

## 선박 공조덕트의 특성분석에 관한 사례 연구 - 유지관리용 로봇의 이동 알고리즘 개발을 위한 분석 -

황 광 일†

(원고접수일 : 2005년 10월 26일, 심사완료일 : 2005년 12월 20일)

### A Case Study on the Analysis of Characteristics of Marine HVAC Duct - For the Development of Maintenance Robot's Movement Algorithm -

Kwang-il Hwang†

**Abstract** : This study is focused on the analysis of the characteristics of marine HVAC duct. These results will be applied to develop a robot which is for maintaining a cabin comfort, convenience and healthy through HVAC duct. The followings are the results of this study. ① The evaluated items which proposed by at the view point of robot's function can be adapted to other vessels for the same purpose, ② For the case of round type duct, the maximized conditions which robot has to have are straight length of 40.152mm, inclination of 45°, horizontal bending of 90°, increasing diameter of 1.28 times, and 0.625 times decreasing diameter in branch. ③ For the case of rectangular type duct, the maximized conditions are straight length of 15.987mm, aspect ratio of 4.17:1, inclination of 18.92°, horizontal bending of 90°, and 0.65 times decreasing diameter in branch.

**Key words** : HVAC duct(공조덕트), IAQ(실내공기질), Maintenance(유지관리), Robot(로봇)

## 1. 서 론

### 1.1 연구배경과 목적

선박을 이용한 해상활동을 수행하는데 있어서 선상의 근무 환경은 매우 중요한 요소이다. 양호한 근무환경을 제공함으로써 선상 근무자의 업무 효율성과 생산성을 향상시킬 수 있을 뿐만 아니라 선내 거주자의 편리성도 함께 확보할 수 있기 때문이다.

그러나 선박의 실내는 일반 건축물에 비해 폐쇄성

이 강하고 선박의 출항부터 입항까지 승무원들이 머칠 혹은 오랜 기간 동안 선내에서 생활해야만 하기 때문에 일반 건축물보다 양호한 실내환경을 제공해 주어야 함에도 불구하고 지금까지는 선박의 기능성, 즉 물류가 우선되었고 실내환경에 대한 검토는 부족한 실정이다. 이러한 이유로 현재의 선박용 공조기기의 기능은 난방, 냉방, 환기를 중심으로 하는 기본기능에만 초점을 맞추고 있기 때문에 제실공간인 선실의 공기오염 등으로 인한 승객과 선원 등의 불쾌감과 불편함이 발생하고 있다. 또한 지

† 책임저자(한국해양대학교 기계정보공학부), E-mail:hwangki@bada.hhu.ac.kr, Tel:(051)410-4368

금까지는 이러한 문제에 대하여 공조설비의 기계적 성능의 유지보존 관점에서 관리가 이루어졌을 뿐, 실내공간의 쾌적성이라는 관점에서의 기능적 검토는 없었던 것이 사실이다.

이와 같은 지금까지의 기본적인 유지관리 개념을 극복하고 실질적으로 재실자에게 건강한 실내환경을 제공하기 위해서는 실내공기질(Indoor Air Quality, 이하 IAQ로 표기)에 대한 분석과 평가, 그리고 대안 제시가 있어야만 한다. 또한 궁극적으로 IAQ 제어기술은 수량적으로는 선박 건조 세계 1위인 현재의 국내 해양기술을 뛰어넘어 설계기술의 질적 고급화를 지향해야만 하는 국내 조선업계에서도 시급히 확보해야만 할 과제라고 생각된다.

따라서 이러한 목적에 부합하도록 선박 선실 내의 공조환경을 쾌적하고 건강하게 유지하기 위한 목적의 선박용 공조시스템의 공조덕트 유지관리용 로봇을 개발할 필요가 있다. 이에 본 연구에서는 이러한 유지관리용 로봇을 개발하기 위한 기초 작업으로써 로봇의 기능과 행동범위 그리고 제어방식에 대한 알고리즘을 구축하기 위해 선박 공조덕트의 특성을 파악하고자 한다.

## 1.2 기존연구 고찰

지금까지 발표된 대부분의 선박용 공조기와 관련된 논문들은 냉동기의 성능, 냉매변경 등과 같은 요소기술에 집중되어 있다. 공조설비의 설계적 관점에서는 정<sup>4)</sup>이 공조계획에 대한 순서와 지침을 정리하면서 선박공조를 분류하고 장단점을 비교한 사

례도 있으나, 실질적으로 선박의 선실 내 환경에 대한 연구 성과로는 도<sup>5)</sup>가 선실 내의 공기오염 정도와 전자파 발생량에 대한 실태조사를 수행한 것이 유일한 것이다.

## 2. 연구의 범위와 방법

선박용 공조시스템의 공조덕트 유지관리용 로봇의 알고리즘 개발을 위해서는 선박용 공조덕트의 구조적 형상을 분석할 필요가 있다. 그러나 선박은 그 기능과 형상, 그리고 규모에 따라 공조설비의 용량과 특성 등이 달라지기 때문에, 유지관리용 로봇이 이동과 기능의 관점에서 범용성을 갖기 어려운 것이 현실이다.

이에 본 연구에서는 특정 선박을 대상으로 한 공조덕트 유지관리용 로봇 개발을 위하여 해당 선박의 공조덕트 관련 각종 데이터를 상세 분석하는 사례 연구를 수행하였다.

### 2.1 조사대상선박의 개요

본 연구의 조사 분석 대상인 선박은 실습생들이 승선하여 1년 동안 생활하면서 여러 형태의 실습을 행하도록 설계된 실습전용 선박으로 다른 용도의 선박에 비해 선내 공간 중에서 거주구역이 차지하는 비율이 높은 특성을 갖고 있다. 6개의 갑판 중에서 거주구역은 Boat deck, Shelter deck, Main deck, 2nd deck의 4개 갑판에 걸쳐 시설되어 있다. 개인 거주설비로는 사관구역침실, 실습생구역

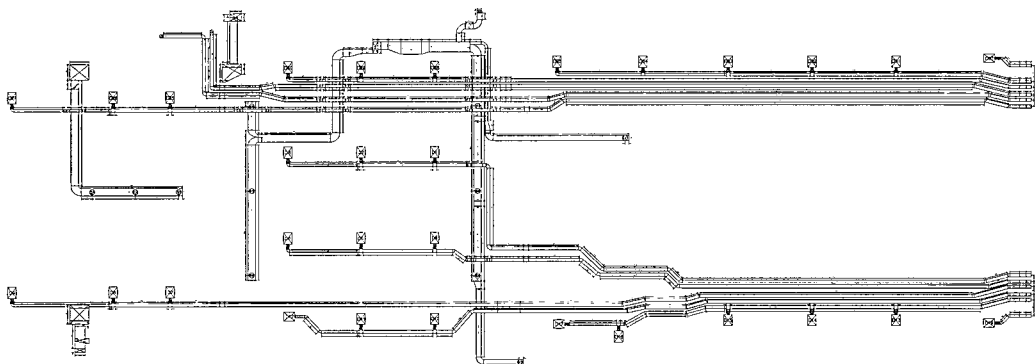


Fig. 1 An example of a series of ductwork in a zone

침실, 선원구역침실 등이 있고, 공공 거주설비로는 목욕탕, 세면장 및 화장실, 휴게실, 식당, 이발소, 취사장, 병실, 체육실 등을 갖추고 있다.

이 공간을 위한 공조 조닝(Zoning)은 사관 및 교수 거주구역, 선원 거주구역, 학생거주구역 및 강의실과 개별공간으로 구분하고 있다. 개별공간에는 패키지형 공조기 3대(총 냉방공급가능열량 33,000 kcal/h, 총 난방공급가능열량 38,500kcal/h), 개별공간 이외의 구역에는 각각 독립된 냉난방설비가

**Table 1 Specifications of a experimental ship**

Gross tonnage	3,738 ton
Length O.A.	102.70m
Length B.P.	93.00m
Molded breadth	14.5m
Depth to main deck	7.00m
Draft	D.L.W.L.:5.20m S.L.W.L.:5.41m
Speed	17.0 kn
Boarding Persons	202p

**Table 2 Basic functions of maintenance Robot**

	Functions	
Movement	Straight	Up / Down
	T- or Y- Branch	Left / right
	Reducer	Wide / Narrow
	Speed	Fast / Slow
Cleaning	Brushing, Blowing, Suction	
Control	Remote control, Monitoring camera	

**Table 3 Evaluated items**

	Items
Shape	Round type, Rectangular type
Length	Maximum, Minimum, Average
Inclination	Angle
Bending	Angle
Dia. Variation	Converged-ratio, Diverged-ratio
Branch	2 way type, 3 way type

**Table 4 Straight length of round duct**

Length	Diameter (mm)					Totally
	100	125	160	200	125 /100	
No.	79	104	3	5	21	212
Min. (mm)	877	861	1,637	1,200	1,288	-
Max. (mm)	6,731	40,152	10,603	4,959	25,705	-
Avg. (mm)	3,081	7,604	4,892	2,371	5,595	5,558

설치되어 있다(이 3구역의 총 냉방공급가능용량 345,000kcal/h, 총 난방공급가능용량 334,000 kcal/h). 평가 대상 선박의 개요를 Table 1에, 선내 덕트의 배치 사례를 Fig. 1에 나타내고 있다.

2.2 조사 및 분석 항목

공조덕트 내를 청정하게 유지관리하기 위해 유지관리 로봇이 갖추어야만 할 기능을 정리하면 Table 2와 같다. 이러한 기본 기능을 구현하기 위한 알고리즘을 구축하기 위해서는 선박 내 공조 덕트의 구조적 형상에 대한 수치적 분석이 필수적이다.

공조덕트는 다양한 방법으로 분류할 수 있지만 로봇의 이동방법(바퀴의 형태와 부착위치 등)의 관점에서 판단한다면 단면형상을 기준으로 하여 원형덕트와 사각덕트로 구분하는 것이 기본적인 것이다. 이에 근거하여 본 연구에서는 공조덕트를 원형덕트와 사각덕트로 구분하여 분석을 수행하였다. 공조덕트를 분석하기 위한 평가 항목들을 Table 3에 정리하였다.

각 항목들의 의미는 다음과 같다. 즉, 이동거리는 이동능력과 제어범위를, 경사각은 오름능력을, 곡관은 회전능력을, 확대와 축소는 환경변화에 대한 대응능력을, 그리고 분기는 경로선택능력에 대한 알고리즘을 각각 결정하기 위한 데이터로 활용될 것이다.

본 연구의 조사 분석에서는 각종 덕트의 수량적 개념(개수, 본 논문의 결과 Table에는 No.로 표기)이 사용되고 있는데, 이는 각종 덕트의 구조적 형상은 로봇의 이동과 관련하여 이동 방식과 기능, 그리고 범위를 결정하는데 매우 중요한 요소이므로 직선, 곡선, 확대, 축소, 분기 등의 형상별, 크기단

위별 각 구분기준에서 “1개”로 수치화한 것이다. 이는 개발하고자 하는 로봇이 세분화된 각각의 단일 형상에 대응 가능하다면 두 가지 이상의 조합된 형상변화에 대해서도 대응할 수 있을 것으로 판단하였기 때문이다.

### 3. 선박공조용 닥트의 사례분석

#### 3.1 원형닥트의 분석 결과

평가대상 선박 내에는 Table 4에 나타난 것과 같이 총 212개의 수평 직선 원형닥트가 있고, 이 원형닥트의 직경은 100mm~200mm의 범위에 있으며 125mm 직경 닥트가 104개로 가장 많았다. 또한, 수평거리는 최소 861mm에서 최대 40,152mm의 길이에 대응해야한다는 것을 알 수 있었다. 단, 본 연구에서 언급하는 수평거리의 의미는 측정지점으로부터 최단거리에 있는 점검구 혹은 취출구까지의 거리로, 이는 유지관리 로봇을 투입할 수 있는 위치로부터 이동해야만 하는 각 배관별 최장거리를 의미한다.

보 등과 같은 다른 구조물 때문에 경사를 갖게 된 직선 원형닥트는 67개이며 Table 5에 나타난 것과 같이 경사범위는 30°와 45°의 2개 타입이었다.

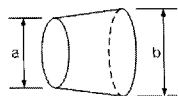
대상 선박의 원형닥트 중 형상이 변화하는 45개에 대한 특성을 Table 6에 정리하였다. 형상변화비율은 직경기준으로 1.25~1.28의 범위임을 알 수 있다.

대상 선박의 곡관부에 대한 조사결과, Table 7에 나타난 것과 같이 총 415개의 곡관부가 있으며, 90° 곡관이 160개, 30°가 152개 존재하여 전체적으로는 평균 54°의 곡률을 나타내고 있다.

**Table 5 Inclination angle of straight round duct**

Inclination	Diameter [mm]			Totally
	100	125	160	
No.	17	49	2	67
Min. [Deg.]	30	30	45	-
Max. [Deg.]	45	45	45	-
Avg. [Deg.]	30.9	33.4	45.0	33.1

**Table 6 Diameter variation of round duct**

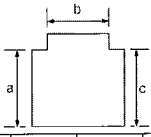
Shape			
	Type	100/125	125/160
	a [mm]	100	125
	b [mm]	125	160
Variation [a/b]	1.25	1.28	
No.	44	1	

**Table 7 Bending angle variation of round duct**

Dia. [mm] Angle [Deg.]	100	125	160	200	Total
15	7	36	-	-	43
30	35	116	1	-	152
45	9	48	3	-	60
90	43	112	3	2	160
Total	94	312	7	2	415
Avg.	57.8	52.1	62.1	90.0	54

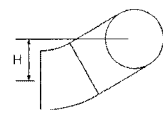
원형닥트의 경우에는 T형 분기관으로 대상선박 내에는 총 117개가 사용되고 있으며, 직진분기관의 경우에는 관경의 축소가 발생하고 있지 않으나, 90° 회전형 분기관에서는 0.625~1의 범위에 있음을 Table 8에서 알 수 있다.

**Table 8 T-branch of round duct**

Shape						Total
	a [mm]	100	125	125	160	
Type	b [mm]	100	100	125	100	-
	c [mm]	100	125	125	160	-
No.		29	71	15	2	117
Dia. Variation Ratio	b/a	1	0.8	1	0.625	0.872
	c/a	1	1	1	1	1

또한 특수한 경우로 3차원적 형상변화인 이중곡 관부 4곳에 대한 특성을 Table 9에 정리하였다. 이러한 특수 구조에 대한 로봇의 대응여부는 최종 알고리즘 결정시에 판단될 것이다.

Table 9 Double-bended variation of round duct

Shape					Total
Type	Dia.	125mm	125mm	160mm	-
	Type	90°+30°	90°+45°	90°+30°	-
No.		2	1	1	4
Height difference(H)		170	200	215	188.8

3.2 사각덕트의 분석 결과

평가대상 선박 내에는 Table 10에 나타난 것과 같이 총 136개의 수평 직선 사각덕트가 설치되어 있고, 사각덕트의 수평거리는 최소 420mm에서 최대 15,987mm의 범위에 걸쳐 다양하게 존재하며 전체적인 평균 길이는 4,433mm로 조사되었다.

Table 10 Average length of rectangular duct

No.	136
Min. length [mm]	420
Max. length [mm]	15,987
Average length [mm]	4,433

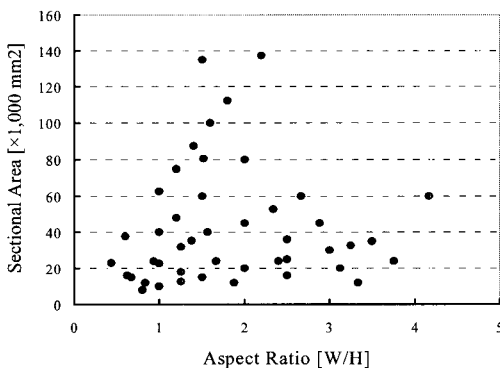


Fig. 2 Distribution chart of aspect ratio vs. sectional area of rectangular duct

Table 11 Aspect Ratio of rectangular duct

	Aspect Ratio (W:H)	Ref.
Min.	0.43 : 1	100mm× 230mm
Max.	4.17 : 1	500mm × 120mm
Avg.	2.00 : 1	-

Table 12 Inclination angle of rectangular duct

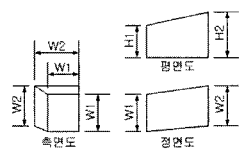
No.	16	Shape
Min.(deg.)	-3.99	
Max.(deg.)	18.92	
Avg.(deg.)	3.87	

Table 13 Variation of bending angle and central radius of bending section of rectangular duct

Angle [Deg.]	30	45	60	90	Total	
No.	4	4	2	30	40	
Central radius [mm]	Min.	270	200	275	200	200
	Max.	270	250	275	350	350
	Avg.	270	225	275	268.3	264.5

사각덕트의 단면 형상을 평가하는 방법으로 가장 보편적인 것이 폭과 높이의 비율로 나타내는 아스펙트 비(aspect ratio)를 측정하는 것이다. Fig. 2의 분포도에서 확인 할 수 있는 것과 같이 본 연구의 대상 선박에 대해 사각덕트의 아스펙트 비를 측정된 결과, 다양한 단면적과 아스펙트 비를 갖고 있음을 알 수 있다. 이중 aspect ratio 결과만을 요약 정리하면 Table 11에 정리한 것과 같이 최대 4.17:1의 결과를 보이고 있다.

기울기를 갖고 있는 16개의 사각덕트를 조사한 결과, 하향 -3.99°로부터 상향 18.92°까지의 기울기로 원형덕트에 비해 완만한 수치를 보여주고 있었다(Table 12).

곡관부를 형성하고 있는 사각덕트 40개의 각도와 곡률반경을 조사한 결과, Table 13에서 알 수 있는 바와 같이 90° 곡관이 30개를 차지하고 있으며, 최소 200mm에서 최대 350mm의 곡률반경을 갖고 있었다.

Table 14 Branch types of rectangular duct

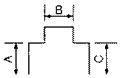
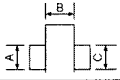
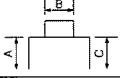
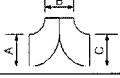

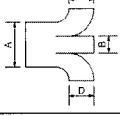
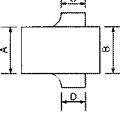
	type		Shape	No.	Ratio [B/A]			Ratio [C/A]			Ratio [D/A]			
					Min	Max	Avg	Min	Max	Avg	Min	Max	Avg	
2 way	A	T type	all Rect.		8	1	1	1	0.50	1	0.84	-	-	-
	B		A : Rect. B, C : Round		2	0.45	0.45	0.45	1	1	1	-	-	-
	C		A, B : Rect. C : Round		5	1	1	1	0.67	1	0.87	-	-	-
	D	TWIN elbow type		11	0.5	0.7	0.57	0.43	1	0.80	-	-	-	
	E	YT type		17	0.5	0.85	0.65	0.18	1	0.56	-	-	-	
3 way	F	CROSS-T type		3	0.33	0.43	0.40	0.28	0.33	0.30	0.28	0.33	0.30	
	G	CROSS-YT type		1	1			1			1			

Table 14에 정리한 것과 같이 사각덕트의 분기 형태는 7개로 분류되었고 이는 단일 형태인 원형 덕트에 비해 다양하다는 것을 알 수 있었으며 그 중 YT type, Twin elbow type 등의 순서로 많이 적용되었음을 알 수 있었다.

#### 4. 결 론

본 연구는 선박용 공조덕트의 특성을 파악한 것으로, 이는 선박 선실 내의 공조환경을 쾌적하고 건강하게 유지하기 위해 개발하고자 하는 선박용 공조 덕트의 유지관리용 로봇의 기능과 행동범위 그리고 제어방식에 대한 알고리즘을 구축하기 위해서이다. 본 연구의 조사 분석결과를 정리하면 다음과 같다.

1. 선박용 공조덕트의 특성을 분석하기 위한 조사 항목을 선언하였고 또한 분석 요소를 체계화 하였다.

2. 원형덕트의 경우에는 최대 직관길이가 40,152 mm(이동능력), 경사각 45°(오름능력), 90°곡관(회전능력), 1.28배의 관경 확대 대응능력, 분기에 대해서는 0.625배의 관경 축소 대응능력과 분기에서의 경로선택능력을 갖추고 있어야만 했다.

3. 사각덕트의 경우에는 최대 직관길이가 15,987 mm(이동능력), aspect ratio 4.17:1(장방형단면에 대한 대응능력), 경사각 18.92°(오름능력), 90°곡관(회전능력), 분기에 대해서는 0.45배의 관경 축소 대응능력과 3 분기점에서의 경로선택능력을 갖추고 있어야만 했다.

향후 본 연구의 결과를 기초로 해당 선박에 대한 공조덕트용 유지관리 로봇을 제작할 계획이다. 또한 로봇 이동 알고리즘의 보편성을 확보하기 위하여 현재 여객선과 상선에 대한 분석을 추진하고 있다.

## 후 기

본 연구는 (재)부산테크노파크의 산학연구개발사업의 일환으로 수행되었고, 이 논문은 한국해양대학교 학술연구지원사업에 의하여 지원되었으며 이에 감사드립니다.

## 참고문헌

- [1] 舶用空氣調和裝置設計基準, 社團法人日本造船學會, 海文堂, 1970.
- [2] 富岡節, 船用冷凍と空氣調和, 成山堂書店, 1978.
- [3] 神田寬, 船舶의居住性能, 成山堂書店, 1964.

- [4] 정형호, 선박공조장치 설계계획과 공조방법, 한국박용기계학회지, 제25권 제5호, pp.963-973, 2001.
- [5] 도근영, 선박내의 공기오염도 및 전자파에 기초한 선상근무 환경의 평가, 한국항해항만학회, 제26권 제2호, pp.81-87, 2002.

## 저 자 소 개



### 황광일 (黃光一)

1964년 04월생. 1988년 고려대학교 기계공학과 졸업(학사), 1991년 고려대학교 대학원 기계공학과 졸업(석사), 1996년 일본 와세다대학 건설공학과 졸업(박사), 1996년~2004년 삼성건설, 삼성전자, 2004년~현재 한국해양대학교 기계정보공학부