
** 정희원, kangkilee@kmou.ac.kr

3. Deepwater Horizon 사고 인적 요소

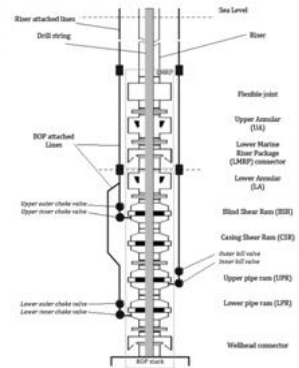
3. 유정 제어 미실시

- C&K, IBOP 폐쇄 등의 유정 제어 활동 없음.
- Divert 방향 : Emcy chute로 바꾸어야 하나 MGS로 통하게 하여 overflow 되어 선박의 전구역으로 탄화수소 확산.



4. Kick & Blowout

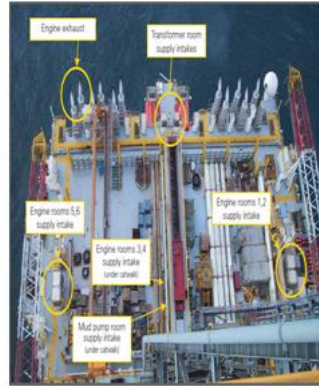
- Kick**: 유정 폭발시 발생하는 고압의 가스&오일
- Blowout**: 유정을 통해 가스&오일이 역류하는 현상으로 폭발로 이어지는 것.



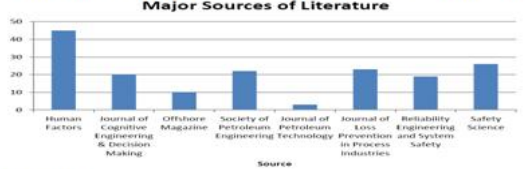
3. Deepwater Horizon 사고 인적 요소

4. 탄화수소/가스 기관실 유입

- CGD (combustion gas detector) 27개 중 13개만 작동
- No. 3 & 6 G/E Over-speed trip
- E/R intake damper 제어 불가



5. Kick & Blowout과 인적과실 상관관계

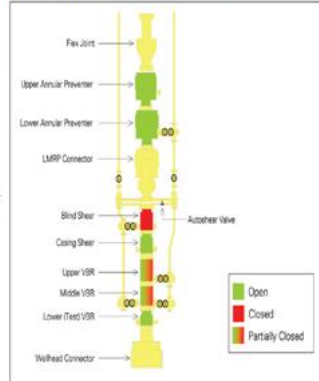


- SPSS 24 Program
- 1981~2015년까지의 K&B 사고 리스트
- 사고리스트는 Mark F. St John Ph.D. 2015, *A Human factors decision aid integrating deepwater drilling tasks, incidents and literature review*, <http://pse.pacific-science.com/tridentv2>
- 귀무가설(Null Hypothesis)은 "Blowout과 인적과실은 상관관계가 있다" 대립가설(Alternative Hypothesis)은 "상관관계가 없다"
- 빈도분석/포아송 분석/KMO & Bartlett test

3. Deepwater Horizon 사고 인적 요소

5. BOP정비 불량

- Maintenance: 보수 관리 일지 기술되지 않음. Non-OEM part
- Leaks: 유압시스템 중 6곳 누설
- Testing: AMF & ROV 점검 이루어지지 않음.
- Modification: Lower VBR -> Test Ram으로 변경하여 Ram수 감소.
- Diagnostics: BOP진단 절차서 누락, 제어시스템 결함 발견하기 충분치 않음.



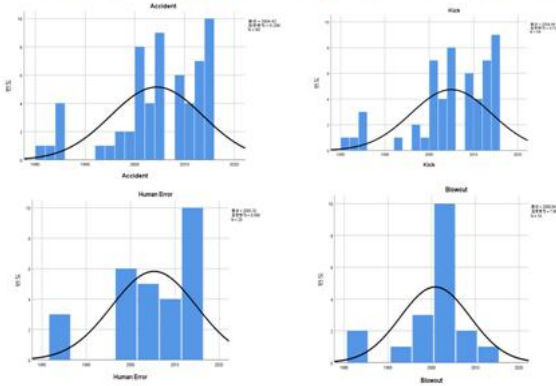
5. Kick & Blowout과 인적과실 상관관계

- 빈도분석
- 사고 60건 중 제어 불가능한 Kick 발생 횟수는 54건으로 90% 사고가 관련 있음.
- Kick 발생 54건 중 인적과실 26건으로 약 48% 관련
- Kick 발생 54건 중 Blowout 16건으로 BOP의 유효성은 약 30%
- Blowout 사고 16건 중 인적과실 9건으로 약 56% 관련되며, 모두 해양 또는 대기 오염 사고 발생함.

Table 6.1 Frequency Table (1981-2015)

	Accidents		Kick		Human Error		Blowout	
	Frequency	Percent	Frequency	percent	Frequency	Percent	Frequency	Percent
Yes	60	100	54	90.0	28	46.7	16	26.7
No	0	0	8	10.0	32	53.3	41	68.3
Total	60	100	60	100	60	100	60	100
Yeady	1.78		1.69		0.82		0.59	

5. Kick & Blowout과 인적과실 상관관계



5. Kick & Blowout과 인적과실 상관관계

Deepwater Horizon-Summary of Critical Events, Human Factors, Issues and Implications(2011)

- 관련절차서를 왜 사용하지 않았는가?
- 유정제어에 대한 판단이 유효하였는가?
- Slurry design은 안전관리 시스템에 누락되었는가? HAZOP실시하지 않았는가?
- Centralizer 수량변경 이유? 변경시 Halliburton과 BP사이에 협의가 있었는가?
- 선원들은 왜 MGS만 사용하고 Emcy chute를 사용하지 않았는가?
- 비상제어 훈련이 효율적으로 이루어 졌는가?

5. Kick & Blowout과 인적과실 상관관계

- 빈도 분석
- 사고발생, Kick 및 인적과실의 평균은 2004~2005이고, Blowout평균은 2000이며, 분산(Variance)값도 63.474로 다른 요소들과 확연한 차이가 있어 도수분포표 및 히스토그램도 확연한 차이가 있음을 알 수 있다.
- 또한, Kick과 인적과실은 분산, 평균 및 왜도에서 거의 비슷한 도수분포표 및 히스토그램 결과가 나오는걸 확인할 수 있다.
- 즉, 인적과실은 Blowout 사고발생보다는 Kick에 더욱더 큰 영향을 미친다고 할 수 있다.

Table 5.6 Frequency Statistics

	Accident	Kick	Human Factor	Blowout
N	80	64	28	19
Missing	0	9	82	41
Mean	2004.42	2004.98	2008.82	2000.84
Standard Deviation	0.208	0.107	0.808	7.987
Variance	88.417	82.042	62.078	88.474
Skewness	-.978	-1.121	-1.028	-1.080
Std. Error of Skewness	.800	.828	.441	.824
Kurtosis	.800	.828	.488	1.120
Std. Error of Kurtosis	.808	.880	.888	1.014

6. 결론 및 향후 과제

빈도분석/포아송 모델 : 인적과실은 Kick발생에 큰 영향.

결론 : 제어 불가능한 Kick발생 줄이는것이 사고 발생을 줄임.

- C&K line효율적 사용
- Driller의 모니터링 강화
- 시멘팅 절차서 재검토
- Negative-pressure test 절차 표준화



5. Kick & Blowout과 인적과실 상관관계

포아송 분석 : 단위 시간 안에 어떤 사건이 몇번 발생할 것 인지를 표현하는 이산확률 분포

$K+H+B = 15.6\%$ $K+B : 10.9\%$

$K+H = 26.6\%$

∴ 인적과실은 Kick발생에 더 높은 영향

Table 5.10 Poisson Model

Chi-Square and Pearson

Kick Occured	Human Factor	Blowout	Observed		Expected		Residual
			Count	%	Count	%	
No	No	No	1,800	2.8%	1,000	1.6%	.800
		Yes	8,800	8.8%	4,000	6.8%	-4,800
	Yes	No	2,800	5.6%	6,000	4.7%	-3,200
		Yes	.800	0.8%	.000	0.0%	.800
Yes	No	No	21,800	88.8%	22,000	86.4%	-800
		Yes	7,800	11.7%	7,000	10.9%	.800
	Yes	No	17,800	27.8%	17,000	26.6%	.800
		Yes	8,800	13.8%	10,000	15.6%	-1,200

6. 결론 및 향후 과제

향후 과제

1. 국제표준기구(API, NORSOK, 선급) 인적요인이 Kick발생에 미치는 영향 기준으로 개정방향 제시(Risk Access and etc)
2. 사고규모, 인명손실, 배상액 또는 기타 방법으로 차등을 주는 분석 요구됨.

