

잠수함의 공조

출처: R. W. Trent, 2001, Air Conditioning in Submarines, ASHRAE Journal, Vol. , No. , January, 20-23.

김 영 일

R. W. Trent는 사우스캐롤라이나의 Charleston에 소재한 Carolina Heat Pipe의 사장이다. 그는 미국 공기조화냉동공학회 (ASHRAE)의 정회원이며 표준화 프로젝트 위원회 SPC 151P (선박 공기조화 시스템의 측정, 시험, 조정 및 균형)의 부위원장이다.

미국 해군의 씨울프 SSN-21 잠수함은 이전 잠수함에 적용되었던 진보된 개발 기술의 총결과물이다. 이러한 배는 해면 아래에서는 잠수함처럼 작동하지만 해면 위에서는 필요에 따라 선박처럼 작동된다.

잠수함은 잠수 상태에서는 선체 내의 공기를 외부의 신선한 공기와 교환할 수 없으므로 내부에서 인공 공기를 생산하여야 한다. 잠수함은 오랜 기간 동안 잠수 상태로 있어야 하므로 내부의 사람들에게 적절하고 쾌적하고 건강한 환경을 조성하는 일은 필수적이다. 이러한 점들이 잠수함 공조냉동 설계자가 직면하는 문제가 된다.

잠수함의 공조 시스템은 어떻게 설계가 된 것인가? 또한 장기간 100명 또는 그 이상의 선원을 생존시키기 위하여 어떻게 인공 공기를 생산하고 또한 유지하기 위하여 어떤 기기가 개발되었는가? 실내 환경은 어떻게 제어되고 있는가? 해변가에 위치한 건물 공조와 다른 점은 무엇인가? 본고에서는 이러한 의문에 대하여 현존하는 기기, 기술 그리고 방법에 대하여 고찰해 본다.

공조 시스템의 설계

현대의 원자력 잠수함은 원자력을 동력으로 사용할 경우 무한대의 동력을 사용할 수 있다. 원자력을 사용할 수 없는 상황에서는 대신 사용할 수 있는 보조의 디젤 엔진과 배터리를 갖추고 있다. 해면 근처에서는 대기 중의 공기를 이용하여 디젤 엔진을 가동시킬 수 있다. 이 상황에서는 대기 중의 공기와 교환이 가능하며 선원과 다른 신선한 공기 요구에 따라 공조된 공기를 공급할 수 있다. 부두 또는 해변가에서는 보조 기기를 운전할 수 있고, 필요한 만큼 대기 중의 공기와 교환할 수 있다. 이 경우 잠수함의 내부는 선박용으로 제조된 기기를 이용하여 환기, 난방, 공조 또는 냉방을 할 수 있다.

그러나 배가 바다 속으로 잠수된다면 오랜 기간 동안 잠수되고 발견되지 않는 상태로 남아 있기 위하여 안전하게 실내 환경을 유지시켜야 한다. 씨울프와 같은 잠수함은 이를 구현하기 위하여 복잡한 장치가 요구된다. 길이 108 m, 너비 12 m인 실린더 공간에서 한번에 몇 개월씩 작전을 수행하게 되는데 내부는 지속적으로 공기를 오염시키는 사람 130 여명이 생활하며 열과 가스를 발생하는 기기와 재료로 밀집되어 있다. 기기들에 의하여 발생하는 오염 외에도, 공조 설계자는 쓰레기, 세탁물, 주방 오염, 사람 냄새, 하수 그리고 화학적 누설 등을 고려해야 한다.

잠수함 씨울프의 실제 냉방 및 난방 부하 자료는 문헌에 공개되어 있지 않다. 그러나 유사한 크기의 원자력

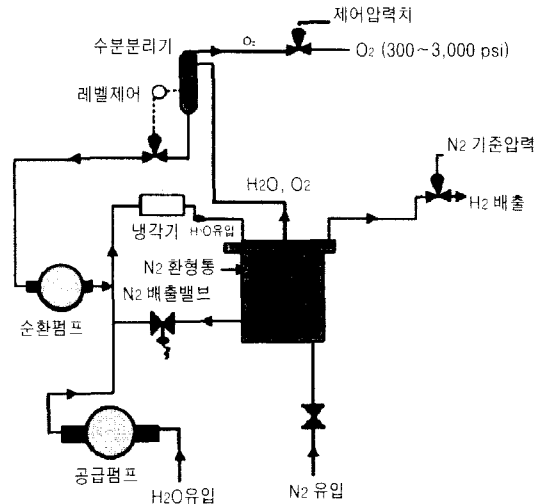
잠수함에 근거한 경험에 의하면 설치된 냉방 기기의 용량과 형식뿐만 아니라 냉방 부하도 근사하게 유추해낼 수 있다. 전기전자 장치의 발열량, 추진 장치의 크기, 선원수와 선체 크기 등도 고려되어야 한다. 공조 부하 계산에 있어 전자 장치가 수냉식인지 또는 냉수 냉각식인지는 중요하다. 증기 누설에 의한 부하, 또는 동력 중단 등과 같은 우발적인 사고에 대해서도 대비되어야 한다. 온도와 습도 조건을 맞추기 위한 기계실과 거주 공간의 쾌적 조건은 송풍기와 냉각코일의 크기를 좌우한다. 밀폐된 잠수함의 건강한 환경을 유지하기 위하여 모든 선체 내의 오염물질은 고려되어야 한다.

잠수한 씨울프는 대단히 조용한 원심력식 냉동기 2대를 2 세트 갖추고 있다고 추정된다. 정상 운전시의 최대 냉동 용량은 528~703 kW의 범위일 것이다. 하나의 냉동기로 전체 용량을 감당할 수 있다고 보지만 2대의 냉동기에 용량을 배분한다. 2대의 냉동기로 구성된 다른 세트는 예비라고 추정된다. 배의 동력 발생기가 냉동기의 축에 동력을 공급한다. 원하는 습도와 온도 조건을 맞추기 위하여 공조기가 온도가 제어된 공기를 여러 공간에 공급한다. 말단 전기 가열은 광범위하게 사용되리라 추측된다. 씨울프의 내부 공간은 9,900~11,300m³라고 추정되는데 냉방 부하가 703.4 kW라고 하면, 단위 체적당 부하는 70 W/m³이다.

장비의 고려 사항

증기와 전기의 사용이 용이하므로 온수, 증기 또는 전기 가열에 의한 난방은 문제가 되지 않는다. 과거에는 LiBr 흡수식과 원심력식 냉동기에 의한 냉방이 일반적으로 사용되었다. 각 구획의 온도와 습도를 제어하고 재난시 격리시키는 일은 중요하다. 이것은 중앙에서 제어하는 시스템과 충분한 예비 장비를 요구한다. 잠수함에서 선체의 공기는 계속 순환되면서 요구되는 공기 질을 유지해야 하므로 여과와 오염물질의 엄격한 제어는 절대적으로 중대한 임무가 된다. 이를 위하여 해수로부터 산소를 생산하고, 재순환되는 공기로부터 이산화탄소를 제거하고, 해로운 가스를 여과하기 위하여 특수한 장치의 설치가 요구된다.

해수면에서의 건조한 공기는 대략적으로 78%의 질



[그림 1] 산소 발생 플랜트

소, 21%의 산소 그리고 소량의 이산화탄소, 오존과 불활성가스로 구성되어 있다. 열대지방에서의 공기 중의 수분 최대 함유량은 4%이다. 잠수함에서는 다음과 같은 특수한 장치로 내부 중의 공기 상태는 대기 중의 공기와 같은 성분으로 유지된다.

산소 공급 시스템

잠수된 잠수함 내의 산소는 제어된 양을 선대로 공급함으로써 채워진다. 산소 발생원은 산소 발생 플랜트, 또는 저장된 산소 또는 산소초(oxygen candle)가 될 수 있다. 산소 발생 플랜트는 고체 중합체 전해질 셀(solid polymer electrolyte cell)을 사용하는 물의 전기 분해로부터 안전하고 호흡에 적합한 산소를 무한정 제공하는 공급원이다. 촉매가 함유된 플라스틱 막은 전해질과 분리기 역할을 한다. 플랜트는 마이크로 프로세서에 의하여 제어되며 정지, 폐지, 재가동에 의한 정상 운전이 약 15 분 이내에 이루어진다. 발생된 산소는 잠수함 내로 공급되거나 산소통에 저장되고 부수물인 수소는 안전한 방법으로 처분된다 (그림 1 참조).

이산화탄소 처리 시스템

잠수된 상태에서는 이산화탄소는 일반적으로 이산

화탄소 제거장치에 의하여 처리된다. 비상 상황에서는 리튬수산화물 여과통(lithium hydroxide canister)이 사용되기도 한다. 제거장치는 monoethanolamine (MEA) 용액으로 흡수기에서 처리공기와 순환하는 MEA를 접촉시켜 CO₂를 제거한다. 보일러 스트리퍼에서는 방출된 증기, 이산화탄소와 하강하는 MEA 사이에서 제거된다 (그림 2 참조). MEA는 부식성과 독성의 특성을 지니므로 잠수함 내부의 공기로 침투하지 않도록 세심한 주의가 요구된다.

정전 침전기

일 마이크론 이하의 입자를 제거하기 위하여 정전 침전기(electrostatic precipitator)가 사용된다. 이온화된 플레이트는 전기장을 형성하여 입자를 부유시킨 후 접지 플레이트에서 포집한다. 오염된 플레이트는 주기적으로 초음파 또는 세척기에 의해 세척된다. 정전 침전기는 아크(arc)에 의해 오존이 발생할 수 있는 주발생원이 되므로, 침전기가 정격 전압과 실정값에서 스파크가 일어나지 않도록 세심한 주의가 해야 한다.

배출 안개 침전기

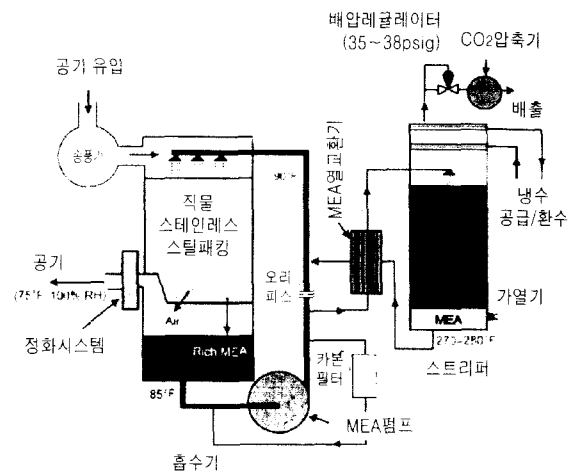
터보 제너레이터 윤활 기름통과 베어링 케이싱 배출구에서 발생한 부유 오일 연부는 배출 안개 침전기에 의하여 제거된다. 정전 침전기와 같이 이 장치에서도 오일이 함유된 공기를 유입하여 오일 입자를 양으로 충전한 후 접지된 관 벽체에 포집한다. 오일은 오일통으로 다시 귀환시킨다.

예비 필터

예비 필터는 크기가 10 마이크론보다 큰 입자를 침전기에 들어가지 않도록 걸러낸다.

일산화탄소-수소 연소기

잠수함 공기 정정의 핵심 부분은 일산화탄소, 수소와 탄화수소 오염물질의 양을 감소시키는 일산화탄소-수소 연소기이다. 일산화탄소-수소 연소기는 촉매 연소를 이용하여 일산화탄소를 이산화탄소와



[그림 2] CO₂ 제거기

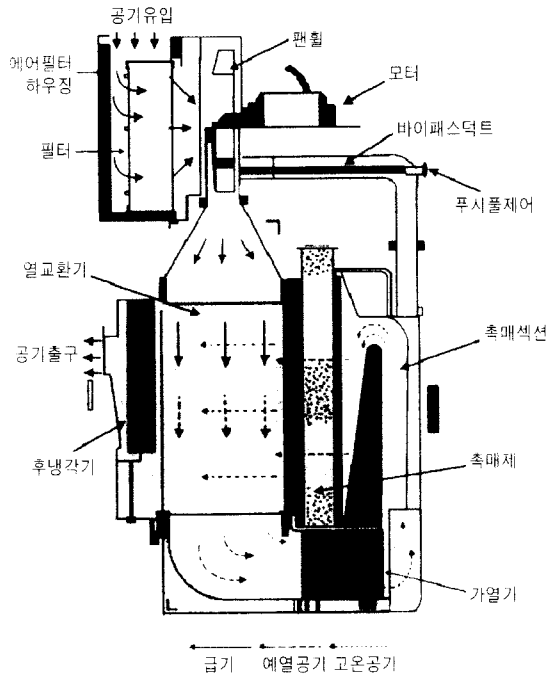
물로 변환시킨다. 가열된 공기는 hopcalite라고 불리는 재료층 상부를 통과한다. 선체에서 냉매가 누설된다면 CO₂ 연소기와 반응하게 된다. 그러나 촉매층을 통과하지 않고 넘어간다면 탄화수소의 부분 산화가 일어나 독성 부수물을 생성해 낼 수 있다. R-12, R-114와 같이 염소가 포함된 냉매는 허용 범위 내로 HF와 HCl을 발생시키지만 R-134a나 R-236a와 같이 염소가 불포함된 냉매는 316°C의 고온에서는 독성 화합물을 생성시킨다. 그러나 260°C에서는 문제가 없다. 그림 3은 일반적인 CO₂ 연소기를 보여준다.

리튬 탄산 필터

산분해물(HF와 HCl)을 더 흡수하기 위하여, CO₂ 연소기의 하류에 리튬 탄산 필터를 장착한다. 선체에서 리튬 탄산의 여과층은 종종 이산화탄소를 LiOH가 차있는 용기통을 통과시켜 제조한 리튬 탄산에 의해 재생된다. 상용화된 리튬 탄산은 적절한 무진 특성이 없으므로 잠수함에서는 사용되지 않는다.

활성탄 필터

활성화된 코코넛 숯(활성탄)은 모세관 흡인과 흡착



[그림 3] 일산화탄소 - 수소 연소기

에 의해 오염 가스를 제거한다. 흡착은 탄화수소와 같은 유기화합물의 주요한 제거 방식이 된다. 탄소 흡착에 의해 작은 분자량 기체와 기체가 보다 큰 분자량의 기체와 기체에 의해 대체되므로, 주 탄소층은 잠수함 내부의 불쾌한 작은 분자량 화합물을 제거할 능력을 상실한다. 탄소가 포화되었다고 판단되면, 교체되어야 한다. 활성탄 필터는 주 환기층, 물 필터, 위생 배출구와 배관 필터 배출구에 사용된다.

환기 시스템

환기 시스템은 난방과 냉방 장치로 구성되며 공조된 공기는 잠수함 내의 모든 공간에 공급된다. 시스템은 냉방, 난방, 제습된 공기를 순환시킨다. 배기된 공기와 정제되고 오염된 공기를 기계적인 필터, 정전 침전지, 활성탄 필터, CO₂ 제거 시스템 그리고 CO-H₂ 연소기에 보낸다. 공기 중의 가스 성분을 평형시키고 재생된 공기를 순환시킨다. 해면 위에 있

거나 스노클(snorkle) 중에는 외부 공기를 유입시켜 디젤 엔진, 저압 송풍기와 공기 재생기에 공급한다. 배터리 격납고를 환기시키고, 저온의 재습된 공기를 미사일 제어실과 향해 장치에 순환시키며 비상 환기를 제공한다. 또한 산소 발생기에서 농축된 산소를 확산에 의해 잠수함 전 공간에 걸쳐 희석시킨다.

오염 발생원 제어

엄밀하게 장치라고는 얘기할 수는 없지만, 잠수함 대기에서 독성 오염물질을 줄이거나 제거하는 가장 효과적인 방법은 강력하게 발생원을 제어하는 프로그램이다. 이러한 프로그램은 재료 검사와 제어 그리고 지속적인 잠수함 청소를 포함한다. 구체적으로, 누설된 윤활유, 유압 오일 또는 디젤 연료와 같은 휘발성 탄화수소는 즉시 처리되어야만 공기 중으로 퍼지지 않는다.

요약

경험에 의하면 앞에서 언급한 장비의 사용, 규율, 규제된 용제의 사용, 기름 페인트 사용의 억제, 그리고 엄격한 페인트 과정을 따르는 것에 의해 잠수함 내의 탄화수소 농도를 100만분의 1 또는 2 수준으로 유지할 수 있다. 예방책으로는 세심한 관찰, 선체 내로 들어오는 모든 물질의 기록 그리고 규제된 물질의 사용 시간, 장소 및 양의 제어이다. 이러한 점들은 잠수함 내부를 안전하고 건강한 환경으로 설계하기 위하여 활용될 수 있는 자료들이다.

잠수함 내의 공기질은 적외선 분광 광도계, 질량 분광계, 상자성(paramagnetics), 열전도율, 광이온화 그리고 열량 검사에 의해 분석될 수 있다. 분석된 결과는 과거의 데이터와 비교되어 활성탄층의 교체 등을 포함하여 유지 관리의 자료로 활용된다. 이러한 원리를 이용한 다양한 계측기가 선체 내의 대기 상태를 분석하기 위하여 사용된다. 중앙 대기 측정기, 추적 가스 분석기, 수소 탐지기, 이동형 대기 모니터, 이동형 산소 분석기, 탄광 안전 지시계, 열량

분석관, 탐지 펌프 시험기가 사용된다. 이러한 계측기는 잠수 전 또는 후에 사용된다. 계측기는 화재 발생시 영향을 받지 않은 공간 또는 냉매가 충전되는 장소에 사용된다.

오늘날 여러 종류의 특별한 잠수함이 존재한다. 정찰 업무를 통해 세계 평화를 유지하고 특별한 임무

를 수행하는 것보다 덜 복잡한 목적을 지닌 잠수함도 있다. 그러나 선원들이 안전한 내부 환경 속에서 바다 속을 항해하고 계속 그 응용 범위를 확장하기 위하여 앞에서 언급한 장비들 또는 그 변형들이 사용되어야 한다.

Translated by permission from ASHRAE Transactions, copyright 2001, 1, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. The original English language version of this translation is available from ASHRAE, 1791 Tullie Circle, N.E., Atlanta, GA 30329 USA(www.ashrae.org). SAREK is solely responsible for the accuracy of this translation.