

# Semi-Rig, Pontoon 구역 표면 결로 예방 설계

서동재<sup>†</sup>·박상언·노정환·심학무  
현대삼호중공업(주) 전장선설계부

## Semi-Rig, Anti-condensation design on steel surface in pontoon area

Dong-jae Seo<sup>†</sup>·Sang-un Park·Joung-hwan Noh·Hak-mu Shim<sup>1</sup>  
Electric & Accommodation Outfitting Design Dep<sup>t</sup>, Hyundai Samho Heavy Industries Co., Ltd.

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Condensation is one of the common issues which we can easily see in everyday life. For example, the surface of glasses with cold water is easily moisturized. This wet surface gives us uncomfortable feeling and is sometimes dangerous because it is slippery. As the safety on working space is one of the most important issue on offshore project, condensation is also important matter to take care of with precaution. Since the bottom of vessel or offshore facility is submersed in the water, the risk of having condensate on the steel surface is getting higher because sea water temperature is normally lower than ambient temperature. And if there is any electric equipment or person working in that space, condensation is normally not allowed. The pontoon of semi-submersible drilling rig is such a space which is submersed, with electric and mechanical equipments and person working periodically. To prevent condensation in pontoon, study was conducted by checking several cases.

**Keywords** : Condensation(결로), Pontoon(폰툰, 수상 플랫폼), Semi-submersible drilling rig(반잠수식 해양 굴착 장치)

## 1. 서론

차가운 물을 따른 컵 표면이나, 추운 겨울 실내 벽 표면에서 이슬이 발생하는 것을 결로라고 하며, 이는 우리가 일상생활에서 쉽게 접할 수 있는 현상이다. 이러한 결로는 불쾌감을 주고, 미끄러운 컵은 놓치기 쉬우며 또한 벽에 발생한 결로로 인해 곰팡이나 각종 세균이 발생할 수 있는 등 유익한 면보다는 부정적인 측면이 더 많다고 볼 수 있다. 이러한 결로는 주요 구조재가 금속인 해양 선박 및 해양 구조물 등에서도 쉽게 발생할 수 있는데, 발생 부위에 따라 작업자의 안전이나 기계장치의 손상 등 문제점이 야기될 수 있다.

Semi-submersible drilling rig에는 Pontoon 이라고 불리는 물에 잠기는 하부 구조물이 있는데, 차가운 바닷물로 둘러싸여 있기 때문에 상대적으로 높은 온도의 습한 공기가 실내에 공급될 경우 별도의 마감미 없는 구조물 표면에 결로가 발생할 확률이 다른 구역보다 매우 높다. 이 Pontoon에는 Switch board, Transformer 등과 같은 각종 전자 장치 및 배의 추진을 위한 Thruster가 있어 습기에 취약할 수 있으며, 바닥의 물기로 인하여 선원의 이동 및 작업 시 위험할 수 있다.

해양 시설, 특히 본 논문의 사례가 되는 프로젝트는 노르

웨이 해역인 North sea에서 운전하는 조건으로 설계 및 건조된 해양 시설물로서, 특히 Norsok standard, Norwegian Maritime Authority(이하 NMA) regulation 등에서 안전에 대하여 엄격한 규정을 가지고 있기 때문에 이에 대해 설계 초기에 검토하여 문제를 예방할 수 있는 결론 도출이 중요하며, 이를 위해서는 외기 조건, HVAC(Heating, Ventilation and Air Conditioning) system, Insulation 및 내부 의장 설계 조건 등을 전반적으로 검토해야 한다.

## 2. 본론

### 2.1 Pontoon 설명

Pontoon 구조물(Fig. 1)은 Semi-submersible drilling rig가 물 위에 떠있게 해주는 수상 부교의 역할을 하는 것이며, 이를 위해 서론에서 설명한 바와 같이 상황에 따라서 구역 전체 또는 상부 일부를 제외한 구역의 대부분이 바닷물에 잠겨있다. 이 바닷물은 기온이 영하로 내려가는 겨울철을 제외한 대부분의 경우에 인접한 대기에 비하여 온도가 낮다.

<sup>†</sup> 교신저자 : 서동재, [djseo@hshi.co.kr](mailto:djseo@hshi.co.kr)

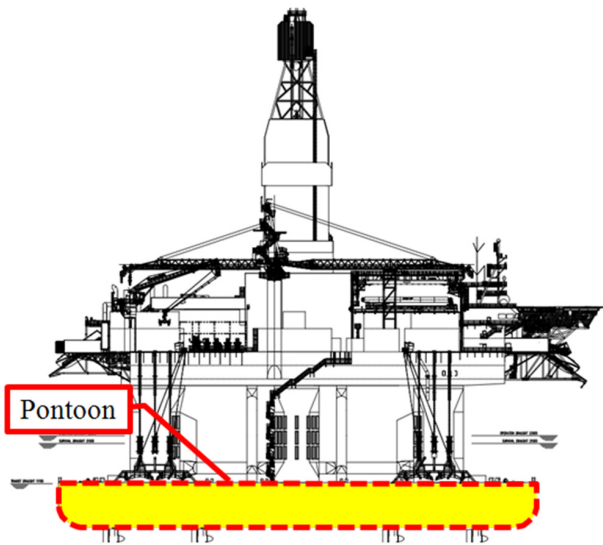


Fig. 1 Elevation view of semi-submersible drilling rig

### 2.2 Field of operation

본 시설물은 노르웨이 해역에서 운전하는 조건으로 설계 되었으나, 시추가 가능한 West Africa 해역을 포함하여 Fig. 2에서 보이는 두 지역에 대하여, 발생 가능한 최악의 조건으로 총 아래의 세가지 경우로 나누어 검토하였다.

- Case 1 (Tropical condition) :  
+35°C @ 70% R.H. and sea water temperature +32°C
- Case 2 (North sea condition on summer) :  
+25°C @ 70% R.H. and sea water temperature +18°C
- Case 3 (North sea condition on spring) :  
+5°C @ 95% R.H. and sea water temperature +6°C

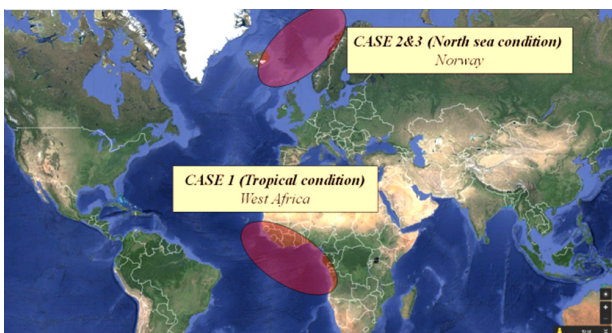


Fig. 2 Field of operation

### 2.3 HVAC system

NMA regulation, Construction of mobile offshore units, section 18에 의거하여 Living quarters 외부구역의 Mechanical ventilation은 DLI 444(Norwegian Labour Inspection Authority에서 발간, 작업공간에서의 환경과 공기의 질에 대한 기준 규정)에 의거하여 계산되어야 하며, Pontoon 구역 또한 Air quality, Heat gain, Target temperature 등을 고려하여 HVAC system을 설계

하게 된다. 또한 선주사의 요구로 인하여 최소 환기 횟수가 시간당 5회가 되도록 설계되었다. 이는 일반적인 Drilling rig의 Pontoon 구역에 적용하는 시간당 2회 이하의 기준보다 매우 높은 수준이며, 이로 인하여 내부의 결로 발생시 결로의 양이 매우 많아질 수 있는 문제의 소지가 있다. 참고로, Section 2.4.2의 식 (2)에서 확인할 수 있는 바와 같이 결로의 양은 그 구역에 공급되는 공기량에 비례한다.

이러한 조건에서의 문제를 해결코자, HVAC system에서 Pontoon 구역에 공급되는 공기의 최고 온도를 15°C로 낮추었는데, 이는 공기 중의 최대 가능 절대습도를 낮춰주게 되어 결로 발생 가능성을 대폭 낮출 수 있다. 그러나 이로 인하여 HVAC 장비의 크기, 용량, 금액 및 사용 전력이 증가하게 되는데, 사람이 지속적으로 거주하지 않는 구역에 이렇게 높은 수준의 HVAC system을 적용하는 것은 비효율적인 측면이 있음을 주의 깊게 고려해야 할 것이다.

첨언하여, Pontoon 구역에 시간당 2회 이하의 Ventilation이 공급되는 일반적인 프로젝트의 경우에는, Pontoon의 8개 구역에 약 냉각 능력 30,000kcal/h 용량의 Packaged air conditioning unit (컴프레서와 팬이 하나의 세트에 있는 에어컨 장비, 이하 PACU)이 1개씩 설치되어 각 구역의 습도를 낮추는 기능을 하나, 본 프로젝트와 같이 공급되는 공기의 양이 많을 경우에는 이 PACU로 적절한 제습 기능을 기대할 수 없다. 왜냐하면, PACU가 설치되는 구역의 체적은 약 1,600 m³이며 시간당 5회의 공기가 공급될 경우 그 양은 약 8,000 m³이 되는데, 외부 조건이 Case 2와 같은 경우 이 공기를 18°C 이하로 낮추기 위해서는 약 45,000Kcal/h의 용량이 필요하며, 이러한 장비 8대를 상시로 돌리기 위해서는 많은 전력이 소비되기 때문이다.

### 2.4 결로 가능성 검토

철 표면에 결로가 발생하기 위해서는 표면 온도가 실내 공기의 이슬점보다 낮아야 한다. 즉, 예상 철 표면 온도와 공기의 온/습도를 산출하여 이를 Psychrometric chart(습공기선도)를 이용하여 비교검토 함으로서 결과를 도출할 수 있으며, 앞서 언급한 세가지 Case로 정리하였다.

철 표면온도의 산출에 있어서는, 철은 열 전도율이 약 45kcal/mh°C (U-value로 환산할 경우의 값은 약 5,200W/m²K)로 매우 높고, 철판의 두께는 10mm 내외로 매우 얇기 때문에 철 표면온도는 해수의 온도와 동일한 것으로 가정하였다. 참고로, 해수온도가 10°C이고 실내 온도가 20°C일 경우로 가정하여 철 표면온도(T)를 구하면 아래 식 (1)과 같으며, 철 표면 온도 10.015°C는 해수온도 10°C로 봐도 무방함을 알 수 있다.

$$T = T_1 + (T_2 - T_1) \times (1/5200) / (1/5200 + 1/8) \quad (1)$$

$$T = 10.015 \text{ } ^\circ\text{C}$$

- U-value for steel wall : 5,200W/m²K

- U-value inside surface air : 8W/m²K (Calm air)
- T : Temperature on the thermal insulation surface to room side
- T1 : Seawater temperature(10 °C)
- T2 : Min. room temperature (20 °C)

아래 Fig. 3에서 보는 바와 같이 Steel wall에서는 온도의 변화가 거의 없고, 내부 철 표면의 공기층(Calm air)에서 급격한 온도변화가 있다.

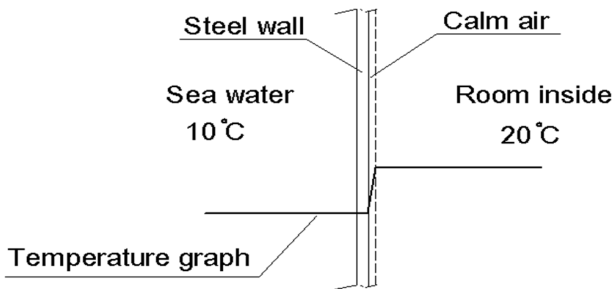


Fig. 3 Section view between sea water and room inside

앞서 2.3 HVAC system에서 Pontoon에 공급되는 공기의 조건에 대해서 설명하였는데, 아래의 검토에 있어서는 우선 외부의 공기가 그대로 시간당 5회로 들어오는 조건으로 1차 검토를 하고, 이에 문제가 있는 경우에 대응 방안에 대해서 추가로 검토하는 것으로 하였다.

### 2.4.1 Case 1 (Tropical condition)

+35°C @ 70% R.H. and sea water temperature +32°C

Fig. 4에서 보는 바와 같이 35°C에 습도 70% 공기의 이슬 점은 28.7°C이며, 이는 해수의 온도 32°C보다 낮기 때문에 결로가 발생하지 않는다.

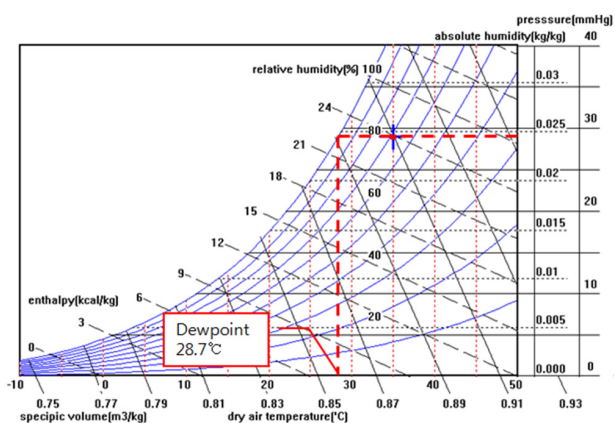


Fig. 4 Psychrometric chart for case 1

### 2.4.2 Case 2 (North sea condition on summer)

+25°C @ 70% R.H. and sea water temperature +18°C

Fig. 5에서 보는 바와 같이 25°C에 습도 70% 공기의 이슬 점은 19.2°C이며, 이는 해수의 온도 18°C보다 높기 때문에 결로 발생할 수 있다. 다른 Case와 비교해 보면 Case 2의 경우가 해수와 대기의 온도 차가 크다는 것을 알 수 있는데, 이로 인하여 같은 상대습도 조건에서도 결로가 발생하기 쉬움을 알 수 있다.

Pontoon의 8개 구역 중 하나를 예로 하여 결로 발생 량 (L)을 계산하면 아래 식 (2)와 같다.

$$L = Q \times \Gamma \times \sigma \quad (2)$$

$$= 8,000 \times 1.2 \times 0.00113 = 10.8 \text{ kg/h}$$

여기서 Q는 시간당 공급되는 공기량 8,000 m³/h, Γ는 공기의 비중 1.2 kg/m³, σ는 공급되는 공기의 절대습도와 해수 온도인 18°C로 떨어진 습윤공기의 절대습도의 차이 0.00113kg/kg이다. 계산 결과 시간당 10.8kg의 결로가 발생하고, 이는 하루에 약 240kg이라는 매우 많은 양임을 알 수 있다.

그러나 앞서 언급한 바와 같이 평상시에는 HVAC system에서 최고 15°C인 공기를 공급하며, 이는 해수의 온도 18°C보다 낮으므로 결로가 발생하지 않을 것이며, HVAC system의 냉방 기능에 문제가 발생했을 때를 대비하여 Fig. 6과 같이 다수의 전기장비가 배치되는 Thruster/pontoon SWBD & transfer room의 벽 및 천장, 그리고 기계장비가 배치되는 Thruster/pump room의 천장에 Insulation을 시공하여 흑시모를 결로를 예방할 수 있다.

HVAC system이나 Insulation 등과 같은 추가 조치는 설계 초기에 적절한 검토를 거쳐 반영될 경우 큰 문제가 없으나, 공사 중이나 공사가 완료된 후에 반영코자 할 경우에는 공간의 기능 여부, 공사 규모의 차이 등 문제가 많으므로 필히 초기에 검토하여 반영 여부를 결정하는 것이 매우 중요하다고 할 수 있다.

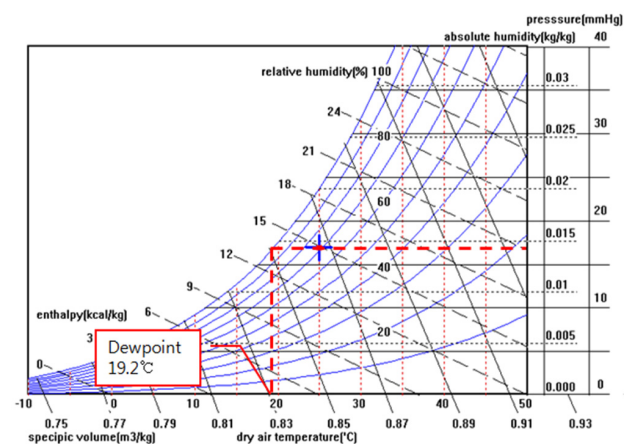


Fig. 5 Psychrometric chart for case 2

Insulation이 시공된 내부 표면 온도(T)는 아래 식 (3)과 같다.

$$T = T_1 + (T_2 - T_1) \times (1/0.5) / (1/0.5 + 1/8) \quad (3)$$

$$T = 24.6 \text{ }^\circ\text{C}$$

- U-value for thermal insulation : 0.5W/m²K (as per NORSOK C-002)
- U-value inside surface air : 8W/m²K (Calm air)
- T : Temperature on the thermal insulation surface to room side
- T1 : Seawater temperature(18 °C)
- T2 : Min. room temperature (25 °C)

Insulation을 시공하였을 경우 실내 표면 온도는 24.6°C가 되고, 이는 결로발생 온도조건인 19.2°C보다 훨씬 높기 때문에 결로는 발생하지 않는다.

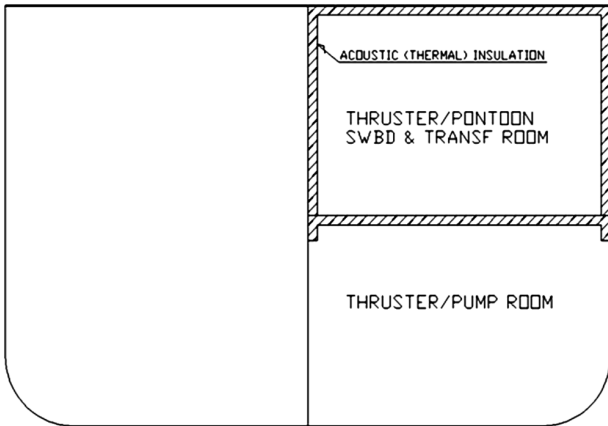


Fig. 6 Section view of pontoon

### 2.4.3 Case 3 (North sea condition on spring)

+5°C @ 95% R.H. and sea water temperature +6°C

Fig. 7에서 보는 바와 같이 5°C에 습도 95% 공기의 이슬 점은 4.3°C이며, 이는 해수의 온도 6°C보다 낮기 때문에 결로가 발생하지 않는다.

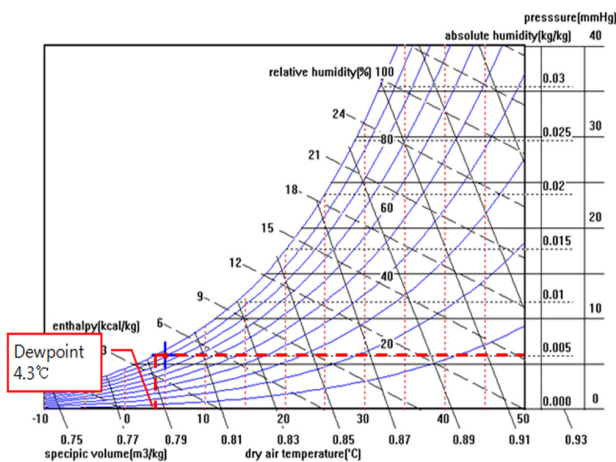


Fig. 7 Psychrometric chart for case 3

## 5. 결론

Pontoon과 같은 구역의 결로 여부는 안전과 직결되기 때문에 중요한 사항으로 봐야 하며, 프로젝트 공사가 시작되거나 공사가 완료된 후에 발생한 문제를 해결하기 위해서는 비용 증가 및 공정 지연 문제로 이어질 수 있다. 따라서 이러한 사항이 문제가 될 소지가 있거나, 검토의 필요성이 있을 경우에는 그 프로젝트의 Operation condition, HVAC system 및 Insulation 설치 등 전반적인 검토를 통해 설계 초기 단계에서 문제점 예방이 필요하다.

이번 사례에서 볼 수 있듯이, 해수에 잠긴 선체 내부 표면에 결로가 발생하기 위해서는 해수와 대기의 온도 차가 크고 대기의 상대습도가 높을수록 그 확률이 높음을 알 수 있으며, 이의 예방을 위해서는 추가적인 비용이 소요된다. 그러나 이는 발주처와 조선소 양측에 부담이 되는 것이므로 합리적인 선 안에서 양측에 이득이 될 수 있는 방안으로 방향을 잡아 초기에 정리할 필요가 있다. 즉, 실내의 시간당 환기 횟수를 무조건적으로 늘리기 보다는 경제적인 측면과 사용상 필요한 최소 환기 횟수를 적절히 검토하여 이를 설계에 반영하는 것이 최적의 방법이라고 볼 수 있다.

## Reference

Norwegian Labour Inspection Authority, February 2003, DLI 444  
 Norwegian Maritime Authority, September 1987, Construction of mobile offshore units  
 Standards Norway, June 2006, Norsok standard C-002, Architectural components and equipment  
 Standards Norway, August 2004, Norsok standard S-002, Working environment

