

화물선의 결로 방지에 대한 연구

오세진* · 김원욱** · 김성환** · 이성근** · 김종수**†

*, ** 한국해양대학교

A Study on the Condensation Prevention of Bulk Carrier

Sae-Gin Oh* · Won-Ouk Kim** · Seung-Hwan Kim** · Seung-Geun Lee** · Jong-Su Kim**†

*, ** Korea Maritime University, Busan, 606-791, Korea

요 약 : 선박에 적재된 곡류, 철강재 등의 산적화물에 여러 가지 이유로 손상이 발생될 수 있다. 본 논문에서는 코일 운반선의 화물손상 원인 중 특히, 결로에 의한 손상과 그에 대한 방지대책에 대해 분석하고자 한다. 결로란 주위 온도가 이슬점 이하로 떨어져 물체 표면에 공기 중의 수증기가 물방울로 맺히는 현상을 말하며 일반적으로 실내의 온도차가 큰 건축물이나 선박의 화물창에서 많이 발생한다. 특히, 비슷한 시기에 기온차가 있는 전 세계를 운항하는 선박에서 흔히 발생할 수 있는 현상이다. 본 연구에서는 코일 운반선의 결로에 의한 화물손상 방지 대책에 대해 고찰하고 화물손상을 방지하기 위해 제습장치와 가열온풍장치를 병용하는 새로운 방법의 제안과 습도, 습기량, 제습장치 용량, 결로수량, 화물 및 공기와 외기의 온도 차이에 따른 화물창 내 공기와 화물 가열에 필요한 열량, 가열장치 용량 등의 산정법을 제시한다.

핵심어 : 산적화물, 결로, 이슬점, 제습장치, 가열온풍장치

Abstract : Bulk cargo loaded into ship can be damaged by various kinds reasons. This paper aims to analyze about cargo damage of coil carrier ship due to condensation. Condensation is the formation of liquid drops of water from water vapor. Condensation consists of small drops of water which form when warm water vapour or steam touches a cold surface such as a window. In general, condensation have occurred by temperature difference at large building and ship's tank. It is phenomenon that can occur often to oceangoing vessel moving temperature difference places in similar time. This paper proposes a new method using dehumidification device and fan heater to prevent bulk cargo damage of coil carrier ship from condensation.

Key Words : Bulk, Condensation, Dew point, Dehumidification device, Fan heater

1. 서 론

선박에서는 곡류, 철강재 등의 산적 화물에 여러 가지 이유로 손상이 발생할 수 있는데 그중 주요한 원인중의 하나가 결로에 의한 것이다. 선박은 비슷한 시기에 전 세계를 운항하여야 하는 특수성 때문에 항상 결로 발생 가능성을 가지고 있는데 선박 화물창에서의 결로는 특히, 기온이 높은 열대지방에서 발생한다. 이때는 선박 외부에 고온다습한 공기가 있고 화물창 내부는 상대적으로 저온의 화물이 있는 경우이다. 만일 여름철이나 열대지방에서 선박에 적재되어 있는 화물을 하역하기 위해 화물창 덮개를 열면 외부의 고온다습한 외부공기가 화물창 내로 활발하게 유입되어 해수 등으로 인해 차가워진 내부의 벽체 및 화물에 접해 노점온도에 도달하게 되므로 화물창 내판 및 화물에 결로가 발생하게 된다(양과 김, 2004). 그리고 평상시 항해 중에도 선박 화물창 내의 공

기는 정체되어 있고 내부습기에 대한 효과적인 제습이 어려워 지속적인 결로가 발생되고 있다. 만일 선적항의 온도가 낮고 기항지의 온도가 높은 지역이라면 결로의 피해가 더욱 심각해질 수 있다. 본 연구에서는 선박 화물창 결로방지를 위해 화물창 내부공기에 포함되어 있는 수증기를 제거하고 가열온풍장치를 이용하여 제습된 공기를 가열한 후 화물창 내부를 순환시키는 방법을 제안한다. 즉, 고온다습한 외기와 접촉시 화물창내 결로를 방지하기 위해 화물창내의 온도를 대기온도에 접근시키는 것이다. 이를 위해 기존의 문헌 및 자료조사를 통해 화물창의 온도, 절대습도, 상대습도 변화, 결로수량 등을 검토하고 습도측정법, 선박 화물창 용적과 화물중량에 알맞은 제습장치 용량 산정법, 제거해야할 습기량 산출법, 최대 결로수량 산출법, 가화물창 가열장치 용량 산정법, 화물 및 화물창 공기와 외기 온도 차이에 따른 화물창 내 공기 가열에 필요한 열량 및, 화물창 내 화물 온도 상승에 필요한 열량 계산법을 제시하고자 한다.

* 대표저자 : 정희원, osgengen@hhu.ac.kr, 051-410-5094

† 교신저자 : 종신회원, jongskim@hhu.ac.kr, 051-410-4831

2. 결로 일반

2.1 결로의 개요

결로란 주위 온도가 이슬점 이하로 떨어져 물체 표면에 공기 중의 수증기가 물방울로 맺히는 현상을 말하는 것으로 일반적으로 실내외 온도차가 큰 건축물이나 선박 등에서도 흔히 발생한다. 결로의 종류에는 표면결로와 내부결로가 있는데 표면결로는 건물이나 선박의 외부 및 내부에 접촉하고 있는 표면온도가 노점온도보다 낮을 때 건축물 및 선박 표면에 발생한다. 그리고 실내가 외부보다 습도가 높고 벽체에 투습력이 있으면, 벽체 내에 수증기압 구배가 생기게 되는데 이로 인해 내부 결로가 발생한다(박, 2009).

2.2 결로 발생의 원인

1) 실내외 온도차

선박에서의 결로는 온도가 낮은 냉수파이프 등의 표면에 쉽게 발생하며 온도가 낮은 화물창 및 기관실 내판에도 발생한다.

2) 실내습기의 과다발생

외부공기가 찬 경우, 공기 중의 습기 함유량이 적으므로 찬 공기가 건물 내로 들어오더라도 결로는 쉽게 발생하지 않는다. 온난다습한 기후에서는 결로가 자주 발생하는데 특히 실내 표면의 온도상승이 느릴 때 결로가 발생한다.

3) 환기부족

선박은 각종 탱크에 환기장치가 설치되어 있으나 이들을 활용하여 적절히 환기시키지 않으면 선박 내부에서도 결로가 많이 발생할 수 있다.

3. 코일운반선의 결로

3.1 코일운반선의 결로

1) 선체 결로

대기와 화물창내의 온도차가 발생하여 화물창 내 노점온도가 대기보다 높은 경우에는 외적인 영향으로 선체주위의 화물창내 공기가 노점 이하로 냉각됨으로써 결로가 발생한다.

2) 화물 결로

화물표면의 온도가 화물창내 공기의 노점온도보다 낮을 경우에는 습기가 이동하여 찬 화물표면에 습기가 응결된다.



Fig. 1. Loading condition of Coil.



Fig. 2. Coil condition in Tank.

3.2 현재 실행중인 코일 운반선 결로 방지 대책

현재의 선적 화물선에 의한 철재 수송시 물리적으로 결로 발생을 완전히 억제하기는 불가능하며 항로별, 계절별에 따라 화물을 운송하는 운송자는 결로 발생요인을 최대한 제거하는 것이 최선책이다. 현재 해운선사에서 결로를 방지하기 위해 취하는 대책으로는 다음과 같다.

1) 화물창 내 수증기 공급 요인 제거

- 선적전후 화물이 비, 눈, 해수 등에 젖지 않도록 한다.
- 항해 중 화물창 내 외기 유입경로 차단
- 선적 전 선창을 완전히 건조
- 선적 전 습기를 포함한 화물은 건조시켜 별도 조치후 선적
- 항해 중 비, 해수의 화물창 내 유입금지

2) 통풍환기

선적화물이 운송되는 과정에서 발생하는 화물사고 중 가장 빈도가 높고 피해액이 많은 것이 화물창 환기의 잘못된 기인한 사고이다. 화물창 환기 방법은 외기의 노점이 화물창내 공기의 노점보다 낮고(건조하고), 외기의 습도가 화물창내의 습도보다 낮을 경우(일반적으로 화물창내의 습도가 90% 이상, 외기의 습도가 75% 미만일 경우) 통풍환기를 실시하고, 반대로 외기의 노점이 화물창내 공기의 노점보다 높으면 통풍환기를 해서는 안 된다. 단, 외기의 노점이 화물창 내 공기의 노점보다 현저히 낮고 또 외기의 온도가 화물창 내 공기의 노점보다 낮을 때에 갑자기 다량의 외기를 화물창 내로 유입하게 되면 외기와 화물창 내 공기의 접촉면에서 결로가 발생하므로 이러한 경우에는 자연통풍 등을 이용하여 외기를 아주 적게 서서히 유입, 환기시켜야 한다.

3) 연료유 탱크의 과도한 가열 억제

비교적 통풍환기 조건이 양호한 하계에 비해 동계에는 외기 온도가 한랭하고 악천후로 통풍환기가 거의 불가능하므로 연료유 가열이나 기관실 격벽의 영향으로 온도가 상승된 화물창내 공기가 냉각된 선체와 접촉하여 결로가 발생되기 쉽다. 따라서 특별한 사정이 없는 한 이중저 탱크의 연료유는 110(°F) 이상 가열하는 것을 금지한다.

4) 화물 덮개 사용

철 화물 상부에 화물 덮개를 씌움으로써, 악천후 등 제반 조건상 어쩔 수 없이 발생하는 선체 결로의 낙하에 의한 화물 손상을 방지한다. 다만, 적재된 화물 표면에 기 발생된 결로가

화물 덮개에 의하여 화물창내 공기와 격리되어 증발되지 않은 채 잔존하여 발청 촉진요인이 되는 경우가 있다. 따라서 대기 온도, 화물창내의 공기온도 및 화물온도를 주의 깊게 관찰하여야 한다.

화물 덮개는 또한 황천 향해 시 화물창내로 유입되는 해수에 의한 화물 손상을 방지하고 화물과 직접 접촉할 수 있는 수증기량을 감소시켜 화물 결로 발생량을 줄이는 효과가 있다.

5) 결로 발생경감 가능향로 선정

일반적으로 양호한 기상 및 해상상태에 따라 통풍 가능 일수가 증가한다. 따라서 적절하고 충분한 통풍환기를 시행함으로써 결로 발생을 억제할 수 있으며, 양호한 해상상태로 인하여 해수의 화물창 내 유입이 거의 희박하게 된다.

6) 화물창 선별 적재

항해 중 바람과 파도의 영향을 많이 받는 화물창은 가열 및 냉각현상이 빈번하여 외기의 영향을 많이 받으므로 가급적 이러한 화물창에는 결로에 민감한 화물을 적재하지 않는다.

4. 본 논문의 코일 운반선 결로 방지 대책

4.1 습공기의 개요

본 연구에서 제안하는 방법의 각종 값들을 계산하기 위해서는 습공기에 대한 열역학적 고찰이 필요하다. 습공기는 건공기와 수증기의 혼합물이므로, 그것의 혼합 비율을 표시하는 양을 정의해야 한다. 이 혼합 비율을 습공기의 습도라고 한다. 습도에는 절대습도(absolute humidity) 및 상대습도(relative humidity)가 있다.

1) 습공기의 성질

습공기(濕空氣 : moist air or humid air)란 수분을 함유한 공기를 말하며 수분을 포함하지 않은 공기를 건공기(乾空氣 : dry air) 또는 공기라 한다. Fig. 3과 같은 압력 P , 온도 T , 체적 V 인 습공기가 들어 있는 밀폐계의 혼합기체에 대하여 이상기체 상태방정식을 적용하면 다음 식(1)과 같다.

$$P = \frac{nR_0T}{V} = \frac{m}{M} \frac{R_0T}{V} \quad (1)$$

여기서 n , m , M 은 혼합기체의 몰수, 질량, 분자량이고 R_0 는 일반가스정수이다(김, 2001; 김, 1990).

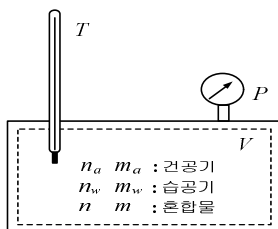


Fig. 3. Mixture of dry air and water vapor.

2) 습도 측정법

공기 중에 포함되어 있는 수분의 양과 공기의 온도를 안다면, 그 공기의 상태를 구할 수 있다. 즉, 수분의 양이나 공기의 온도변화를 공기의 상태변화를 추적하는 도구로 사용하면 극히 편리하다. 이와 같은 목적으로 만들어진 선도를 공기선도(psychrometric chart)라고 하며 구성은 Fig 4와 같다(김, 2001).

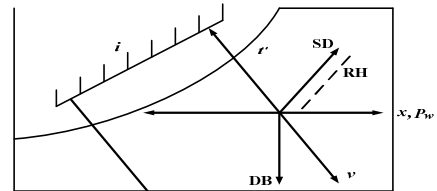


Fig. 4. Composition of Psychrometric chart.

여기서, RH:상대습도(%), SD:포화도(%), t' :습구온도($^{\circ}C$), v :비체적 (m^3/kg), i :엔탈피($kcal/kg$), DB:건구온도($^{\circ}C$), x :절대습도(kg/kg), P_w : 수증기분압

4.2 결로 방지법

본 연구에서는 1차적으로 제습장치를 이용하여 화물창 실내 공기 중에 포함되어 있는 수증기를 제거하여 절대습도를 감소시키고, 2차적으로 가열온풍장치를 사용하여 제습된 차가운 공기 및 화물의 온도를 상승시켜 화물창내의 공기를 고온저습(상대습도 감소)한 상태로 만들어 실내에 순환시킴으로써 결로 발생의 억제와 동시에 실내 저장된 저장물의 건조를 촉진시켜 화물창의 화물 저장환경을 개선시키는 방법을 제안하고자 한다. 시스템 구성은 크게 제습 시스템과 가열 시스템으로 구성된다.

1) 이중 선체

이중 선체는 해수와 만나는 선체 외판과 화물창 내부를 분리시켜 완충공간을 형성한다. 이 부분은 화물창 내부 공기가 직접 선체 외판과 만나지 못하게 함으로써 화물창 내부 온도가 급격히 내려가는 것을 방지하는 일종의 단열재 역할을 한다.

2) 제습장치

본 연구에서는 실제 코일운반선인 “우양 스티어링”호를 모델 선박으로 취했으며 선박에서 가장 큰 화물창인 2번 화물창을 기준으로 제습장치 용량을 산정하였다. “우양 스티어링”호의 2번 화물창의 용량 및 화물 중량은 Table 1과 같다.

화물창내의 과습한 공기는 적극적으로 결로를 발생시키는 역할을 한다. 제습장치는 결로량의 증대를 위해 과습공기와외 접촉 면적이 크며 유입공기의 원활한 흐름을 유지시킬 수 있는 구조가 바람직하다.

Table 1. Condition of No2 Tank

Total volume	8,235(m ³)
Weight of Cargo	6,713(M/T)
Volume of Cargo	1,400(m ³)

Fig. 5는 기온 30(°C), 상대습도 90(%)의 습공기를 30(°C), 상대습도 30(%)의 습공기로 만들기 위해 제거해야할 습기량을 도시해 준다.

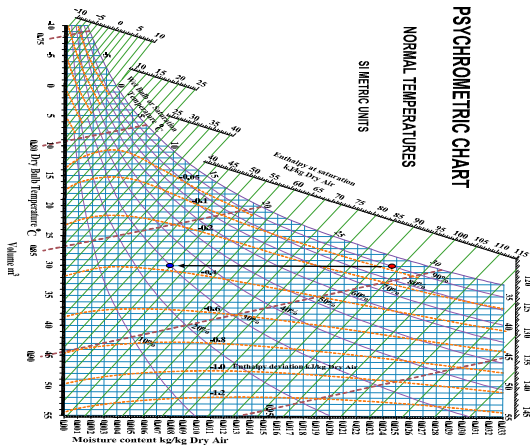


Fig. 5. Dehumidification device capacity calculation by Psychrometric chart(30°C).

공기선도상 30(°C), 상대습도 90(%)에서의 절대습도는 0.0246(kg/kg)이고 상대습도 30(%)에서의 절대습도는 0.0081(kg/kg)이므로 그 차이는 0.0165(kg/kg)이 되며 이때의 비체적은 0.87(m³/kg)이므로 제거해야할 습기는 156(kg)이 된다(8,235 ÷ 0.87 × 0.0165 = 156 ; 화물의 부피는 가변이므로 생략). 제습장치의 용량은 제습시간을 2일로 가정하면 시간당 약 3.3(kg)의 습기를 제거할 수 있어야 한다.

여름철 온도가 더욱 상승하여 화물적재 시 기온이 35(°C)에 달했을 경우 상대습도 90(%)의 습공기를 30(%)로 낮추기 위해 제거해야할 습기량은 Fig. 6을 이용하여 계산할 수 있다.

공기선도상 35(°C), 상대습도 90(%)에서의 절대습도는 0.0328(kg/kg)이고 상대습도 30(%)에서의 절대습도는 0.0105(kg/kg)이므로 그 차이는 0.0223(kg/kg)이 되며 이때의 비체적은 0.89(m³/kg)이므로 제거해야할 습기는 206(kg)이 된다.

(8,235 ÷ 0.89 × 0.0223 = 206) 제습기 용량은 제습시간을 2일로 가정하면 시간당 약 4.3(kg)의 습기를 제거할 수 있어야 한다.

3) 가열장치

선박의 화물 및 화물창과 기항지 외기의 온도 및 습도차로 인하여 화물창 덮개 개방 시 결로가 발생할 수 있다. 이때 발생하는 결로량은 온도와 습도차외에도 화물의 온도변화에 영향을 주는 해수온도, 선박주위의 풍속 및 풍향, 화물의 중량, 표면적 및 적재상태, 화물창의 형상 등 다양한 요인에 의해 결정되므로 정확한 예측은 불가능하다.

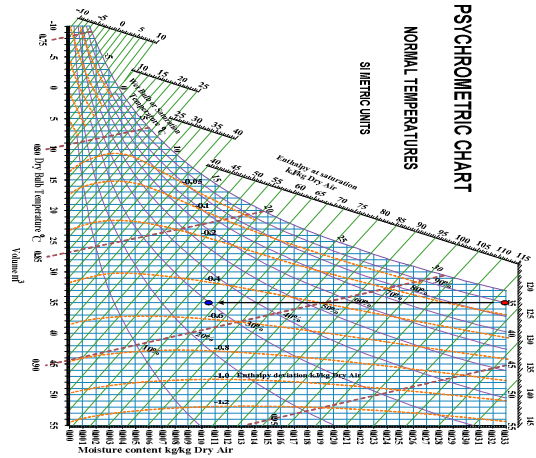


Fig. 6. Dehumidification device capacity calculation by Psychrometric chart(35°C).

Fig. 7은 하역항의 기온 30(°C), 상대습도 90(%)인 경우의 절대습도와 화물창 내부온도가 28(°C), 25(°C), 23(°C), 20(°C) 및 10(°C)일 경우의 포화상태 절대습도를 도시하고 있으며 Table 2는 각각의 경우에 대한 절대습도 및 2번 화물창에 연결할 수 있는 초기 최대 결로수량을 나타낸다. 이때 하역항의 외기 절대습도는 0.0246(kg/kg)이다.

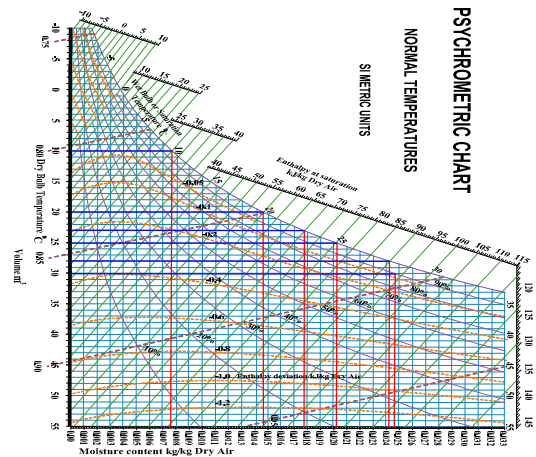


Fig. 7. Absolute humidity in saturation state (30°C, 90%).

Table 2. Tank's Absolute humidity and condensation <Air 30(°C), Relative humidity 90(%)>

Tank temp. /Temp. diff.	28(°C)/ 2(°C)	25(°C)/ 5(°C)	23(°C)/ 7(°C)	20(°C)/ 10(°C)	10(°C)/ 20(°C)
Absolute humidity (kg/kg)	0.0243	0.0202	0.0178	0.0147	0.0077
Maximum condensation (kg)	2.47(kg)	36.23	56.00	81.53	141.64

화물선의 결로 방지에 대한 연구

예를 들어 화물창온도가 28(°C)인 경우 초기 최대 결로수량은 다음 식에 의해 계산될 수 있다.

$$(0.0246 - 0.0243) \times 8,235 = 2.47 \text{ (kg)} \quad (2)$$

Table 3은 하역항의 온도가 35(°C), 상대습도 90(%)일 때 화물창 내부온도가 33(°C), 30(°C), 28(°C), 25(°C) 및 15(°C)일 경우의 각각에 대한 절대습도 및 2번 화물창에 응결할 수 있는 초기 최대 결로수량을 나타낸다. 이때 외기 절대습도는 0.0330(kg/kg)이다.

Table 3. Tank's Absolute humidity and condensation
<Air 35(°C), Relative humidity 90(%)>

Tank temp. /Temp. diff.	33(°C)/ 2(°C)	30(°C)/ 5(°C)	28(°C)/ 7(°C)	25(°C)/ 10(°C)	15(°C)/ 20(°C)
Absolute humidity (kg/kg)	0.0327	0.0274	0.0242	0.0202	0.0107
Maximum condensation	2.47(kg)	46.12 (kg)	72.47 (kg)	105.41 (kg)	183.64 (kg)

Table 2 및 Table 3에 의하면 화물창 내부의 공기 및 화물의 온도가 외기온도보다 2(°C) 정도 낮은 경우는 거의 결로가 일어나지 않지만, 5(°C)이상 차이가 나면 외기습도가 높은 경우 심각한 결로 피해가 예상된다. 따라서 화물 적재항과 하역항의 온도 및 습도 차이가 심한 경우 화물적재 후 항해 중 화물창의 온도를 기항지의 예상 기온보다 2(°C) 정도 낮은 온도까지 상승시키는 것이 결로 피해를 미연에 방지하는 최선책이라 사료된다. 즉, 제습장치를 통과한 저온저습의 공기를 가열장치를 사용하여 고온저습의 상태로 변화시켜 공급하고 순환시킴으로써 상대습도 저하 및 저장 공간 내부와 저장물의 표면온도를 상승시키는 것이다.

본 연구에서는 하역항 외기와 화물창 내부의 온도차가 5(°C) 및 7(°C)일 경우(특별한 경우를 제외하면 통상 이 범주에 해당함) 각각에 대한 가열장치의 용량을 산정하였다.

1) 화물 및 화물창 공기와 외기의 온도차가 5(°C)인 경우

① 화물창내의 공기만을 가열시키는데 필요한 열량

제습장치에 의해 상대습도가 30(%) 정도로 감소한 공기는 수분함유량이 적으므로 건공기로 간주할 수 있다. 따라서 공기 중에 포함된 수증기의 온도상승을 위해 필요한 열량을 생략하면 화물창 내부온도와 외기온도차를 2(°C) 이내까지 근접시키기 위해 화물창 내 공기온도를 3(°C) 상승시키는데 필요한 열량은 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$kWh = \frac{(8,235 - 1,400) \times 0.241 \times 4.2 \times 3}{0.87 \times 3,600 \times 0.85} = 7.8 \quad (3)$$

식(3)에서 0.241은 공기의 비열, 4.2는 열의 일당량, 3은 온

도차, 0.87은 비체적, 0.85는 열교환기 및 전열효과를 고려한 효율이다.

② 화물창내의 화물의 온도를 상승시키는데 필요한 열량

화물창 내 화물의 온도를 3(°C) 상승시키는데 필요한 열량은 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$kWh = \frac{6,713,000 \times 0.104 \times 4.2 \times 3}{3,600 \times 0.85} = 2,875 \quad (4)$$

식(4)에서 6,713,000은 화물의 중량을 (kg)단위로 환산한 값, 0.104는 철의 비열, 4.2는 열의 일당량, 3은 온도차, 0.85는 열교환기 및 전열효과를 고려한 효율이다.

③ 화물창의 공기온도와 화물온도 모두를 상승시키는데 필요한 열량

화물창내의 공기 및 화물온도를 동시에 3(°C) 상승시키는데 필요한 열량은 위에서 구한 열량을 더하여 구할 수 있다. 즉, 약 2,883(kWh)(7.8 + 2,875 = 2,883)가 된다. 따라서 30(kW) 출력의 가열장치를 사용할 경우 약 96시간(4일)이 소요되며 40(kW) 출력의 가열장치를 사용할 경우에는 72시간(3일)이 걸린다.

2) 화물 및 화물창 공기와 외기의 온도차가 7(°C)인 경우

① 화물창내의 공기만을 가열시키는데 필요한 열량

마찬가지로 화물창 내부의 공기온도를 외기온도보다 2(°C) 낮은 온도까지 접근시키기 위해, 즉 공기온도를 5(°C) 상승시키는데 필요한 열량은 다음과 같이 계산될 수 있다.

$$kWh = \frac{(8,235 - 1,400) \times 0.241 \times 4.2 \times 5}{0.87 \times 3,600 \times 0.85} = 13 \quad (5)$$

② 화물창내의 화물의 온도를 상승시키는데 필요한 열량

화물창 내 화물의 온도를 5(°C) 상승시키는데 필요한 열량은 다음과 같이 계산될 수 있다.

$$kWh = \frac{6,713,000 \times 0.104 \times 4.2 \times 5}{3,600 \times 0.85} = 4,791 \quad (6)$$

③ 화물창의 공기온도와 화물온도 모두를 상승시키는데 필요한 열량

화물창내의 공기 및 화물온도를 동시에 5(°C) 상승시키는데 필요한 열량은 위에서 구한 열량을 더하여 구할 수 있다. 즉, 약 4,804(kWh)(13 + 4,791 = 4,804)가 된다. 따라서 30(kW) 출력의 가열장치를 사용할 경우 약 160시간(6.7일)이 소요되며 40(kW) 출력의 가열장치를 사용할 경우에는 120시간(5일)이 걸린다.

5. 결론

본 연구에서 제안한 화물창 결로 방지 방법은 제습장치와 가열온풍장치를 병용하는 것으로, 선박에서 화물을 싣고 화물창 덮개(헤치 커버)를 닫으면 우선 제습장치를 사용하여 절대

습도를 감소시켜 항해 중 습기로부터 유발될 수 있는 화물손상을 예방한다. 그 후 건조하게 된 화물창 공기와 화물(코일)의 온도를 가열장치를 사용하여 하역항의 외기온도에 접근하도록 가열시키는 방법이다. 화물적재 후 다음과 같은 순서로 시스템을 가동하면 결로로 인한 화물 피해를 최소화시킬 수 있을 것이다.

- 1) 화물적재 후 화물창 덮개 및 모든 개구부를 폐쇄하고 1~2일 동안 제습장치를 가동하여 화물창내의 상대습도를 30(%) 이하로 하강시킨다. 동시에 빌지 펌프로 응결된 수분을 제거한다. 화물적재항과 하역항의 온도차가 심하지 않고 하역항의 상대습도가 높지 않을 경우 제습과정만 반복해도 결로로 인한 피해는 유발되지 않을 것이다.
- 2) 제습 후 3~6일 동안 가열온풍장치를 최대 출력으로 작동시켜 화물창내 공기와 화물의 온도를 상승시킨다. 항해 중 외기온도가 높고 습도가 낮다면 외기를 화물창에 공급하여 화물창의 공기 및 화물의 온도를 상승시킬 수 있다.
- 3) 하역항에 도착하기 2~3일 전부터 화물창의 온도가 하역항의 예상 기온에 2(℃) 정도까지 근접하도록 가열장치의 출력을 조절한다.
- 4) 하역을 위해 화물창 덮개를 개방할 때 가능한 한 서서히 시행하여 습도 구배 급변으로 인한 결로를 예방한다.

또한, 습도측정법, 선박 화물창 용적과 화물중량에 알맞은 제습장치 용량 산정법, 제거해야할 습기량 산출법, 최대 결로수량 산출법, 가화물창 가열장치 용량 산정법, 화물 및 화물창공기와 외기 온도 차이에 따른 화물창 내 공기 가열에 필요한 열량 및, 화물창 내 화물 온도 상승에 필요한 열량 계산법을 제시하였다.

참 고 문 헌

- [1] 김두천(1990), 개인용 컴퓨터에 의한 습공기 해석, 육군사관학교 연구보고서, pp. 4-6.
- [2] 김한태(2001), 반도체 제조공정중 Photo 공정용 온·습도 조절장치 구현, 홍익대학교 산업대학원 석사학위논문, pp. 4-7.
- [3] 박정우(2009), 지하공동구 결로현상 저감방안 연구, 서울시립대학교 산업대학원 석사학위논문, pp 3-7.
- [4] 양시권, 김순갑(2004), 선박적화, 다솜출판사, pp. 306-335.

원고접수일 : 2011년 10월 06일

원고수정일 : 2011년 11월 03일

게재확정일 : 2011년 12월 26일