한국소음진동공학회 2013년 춘계학술대회논문집, pp. 243~247

실선계측을 통한 HVAC 덕트 압력손실 및 소음 해석 프로그램검증에 대한 연구

The experimental study of pressure drop and noise for HVAC duct

천승현† · 공영모* · 김노성**
Y.M Kong, S.H Chun, N.S Kim

1. 서 론

현재의 선박들은 단순한 승객 또는 화물 이송에서 벗어나 다양한 기능(연료정제, 제조 등)을 수행하게 됨에 따라 선박 내에는 복잡/다양한 시스템이 존재하고 있다. 이 중 HVAC(Heating, Ventilation and Air-Conditioning) 시스템은 안전한 작업환경과 쾌적한 주거환경을 유지하는데 없어서는 안 될 중요한 장치이다. 선박의 HVAC 시스템 장치는 승객과 승무원을 위한 편의시설로서 생활수준의 향상과 더불어 요구수준 또한 더욱 높아지고 있다.

일반적인 HVAC 시스템 설계 항목으로는 각 룸에 대한 열부하(Heat Load), 각 덕트의 압력손실(Duct Pressure Loss) 및 각 룸의 소음해석 등이 있다. 현재 이러한 설계를 대부분 벤더에서 수행하고 있으며, 당사에서는 단순히 검토하는 수준이기에, 각 정보의 적기 확보 및 정확성에 문제점을 가지고 있다.

본 연구에서는 HVAC 시스템 설계의 기본요소인 덕트압력손실 및 덕트와 룸의 소음해석 수행을 위해 대우조선해양㈜에서 개발한 프로그램(DeVAC)을 이용하여, 실적호선에 대해 각 요소계산을 수행하였다.

또한, 덕트의 압력손실 및 소음 해석 결과 검증을 위해서 실선에서 테스트를 수행하였다. 프로젝트 디자인 초기부터 테스트를 계획하지 않았기에 각종 테스트 지그 및 생산일정조정 등에 약간의 문제점이 있었으나, 설계 및 생산부서에서의 적극적인 협조하에 무난히 테스트를 수행할 수 있었다. 동일덕트에 대해 해석을 수행하였으며, 테스트 결과와 대비하여 비교적 정확한 결과를 얻을 수 있었다. 해석 이후 압력손실증가에 가장 큰 영향을 미치는 덕트요소들의 형상을 개선하여 전체 덕트시스템에 부하되는 압력을 낮추었다.

본 연구를 통해 상선, 해양특수선 뿐 만 아니라 로팍스(RO-PAX)와 크루즈 프로젝트 진행시에도 설계초기에 HVAC 시스템 설계를 수행함으로써 원가절감 및 원활한 프로젝트 진행에 기여할 것이다.

2. HVAC 덕트압력손실, 소음해석 및 테스트

프로그램의 정도 확인을 위해 테스트의 편의성 등을 고려하여 55k, Bulk carrier 의 엔진룸 덕트에 대해서 덕트압력손실 및 HVAC 소음을 해석하고, 실선에서 테스트하여 비교·검토하였다. 덕트 압력손실 및 소음 테스트 결과의 정확성을 위해 외부와 연결된 도어를 개방하여 최대한 덕트 압력에 영향이 없도록 하였으며, 엔진 등의 기타 소음원 및 공기소모장치의 운전을 최소화하였다. 총 테스트 항목은 덕트압력손실, 풍량 및 소음이었으며 각 덕트요소에서 계측이 이루어졌다.

2.1 실선테스트

테스트를 수행한 덕트 및 테스트 포인트는 Fig.1 과 같다. 대부분의 선박에 설치되어 있는 hull덕트를 비롯하여 사각덕트, 스파이럴 덕트 등

† 교신저자; 천승현, 대우조선해양㈜ 특수선 설계팀
E-mail : general@dsme.co.kr
Tel : 055-735-5972 , Fax : 055-735-1332
* 대우조선해양㈜ 중앙연구소
** 대우조선해양㈜ 중앙연구소

으로 구성되어 있으며, 덕트 끝단에는 아무런 디퓨저가 설치되어 있지 않았다. 테스트 초기에 모든 댐퍼가 개방되어 있음을 확인하였고, 각 토출구에서 정상적으로 풍량이 공급되고 있음 또한 확인하였다. Fig.2 ~ Fig.4에 테스트 모습 및 hull 덕트 내부를 나타내었다. Hull덕트에서는 맨홀을 이용해서 테스트를 수행하였다.

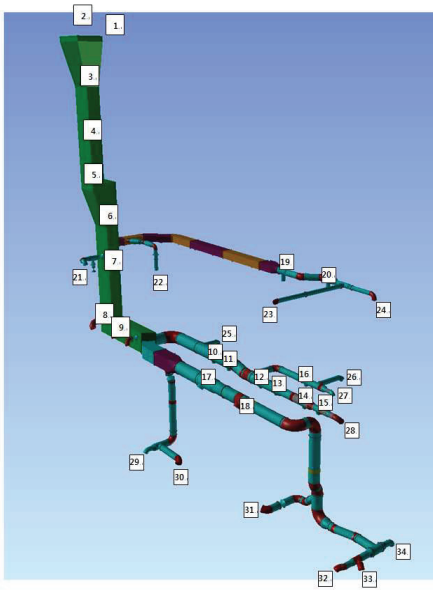

Fig. 1 Test duct & points

Fig. 2 Static pressure measurement

2.2 덕트 압력손실 및 소음 해석

덕트 압력손실은 매뉴얼로 모델링 이후 덕트정보(유량 등)를 입력하여 계산하였다.

또한, 각각의 덕트요소에 대해 HVAC 소음해석을 수행하였으며, 최종적으로 덕트끝단에서의 소음레벨을 구하였다. 덕트 압력손실 해석시 사용한 덕트배치를 그대로 이용하였으며, 덕트 전단(point 1)에 팬의 소음을 입력시키고 덕트 끝단이 연결되는 room 의 정보를 입력하였다. 그리고, 소음원(팬소음) 및 각 덕트의 풍량정보는 실선테스트시 계측된 자료를 이용하였고, Fig.5 ~ Fig.7 에 해석 세부과정을 나타내었다.

Fig. 3 Noise measurement

Fig. 4 Hull duct inside (upward)

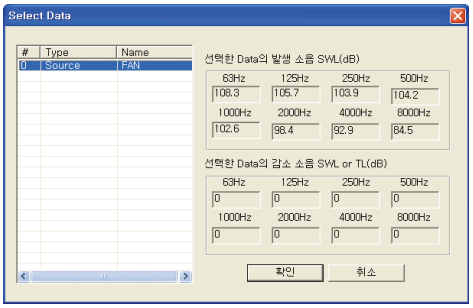

Fig. 5 Noise source input

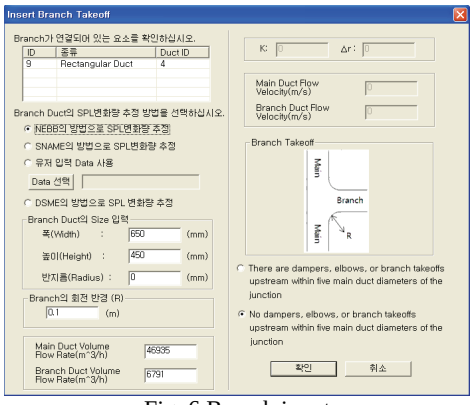

Fig. 6 Branch input

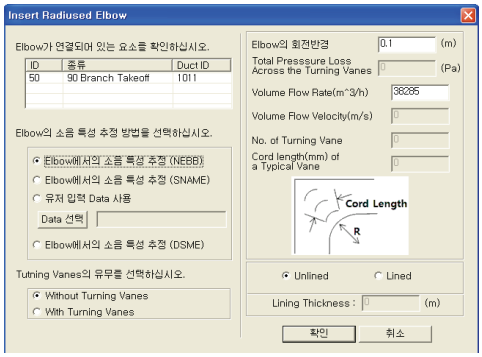

Fig. 7 Elbow input

2.3 덕트 압력손실 자료 비교 (실선테스트 vs. 해석)

실선테스트시 계측한 덕트 풍량(주관 및 지관)을 입력하여 덕트 압력손실값을 해석하였다. 각 덕트요소에서도 압력손실을 계측하였지만, 변동폭이 크기에 덕트 입구단에서의 압력손실값만을 비교하였다.

Table 1에 전체 테스트 및 해석 결과를 나타내었다. 테스트 결과 입구단에서 488Pa의 전압이 계측되었고, 해석결과 최대 458Pa의 전압이 산출되었다. HVAC시스템 특성상 덕트 입구단에서의 전압 계측값이 전체 덕트에서 최대 전압값을 나타내기에 상기 비교는 그 타당성을 가진다. 약 30Pa의 전압차이(약 6.6% 의 오차율)가 발생하였다. 계측여건(풍량 및 전압계측의 정확성)을 고려했을 때 상당히 정확한 결과라 여겨진다.

계측결과를 보면 No.19, 23, 32, 33에서 특히 높은 압력손실이 해석되었다. 역으로 살펴보면 이러한 덕트를 개선하면 좀 더 낮은 덕트압력손실을 얻을 수 있을 것이다.

Table 1 Test and Analysis Results for Pressure drop

No	TEST		해석	
	풍량 (CMH)	전압 (Pa)	풍량 (CMH)	전압 (Pa)
1		**488**		
4	57980		57980	
7	1698		1698	74
8	4446		4446	207
9	2506		2506	196
11	320		320	219
14	1222		1222	241
15	1091		1091	258
29	2222		2222	267
30	2464		2464	305
31	4255		4255	256
32	2134		2134	418
33	794		794	**458**
34	2134		2134	288

2.4 소음 자료 비교 (실선테스트 vs. 해석)

각 HVAC 덕트 요소 및 덕트끝단에서 소음을 계측하고 해석한 내용을 비교하여 Table 2에 나타내었으며, 각 값은 덕트내부 소음계측 및 해석 결과이다.

덕트 내부 소음을 비교했을 때 덕트 초반부인 No.4에서부터 상당한 차이가 발생하고 있다. 해당덕트는 3m가량의 직관덕트이기에 해석시에는 약 0.5dB의 감음효과만 고려되었지만, 테스트에서는 3.7dB의 감음이 발생하였다. 그 원인으로는 Fig.4에서 확인할 수 있듯이 사다리 및 구조 부재 등의 소음 blocking 효과로 생각된다. 물론 그 비율(전체 덕트 면적 대비 구조부재 및 사다리)에 따라 감음량은 달라지겠지만, 현재 해석에서는 고려되지 않기에 그 영향은 상당하다.

계측의 오차를 고려했을 때 대체적으로 초기에 발생한 감음량 차이(3.2dB)가 계속적으로 유지되고 있으며, 해석시 영향고려를 하지 않는 reducer를 지나면서 감음량이 많아졌다. 대체적으로 하나의 reducer(면적비율 : 약 70%)를 지날 때 마다 추가로 1 dB 가량의 감음량이 발생하였다.

Table 2 Test and Analysis Results for Noise

No	TEST	해석	Remark
3	110.4	110.4	Noise source (Sound Power Level, dB)
4	106.7	109.9	Duct Inside Noise (Sound Power Level, dB)
5	106.0	109.7	
7	103.6	108.8	
8	102.9	106.0	
9	98.0	102.4	
10	89.3	92.5	
11	89.1	92.0	
12	87.1	91.6	
13	85.0	90.1	
14	84.3	88.9	
15	81.1	87.4	
16	80.7	82.0	
17	91.1	95.5	
18	87.9	94.2	
19	87.2	92.0	
20	85.5	84.3	

2.5 덕트 개선

현재 설계되어 있는 덕트의 압력손실을 분석해본 결과 특정부분에서 과도한 압력손실이 발생함을 알 수 있었다(Table 1 참조). 따라서, 국부적인 덕트개선(hull덕트 및 토출구 형상 등, Fig.8)을 통해 압력손실을 낮출 수 있었다.

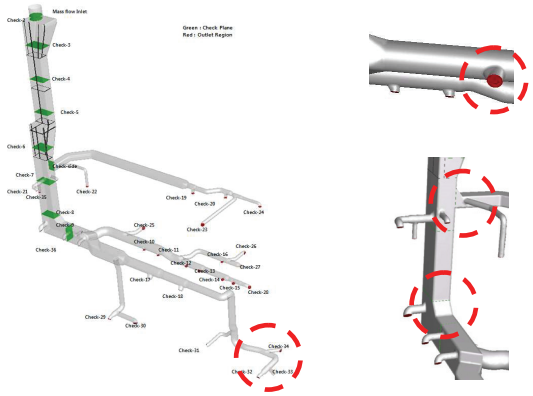

Fig. 8 Modified duct

덕트를 수정하게 되면 압력손실뿐만 각 덕트에 공급되는 풍량도 변화하기에 CFD해석을 통해 풍량 변화 및 압력손실을 확인하였다(Fig.9 ~ Fig.12).

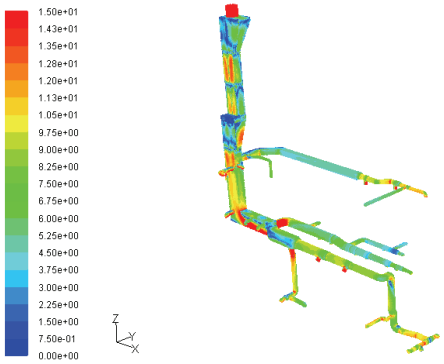

Fig. 9 Velocity distribution in duct (Original)

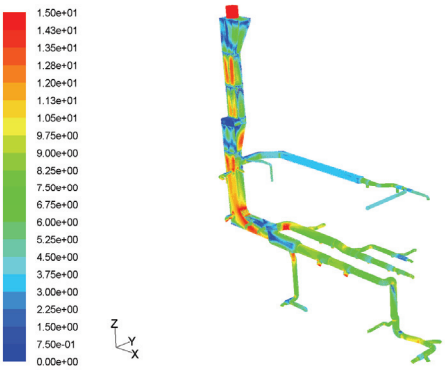

Fig. 10 Velocity distribution in duct (Modified)

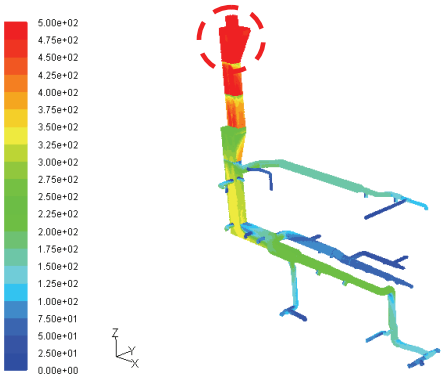

Fig. 11 Total pressure in duct (Original)

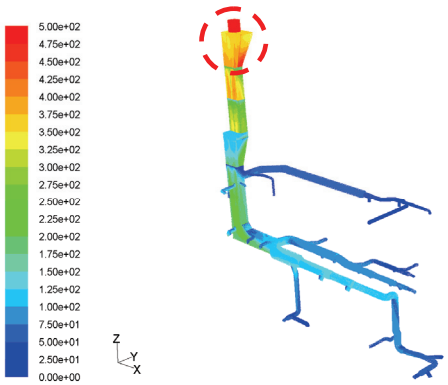

Fig. 12 Total pressure in duct (Modified)

해석 결과 대부분의 덕트에서 풍량분포가 변화하였고, 특히 기존 덕트에서 큰 압력이 부하되었던 No.20, 23, 24에서 풍량이 감소하였다. 그리고, No.25 ~ No.28에서 풍량이 급격하게 증가하였다. 1차원적으로 생각하면 동일 덕트에서 풍량이 증가하면 덕트 압력손실도 증가한다. 하지만 압력손실이 증가하면 또 풍량 증가를 막는 요인이 된다. 순간적으로 이러한 과정을 반복하여 시스템적으로 평형을 이룬 결과가 최종적인 덕트 압력손실과 풍량이기 때문에 단적으로 그 경향을 설명하긴 쉽지 않다.

덕트압력손실변화에 대해선 CFD해석 및 개발프로그램(DeVAC)에서의 해석을 수행함으로써 그 효과를 확인 할 수 있었다. Fig.11~12에서 볼 수 있듯이 기존 673Pa에서 541Pa로, 약 132 Pa만큼 개선된 결과를 CFD해석에서 확인 할 수 있었다.

그리고, 개발프로그램을 이용하여 변화된 풍량을 개선덕트에 입력한 결과 최대 458 Pa에 이르던 전압손실이 313Pa로 약 145Pa가량 개선되었음을 확인 할 수 있었다.

두 해석간 약 13Pa 가량 차이가 발생했지만, 전체적인 시스템을 고려한다면 상당히 유사한 결과라 여겨진다. 그리고, 개선된 덕트를 적용하면 기존보다 작은 용량의 팬을 적용(motor : 18.5kW→15Kw)할 수 있으며, 최종적으로 원가절감효과를 거둘 수 있었다. 발생소음 또한 작아질 것이기에 그 효과는 더욱 더 클 것이다.

3. 결 론

로팍스(RO-PAX), 크루즈를 포함한 해양특수선 및 일반상선에 있어 HVAC시스템의 중요성은 증대되고 있으며, 최근 들어 국내에서도 HVAC시스템 설계에 대해 본격적인 연구가 진행되고 있다.

HVAC시스템 설계항목으로는 열부하계산, D&ID 작성, 덕트 압력 손실 계산 및 HVAC 소음해석 등이 있으며, 현재까지 대부분의 설계업무를 벤더에서 수행하고 있기에 조선소의 역량에는 어느 정도 한계가 있어 왔다.

본 연구에서는 HVAC시스템의 주요 설계항목인 덕트압력손실 및 HVAC 소음 검증을 위하여 실선을 이용한 해석 및 테스트를 수행하였다.

덕트압력손실값은 상호간 상당히 유사한 결과를 얻을 수 있었다. 특히 덕트압력손실에 있어 CFD해석결과와 개발프로그램(DeVAC) 해석 결과가 매우 유사하였다. 소음값에 대해서는 현재 해석시 고려되지 않는 hull덕트 및 reducer 등의 소음영향을 알 수 있었으며, 향후 해석시 고려할 예정이다.

선박 및 해양구조물에는 표준덕트 뿐만 아니라 복잡/다양한 덕트들이 배치되며, 현재는 덕트압력손실 및 소음성능에 대해 대략 추정하여 값을 도출하고 있다. 따라서 향후 복잡/다양한 형태의 HVAC 시스템에 대한 실선테스트를 통해 데이터를 축적해 나갈 것이다. 또한 해석프로그램에 그 결과를 반영함으로써 해석의 정도 향상을 이루고자 한다.