



함정용 HVAC시스템의 소음 평가 및 저감 방안

한 형 석*
(국방기술품질원)

1. 머리말

함정의 냉난방 시스템은 대형함정의 경우 냉수 제조기에서 생성된 냉수를 이용하여 FCU(fan coil unit)또는 AHU(air handling unit)를 통해 각 격실로 공기를 공급하는 냉난방 제어방식을 사용하며, 소형함정의 경우 PAC(package air-conditioner)를 통해 개별 냉난방 제어 방식을 사용하고 있다. 환기 시스템의 경우 화생방 계통 및 통풍, 환기 계통으로 구분할 수 있다. 화생방 계통의 경우 화생방 시 고압 환에 의해 NBC(nuclear biological chemical) 필터를 통해 실내 공기 공급하며 평시에는 흡입환(NSF)과 배출환(NEF)에 의해 외부 공기를 필터로부터 바이패스(bypass)시켜 운용하는 개념이 도입되고 있으며 일반 통풍/환기 계통은 실내에 각종 배출환(EF), 흡입환(SF) 설치하여 운용하고 있다.

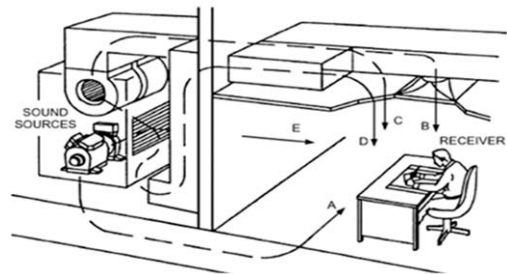
최근 함정의 대형화 및 첨단화에 따라 함정에 탑재되는 장비가 늘어나므로 함정의 열부하는 점점 늘어가는 추세이며 이를 조정하기 위해 많은 HVAC(heating, ventilation and air-conditioning) 장비가 함에 설치되게 된다. 특히 부하 증가에 따른 통풍량 증가로 인해 HVAC 계통의 실내소음의 기여도는 크게 증가하였으며 이로 인한 승조원들의 불만이 커지고 있는 실정이다. 이 글에서는 함정용 HVAC 시스템의 실내소음 기여도와

평가방법에 대해 살펴보고 이러한 소음을 저감하기 위한 대책에 대해 살펴보고자 한다.

2. 함정용 HVAC 시스템의 실내소음 기여도

HVAC의 실내소음 전달 경로는 그림 1과 같이 바닥을 통한 구조소음 형태의 전달 소음, 공기 통풍구를 통한 전달 소음, 공급되는 공기로부터 발생하는 덕트 투과 소음, 배기 공기(return air)로부터 발생하는 공기 소음, 공기조화실에서 부터 벽을 통해 투과되는 장비소음 등으로 분류할 수 있다.

이들 중 함정에서 가장 문제가 되는 소음은 주



- Path A: 바닥을 통한 구조소음 경로
- Path B: 공기 통풍구를 통한 전달 소음
- Path C: 공급되는 공기로부터 발생하는 덕트 투과 소음
- Path D: 배기 공기(return air)로부터 발생하는 공기 소음
- Path E: 공기조화실에서 부터 벽을 통해 투과되는 장비소음

그림 1 HVAC 시스템의 소음 전달 경로

* E-mail : hshan@dtq.re.kr / Tel : (051) 750-2563

로 공기로부터 발생하는 소음으로 최근 장비 및 승조원의 수 증가에 따른 열 부하의 증가로부터 통풍량이 늘어남에 따라 HVAC 소음 문제는 점점 더 커지고 있는 실정이다.

그림 2는 최근 함정에서 근무하는 승조원들의 설문조사로부터 얻어진 함정의 주요 소음원이다. 그림 2로부터 HVAC 소음이 “가장 크다고 생각되는 소음” 뿐만 아니라 “가장 거슬리는 소음”이라고 응답한 승조원이 가장 많음을 알 수 있다.

이와 같이 함정의 최신화, 대형화에 따라 실내 소음에 대한 HVAC 시스템의 영향도가 커지는 추세이며 실제로 함내소음 측정 시 HVAC 소음이 전체소음을 지배하는 격실의 수가 다수임을 알 수 있다. 따라서 이러한 HVAC 소음의 실내소음 기여도를 고려해볼 때 HVAC 소음을 저감하

기 위한 설계 및 관리는 함정의 소음저감을 위해 매우 중요함을 알 수 있다.

3. 함정용 HVAC 시스템의 소음 관리 현황

앞에서 언급한 바와 같이 함정에서 탑재장비 중 격실소음을 결정하는 대표적인 장비는 HVAC 구성 장비이다. HVAC 장비의 소음기준은 일반적으로 덕트 및 케이스를 포함한 장비 소음 예측(입구 및 토출구 소음을 제외)이 주로 이루어지고 있으나 실제로는 흡입, 배출소음에 대한 소음 기준을 설정하여 관리할 필요가 있다.

일반적으로 함정에 적용되는 장비는 모두 그림 3과 같이 MIL-STD 740-1을 따라 시험하도록 규제되어 있으며 HVAC 시스템을 구성하는 각

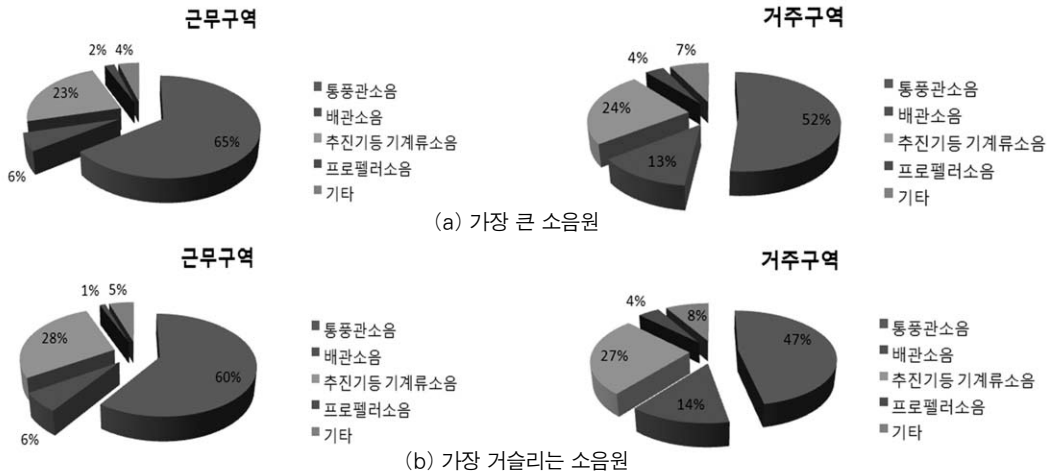
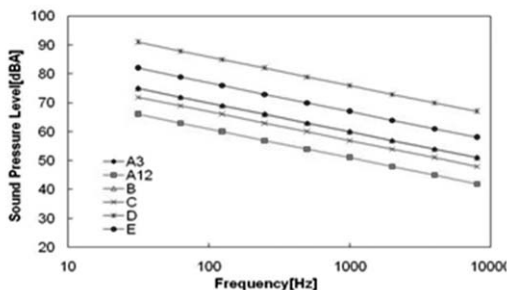
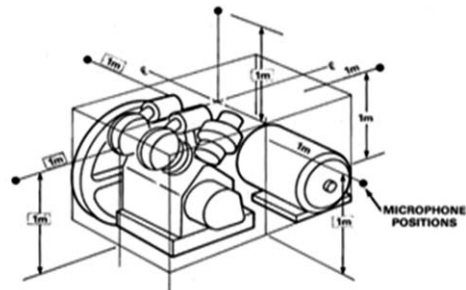


그림 2 근무구역 및 거주구역에 대한 함내소음 주요 소음원 설문조사 결과⁽¹⁾



(a) 소음기준(MIL STD 740-1)



(b) 소형장비의 측정방법 (ISO 3744)

그림 3 MIL STD 740-1 소음기준 및 측정방법

표 1 소음 설계 기준을 달성하기 위한 덕트 내 최대 유속(2007 ASHRAE handbook)

주 덕트 위치	최대 유속, m/s		
	설계된 RC(N)	사각덕트	원형덕트
축내 또는 건식 벽체 천정 상부	45	17.8	25.4
	35	12.7	17.8
	25	8.6	12.7
음향 천정(suspended acoustic ceiling) 상부	45	12.7	22.9
	35	8.9	15.2
	25	6.1	10.2
거주공간(occupied space)내 위치해 있는 덕트	45	10.2	19.8
	35	7.4	13.2
	25	4.8	8.6

중 환의 경우 원심환의 경우 MIL-F-19004⁽²⁾, 축류 환 경우 MIL-F-18953⁽³⁾을 따라 별도로 규제하고 있다.

합정의 격실 내에서 공기조화기는 별도의 소음 기준 보다는 실내소음으로 종합적 관리되고 있다. 하지만 보다 체계적으로 격실 소음을 저감하기 위해서는 개별 공기조화기에 대한 소음 관리가 필요하다. 미국냉공조학회(ASHRAE)는 공기조화기 소음 관리를 위해 표 1~2와 같이 공기조화기의 토출구, 덕트 및 디퓨저의 풍량 및 풍속 관리하도록 규제하고 있다⁽⁴⁾.

일반적으로 공기조화기 개별 장비에 대한 소음 평가 규격은 “ANSI/AMCA 300-08 Reverberant Room Method for Sound Testing of Fans”⁽⁵⁾ 및 “ARI 260 Sound Rating of Ducted Air Moving and Conditioning Equipment”⁽⁶⁾가 적용되고 있다. 앞서 언급한 원심환의 소음기준(MIL-F-19004) 및 축류환의 소음기준(MIL-F-18953)에도 소음 평가 방법은 ANSI/AMCA 300-08을 따르도록 명시되어 있다.

ANSI/ACMA 300-08은 환의 소음 평가에 대한 잔향실법이며 모든 종류 및 크기의 환에 대한 소음 기준으로 공기전달소음만 측정하며 진동은 포함되어 있지 않다. 여기서 측정 셋업은 그림 4~6을 참고하여 환이 현장에서 적용되는 방법에

표 2 소음 설계 기준을 달성하기 위한 디퓨저 공급단 및 순환 통풍구 내 최대 유속(2007 ASHRAE handbook)

작동 종류	설계 RC(N)	자유 오픈 단에서의 유속, m/s
공기배출구	45	40
	35	30
	25	3.2
	2.8	2.5
	2.2	1.8
공기 순환통풍구	45	40
	35	30
	25	3.8
	3.4	3.0
	2.5	2.2

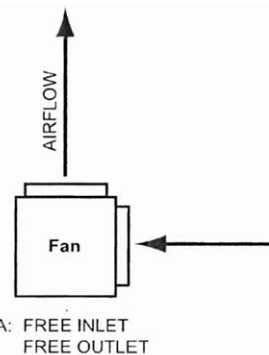


그림 4 환의 총 소음 측정 셋업

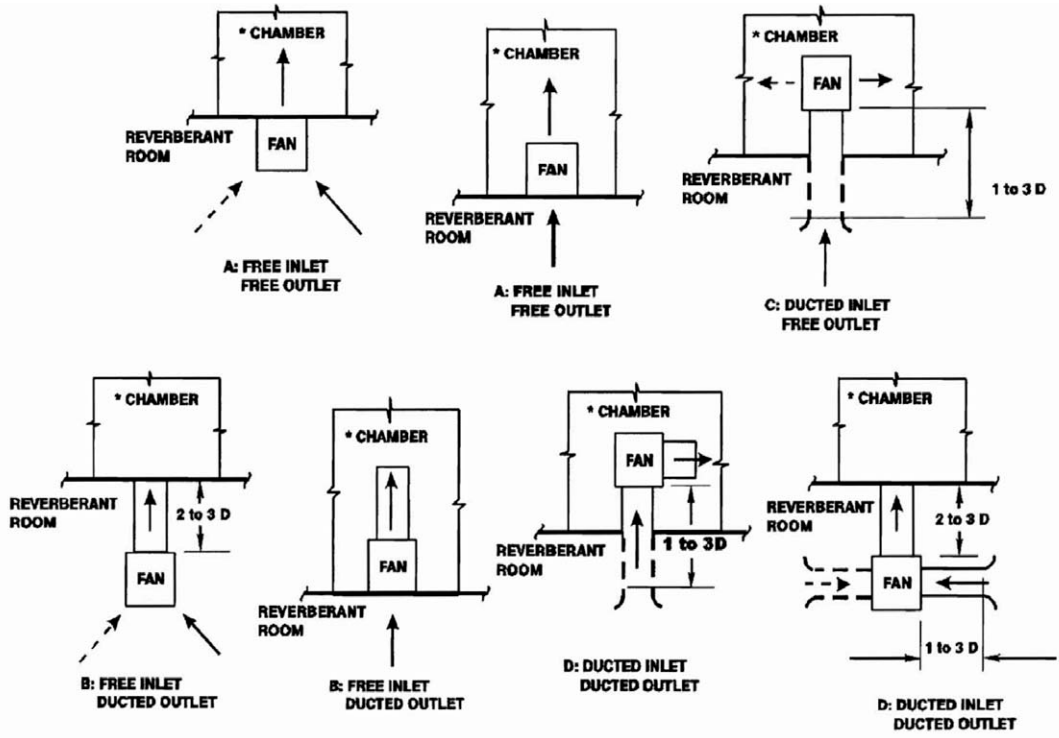


그림 5 팬 흡입구 측 소음 측정 셋업

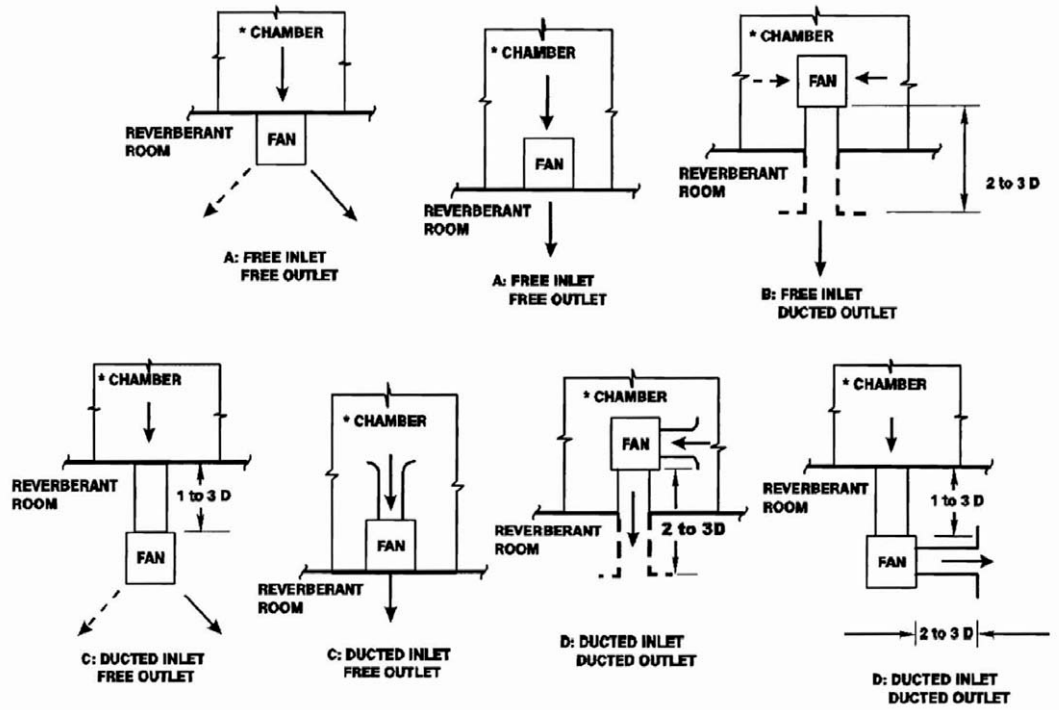


그림 6 팬 배출구 측 소음 측정 셋업

따라 결정되며 기본적으로

(1) Free standing unit

(2) 입구 또는 출구가 측정실에 연결되어 측정하는 웬 유니트로 구분한다.

여기서 측정 셋업에 따른 음향파위의 계산은 다음과 같다.

· 웬의 총 소음 평가: 자유흡입-자유배출

$$L_{wmt} = L_{pc} + (L_{wr} - L_{pq}) \quad (1)$$

· 웬의 흡입소음 평가:

- 자유흡입

$$L_{wmi} = L_{pc} + (L_{wr} - L_{pq}) \quad (2)$$

- 덕트흡입

$$L_{wmi} = L_{pc} + (L_{wr} - L_{pq}) + E_i \quad (3)$$

· 웬 배출소음 평가:

- 자유배출

$$L_{wmo} = L_{pc} + (L_{wr} - L_{pq}) \quad (4)$$

- 덕트배출

$$L_{wmo} = L_{pc} + (L_{wr} - L_{pq}) + E_o \quad (5)$$

여기서 L_{wmi} 는 웬의 개방 입출구단에서 측정된 음압레벨, L_{pc} 는 보정된 웬의 음압레벨, L_{wr} 는 기준소스(RSS)의 음압레벨, L_{pq} 는 보정된 기준소스(RSS)의 음압레벨, L_{wmi} 는 웬의 개방 입력단에서 측정된 음향파위레벨, L_{wmo} 는 웬의 개방배출구에서 측정된 음향파위레벨, E_o 는 덕트출구 끝단에서의 반사 계수(End reflection factor), E_i 는 덕트 입구 끝단에서의 반사 계수이며 덕트 입출구단에서의 반사계수는 그림 7~8과 같다.

ANSI/AMCA 300-08에서는 측정값에 대한 노이즈의 영향도를 고려하여 측정 대상 장비 및 기준 소음 소스에 대한 주변소음 보정치에 대해서는 식 (6) 및 (7)와 같이 제시하고 있다.

$$L_{pc} = 10 \log_{10} \left[10^{\frac{L_{pm}}{10}} - 10^{\frac{L_{pb}}{10}} \right] \quad (6)$$

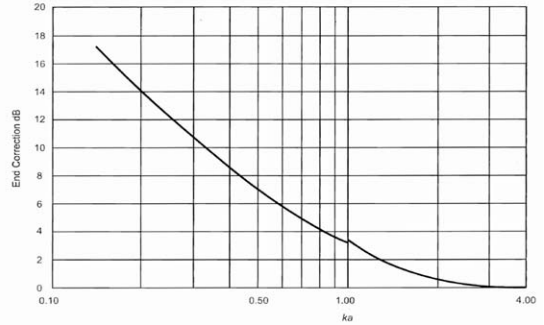


그림 7 공간으로 개방되는 덕트의 끝단 보정치(end correction, k : wave number, a =덕트직경/2)

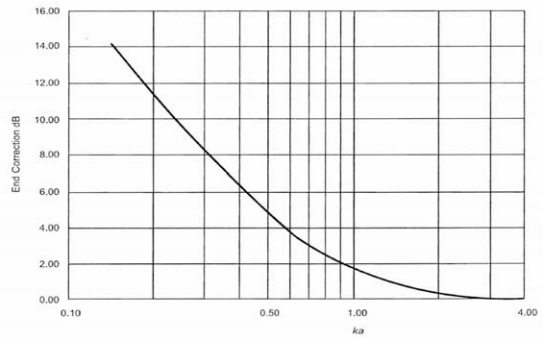


그림 8 벽으로 토출되는 덕트의 끝단 보정치(end correction, k : wave number, a =덕트직경/2)

$$L_{pq} = 10 \log_{10} \left[10^{\frac{L_{pqm}}{10}} - 10^{\frac{L_{pb}}{10}} \right] \quad (7)$$

여기서 L_{pqm} 은 일반적인 마이크로폰을 통해 측정된 웬의 음압레벨과 주변소음의 음압레벨의 합, L_{pqm} 은 일반적인 마이크로폰을 통해 측정된 기준음원(RSS)의 음압레벨과 주변소음의 음압레벨의 합, L_{pb} 는 일반적인 마이크로폰을 통해 측정된 방의 주변소음이다.

4. HVAC 시스템의 소음 저감 방안

HVAC 소음을 저감하기 위해서는 설계에서부터 각 격실에 필요한 풍량을 설정하고 유속을 고려하여 덕트 크기 및 형상이 결정되어야만 한다. 이러한 격실의 풍량 설정을 위한 함정 격실

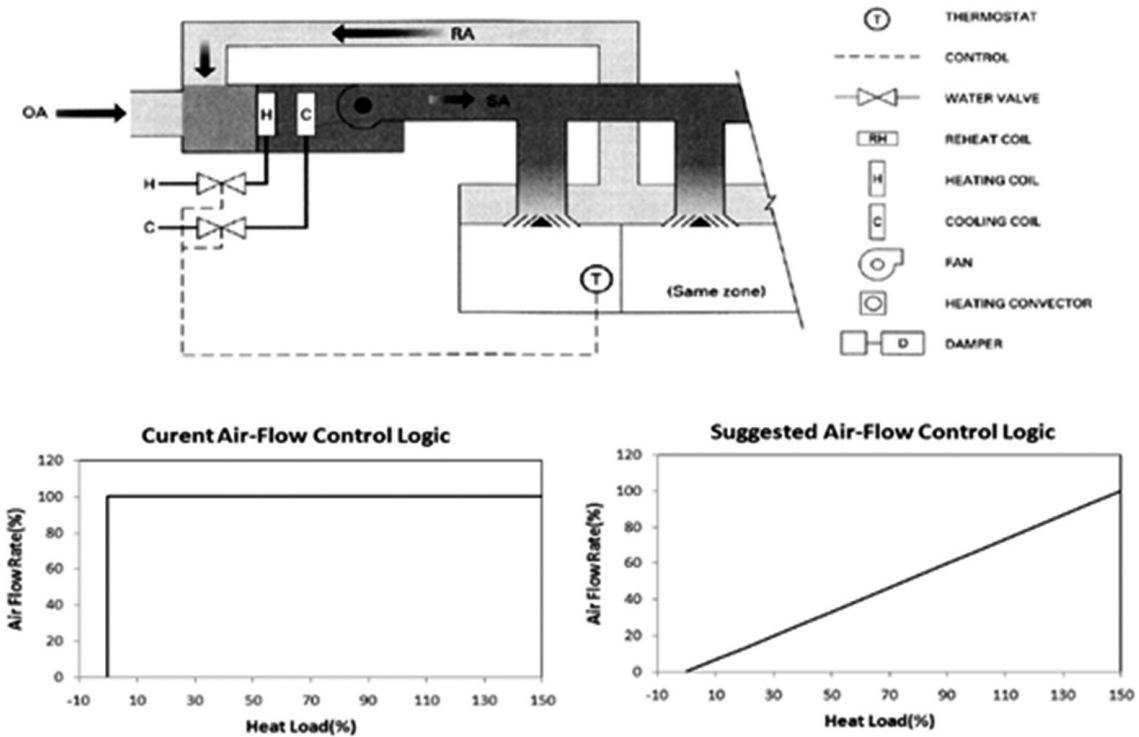


그림 9 풍량 조절 FCU

의 열부하 산정 관련 기본 설계 요구 조건은 중요 전자/전기구역의 미래장비 발열에 대해 15~20% 추가해야만 하며 평시의 가동 장비 용량은 연결부하의 100% 이상을 사용하는 것을 전제로 한다.

격실 열부하에 따른 설계 풍량은 식 (8)과 같으며 앞서 언급한 최대 열부하 기준으로 풍량이 설정된다.

$$Q = \frac{H_{\max}}{[(C_p \times d) \times \Delta T]} \quad (8)$$

여기서 H_{\max} 는 설계 최대 열부하, Q 는 풍량, C_p 는 공기의 비열비, d 는 공기의 밀도, ΔT 는 격실 온도와 FCU 공급 공기 온도간 차이이다.

현재 함정에서 사용되는 FCU의 팬 구동 전동기는 대부분 단일속도로 동작하는 유도 전동기를 채용하고 있다. 따라서 FCU의 팬 회전수는 최

대 열부하 기준으로 계산된 풍량을 기준으로 설계할 수밖에 없다. 실제로 함정이 최대 열부하로 운용되는 시간이 극히 적음에도 불구하고 최대 풍량으로 FCU를 설계할 수밖에 없는 현실태를 고려해 볼 때 격실의 소음은 비효율적으로 설정된 풍량으로 인해 커질 수밖에 없는 실정이다.

이러한 풍량 증가에 따른 소음저감을 위해서는 함정 부하산정 기준의 재검토가 필요하며 FCU 출구 온도 저감 등을 열 교환 능력을 증가시켜 HVAC 시스템의 풍량을 최소화 할 수 있는 방법의 검토가 필요하다. 또한 BLAC 인버터 도입 등 팬 모터 타입 변경을 통해 팬 속도 제어 가능 FCU를 적용함으로써 계절, 함운용 상태 등을 고려한 풍량 조정으로 소음을 제어할 필요성이 높다. 속도 가변형 BLAC 인버터 타입의 FCU는 그림 9와 같이 실내온도와 외부온도에 따른 열부하의 변화를 실내의 온도센서로부터 계산하고, 작전 상황 및 평상 시 장비 운용에 따른 열부

하 변화를 중앙제어반으로부터 피드백 받아 웬코일 유니트의 효과적인 풍량 제어 달성이 가능하다.

그 외에도 대표적인 HVAC 저소음 방안으로 실내 흡음면적 증가, 흡음천정 설치, 덕트 소음기, 룸유니트 및 디퓨저의 효과적인 저소음 설계 등 다양한 대책이 적용되고 있으며 이에 대한 확대가 필요하다.

5. 맺음말

최근 함정의 실내소음에 대한 HVAC 시스템의 영향도의 증가에 따라 HVAC의 소음 관리에 대한 평가 및 기준 확립이 요구되고 있다. HVAC 소음 관리를 위해서는 FCU, AHU, PAC, 환기팬 등 공기조화장비의 장비소음 뿐만 아니라 토출, 흡입구의 소음 및 풍량, 풍속 등 소음에 영향을 미치는 주요 인자에 대한 구체적 평가방법 및 관리의 지표마련이 필요하다.

함정의 HVAC 소음저감을 위한 방안으로 소음기, 룸유니트 등 요소기술 개발 위주로 이루어지고 있으나 열부하 산정의 재검토, 속도가변형 HVAC 시스템의 개발 등을 통해 효과적인 풍량 설계 및 제어로부터 HVAC 소음을 저감해야만 한다. 이를 위해서는 군 요구조건과 시험 방법 등

관련기관들의 충분한 검토를 통해 저소음화를 목표로 한 HVAC 설계의 재검토가 필요할 것으로 사료된다. **KSNVE**

참고문헌

- (1) Han, H.S., Park, M. Y. and Cho, H. G, 2010, Study of the Indoor Noise Limit for Naval Vessels Considering the Satisfaction of the Crew, Journal of the Society of Naval Architects of Korea, Vol. 47, No. 4, pp. 589~597.
- (2) D.o.D, 1990, MIL-F-189S3B : Fans, Vaneaxial And Tubeaxial, Ventilation And Air Conditioning, Naval Shipboard.
- (3) D.o.D, 1983, MIL-F-19004A : Fans, Centrifugal, Fixed and Portable Ventilation, Naval shipboard.
- (4) ASHRAE, 2007, ASHRAE Handbook-HVAC Applications.
- (5) AMCA, 2008, ANSI/AMCA 300-08 : Reverberant~Room Method for Sound Testing of Fans.
- (6) ARI, 2001, ARI 260 : Sound Rating of Ducted Air Moving and Conditioning Equipment.