

여객선 (Passenger Ferry) 공조환기장치 적용 사례

김 회 준
삼 성 중 공 업 (주)
선 임 엔 지 니 어

1. 머리말

선박에는 유조선, 살물선, Container선등 일 반상선과 석유를 채굴(Drilling Ship), 시추, 저장(FPSO)하는 특수목적선과 여객을 수송하는 여객선으로 분류될 수 있다. 특히 기후 변화가 심한 해상에서 세계전역을 많은 인원이 승선하여 장기간동안 여행하는 여객선에서는 선내의 쾌적한 환경을 유지하기 위한 공기조화장치가 선박의 운용에 어떠한 장치보다 중요한 장치로 분류된다.

미래의 국내 조선산업은 여객선과 같은 고부가 가치선으로 건조가 주류를 이룰 것으로 예상된다. 따라서 당사에서 건조중인 여객선 (Passenger Ferry)에 적용중인 공조환기장치 사례를 소개하고자 한다.

2. 공조장치(HVAC System)의 적용 개요

선박에서의 HVAC(Heating, Ventilation and Air Conditioning) System이란 외부에서 신선 공기를 흡입하여 특정한 냉매와 열매를 이용하

여 공기를 냉각 가열 또는 감습하여 필요로 하는 공간으로 Duct를 통하여 송풍 하는 공기조화 장치이다.

2. 1 설계조건

설계조건은 선박이 운항되는 기후조건에 따라 선박발주자에 의해서 주어지나 일반적으로 다음과 같은 조건이 주어진다.

2.1.1 실내의 공기 조건

극지방을 항행하는 선박 일 경우 외기온도를 -45°C 경우로 설계하는 경우도 있으나, 일반적으로 아래 조건으로 설계한다.

	외기	실내
여름	$+35^{\circ}\text{C}$ 70% RH	$+27^{\circ}\text{C}$ 50% RH
겨울	-20°C	$+22^{\circ}\text{C}$ 50% RH

2.1.2 신선공기 공급비율(Fresh Air Ratio)

선박내의 공기청정도를 유지하기 위한 수치로서 일반 상선의 경우 총 풍량의 50%를 신선 공기를 유지하고 있으나 선진국(독일, 북구)에서 발주하는 선박의 경우, 자국 법규에 따라

100% 신선공기도입을 요구하는 사례도 있다.

아래는 여객선의 신선공기 비율이다.

선실(Cabins), 공용실(Public space):100%

Fresh Air

조타실(Wheelhouse), 계단(Stairway), 잠용실

(Locker)등:50% Fresh Air

2.1.3 최소 환기 회수(T/H)

선박의 운항국적에 따라 각국에서 요구하는 환기회수는 다르나 대개 공조구역일 경우 Cabin 구역 6Time/Hour, 공용실 8Time/Hour요 구한다.

표 1은 여객선의 환기 회수이다.

표 1. 여객선의 환기 회수

공 간	급 기 (T/H)	배 기 (T/H)
Cabin & Office	10-12	-
Reception Hall	18	14
Main saloon	18	12
Air seat room	16	8
Wheel house	14	12
Public sanitary room	10	25
Dry provision store	10	6
Private toilet	-	15
Locker & store	10	10

2.1.4 인당 최소신선공기량(Fresh Air per Person)

선원 일인당 신선공기량은 나라마다 다르게 규정하고 있다.

영국:25m³/h

독일:30m³/h

스웨덴:72m³/h

2.1.5 실의 취득열량 및 손실 열량계산

실을 정육면체로 가정하여 각 방향에서 출입 하는 열량을 계산한다.

$$Q = K \times A \Delta T$$

$$Q = cP \times p \times V \times \Delta t$$

여기서 Q:열취득/손실[kcal/h]

A:벽면 또는 천장면적[m²]

K:열통과율[kcal/m²°C]

ΔT:실내외 온도차[°C]

cP:공기정압비열[kcal/kg°C]

p:공기의 비중량[kg/m³]

V:풍량[m³]

Δt:취출온도차[°C]

2.1.6 각방의 설계풍량 산출

각방의 최적풍량을 산출하기 위해서는 위에서 열거한 내용을 기준으로 계산한다. 아래 중 에 가장 높은 값을 그 방의 설계 풍량으로 선택한다.

- 최소 환기회수로 계산한 그 방의 풍량
- 재실 인원수와 인당 신선공기량을 계산한 풍량
- 실의 통과 열량을 풍량으로 계산한 풍량

2. 2 통풍장치(Ventilation System)

선실내의 공기를 급기/배기 또는 순환시키는 장치로 실의 기능 또는 법규에 따라 수개의 독립적인 Ventilation System이 구분 적용되었다.

특히 여객선의 Ventilation System은 *SOLAS Chap. II-2 Reg 32 1.2에 따라 *주방화구역(Main Fire Zone)은 독립적인 통풍을 요구하므

로 17대의 공조기(AHU, Air Handling Unit)가 적용되었다.

2.2.1 구역별 통풍장치

1) 선실 구역(Cabin Space)

고속단일재열 덕트(High Velocity Single Duct System with Reheating System Automatically Controlled).

각 객실에서 재실인원의 희망하는 온도를 조정 가능한 System.

Supply and Exhaust Air Spiral Duct

Supply and Exhaust Air Devices

* 그림 1 참조

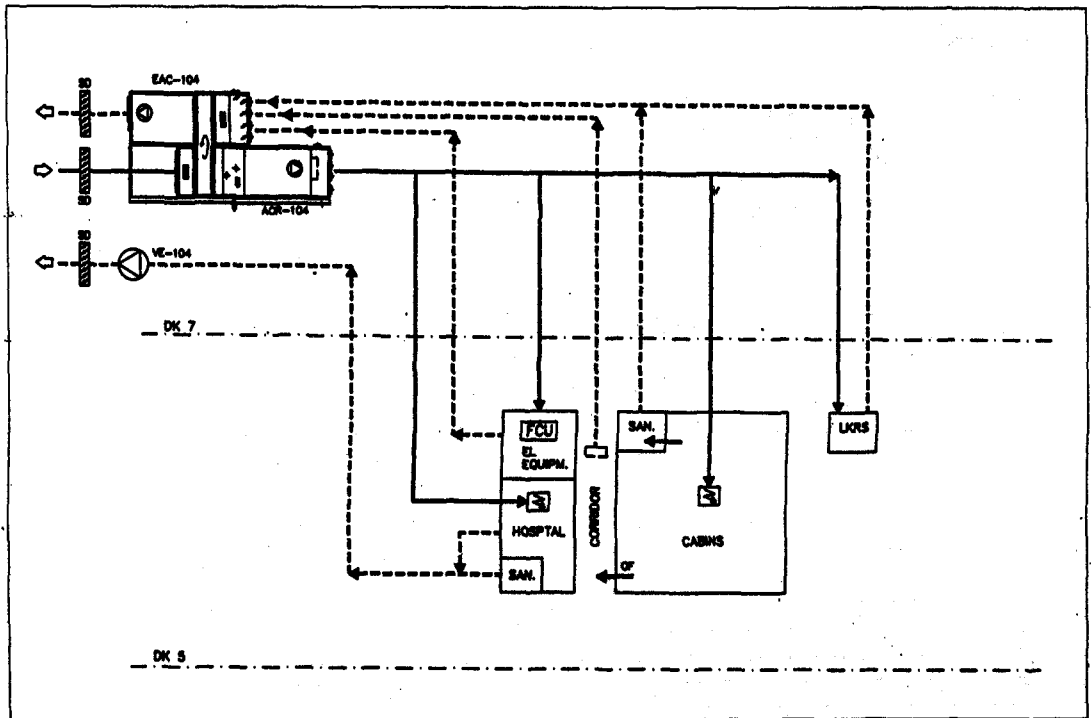


그림 1 Cabin System Flow Diagram

2) 공용실 구역(Public Space)

저속단일 덕트(Low Velocity Single Duct System)

a. 단일구역(Single Zone)

- VAV(Variable Air Volume) System with Reheating

실내의 열 부하에 따라 온도를 감지하여 Fan의 Guide Vane 자동 조정하여 풍량을 100%~40% 조정.

적용기간 : Main Saloon

* 그림 2 참조

b. 복합구역(Multi Zone)

- 구역재열(Zone Reheating with 2-Speed Fan)

여러 개의 소규모 공실을 한대의 공조기(Air Handling Unit)로 연결 사용된 장치로 각 공실로 향하는 Duct에 구역재열기(Zone Reheater)를 설치하여 각 공실의 온도를 개별 조정 가능토록 설계.

적용기간 : A La Carte, Cafeteria, Children Play Room, Shop.

* 그림 3 참조

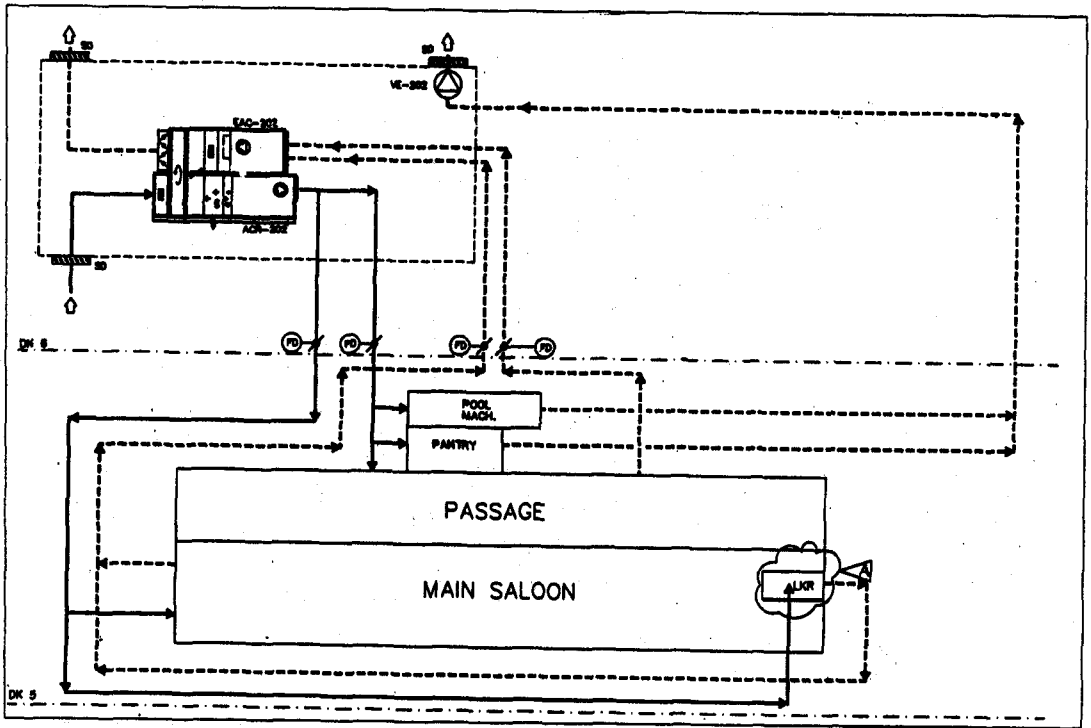


그림 2 Single / Zone Flow Diagram

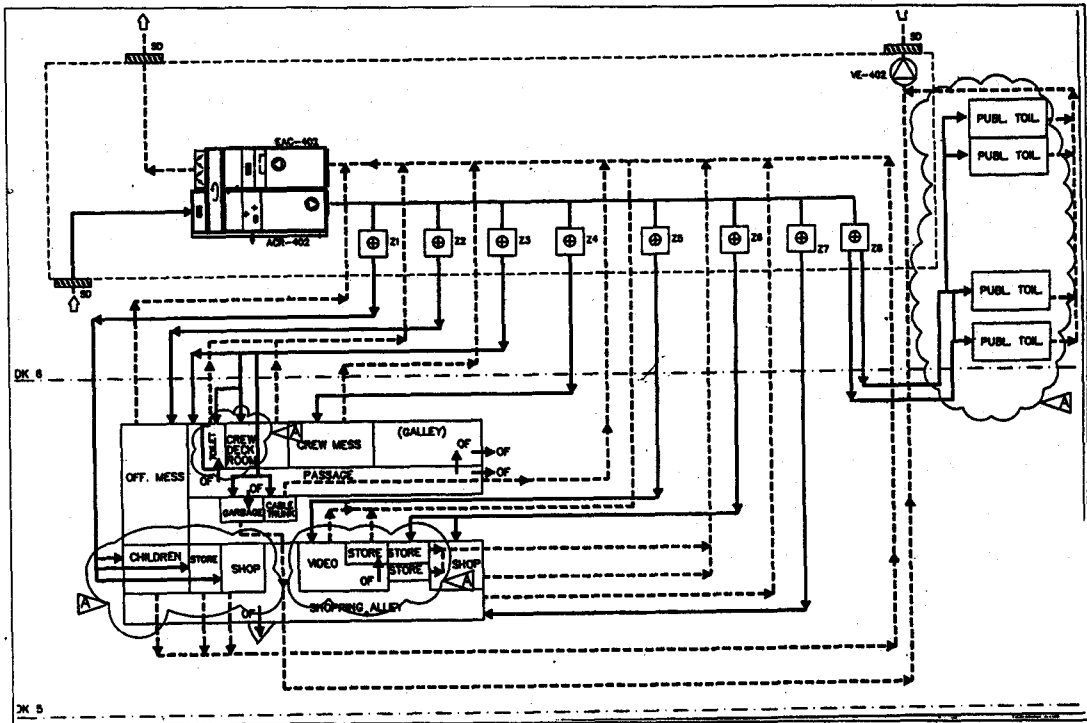


그림 3 Multi / Zone Flow Diagram

Supply and Exhaust Air Rectangular Ducts
 Supply and Exhaust Air Devices or Open Ceiling(Rain Fall) System

*Open Ceiling System

Bad Draught, Low Ventilation Noise 그리고 내장장식(Interior Decoration)을 위하여 별도의 취출구를 사용하지 않고 천장 간극(Ceiling Gap) 또는 다공판 천장의 다공구멍을 이용하여 공기의 급/배기를 하여, 천장내부를 공조공기 덕트로 형성하여 이용함.

3) 주방구역(Catering space)
 저속단일덕트(Low Velocity Single Duct System)

주방의 특성상 온도조건을 유지할 수 없어 외기온도보다 약 10℃ 낮은 온도를 주방내 작업자의 주 작업공간에 토출되도록 취출구를 배치하고 주방의 배기공기는 Hood 및 Conpies를 통해 배출되므로 독립적인 Fan을 설치한다.

특히, 여객선의 경우 개방갑판(Open Deck)에 승객들이 머무는 곳이므로 주방 배기 토출 위

치 선정에 유의하여야 한다. 가능한 연통(Funnel)으로 배치함.

4) 계단실(Stairway)

Ventilation Single System with Cooled or Heating with Recirculation Air

SOLAS Chap. II - 2 Reg 32 1.5에 따라 독립적인 Ventilation System을 적용하였다.

화물 구역에 접하는 계단실의 경우 가압(Pressurized air)을 적용하여 Door를 개폐시 화물구역 공기가 계단실로의 침투를 방지함.

Supply and Exhaust Air Rectangular & Spiral Ducts

Supply and Exhaust Air Devices

*그림 4 참조

5) 전자장비구역(Electrical Equipment Room)
Single Duct System without Reheating

선실내의 전기/전자 장비가 배치되는 Electric Equipment Room에는 장비의 발열량을 고려하여 Chilled water를 이용하여, Fan Coil Unit을 설치하여 공간의 요구 온도를 유지함.

6) 기계감시구역(Machinery Control Room)
Self Standing Packaged Air Conditioner with Low Velocity Rectangular Duct System

2.2.2 열원장치

별도의 독립형 Packaged 공조기를 설치함.

냉각의 경우 냉수 회로(Chilled Water Circuit),

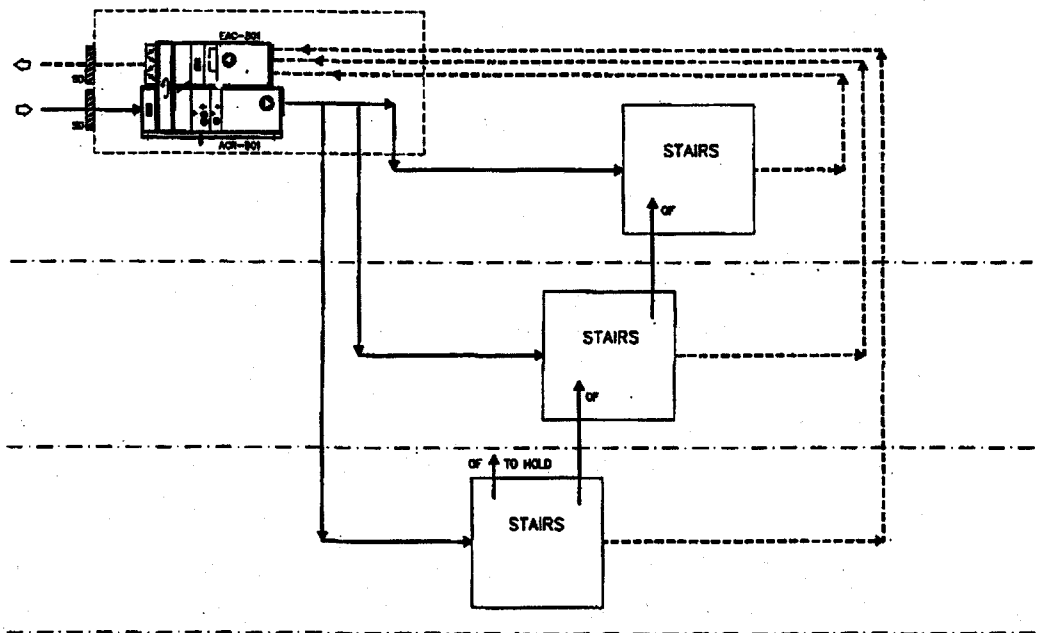


그림 4 Stairway System Flow Diagram

가열의 경우 온수 순환 회로를 적용되었다.

1) 냉매/열매

냉매

Primary Refrigerant : R404a

Secondary Refrigerant : Fresh Water

열매

Primary Heating Medium : Steam

Secondary Heating Medium : Hot Water

2) Chilled Water Units

공기를 냉각 시키는 2차 냉매의 물과 1차 냉매의 Freon이 열 교환이 이루어지는 장비로, 냉각 Tank내를 통과하는 물을 냉각시키는 핵심 장비임. 아래 부품이 packaged화 되어 공급되었다.

Packaged Chiller Units: Four(4) Sets

Three(3) Sets Working, One(1) Set Stand-by.

a. Compressor

Screw Compressor with Direct Driven Oil Pump for Lubrication of Bearing and Oil Injection

Capacity Regulation : Step Control 100% ~ 25%

b. Condenser

Cooling Medium : Sea Water

Shell And Tube Type With Relief Valves.

Shell Material : Pressure Vessel Steel

Tube Sheet Material : Compound Plate, CuNi-steel

Tube Material : Cu/Ni 90/10

c. Evaporator

Cooling Medium : Fresh Water

Shell Material : Steel

Tube Plate Material : Steel

Tube Material : Cu

Insulation : 13mm Armaflex

d. Stalelectric Controller

Chiller Unit장착 된 Controller로 Water 온도 또는 압력을 감지, Compressor 제어함. Auto Mode(automatic Chilled Water Temperature Control by Unit Controller)

Manual Mode(manual Compressor Capacity Control)

3) 냉난방 배관 부속 기구

a. 판형 열교환기(Plate Type Heat Exchanger) 겨울철 난방을 위한 온수를 만들기 위해 예열/재열용 열교환기가 설치 되었다.

b. 예열/냉각 순환 펌프

냉각 배관회로를 예열회로와 겸용으로 사용, 여름에는 Chilled Unit에서 냉각된 물을, 겨울에는 선내의 예열온도를 유지하기 판형열교환기에서 온수를 공조기로 순환시키는 펌프로 작동용과 예비용 2대의 펌프가 설치 되었다.

c. 재열 순환 펌프

재열 배관 회로에서 예열 회로와는 별도로 구성되어 예열 회로보다 높은 온도의 물을 공조기 또는 지역가열기(Zone Heater)에 공급하는 장치로 작동 펌프 1대와 예비펌프 1대의 펌프를 설치되었다.

d. 화학물 투입탱크

냉각배관 내에는 항상 물이 채워져 있기 때문에 관내의 부식이 생길 가능성이 있으므로 이것을 방지하기 위해 관내에 화

학약품을 넣는 탱크임.

e. 팽창 탱크

배관내의 온도 변화에 의해 물이 팽창, 수축되는 것을 흡수하기 위한 탱크로 장치 내를 소정의 압력으로 유지하도록 밀폐형을 설치 함.

f. 유량조정밸브

변유량 제어 방식을 채택, Motorized 2-Way Valve를 각 공조기로 향하는 배관에 설치하여 요구되는 부하에 적합하게 자동 유량 조정.

g. 기포 배출기

기포가 관내의 발생하면 Air Hammering 및 냉동효율의 저하의 요인이 되므로 기포를 제거하기 위한 Fitting을 배관 회로 최 상부에 설치한다.

h. 배관재질 및 보온재

- STPG 370 #40 Steel black pipe
- Armaflex 19mm 보온재를 온수 배관에 적용.

* 그림 5 참조

2.2.3 장치 조정

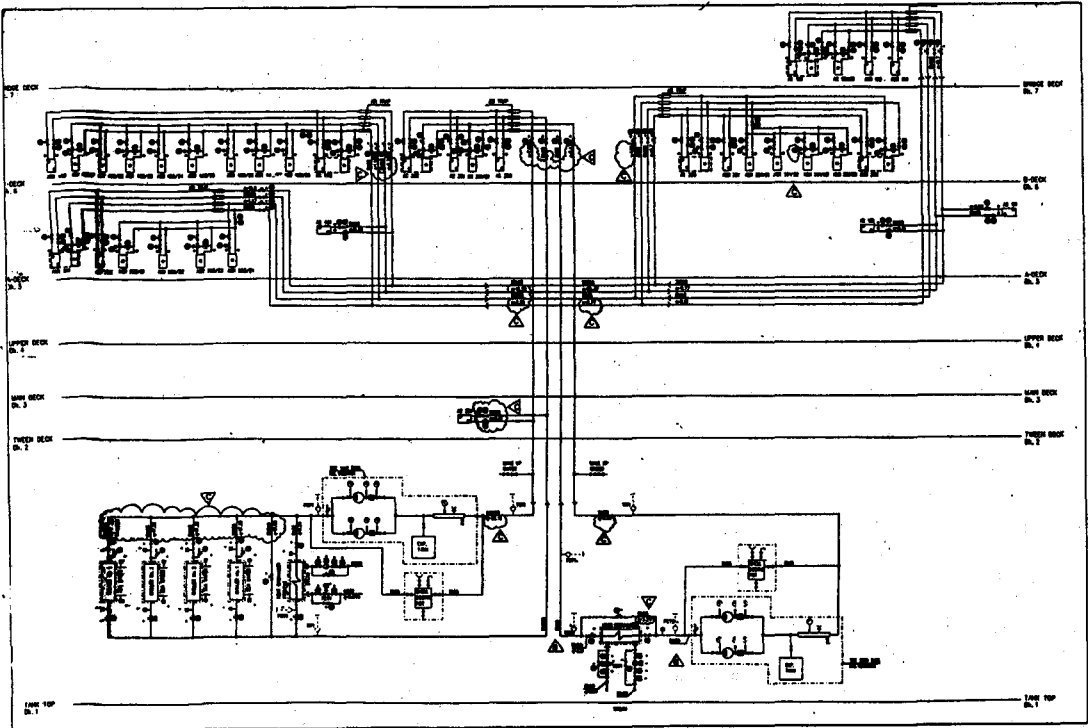


그림 5 Preheat / Reheating Piping Diagram

기기 장비를 승객의 거주공간, 거주시간 등을 고려하여 System을 효율적으로 운용하는 것이 에너지를 절약하기 위해서 여객선에서 중요하게 고려 되어야 할 사항으로 장치 전용 감시 Personal Computer에서 원격 작동 조정, 온도 감시 등을 할 수 있도록 설계 되었다.

1) 온도 조정

- 공용단일구역기기(Public Unit Single Zone)
실내에 설치되어 있는 감지기에 의해 실내의 열 부하에 따라 풍량을 자동 조정, 그리고 Sensor의 전기신호에 의한 유량조정 밸브(3-way Valve)를 개폐하여 유량을 조정하여 실내 온도를 조정함.
- 공용복합구역(Public Unit Multi Zone)
AHU내의 냉각기에서는 일정온도 유지하고 Time Program에 의해 High/Low Fan Speed 조정, 구역재열기에서 온도 조정.

2) 운전모드

AHU(Air Handling Unit)의 Select Switch Control에 의한 Maintenance-Local-Off - Auto Mode로 전환 가능.

3) 안전 기능(Safety Function)

- 결빙방지(Freeze Protection)
AHU의 Cooler 결빙 방지를 위해 Water Temperature 5℃이하가 되면 AHU가 정지되고 Damper가 닫힘.

- Remote Shutdown

- Remote Start

4) Failures

- Fan Failure
- Power Failure
- Damper Failure

5) 경보장치(Alarms)

- Fan Failure
- Recovery Wheel Failure
- Freeze Protection
- AHU in Local Position
- High/low Supply Temperature
- High/low Room Temperature
- Damper Alarm

3. 장치 설계 점검사항

여객선 공조장치설계 수행시 고려 되어야 할 사항을 아래와 같이 정리한다.

3. 1 공조실(Fan Room) 및 신선공기 출입구(Fresh Air Intake/outlet)

주방화구역(Main Fire Zone)에 설치되는 공조실은 그 방화구역내에 설치되어야 하므로 초기 일반배치도(General Arrangement)작성시 기본적인 공조실 및 공기 출입구의 공간은 필히 확보 되어야 한다.

- Intake/outlet의 충분한 이격거리
- Open Recreation Space에 가능한 멀리 배치
- Fans, Motors, Filters And Coil의 Maintenance, Inspection공간 확보
- Air Handling Unit Size를 검토하여 Fan Room 검토한다.
- 전열교환기(Entalphy Exchanger)의 높이
- 응축수봉수(Condensate Water Trap)를 감안한 높이 검토

3. 2 장치설계를 위한 공간 분류

각실의 기능에 따라서 공조장치를 구성이 달

주) *SOLAS(Safety of Life at Sea) : 해상에서의 인명안전을 위한 국제협약

*Main Fire Zone(주방화구역) : 여객선에서 공간길이 40m이내에 방화구역을 설치함.

라질 수 있으나 최소한 아래와 같이 분류 되어야 한다.

- Cabins
- Public Room
- Catering Space(galley & pantry)
- Stairway Space
- Technical Space

3. 3 덕트와 댐퍼

3.3.1 덕트

천정상부에 공간이 없을 경우 풍속을 증가시켜 고속 덕트 장치를 적용하는 것이 유리하나, Fan Pressure, power 및 Sound Limit 등의 Factor를 고려하여 적용한다.

아래는 Maker(ABB Flakt Marine)에서 권고하는 여객선 Duct내의 속도

- High Velocity Preinsulation Supply Duct System(Max. 22m/s)
- High Velocity Uninsulation Exhaust Duct System(Max. 16m/s)
- Low Velocity Rectangular Supply Duct System(Max. 10m/s)
- Low Velocity Rectangular Exhaust Duct System(Max. 8m/s)

Duct의 누설(Air Tightness)기준 : Eurovent 2/2 Class C

3.3.2 방화댐퍼(Fire Damper)

SOLAS Rule상의 방화댐퍼 최소요구 사양은 용융식 댐퍼(Fusible Link)이나 여객선의 승객의 안전을 고려하여 원격 조정 전기식 또는 공압식 방화 댐퍼으로 한다.

3.3.3 개폐댐퍼(Shut Off Damper)

Vent Inlet/outlet에는 Damper를 설치되어야

하는데 여객선의 경우 개방갑판(Open Deck)에 인접한 벽면을 A급 방화등급(A-class)을 요구하므로 Fire Damper 또는 동등한 기능을 가진 Shut Off Damper를 설치한다.

3.3.4 방연댐퍼(Smoke Damper)

Duct가 한 갑판(Deck)이상에 공기를 공급/배기 할 경우 Smoke Damper를 설치 한다.

3. 4 소음 규정

선실내의 Noise발생의 주요인은 각종 Fan 및 공기마찰에 의한 Duct소음이므로 소음예측계산(Noise Prediction)을 통해 Noise Level을 검토해야 하며, 요구되는 Sound Level 유지하기 위해 필요하다면 흡음기(Sound Absorber)를 설치를 검토 한다.

- 공조실내의 흡음재 시공
- Fan의 급배기 Duct에 흡음덕트 시공
- 개방 갑판의 통풍구에 흡음기 설치
- 특히 개방갑판의 통풍구에 저속 유지

3. 5 관련 법류 확인

SOLAS Chap. II Reg 16. Reg 32

INTERPRETATIONS OF SOLAS CHAPTER II-2

MSC/Circ.669

MSC/Circ.847

3. 6 기타 유의 사항

- 일식제작선실(Prefabricated Cabin)적입 후 천정상부의 작업이 불가하므로 취출기기(Room Unit)와 Yard의 Duct를 연결하기 위한 공간을 확보하기 위해 취출기기를 개폐(Hinge Type)가 되도록 한다.

- 공실내의 배기 팬은 흡연(Smoke Extraction)이 가능한 형식으로 공급되도록 유도. (10분 내에 환기가능한 용량 일 것)
- 공조실 배치 검토 시 Air Intake와 Exhaust Outlet의 이격거리를 충분히 검토하고, 특히 개방유희공간(Open Recreation Space)에 각종 통풍구가 설치되지 않도록 유의한다.
- Open Deck Space에 Noise Requirement-유의
- Cabin 배기 공기는 Door Grill 및 화장실 하부 덕트를 이용 가능하나, 통로 쪽의 소음을 감안 화장실 하부 덕트를 이용한다.
- 주방 레인지용 배기덕트에는 CO₂ 소화장치를 설치한다.(주방내의 방화담퍼는 원격 제어 가능한 형식)
- 세탁물건조기(Drying Tumbler)는 독립적으로 배기되도록 배기 팬 설치
- 화장실 배출공기가 전열교환기 효율을 높이기 하기위해 사용 될 경우 관련 법규를 확인/검토 한다.

4. 맺음말

상기 기술한 것은 여객선 공조장치의 기본적인 사항으로 대형 여객선(Cruise Ship)의 공조장치의 경우 수많은 공조실 구역배치, 덕트배치 등 대단히 복잡하며, 선박이라는 한정된 공간에 모든장비를 설비해야 하므로 장비의 최적

화가 관건이며, 또한 중량은 배의 성능에 영향을 미치므로 경량화장비의 선정이 무엇보다 중요하다. 공조장치에 요구되는 동력소모량은 선박의 발전 장치에 영향을 주는 인자로 초기계약 시 고려되어야 해야 하며, 선주측에서는 보다 안락하고 쾌적한 환경을 요구하며, 무엇보다도 운전비용이 적게 소요되는 저동력 소모장치를 요구한다. 따라서 설계자는 사전 System 설계 시 선주와 충분히 협의되어 최적의 HVAC System, 즉, "Comfort", "Safety", "Economy" 세 요소를 만족 시키는 설계가 되어야겠다.

- 참고 문헌 -

1. SOLAS 1974 Amendments
2. German Lloyd Regulations for Ventilation systems on Board seagoing Ships
3. ISO 7547 Air Conditioning and Ventilation of Accommodation Spaces on Board Ships
4. NOVENCO HI-PRESS Air Conditioning Design Philosophy
5. SVENSK STANDARD SS 78 03 36
6. ABB Flakt Marine Typical High standard HVAC system
7. ABB Flakt Marine Specification Air Conditioning and Ventilation for Cruise ship
8. 선박 의장 설계기준(II) 한국조선공업협회