

SCR 촉매 일체형 덕트 버너 개발에 대한 IoT 기초연구

장성철^{1*}, 심요섭²

¹한국폴리텍IV대학 충주캠퍼스 지능형기계과 교수, ²한국폴리텍IV대학 홍성캠퍼스 전기과 교수

IoT Basic Study on Development of Duct Burner Integrated with SCR Catalyst

Sung-Cheol Jang^{1*}, Yo-Seop Shim²

¹Professor, Division of intelligent machine, Korea Polytechnics

²Professor, Division of electric, Korea Polytechnics

요약 NO_x의 배출저감 방법으로 선박용 디젤엔진의 최적화만으로는 배기가스의 NO_x 배출량 제한을 만족시킬 수 없기 때문에 반드시 배기가스를 후처리하여 NO_x를 저감할 수 있는 방안이 요구된다. 본 연구에서는 현재 개발 중에 있는 선박용 SCR 촉매 유닛 일체형 덕트용 오일 버너 시스템에서 요소수를 NH₃로 효과적으로 변환하기 위한 이류체 노즐과 믹싱 챔버 덕트에 관한 설계 타당성 여부를 속도분포 및 온도분포에 대한 전산열유동 해석을 통해 검토하고자 한다.

주제어 : 질소산화물, 디젤엔진, SCR 촉매 유닛, 오일버너

Abstract Since the optimization of the diesel engine for the ship cannot satisfy the NO_x emission limit by the method of reducing the NO_x emission, it is necessary to reduce the NO_x by post-processing the exhaust gas. In this study, we will review the feasibility of designing a binary nozzle and mixing chamber duct for effectively converting the number of elements into NH₃ in the oil burner for the SCR catalyst unit integrated duct in the ship under development through the computational heat flow analysis for the velocity distribution and temperature distribution.

Key Words : NO_x, Diesel Engine, SCR Catalyst Unit, Oil Burner

1. 서론

국제해사기구(IMO)는 2016년 10월 영국 런던에서 해양오염 방지협약을 통해 대양을 항해하는 모든 선박들을 대상으로 선박연료에 허용되는 황산화물(SO_x) 함유량을 기존의 3.5%에서 0.5%로 대폭 축소하는 SO_x 규제와 더불어 질소산화물(NO_x) Tier III 적용구역을 발탁해와 북해로까지 확대하여 기존대비 80% 수준으로 감축하는 규제안을 채택하여 현재 시행하고 있다. NO_x는 산소

와 질소가 결합된 형태로써 NO가 약 90%, NO₂가 10% 정도로 대표적인 대기오염 물질로 알려져 있다. 이러한 NO_x의 배출저감 방법으로 선박용 디젤엔진의 최적화만으로는 배기가스의 NO_x 배출량 제한을 만족시킬 수 없기 때문에 반드시 배기가스를 후처리하여 NO_x를 저감할 수 있는 방안이 요구된다[1-7].

본 연구에서는 현재 개발 중에 있는 선박용 SCR 촉매 유닛 일체형 덕트용 오일 버너 시스템에서 요소수를 NH₃로 효과적으로 변환하기 위한 이류체 노즐과 믹싱

*교신저자 : 장성철(jsc@kopo.ac.kr)

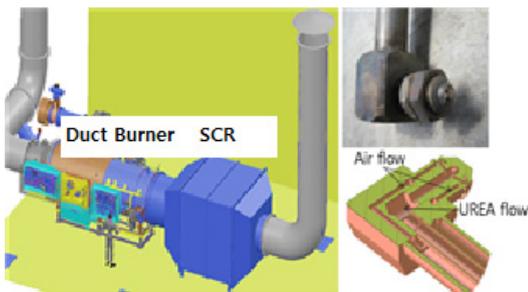
접수일 2021년 8월 20일 수정일 2021년 9월 15일 심사완료일 2021년 9월 20일

챔버 덕트에 관한 설계 타당성 여부를 속도분포 및 온도 분포에 대한 전산열유동 해석을 통해 검토하고자 한다.

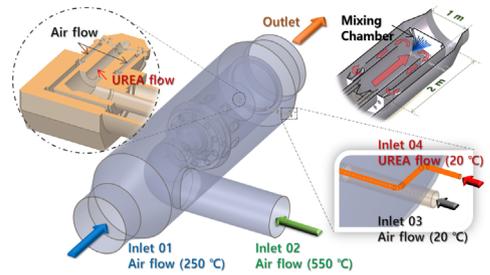
2. 수치해석 모델

그림 1의 SCR 시스템에서 디젤엔진의 배기가스가 유입되는 덕트부와 외부공기를 오일 버너로 공급하기 위한 덕트 그리고 이류체 노즐로부터 믹싱챔버로 분사되어진 고압의 요소수가 열분해 반응과정을 거쳐 NH₃로 변환된 후에 SCR 챔버로 유입되기 직전까지의 그림을 나타낸 것이다. 그림 2는 덕트 구조만을 해석대상으로 선정하여 나타낸 것이다. 여기서 믹싱챔버 덕트의 전체 길이는 약 2,000mm이고 직경은 약 1,000mm이다. 그림 2에 나타낸 것과 같이 Inlet 01을 통해 디젤엔진으로부터 해석 모델로 유입되는 배기가스는 250℃의 공기라고 가정하였고, Inlet 02를 통해 오일 버너로 유입되는 공기는 550℃라고 설정하였다. 또한 Inlet 03의 이류체 노즐의 공기공급관을 통해 20℃의 공기가 4bar의 압력조건하에서 믹싱챔버로 분사되고, Inlet 04의 파이프관을 통해 상온에서 32.5% 농도의 요소 수용액이 노즐을 통해 분사되어진다고 가정하였다. 외부로의 열손실로 대류열전달을 고려하였으며, 대류열전달계수 $h=10 \text{ W/K}\cdot\text{m}^2$ 으로 가정하였다[8-12].

본 연구에서는 표 1에 나타낸 4가지 경우의 운전조건 하에서 일체형 덕트 내부로 유입된 유체들이 안정적인 발달단계에 도달한 것으로 가정하여 정상상태 해석을 진행하였다. 그리고 화학반응 자체보다는 요소의 믹싱챔버 내부에서의 온도분포 상태와 질량분율(mass fraction)에 대한 평가를 통해 NH₃로의 변환 분위기를 평가하고자 한다. 그림 2에 해석에 활용된 유한체적 모델을 도시하였고, 그 절점수와 격자수는 표 2에 나타내었다[13-15].



[Fig. 1] SCR system



[Fig. 2] CFD model

<Table 1> Inlet condition of 4 type

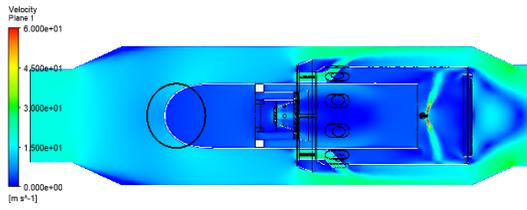
Inlet	Mass Flow Rate (kg/s)				Temperature (°C)	Species
	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4		
Inlet 01	9.899	12.346	15.608	18.05	250	O ₂ (23%) N ₂ (77%)
Inlet 02	0.972	1.4306	2.0417	2.500	550	O ₂ (23%) N ₂ (77%)
Inlet 04	0.013	0.0256	0.0411	0.052	20	CO(NH ₂) ₂ H ₂ O (66.5%)
Inlet 03	4 bar (Constant pressure)				20	O ₂ (23%) N ₂ (77%)

<Table 2> Number of nodes and elements

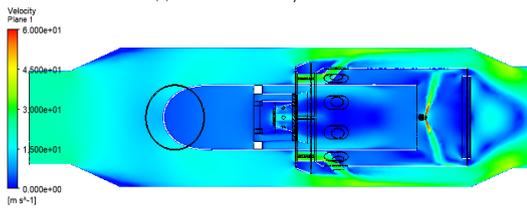
Number of nodes	9,741,292
Number of elements	33,528,925

3. 해석결과 및 고찰

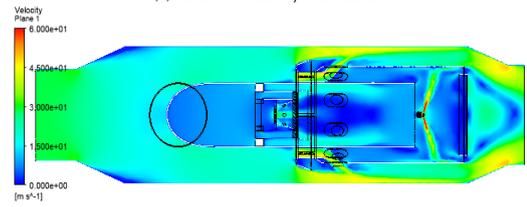
표 1의 CASE 1부터 4까지의 유량조건들을 유한체적 수치해석모델에 경계조건으로 설정하여 일체형 오일 버너의 내부 열유동 변화를 살펴보았다. CASE 1의 최소 유량조건부터 CASE 4의 최대 유량조건에 대한 내부 속도분포도와 속도벡터를 그림 3과 4에 나타내었다. 요소수가 이류체 노즐로부터 고압상태로 미세 분무되어지면서 오일 버너로부터 유입된 고온공기와와의 혼합에 의해 예열되고, 믹싱챔버의 내벽에 고속으로 부딪친 후에 믹싱챔버의 바닥면까지 내부 재순환 영역을 형성함을 볼 수 있다. 이와같이 요소와 고온공기의 예혼합 과정에서 요소는 암모니아로 전환되고, 중심간 거리가 140mm이고 반경 75mm인 슬롯구멍 10개소를 가지는 격벽을 통과한 후에 디젤엔진에서 배출되는 배기가스와 함께 SCR 챔버 쪽으로 흐르는 것을 확인할 수 있다. 디젤엔진의 배기가스가 믹싱챔버의 상부에 위치한 직경 106mm의 홀을 입구로 한 덕트 가이드베인 10개와 분기터 가이드베인을 통과하면서 코안다 효과에 의해 그 속도구배가 현격히 증가함을 볼 수 있다.



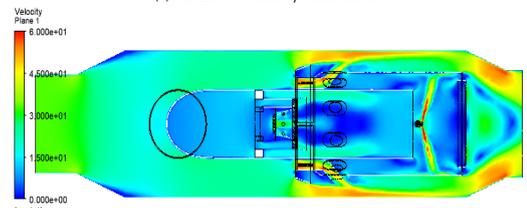
(a) CASE 1 velocity distribution



(b) CASE 2 velocity distribution

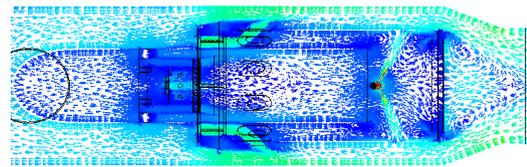


(c) CASE 3 velocity distribution

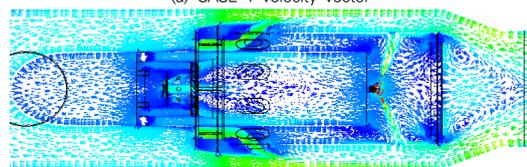


(d) CASE 4 velocity distribution

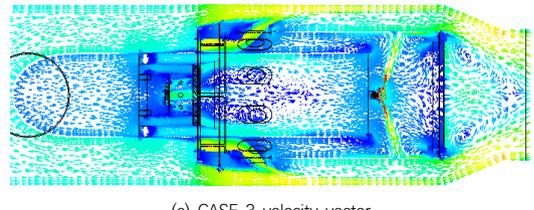
[Fig. 3] Velocity distribution



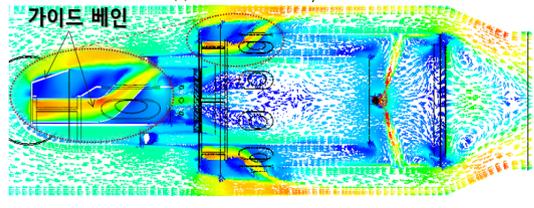
(a) CASE 1 velocity vector



(b) CASE 2 velocity vector

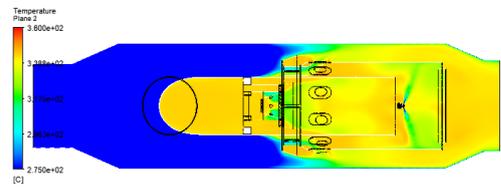


(c) CASE 3 velocity vector

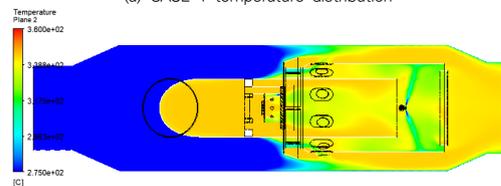


(d) CASE 4 velocity vector

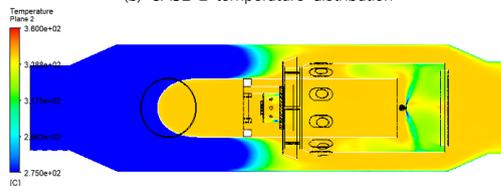
[Fig. 4] Velocity vector



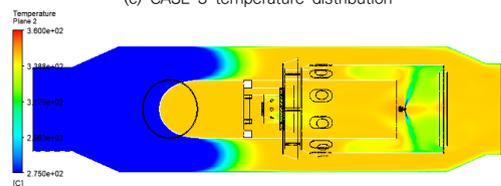
(a) CASE 1 temperature distribution



(b) CASE 2 temperature distribution



(c) CASE 3 temperature distribution



(d) CASE 4 temperature distribution

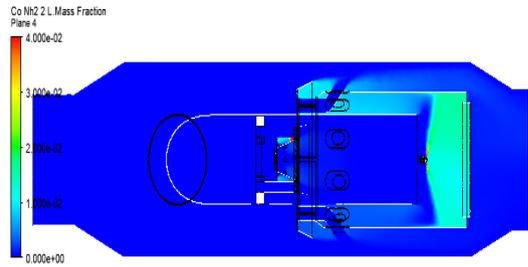
[Fig. 5] Temperature distribution

그림 5에 유량조건들에 대한 온도분포도를 나타내었다. 최소 유량조건부터 최대 유량조건까지의 온도분포에 대한 수치해석결과가 믹싱챔버 하부의 재순환 영역에서 거의 유사한 경향을 보이고 있음을 확인할 수 있다. 요소 질량분율에서 요소의 내부 재순환 영역에서 비교적 그 농도가 높은 것을 확인할 수 있다.

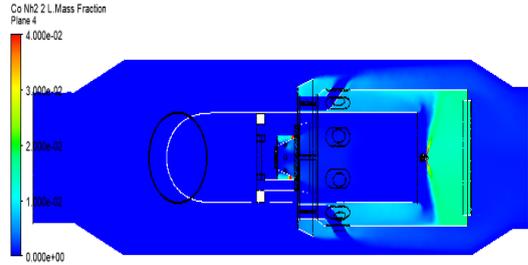
그림 6의 요소질량분율에서 요소의 내부 재순환 영역에서 비교적 그 농도가 높은 것을 확인할 수 있다. 그림 7의 압력분포도에서는 이류체 노즐에서 분사된 미세 분무 요소수가 믹싱챔버의 측벽에 부딪치는 지점의 압력이 다소 높게 나타남을 확인할 수 있다.

그림 8은 이류체 노즐의 중심부에 위치한 급수파이프에 의한 요소수와 노즐의 외곽부에 위치한 공기공급관을 통한 압축공기가 노즐을 통해 분사되어져 믹싱챔버의 내부 재순환 영역을 거쳐 격벽을 통과한 후에, SCR 챔버 쪽으로 흘러가는 유선도를 나타낸 것이다. 이와 같이 노즐의 분사구와 요소수가 부딪치는 측벽을 기준으로 믹싱챔버 하부에 강한 스월(swirl)로 내부 재순환 영역이 형성되어, 열분해 반응을 통해 요소가 암모니아로 전환되기 위한 충분한 체류시간이 확보될 것으로 판단되어진다.

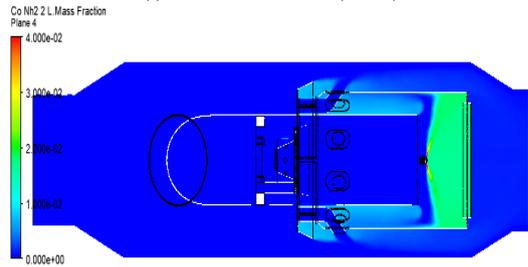
이류체 노즐에서 분사된 요소수가 오일 버너로부터 유입되는 고온공기와 흡열반응을 통해 20℃에서 믹싱챔버 측벽에 부딪히기 직전에 약 325℃까지 상승하는 것을 그림 9 (a)의 경로 1에 대한 그래프에서 확인할 수 있다. 그리고 믹싱챔버 하부의 내부 재순환 영역에 대한 그림 9 (b)의 경로 2에 대한 그래프에서 약 340℃ 정도를 유지하며 흡열하는 것을 볼 수 있다. 이러한 결과로부터 현재 개발 중인 SCR 시스템에서 요소수의 분사량과 분사 각도 및 믹싱 챔버의 구조에 대한 현 설계안은 요소가 300~400℃의 적절한 온도조건과 내부 재순환으로 인한 체류시간으로 80% 이상의 암모니아로의 전환율이 달성될 수 있을 것으로 기대되어진다.



(b) Element mass fraction(case 2)

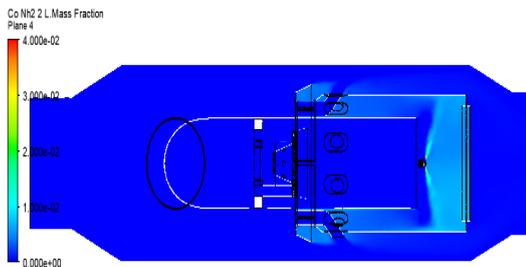


(c) Element mass fraction(case 3)

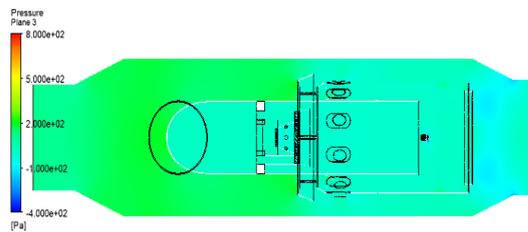


(d) Element mass fraction(case 4)

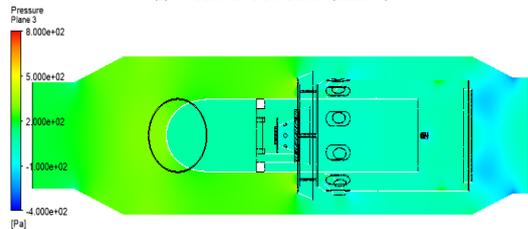
[Fig. 6] Element mass fraction according to flow conditions



(a) Element mass fraction(case 1)



(a) Pressure distribution(case 1)



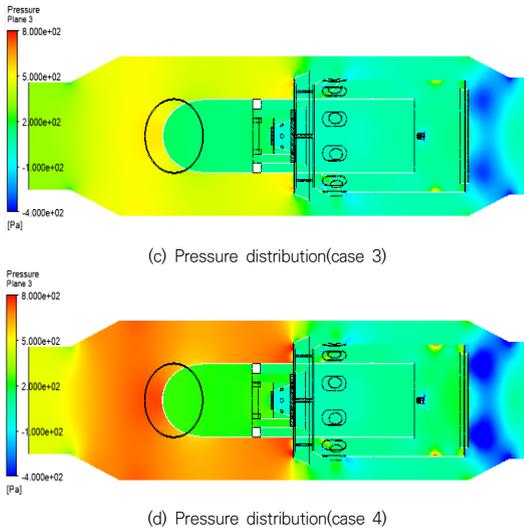
(b) Pressure distribution(case 2)

4. 결론

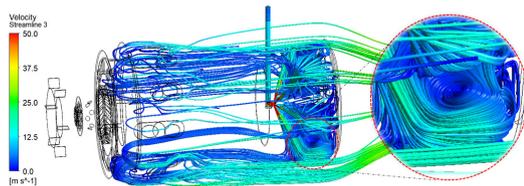
본 연구에서는 현재 개발 중에 있는 선박용 SCR 촉매 유닛 일체형 덕트용 오일 버너 시스템에서 요소수를 NH₃로 효과적으로 변환하기 위한 이류체 노즐과 믹싱 챔버 덕트에 관한 설계 타당성 여부를 속도분포 및 온도 분포에 대한 전산열유동 해석을 통해 검토하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

디젤엔진의 배기가스가 믹싱챔버의 상부에 위치한 직경 106mm의 흡을 입구로 한 덕트 가이드베인 10개와 분기시 가이드베인을 통과하면서 코안다 효과에 의해 그 속도구배가 현격히 증가함을 볼 수 있다. 요소질량분율에서 요소의 내부 재순환 영역에서 비교적 그 농도가 높은 것을 확인할 수 있다. 노즐의 분사구와 요소수가 부딪치는 측벽을 기준으로 믹싱챔버 하부에 강한 스윙(swirl)로 내부 재순환 영역이 형성되어, 열분해 반응을 통해 요소가 암모니아로 전환되기 위한 충분한 체류시간이 확보된다.

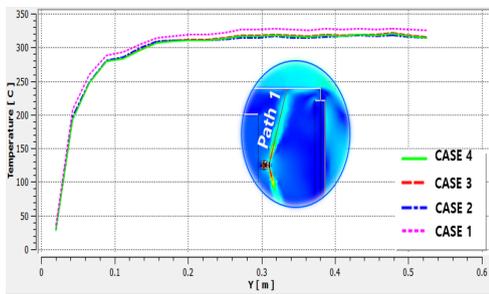
SCR 시스템에서 요소수의 분사량과 분사각도 및 믹싱 챔버의 구조에 대한 현 설계안은 요소가 300~400℃의 적절한 온도조건과 내부 재순환으로 인한 체류시간으로 요소의 암모니아 전환율이 80% 이상 달성될 수 있다.



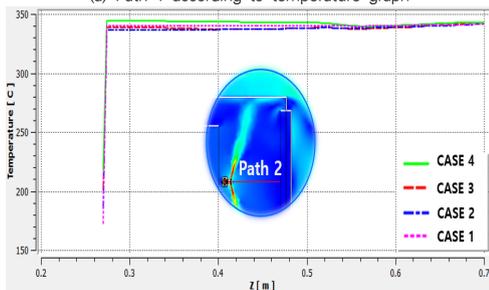
[Fig. 7] Pressure distribution according to flow conditions



[Fig. 8] Urea number diffluid nozzle



(a) Path 1 according to temperature graph



(b) Path 2 according to temperature graph

[Fig. 9] temperature graph of element particles

REFERENCES

- [1] R. R., Antos, D. Zanoelo, and M. Morbidelli, "Experimental and modeling analysis of the NO_x OUT process", Chem. Eng. SCI., Vol. 57, No. 1, pp. 27-38, 2002.
- [2] P. M. Schaber, J. Colson, S. Dietz, "Study of the urea thermal decomposition (pyrolysis) reaction and importance to cyanuric acid production", Am. Lab., pp. 13-21, 1999.
- [3] W. G. Park, J. K. Kim, S. C. Jang, S. W. Lee, "Development of SCR Catalyst Unit Integral Duct Burner", KSPSE, 2020 Spring Conference, pp.67-68, 2020.
- [4] Menter, F. and Esch, T., "Elements of Industrial Heat Transfer Predictions," 16th Bazilian Congress of Mechanical Engineering (COBEM), Uberlandia, Brazil, 2001.
- [5] D. C. Wilcox, "Turbulence modeling for CFD, DCW industries", Inc. La Canada, CA, 1993.
- [6] Launder, B. E. and Spalding, D. B., "The numerical computational of turbulence flows", Computational methods in applied mechanics and engineering,

Vol.3, pp.269-289, 1972.

- [7] K. Keller, "Low cost, high performance, high volume heatsinks", in Proc. Electronics Manufacturing Technology Symposium, pp. 113-118, 1998.
- [8] S. Narasimhan and J. Majdalani, "Characterization of compact heat sink models in natural convection", IEEE Trans. Components and Packaging Technologies, Vol. 25, Issue 1, pp.78-86, 2002.
- [9] S. P. Watson and B. G. Sammakia, "The thermal performance of a chip scale package array with simple block and plate heat sinks", in Proc. Thermal and Thermomechanical Phenomena in Electronic Systems Conf, pp.27-84, 2002.
- [10] S. C. Jang, S. M. Han, C. K. Lee, & H. C. Jung "FSI Analysis of Pneumatic Actuator", KSPSE Spring Conference, pp. 81-83, 2016.
- [11] S. C. Jang, H. D. Cho, and N. K. Kim, "Development of Gear Type Vane Damper Change Link Type in FD Fan", "KSMTE, Vol. 13, No. 1, pp.104-109. 2000.
- [12] S. C. Jang, S. H. Han. and J. W. Kim, "A Study on Performance Improvement of Gear Type Vane Damper in FD Fan(Productivity Increases & Construction Improvement)" KSMTE J. Vol.19, No.1, pp.134-139. 2010.
- [13] C. S. Yi, J. K. Hong, J. S. Suh, Y. I. Shin, and Y. S. Park, 2009, "Effect of Cutoff Angle on the Flow Characteristic of Turbo-Fan", Conference Proceedings of KSME Spring Annual Meeting(KSME09TE068), pp.311-318. 2015.
- [14] P. J. Witt, C. G. Solnordal, L. J. Mittoni, S. Finn, J. Pluta, "Optimising the Design of Fume Extraction Hoods Using a Combination of Engineering and CFD Modelling", Applied Mathematical Modelling, Vol.30, No.11, pp.1167-1179. 2006,
- [15] C. H. Kim, H. S. Ahn and T. H. Sok, "On a Method for the Durability Enhancement of Plastic Spur Gear Using Finite Element Analysis", Transactions of the KSME A, Vol. 27, No.2, pp.223-230. 2006.

장 성 철(Sung-Cheol Jang)

[정회원]



- 2004년 2월 : 경남대학교 대학원 기계공학과(공학박사)
- 2005년 3월 ~ 2009년 7월 : 삼원중공업(주) 기술연구소 연구소장
- 2009년 8월 ~ 현재 : 한국폴리텍 IV대학 충주캠퍼스 지능형기계과 교수
- 2019년 1월 ~ 현재 : 한국폴리텍IV대학 충주캠퍼스 교학처장

<관심분야>

사물인터넷, 공유압자동화회로설계, 조선해양플랜트, 밸브 IoT 제어

심 요 섭(Yo-Seop Shim)

[정회원]



- 2012년 2월 : 강원대학교 대학원 전기공학과(공학석사)
- 1987년 3월 ~ 1994년 7월 : LS산전(주) 품질관리
- 1994년 9월 ~ 1998 2월 : 한국폴리텍대학 춘천캠퍼스 전기과 교수

- 1998년 2월 ~ 현재 : 한국폴리텍IV대학 홍성캠퍼스 교수

<관심분야>

사물인터넷, 전기자동화, 전기내선공사