

폐기가스 조성 비율이 적외선 신호에 미치는 영향 연구

조용진
동의대학교 조선해양공학과

Sensitivity Study on the Infra-Red Signature of Naval Ship According to the Composition Ratio of Exhaust Plume

Yong-Jin Cho

Department of Naval Architecture and Ocean Engineering, Dong-Eui University

요약 함정으로부터 방사되는 적외선 신호는 주로 함정의 내연 기관에 의해 발생하는 내부적 신호와 태양열에 의해 가열된 함정 표면에서 발생하는 외부적 신호로 분류된다. 이중 내부적 신호는 주요 추진 체계를 구성하는 가스 터빈 및 디젤 엔진 폐기 가스의 화학적 조성 인자들(CO_2 , H_2O , CO , $soot$)에 의해서도 영향을 받게 된다. 따라서 본 연구에서는 현재까지 국내 함정에 탑재된 가스 터빈과 디젤 엔진에서 생성되는 폐기 가스의 화학적 조성비를 조사하여 인자와 수준을 선정하였으며, 직교 배열 실험 계획법으로 폐기 가스의 화학적 조성 인자들과 구성 비율이 함정의 적외선 신호에 미치는 영향을 연구하였다. 적외선 신호 해석 프로그램을 이용하여 계산된 폐기 가스의 적외선 신호 강도는 분석의 용이성을 높이기 위해 신호 대 잡음비로 변환하여 제시하였다. 신호 분석 결과, 가스 터빈과 디젤 엔진 모두 중적외선 대역의 신호에는 CO_2 , $soot$ 및 H_2O 가 주요영향인자임이 밝혀졌다. 그리고 원적외선 대역의 신호에는 H_2O 와 CO_2 가 주요한 영향을 미치는 인자임을 확인하였다.

Abstract Infrared signatures emitted from naval ships are mainly classified into internal signatures generated by the internal combustion engine of the ship and external signatures generated from the surface of the ship heated by solar heat. The internal signatures are also affected by the chemical components (CO_2 , H_2O , CO and $soot$) of the exhaust plumes generated by the gas turbine and diesel engine, which constitute the main propulsion system. Therefore, in this study, the chemical composition ratios of the exhaust plumes generated by the gas turbines and diesel engines installed in domestic naval ships were examined to identify the chemical components and their levels. The influence of the chemical components of the exhaust plumes and their ratios on the infrared signatures of a naval ship was investigated using orthogonal arrays. The infrared signature intensity of the exhaust plumes calculated using infrared signature analysis software was converted to the signal-to-noise ratio to facilitate the analysis. The signature analysis showed that CO_2 , $soot$ and H_2O are the major components influencing the mid-wave infrared signatures of both the gas turbine and diesel engine. In addition, it was confirmed that H_2O and CO_2 are the major components influencing the long-wave infrared signatures.

Keywords : Composition ratios of exhaust plume, Infra-red signature, Sensitivity, Survivability, Naval ship

1. 서론

최근 들어 해상전투의 핵심세력인 함정(naval ships)에 부여되는 임무들은 점점 더 고도화되고 복잡해지며 또한 다양해지고 있다. 이에 따라 현대 함정은 복합 무기

체계로의 임무효과도를 높이기 위해 개발 단계에서부터 생존성 향상을 위한 핵심기술인 스텔스 기술을 적용하고 있다. 함정의 스텔스 관련 기술로는 레이더에서 방사된 전자파가 함정에 반사되어 돌아오는 에너지를 탐지하여 함정의 크기, 방향 및 거리를 파악하는 RCS(Radar

*Corresponding Author : Yong-Jin Cho(Dongueui Univ.)

Tel: +82-51-890-2593 email: cyjdeu@deu.ac.kr

Received January 26, 2018

Accepted April 6, 2018

Revised (1st February 6, 2018, 2nd February 9, 2018)

Published April 30, 2018

Cross Section), 함정 선체로부터 수중으로 방사되는 기계적 또는 유체 소음을 탐지하는 URN(Underwater Radiated Noise), 함정의 표면과 폐기가스로부터 방사되는 복사에너지를 탐지하는 IR(Infra-Red)등이 있다. 이중 함정의 적외선 스텔스 기술은 2000년대에 들어서 국내 함정 개발에 기술을 도입하여 적용하기 시작하였으며, 독자적 기술 향상을 위해 지속적인 연구가 필요한 실정이다[1-2].

최근 수행된 함정 적외선 스텔스 기술에 대한 국내 독자적 기술축적과 자립을 위한 연구로는 내부적 적외선 신호를 효과적으로 줄일 수 있는 적외선 신호저감 장치 (Infra-Red Signature Suppression system, IRSS) 디퓨저에 대한 연구가 있으며[3], 특정 파장대역에 대해 적외선 영상 생성 및 분석 방법에 대한 연구가 수행되었다[4]. 그렇지만 폐기가스의 화학적 조성인자들의 비율이 적외선 신호에 미치는 영향성에 대한 연구는 미흡한 실정이다. 연구 경험이 풍부하고 다수의 선진 기술을 보유한 국외에서는 오래전부터 폐기가스의 적외선 신호와 관련하여 많은 연구가 수행되었다. 특히, NASA의 Ludwig등은 추진기관에서 생성된 폐기가스의 화학적 인자별로 흡수 방사하는 적외선 신호에 관한 연구[5]를 하였으며, 캐나다 Davis사에서는 Ludwig등의 연구를 기반으로 폐기가스의 화학적 조성인자별 스펙트럼 강도(spectral intensity)를 반영한 해석코드(Naval Threat and Countermeasures Simulator, NTCS)를 개발하였다[6].

본 연구에서는 함정 추진기관에 의해 생성되는 폐기가스의 화학적 조성인자와 구성비율이 적외선 신호에 미치는 영향을 정량적으로 파악하기 위해 수행되었다. 이를 위해 현재까지 개발된 국내함정의 주 추진기관인 가스터빈과 디젤엔진 폐기가스의 화학적 조성인자와 구성비율을 조사하여 설계변수의 인자와 수준을 설정하였다.

설정된 설계변수를 이용하여 직교배열 실험계획법에 따라 도입된 신호 해석프로그램(NTCS)으로 대비복사강도(Contrast Radiant Intensity, CRI)를 계산하였으며, 신호분석의 용이성을 높이기 위해 신호대잡음비(Signal to Noise ratio, S/N)로 변환 제시하였다. 그리고 분석결과로서 가스터빈 및 디젤엔진에서 생성된 폐기가스의 화학적 조성인자들이 중적외선(Mid-Wave Infra-Red, MWIR) 대역과 원적외선(Long-Wave Infra-Red, LWIR)대역 신호에 미치는 영향성을 기여율 값으로 계산하였다.

2. 적외선 신호

2.1 조성인자의 신호 특성

추진기관에서 생성된 폐기가스의 화학 인자별 스펙트럼 강도 측정에 대한 실험적 연구는 NASA의 Ludwig등에 의해 이루어 졌다. 다음의 그림은 이에 대한 연구결과 [5]로서 Fig. 1.은 중적외선(3-5 μm)대역의 스펙트럼 강도를 Fig. 2.는 원적외선(8-12 μm)대역의 스펙트럼 강도를 보여주고 있다.

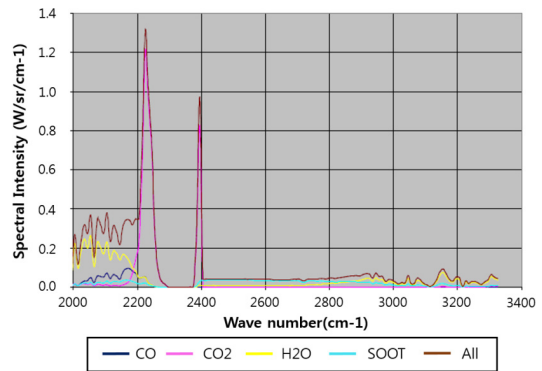


Fig. 1. Spectral intensity by chemical component in MWIR

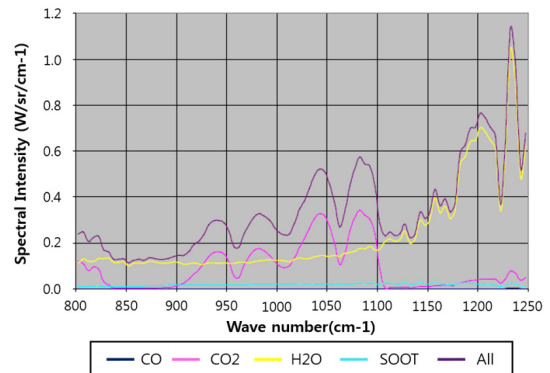


Fig. 2. Spectral intensity by chemical component in LWIR

위의 그림으로부터 몇몇 화학 조성인자는 특정파장에서 집중적으로 높은 복사강도를 나타내는 것을 알 수 있다. CO_2 는 중적외선 대역의 특정 파장(4.3~4.5 μm)에서 피크형상의 높은 복사강도를 보여주고 있으며 원적외선의 일정 대역(9.1~11.1 μm)에서 부분적으로 높은 복사강

도를 나타낸다. 그리고 H_2O 는 중적외선 특정대역(4.5 μm)에서 시작해서 원적외선 전반적으로 높은 복사강도를 나타내는 특징을 보여주고 있다.

2.2 적외선 신호 해석 코드

본 연구에서는 캐나다 Davis사에서 개발하여 북대서양조약기구(North Atlantic Treaty Organization, NATO)의 적외선 신호해석 분야에 표준 해석코드 및 미해군(united state navy)의 공인인증모델로 사용될 정도로 결과에 대해 높은 신뢰성이 있는 ShipIR/NTCS 3.6b를 사용하였다[6].

신호해석 프로그램의 출력 결과는 대비복사강도이며, 이는 대상체가 포함된 적외선 신호영상에서 배경복사강도를 빼고 계산되는 신호의 강도를 말한다. 대비복사강도의 표현 단위는 W/sr이며, 여기서 W는 전력 에너지 단위인 와트, sr은 3차원 입체각(steradian)을 의미한다. 아래 그림 Fig.3는 대비복사강도의 계산에 대한 개념도를 보여주고 있다.

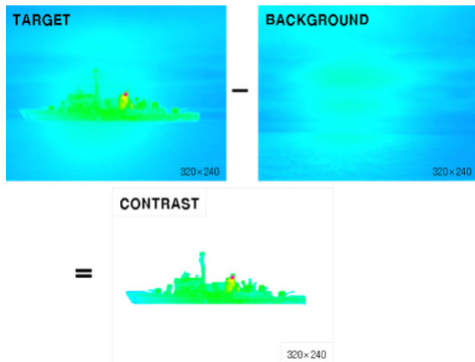


Fig. 3. Concept of contrast radiant intensity

3. 연구 방법

3.1 인자와 수준

현재 국내에서 개발된 함정의 추진 방식을 조사한 결과 전투함의 경우 저속 순항, 고속 모드에서 추진 효율을 높이기 위해 가스터빈과 디젤엔진을 조합한 방식을 주로 사용하며, 전투 지원함의 경우 디젤엔진을 기반으로 저속 순항, 고속 모드에 따라 운용 대수를 조절하는 방식을 주로 사용하고 있다.

함정의 추진기관에서 생성된 연소생성물은 O_2 , N_2 , CO , CO_2 , H_2O 그리고 soot 등으로 이루어져 있다. 하지만, O_2 , N_2 와 같이 극성이 없는 기체에서는 적외선 신호를 방사하지 않는다. 따라서 본 연구에서는 CO , CO_2 , H_2O 그리고 soot를 폐기가스를 구성하는 주요 화학적 조성인자로 선정하였다.

주요 화학적 조성인자들의 가스 배출량은 실적화 자료를 기반으로 최대(max), 최소(min) 그리고 평균(mean)값의 3수준으로 구분하여 가스터빈의 결과는 Table 1.에 그리고 디젤엔진의 결과는 Table 2.에 각각 정리하였으며, 이 중 디젤엔진은 CO 를 배출하지 않는 것으로 조사되었다.

조성인자들의 배출단위는 폐기가스의 전압(total pressure)에서 폐기를 구성하는 성분들의 분압(partial pressure)으로 표현되며, soot의 경우 고체의 형태를 나타내기 때문에 밀도로 표현하였다.

Table 1. Factor level of each parameter(gas turbine)

Level	Factor			
	CO(atm)	CO2(atm)	H2O(atm)	soot (g/cm^3)
1	1.26E-05	3.31E-02	2.94E-02	3.31E-09
2	6.64E-05	4.37E-02	3.91E-02	4.30E-09
3	1.20E-04	5.43E-02	4.89E-02	5.28E-09

Table 2. Factor level of each parameter(diesel engine)

Level	Factor		
	CO2(atm)	H2O(atm)	soot (g/cm^3)
1	2.97E-02	2.63E-02	3.33E-09
2	5.62E-02	4.98E-02	6.17E-09
3	8.27E-02	7.32E-02	9.00E-09

3.2 다구치 직교배열표

본 연구에서 고려한 폐기가스의 주요 화학적 조성인자와 수준은 가스터빈에서 4개 3수준이고 디젤엔진은 3개 3수준으로 분석조건은 각각 81개 그리고 27개가 되므로, 이를 다루기 위해서는 많은 해석시간과 분석시간이 요구된다. 특히 이러한 문제를 해결하기 위하여 가스터빈의 경우 직교배열을 이용한 다구치 실험계획법[7]을 통해 적은 분석 조건으로 설계변수의 영향을 효과적으로 파악할 수 있도록 하였다. 그렇지만 3인자 3변수인 디젤

엔진의 경우 모든 분석조건에 대하여 파라메트릭하게 계산을 수행하였다.

가스터빈 폐기가스의 화학 조성인자와 그 수준에 대하여 불필요한 분석 조건을 배제한 최종 9개의 분석 조건을 직교배열 $L_9(3^4)$ 을 이용하여 Table 3.에 작성하였으며, 디젤엔진 폐기가스의 화학 조성인자와 그 수준에 대한 모든 분석 조건을 직교배열 $L_{27}(3^3)$ 을 이용하여 Table 4.에 작성하였다.

Table 3. Orthogonal arrays for GT(3^4)

Case	CO(atm)	CO2(atm)	H2O(atm)	soot (g/cm^3)
1	1.26E-05	3.31E-02	2.94E-02	3.31E-09
2	6.64E-05	3.31E-02	3.91E-02	4.30E-09
3	1.20E-04	3.31E-02	4.89E-02	5.28E-09
4	6.64E-05	4.30E-09	2.94E-02	5.28E-09
5	1.20E-04	4.30E-09	3.91E-02	3.31E-09
6	1.26E-05	4.30E-09	4.89E-02	4.30E-09
7	1.20E-04	5.28E-09	2.94E-02	4.30E-09
8	1.26E-05	5.28E-09	3.91E-02	5.28E-09
9	6.64E-05	5.28E-09	4.89E-02	3.31E-09

Table 4. Orthogonal arrays for DE(3^4)

Case	CO2(atm)	H2O(atm)	Soot (g/cm^3)
1	2.97E-02	2.63E-02	3.33E-09
2	2.97E-02	2.63E-02	6.17E-09
3	2.97E-02	2.63E-02	9.00E-09
4	2.97E-02	4.98E-02	3.33E-09
5	2.97E-02	4.98E-02	6.17E-09
6	2.97E-02	4.98E-02	9.00E-09
7	2.97E-02	7.32E-02	3.33E-09
8	2.97E-02	7.32E-02	6.17E-09
9	2.97E-02	7.32E-02	9.00E-09
10	5.62E-02	2.63E-02	3.33E-09
11	5.62E-02	2.63E-02	6.17E-09
12	5.62E-02	2.63E-02	9.00E-09
13	5.62E-02	4.98E-02	3.33E-09
14	5.62E-02	4.98E-02	6.17E-09
15	5.62E-02	4.98E-02	9.00E-09
16	5.62E-02	7.32E-02	3.33E-09
17	5.62E-02	7.32E-02	6.17E-09
18	5.62E-02	7.32E-02	9.00E-09
19	8.27E-02	2.63E-02	3.33E-09
20	8.27E-02	2.63E-02	6.17E-09
21	8.27E-02	2.63E-02	9.00E-09
22	8.27E-02	4.98E-02	3.33E-09
23	8.27E-02	4.98E-02	6.17E-09
24	8.27E-02	4.98E-02	9.00E-09
25	8.27E-02	7.32E-02	3.33E-09
26	8.27E-02	7.32E-02	6.17E-09
27	8.27E-02	7.32E-02	9.00E-09

3.3 해양 기상 환경 및 배기관 형상

2000년대부터 현재까지 함정의 적외선 신호 연구에는 국내 해양기상환경의 조건을 고려하여 최선/최악 및 주간/야간으로 구별하여 총 4개의 해양환경조건을 활용하고 있다. 그렇지만 본 연구에서 주변 해양환경과 폐기가스에서 방사하는 적외선 신호의 분명한 대비(contrast)를 확인하기 위하여 4개의 기준해양환경조건 중에 최선의 조건을 제외하고 최악의 주간/야간조건 2개의 해양환경조건을 사용하였으며, 이를 Table 5.에 정리하였다.

Table 5. Ocean climate data for analysis

Geography	Day	Night	Atmosphere	Day	Night
Month	January		Air Mass Character	1	
Day	15		Cloud	None	
Longitude	133		Rain Rate	No clouds or No rain	
			Solar Flux (W/m2)	800	
Latitude	37		Wind Direction (deg)	115	
Time (GMT)	01:14	15:17	Wind Speed (m/s)	4.3	
			Sea Temp (°C)	8.70	
Sun Azimuth (deg)	301.75	90	Sky Temp (°C)	2.10	
			R.H. (%)	78	77

함정의 적외선 신호를 해석하기 위해서는 해양환경조건 이외에 3차원 형상정보가 필요하다. 실적함 자료 분석을 통해 본 연구에서 선정된 가스터빈 추진기관은 GE(General Electric)사에서 개발하여 국내 함정에 주로 탑재되는 LM2500모델이며, 디젤엔진 추진기관은 MTU (Motor and Turbine Union)사에서 개발한 20V956TB82 모델을 사용하였다. 추진기관의 출구 직경을 고려한 가스터빈 폐기관의 3차원 형상 모델을 Fig. 4.에 그리고 디젤엔진 폐기관의 형상 모델을 Fig. 5.에 각각 나타내었다.

3차원 형상은 외부의 신호 간섭을 배제하고 폐기 조성에 따른 적외선 신호의 민감성을 내부적 신호에 국한시키기 위해 해석프로그램에 요구되는 최소한의 폐기관(exhaust pipe) 끝단의 부분 모델을 사용하였다.

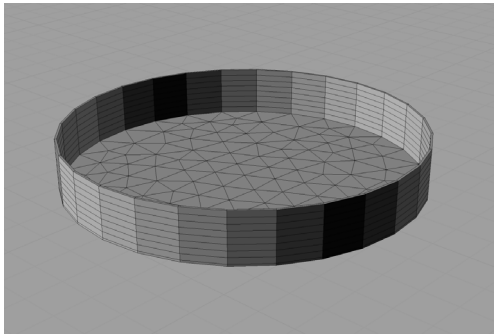


Fig. 4. 3D model of gas turbine exhaust pipe (LM2500)

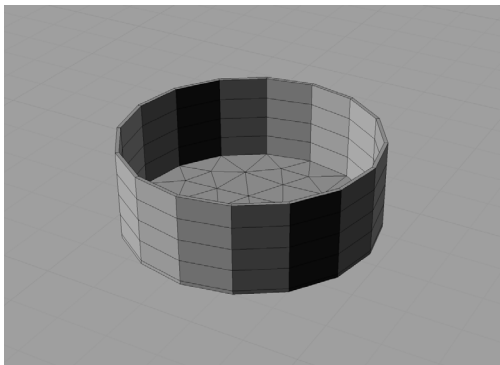


Fig. 5. 3D model of diesel engine exhaust pipe (MTU 20V956TB82)

폐기가스의 적외선 신호 해석을 수행하기 위해 필수 정보인 온도, 질량유량 정보와 추진기관의 출구 직경을 Table 6.에 정리하였다. 본 연구에서는 폐기가스의 구성 비율이 적외선 신호에 미치는 영향을 파악하기 위해 온도 및 질량유량의 정보는 모든 해석조건에 동일한 값을 적용하여 신호해석을 수행하였다.

Table 6. Performance of gas turbine and diesel engine

Parameter	GE LM2500	MTU 20V956TB82
Mass Flow(kg/s)	75.9	6.82
Gas Temp.(℃)	514	560
Uptake Diameter(m)	1.69	0.7

4. 해석결과 및 분석

4.1 결과 분석 방법

본 연구에서는 폐기가스의 화학적 조성인자들의 수준

변화에 따른 영향을 파악하기 위해 다구치가 제안한 S/N비의 개념을 도입하여 해석결과를 분석하였다. 다구치가 제안한 S/N비는 결과 값이 클수록 좋은 망대특성, 결과 값이 원하는 목표 값에 가까울수록 좋은 망목특성, 그리고 결과 값이 작을수록 좋은 망소특성으로 나뉜다. 본 연구에서는 아래 식(1)과 같은 망대특성을 사용하였다[7].

$$S/N = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{Y_i^2} \right) \right) \quad (1)$$

여기서, n 은 해석 수행 횟수, Y_i 는 해석 결과이다.

4.2 가스터빈의 신호 분석

신호 해석 프로그램을 통해 계산된 대비복사강도를 전 방위각으로 표현하기 위해 극좌표(polar coordinate)를 이용하여 작성된 결과를 Fig. 6.으로 나타냈으며, 결과 값의 가독성을 높이기 위해 직교좌표(cartesian coordinate)를 이용하여 작성된 결과를 Fig. 7.에 각각 보였다. Fig. 6.의 결과는 외부의 신호 간섭을 배제하기 위해 해석조건에 폐기관의 형상과 폐기가스의 정보만을 입력하여 모든 방위각에서 동일한 신호강도가 계산된 것이다.

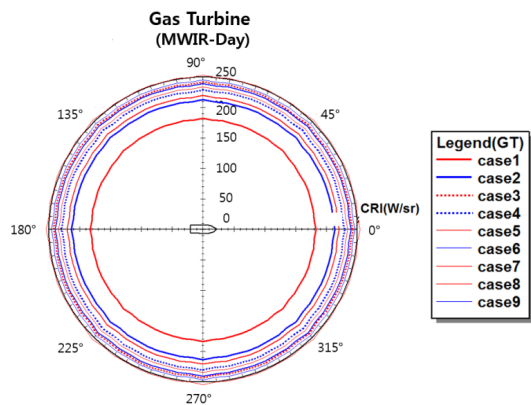


Fig. 6. Signature analysis result of gas turbine in MWIR

본 연구에서 고려한 해양환경조건은 최악 주간/야간으로 대역별 2개의 결과가 계산되었다. 하지만, 대비복사강도는 배경의 신호를 추출하여 대상의 순수한 신호만 출력되어 주간/야간과 상관없이 모두 동일한 신호가 계산되었다. 따라서 Fig. 7.에 정리한 결과는 중적외선 그

리고 원격외선 모두 주간/야간 2개의 신호를 평균하여 작성한 것이다. 해석결과 폐기가스의 동일한 온도와 질량유량이라는 조건하에서 화학적 조성인자의 수준에 따라 신호 값이 변화되는 것을 보여주고 있다.

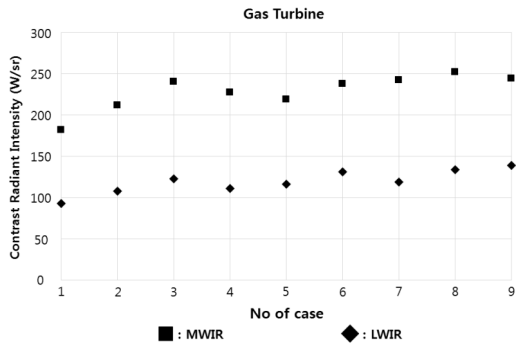


Fig. 7. Contrast radiant intensity result of gas turbine

가스터빈 폐기가스의 신호해석 결과에서 중적외선과 원격외선의 대비복사강도를 식(1)을 이용하여 S/N비로 변환하고, 설계 변수의 인자 수준이 동일한 경우를 평균하여 Table 7과 8에 각각 정리하였다. Table 7과 8을 통해 중적외선 대역에 영향을 미치는 설계변수는 CO_2 , soot, H_2O 그리고 CO 순으로 확인되었으며, 원격외선 대역에 영향을 미치는 설계변수는 H_2O , CO_2 , soot 그리고 CO 순으로 확인되었다.

Table 7. S/N of MWIR - Gas Turbine

MWIR S/N	CO	CO2	H2O	Soot
Level 1	46.9	46.4	46.7	46.6
Level 2	47.1	47.1	47.1	47.2
Level 3	47.3	47.8	47.6	47.6
Sum of Squares	2.6	25.7	12.8	14.3
Contribution ratio(%)	4.8	46.3	23.1	25.8

Table 8. S/N of LWIR - Gas Turbine

LWIR S/N	CO	CO2	H2O	Soot
Level 1	41.4	40.6	40.6	41.2
Level 2	41.5	41.5	41.5	41.5
Level 3	41.5	42.3	42.3	41.7
Sum of Squares	0.1	38.3	4.0	4.6
contribution ratio(%)	0.2	45.6	48.9	5.4

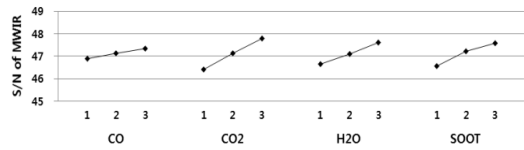


Fig. 8. Signal to noise ratio of each parameter in MWIR

Table 7에 보인 중적외선 대역의 대비복사강도에 대한 S/N비 결과를 화학적 조성인자별로 수준변화에 따라 도시하여 Fig. 8.에 보였다. 조성인자에 대한 그래프의 기울기 변화가 클수록 적외선 신호에 민감함을 나타내며, 이에 따라 중적외선 대역의 복사 강도는 CO_2 에 46.3%의 기여율로 가장 큰 영향 받으며, soot와 H_2O 에 각각 25.8%, 23.1%의 영향을 받는 것으로 확인되었다.

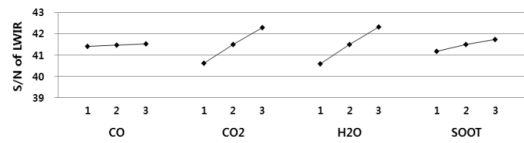


Fig. 9. Signal to noise ratio of each parameter in LWIR

Table 8에 보인 원격외선 대역의 대비복사강도에 대한 S/N비 결과를 화학적 조성인자별로 수준변화에 따라 도시하여 Fig. 9.에 보였다. 도시화된 그래프를 통해 원격외선 대역의 복사 강도는 H_2O 와 CO_2 에 각각 48.9%, 45.6%의 기여율로 두 개의 화학적 조성 인자들에게 절대적인 영향을 받는 것으로 확인되었다.

4.3 디젤엔진의 신호 분석

가스터빈 폐기가스의 신호 해석 결과와 마찬가지로 디젤엔진 폐기가스의 신호 해석 결과를 극좌표를 이용하여 작성한 결과를 Fig. 10.에 그리고 직교좌표를 이용하여 작성한 결과를 Fig. 11.에 보였다. Fig. 10.결과 또한 외부의 신호 간섭을 배제한 3차원 형상정보를 사용하여 모든 방위각으로 동일한 신호강도가 계산되었다. 직교좌표를 이용하여 작성된 Fig. 11.의 결과 또한 가스터빈의 해석결과와 동일하게 폐기가스의 화학적 조성인자와 수준에 따라서 각자 다른 신호 값을 보였다.

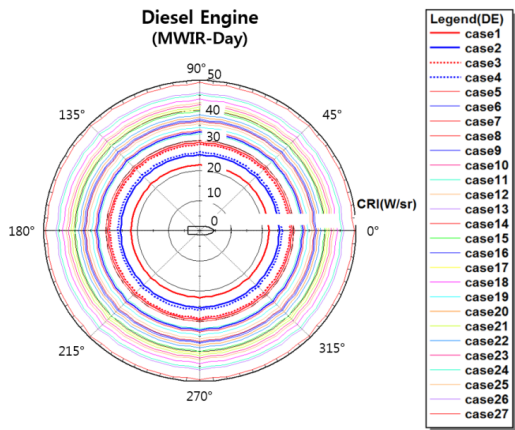


Fig. 10. Signature analysis result of diesel engine in MWIR

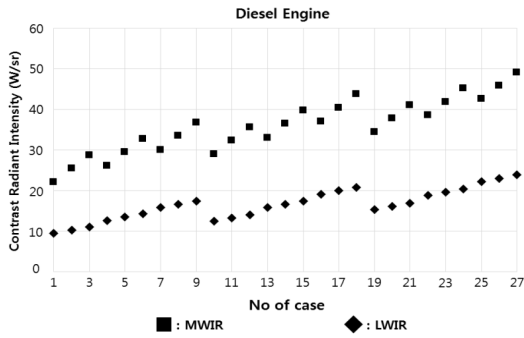


Fig. 11. Contrast radiant intensity result of diesel engine

Table 9. S/N of MWIR - Diesel Engine

MWIR S/N	CO2	H2O	Soot
Level 1	29.3	29.9	30.1
Level 2	31.1	31.0	31.0
Level 3	32.4	31.9	31.7
Sum of Squares	14.7	6.1	4.2
Contribution ratio(%)	58.9	24.4	16.7

Table 10. S/N of LWIR - Diesel Engine

LWIR S/N	CO2	H2O	Soot
Level 1	22.4	22.2	23.7
Level 2	24.3	24.3	24.1
Level 3	25.7	25.9	24.6
Sum of Squares	17.3	20.0	1.2
Contribution ratio(%)	45.1	51.8	3.1

디젤엔진 폐기가스의 신호해석 결과에서 중적외선과 원적외선의 대비복사강도를 식(1)을 이용하여 S/N비로 변환하고, 설계 변수의 인자 수준이 동일한 경우를 평균하여 Table 9.와 10.에 각각 정리하였다. Table 9.와 10.을 통해 중적외선 대역에 영향을 미치는 설계변수는 CO_2 , H_2O 그리고 soot 순으로 확인되었으며, 원적외선 대역에 영향을 미치는 설계변수는 H_2O , CO_2 그리고 soot 순으로 확인되었다.

Table 9.에 보인 중적외선 대역의 대비복사강도에 대한 S/N비 결과를 화학적 조성인자별로 수준변화에 따라 도시하여 Fig. 12.에 보였다. 이에 따라 중적외선 대역의 복사 강도는 CO_2 에 58.9%의 기여율로 가장 큰 영향 받으며, H_2O 와 soot에 각각 24.4%, 16.7%의 영향을 받는 것으로 확인되었다.

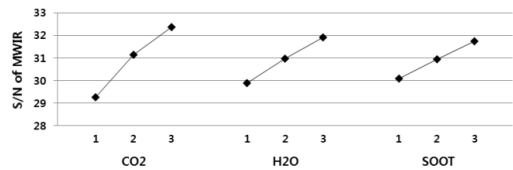


Fig. 12. Signal to noise ratio of each parameter in MWIR

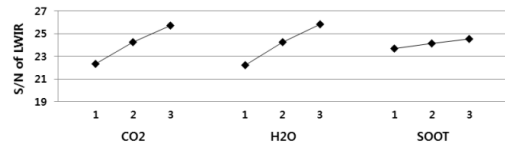


Fig. 13. Signal to noise ratio of each parameter in LWIR

Table 8.에 보인 원적외선 대역의 대비복사강도에 대한 S/N비 결과를 화학적 조성인자별로 수준변화에 따라 도시하여 Fig. 13.에 보였다. 이를 통해 원적외선 대역의 복사 강도는 H_2O 와 CO_2 에 각각 51.8% 그리고 45.1%의 기여율로 가스터빈의 결과와 동일하게 두 개의 화학적 조성인자들에게 절대적인 영향을 받는 것으로 확인되었다.

5. 결론

본 연구에서는 함정으로부터 배출되는 폐기가스의 화학적 조성인자와 구성비율이 적외선 신호에 미치는 영향

을 연구하였으며, 연구내용과 분석 결과를 정리하면 다음과 같다.

- 1) 지금까지 국내에서 개발된 함정의 추진기관으로부터 배출되는 폐기가스의 조성인자를 가스터빈(LM2500)과 디젤엔진(MTU 20V956TB82)으로 분류하여 조성인자와 구성비율을 조사 분석하였다.
- 2) 폐기가스 조성인자들의 적외선 신호에 미치는 영향을 분석하기 위해 직교배열표의 실험계획법을 사용하였다. 그리고 결과의 신뢰도를 높이기 위해 기준의 해양기상환경을 선정하고 외부의 신호간섭을 배제하기 위해 폐기관의 끝단의 부분모델을 개발하여 사용하였다.
- 3) 신호분석에서 다구치가 제한한 망대특성의 S/N비를 활용한 결과, 가스터빈과 디젤엔진 모두 중적외선 신호는 CO₂에 가장 큰 영향을 받으며 부분적으로 H₂O와 soot에 영향을 받는다는 것을 알 수 있었다.
- 4) 원적외선 신호는 가스터빈과 디젤엔진 모두 H₂O와 CO₂가 지배적인 영향을 미치고 있는 것으로 나타났다.

결과적으로 설계 함정에 탑재된 추진기관의 정확한 폐기가스 정보가 필요하다는 것을 알 수 있었고, 이는 기존의 실험결과[5]에 대체적으로 일치함을 보이고 있다. 하지만, 향후 연구로는 본 연구결과에서 드러난 폐기가스 조성인자의 상대적인 영향보다는 폐기가스 온도와 질량유량을 포함하여 절대적인 신호영향에 대한 추가연구가 뒤따라야 할 것으로 판단된다.

References

- [1] Y. J. Cho, J. M. Lew "A Study on the Sensitivity of IR Signature of a Ship according to the Meteorological Environment of Korean Seas", *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 42(6), pp. 679-685, 2005. DOI: <https://doi.org/10.3744/SNAK.2005.42.6.679>
- [2] Y. J. Cho, "A Study on the Management Methods of the Ship Infrared Signature", *Journal of the Society of Naval Architects of Korea*, 50(3), pp. 182-189, 2013. DOI: <https://doi.org/10.3744/SNAK.2013.50.3.182>
- [3] S. T. Yoon, Y. J. Cho, D. E. Ko, "A Study on the Diffuser Design of Exhaust Pipes for the Infra-Red Signature Reduction of Naval Ship", *Journal of the*

Korea Academia-Industrial cooperation Society, vol. 18, no. 12, pp. 793-798, 2017.

DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2017.18.12.793>

- [4] K. I. Han, D. H. Kim, J. H. Choi, N. K. Ha, H. S. Jang, T. K. Kim, "Development of a Generalized Software for IR Image Generation and Analysis", *Journal of The Korea Information Science Society*, vol. 23, no. 3, pp. 141-147, 2017. DOI: <https://doi.org/10.5626/KTCP.2017.23.3.141>
- [5] C.B. Ludwig et al., "Handbook of Infrared Radiation from Combustion Gases" National Aeronautics and Space Administration, SP-3040, 1973.
- [6] D.A. Vaitekunas, "SHIPIR/NTCS: A Naval Ship Infrared Signature Countermeasure and Threat Engagement Simulator", *Proceedings for Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE) Infrared Technology XXII*, April 8-12, 1996. DOI: <https://doi.org/10.1117/12.243481>
- [7] Korea Advanced Institute of Science and Technology, "Experiment and Analysis : Taguchi method and Utilization of Orthogonal Tables", 2005.

조 용 진(Yong-Jin Cho)

[정회원]



- 1988년 2월 : 인하대학교 공과대학 조선해양공학과(공학석사)
- 2001년 2월 : 충남대학교 공과대학 조선해양공학과(공학박사)
- 1994년 7월 ~ 2007년 8월 : 한국해양연구원 해양시스템안전연구소
- 2007년 9월 ~ 현재 : 동의대학교 조선해양공학과 교수

<관심분야>

특수선 시스템 설계, 선체 진동-소음, 적외선 신호 및 복사열 전달