

2021년 가스/스팀터빈 분야 연구동향

안준*

1. 서론

지난해 (2021년) 한국유체기계학회 논문집과 한국유체기계학회 하계 및 동계 학술대회에 발표된 논문을 조사, 분석하여 국내 가스/스팀터빈 분야의 연구 동향을 분석하였다. 전년과 마찬가지로 조사된 논문을 유동장^(1~20), 열전달 및 냉각^(11~46), 시험평가 및 성능해석^(47~61), 기술 및 현황 소개^(62~79) 등으로 분류하였다. 압축기, 연소, 베어링, 회전체 동역학 등은 별도로 연구동향을 분석하므로 이 분석에서는 제외하였다.

2020년과 비교하여⁽⁸⁰⁾ 2021년도 가스/스팀 터빈 분야로 구분된 논문 수를 표1에 정리하였다. 예년과 마찬가지로 분석을 수행한 4가지 분야 중에서는 열전달을 다룬 논문 수가 가장 많았다. 유동장 관련논문은 작년보다 누설 유동 관련 논문이 증가하면서 작년보다 3편 많은 논문이 발표되었다. 국산 대형 발전용 가스터빈이 완성과 함께 지난 몇 년간 많이 발표되었던 시험평가 관련 논문은 감소하였으나 성능해석 논문이 증가하여 논문수에는 큰 증감이 없었다. 2020년 코로나로 상대적으로 감소하였던 기술 현황 및 소개 부분은 가스터빈 혁신 포럼 등이 기획되며 크게 증가하였다.

표 1 분류 기준 별 논문 수

분류 기준	논문 수 (편)	
	2020년	2021년
유동장	17	20
열전달 및 냉각	30	26
시험평가 및 성능해석	21	15
기술 및 현황 소개	8	18
합계	76	79

지난 몇 년간 주목을 받았던 3차원 프린터를 이용한 적층 제조 기술을 가스터빈의 생산에 활용한 논문들이나 인공지능이나 빅데이터 관련 논문은 예년에 비해 다소 주춤하였고 진보된 측정 기술이나 설비를 이용하여 실제 터빈 조건에 가까운 실험을 구현하거나 용량이나 처리속도가 향상된 대형

컴퓨터 자원을 활용한 CFD 연구들이 주류를 이루었다. 발전용 가스터빈의 경우 수소를 활용한 터빈이 새롭게 주목을 받았고 항공용 가스터빈에 대한 연구도 지난 몇 년간은 꾸준히 발표되고 있다. 증기터빈 부문에서는 전통적인 수증기를 이용한 증기터빈 관련 논문들도 발표되었고 지난 몇 년간 차세대 발전 시스템으로 정부 출연 연구소를 중심으로 많은 주목을 받았던 유기 랭킨 사이클이나 초임계 이산화 탄소를 이용한 브레이튼 사이클 연구는 다소 주춤한 모습이었다.

2. 유동장관련 연구

터빈 내의 유동 현상과 공력 설계에 대한 논문을 유동장 관련 연구로 분류하였다.^(1~20) 전통적으로는 터빈의 공력설계가 중심을 이루는 분야인데 한동안 2차유동 및 손실이 주를 이루다가 2017년부터 밀봉 부위의 기밀 및 누설 특성에 대한 연구가 많이 나타나기 시작해 지난 3, 4년간 가장 논문 발표가 많은 주제로 성장하였다. 밀봉 관련 논문은 2019년 7편, 2020년 4편에 이어⁽⁸⁰⁾ 2021년에도 8편의 논문이 발표되었다. 2020년에는 다양한 형상이 검토되었지만 2021년에는 계단형 래버린스 실이 집중적으로 검토되었다.^(4,6,7,13,19) 계단형 래버린스 실에서 최적 계단 높이 및 위치⁽⁴⁾, 간극 및 회전 효과⁽⁶⁾, 하니콤포의 하이브리드 효과⁽⁷⁾, 케이싱 형태의 영향⁽¹⁹⁾ 등이 검토되었다. 지금까지 소개한 논문들은 RANS 기반의 CFD 연구들이는데 2021년에는 래버린스 실에 대해 LES를 수행한 연구⁽¹³⁾나 실험을 수행한 연구⁽¹⁴⁾ 결과도 발표가 된 점에도 주목할만 하다. 밀봉 구조 이외에는 팁 간극에서의 누설 특성을 실험한 연구가 2편 발표되었다.^(5,8)

밀봉과 누설 유동 이외에 전통적인 공력 성능 관련 연구도 6편 발표되었다.^(1,3,12,15,17,18) 축류식 터빈에 대하여 비정상 효과를 포함하여 LES⁽¹⁵⁾나 DES⁽¹²⁾를 수행하여 보다 정확한 공력해석을 함과 동시에 비정상 유동 특성을 파악하거나 계산 영역을 크게 확장하여 부품간의 상호 작용을 고려하는 CFD를 수행한 연구들이 발표되었다.^(1,3,18) 그 밖에는 끝벽면과 터빈 블레이드 사이에 발생하는 복잡한 유동을 파악한 CFD 연구들이 발표되었다.^(2,10,11,20)

* 국민대학교 기계시스템공학부 (School of Mechanical Engineering, Kookmin University)
E-mail : jahn@kookmin.ac.kr

3. 열전달 및 냉각 관련 연구

열전달 및 냉각 분야에서는 가스터빈의 냉각 연구가 주를 이루고 있고 블레이드의 냉각 기법 중에 막냉각에 관한 연구가 가장 많이 발표되어 왔다. 2020년에는 30편의 논문 중 13편이 막냉각을 다루었고⁽⁸⁰⁾ 2021년에도 26편의 논문 중 14편이 막냉각에 집중되었다. 2020년에도 7편이 발표되었던 Fan-shaped hole의 막냉각 관련 논문들은 2021년에는 특별 세션까지 구성이 되면서 9편이 발표되었다. Fan-shaped hole을 적용한 막냉각에 대해서는 끝벽면에 적용한 경우^(21,22) 확장 부분에 썬기 형태를 적용한 경우⁽²⁵⁾ 등이 소개되었고 기법면에서는 오픈 소스코드를 활용한 크에디모사^(24,38,42) 천음속 풍동에서의 측정이 발표되었다.⁽²⁸⁾ 예년에 보였던 transpiration cooling 등 새로운 개념의 막냉각 기법은 2021년에는 발표되지 않았다.

가스터빈 블레이드의 냉각 기술 중에서 막냉각에 이어 두 번째로 많은 연구가 이루어지고 있는 영역은 내부 대류 냉각이다. 내부 대류 냉각 분야에서 지난 몇 년간 3D 프린팅을 이용한 새로운 형태의 열전달 촉진체를 시도한 연구가 활발히 발표되었는데 2021년에는 관련 발표가 소폭 감소하여 3편의 논문이 발표되었다.^(31,34,39) 2019년부터 발표되기 시작한 열응력 관련 논문은 2021년에는 1편 발표되었다.⁽²⁷⁾ 2021년에는 막냉각이나 내부 대류 냉각에 비해 상대적으로 주목을 받지 못했던 충돌 제트 냉각이나 핀-휀에 대한 연구가 발표되기 시작하였다.^(40,45,46) 전도를 포함한 복합열전달을 고려하면서 새롭게 주목을 받고 있는데 향후 지속적인 연구 결과가 발표될 수 있을지 기대된다.

4. 시험평가 및 성능해석 관련 연구

시험 평가 분야는 국산 발전용 가스터빈 개발이 완성되면서 2021년에는 논문수가 소폭 감소하였으나 현장 실증 결과들이 등장하면서 새로운 기대를 모으고 있다. 항공대학교에서 2020년에 이어 천음속 시스템 구축 및 실험 결과⁽⁴⁷⁾를 발표하였고 서울대학교에서 케이스케이드 누설 평가 시스템을 소개하였다.⁽⁴⁸⁾ 한국전력을 중심으로 온라인 모니터링 기술⁽⁵²⁾, 1.5 MW급의 가스터빈에 수소 혼소를 적용한 실증 연구⁽⁵⁸⁾ 등의 실증 연구들이 발표되어 향후 추가적인 연구와 발표가 기대되었다.

성능해석 분야는 크게 기존의 시스템 시뮬레이션에서 고려하지 못했던 부분을 추가적으로 고려하여 시뮬레이션을 고도화하는 연구와 기존의 사이클을 개선하였거나 새롭게 제안된 사이클을 해석하여 성능 및 경제성 등을 평가한 연구로 구분할 수 있다. 2021년에는 예년에 비해서 초임계 사이클이나 유기 랭킨 사이클에 대한 연구 발표가 감소하면서 첫 번째 범주에 해당하는 연구 결과가 주로 발표되었다.

복합화력 발전에서 상부 사이클 운전에 따라 하부 사이클의 수정된 성능 곡선을 생성하는 시뮬레이션 연구⁽⁵⁵⁾ 보조 압축기를 사용하였을 때의 동특성⁽⁵⁴⁾ 등이 발표되었다. 성능해석 분야는 인공지능을 이용한 연구가 가장 활발한 분야이다. 인공지능 기술은 가스터빈, 증기터빈의 고장진단, 피로파괴, 수명예측 등에 많이 사용되는데 2021년에는 연소불안정성 예측⁽⁵⁹⁾에 활용한 연구가 등장하였다.

5. 기술 및 현황소개 관련 논문

2021년에는 2020년 COVID-19 등의 영향으로 다소 위축되었던 기술 및 현황소개 관련 발표가 2019년 수준을 회복하면서 18편이 발표되었다. 이와 같은 증가에는 2021년 학술대회에서 가스터빈 혁신 포럼 세션이 기획이 된 것이 큰 역할을 하였다. 2021년 하계 학술대회에서 에너지 전환시대의 친환경 가스터빈 개발 방향이 2개의 세션으로 구성되어 현재까지의 국산 발전용 가스터빈의 개발 및 실증 현황이 소개되었고^(63,64) 탄소 중립으로 대표되는 에너지 전환시대의 친환경 가스터빈 개발 방향이 수소 터빈을 중심으로 소개되었다.^(65,69,70,77)

국산 발전용 가스터빈과 친환경 가스 터빈 관련 기술 및 현황소개 이외에는 가스터빈 스팀터빈 분야에서 가장 많은 논문이 발표되는 주제인 Fan-shaped 홀을 이용한 막냉각 관련 연구 동향이 특별세션으로 구성되어 소개되었고 가스터빈 역설계도 특별세션으로 구성되어 조명을 받았다.

6. 결 론

2021년 한국유체기계학회 논문집과 한국유체기계학회 하계 및 학술대회에서 발표된 논문을 바탕으로 2021년 가스/스팀 터빈 분야의 연구 동향을 살펴보았다. 2021년에는 2020년과 유사한 편수의 논문이 발표되었고 예년과 마찬가지로 스팀터빈보다는 가스터빈에 대해서는 열전달과 성능해석이 주를 이루고 있으나 수소 가스터빈, 인공지능, 적층 제조 기술 등 새로운 경향이 나타나기도 하고 초임계 이산화탄소 사이클이나 유기랭킨 사이클과 같이 발표가 축소된 사례도 찾을 수 있었다.

열전달 분야에서는 2020년에 이어 막냉각 관련된 기술이 가장 많이 발표되었으나 실험의 범위가 천음속 조건으로 넓어졌고 LES 기법이 보다 폭넓게 사용되었으며 지금까지 수행한 연구를 정리하여 소개하는 특별세션이 구성되기도 하였다. 내부 대류 냉각의 경우 2019, 2020년에 이어 3차원 프린팅을 적용한 적층 제조방식으로 기존보다 복잡한 구조가 시도되었고 충돌 제트나 핀-휀과 같은 주제들이 복합열전달과 연계되어 다시 등장하였다.

시험평가, 성능해석 분야에서는 2020년부터 많이 발표되

었던 실 터빈 조건을 모사하는 평가시스템의 구축 및 평가사례가 는 다소 감소하였고 보조 장치를 도입하였을 때의 시스템의 동특성을 연구한 논문이 발표되었고 수소를 혼소한 가스 터빈의 실증 결과가 발표된 것은 주목할만 하였다. 2020년에 잠시 자취를 감추었던 인공지능이나 빅데이터를 활용한 연구가 2021년에는 연소 안정성 등의 분야에서 다시 나타나기 시작하였다.

기술 현황의 경우 2020년에는 COVID-19의 영향으로 다소 감소하였으나 2021년에는 COVID-19가 이어졌음에도 발표 논문 수가 2019년 수준을 회복하였다. 탄소 중립이 큰 과제로 부각이 되면서 기존의 국산 가스터빈 개발 현황이 정리되고 수소를 혼소 또는 전소하는 가스터빈 기술이 집중적으로 소개되었다.

References

- (1) Chung, H., Rhee, D.-H., Kang, Y.-S., 2021, "Simulation of Aero-propulsion Micro Gas Turbine Engine Using CFD," The KSFM Journal of Fluid Machinery, Vol. 24, No. 1, pp. 5~12.
- (2) Lee, B.J., Park, K.S., Jeong, J.Y., Kwak, J.S., Chung, J.T., 2021, "Numerical Investigation on Effects of Rib or Cavity Design of Gas Turbine Blade Tip on the Flow and Heat Transfer Characteristics near Tip Region." The KSFM Journal of Fluid Machinery, Vol. 24, No. 3, pp. 5~14.
- (3) Kim, J.J., Yang, J.S., Min, J.K., Kallath, H., 2021, "A numerical study on the multi-stage shape optimization for the design of turbo fan blades," Proceedings of the KSFM 2021 Summer Annual Meeting, pp. 129~130.
- (4) Kim, J.H., Ahn, J., 2021, "Optimal Design to Reducing Leakage Flow Rate of Stepped Labyrinth Seal," Proceedings of the KSFM 2021 Summer Annual Meeting, pp. 269~270.
- (5) Chung, J., Baek, S., Hwang, W., 2021, "Experimental investigation of aerodynamic performance due to the tip clearance in a gas turbine rotor cascade," Proceedings of the KSFM 2021 Summer Annual Meeting, pp. 271~272.
- (6) Hur, M.S., Moon, S.W., Kim, T.S., Kim, D.H., 2021, "Effect of clearance on the leakage characteristics of rotating labyrinth seal," Proceedings of the KSFM 2021 Summer Annual Meeting, pp. 273~274.
- (7) Jo, S.Y., Hur, M.S., Moon, S.W., Kim, T.S., 2021, "Numerical study on the stepped seal with mixed honeycomb about leakage characteristic," Proceedings of the KSFM 2021 Summer Annual Meeting, pp. 294~295.
- (8) Hong, D., Song, S., 2021, "Investigation of Aerodynamic Loss due to Interaction between Leakage Flow and Tip Clearance Flow in Linear Turbine Cascade," Proceedings of the KSFM 2021 Summer Annual Meeting, pp. 298~299.
- (9) Son, D., Suh, J.H., 2021, "Changes in leakage and Dynamic characteristics according to Labyrinth Seal rub-groove," Proceedings of the KSFM 2021 Summer Annual Meeting, pp. 322~323.
- (10) Yoon, T., Choi, S., Song, H.S., Lee, H.J., Cho, H.H., 2021, "Study on improving sealing effectiveness by introducing airfoil shape inside gas turbine rim seal." Proceedings of the KSFM 2021 Summer Annual Meeting, pp. 324~325.
- (11) Lee, S.Y., Park, H.S., Kim, T., Choi, S., Song, H.S., Cho, H.H., 2021, "Thermal and flow characteristics on 1st stage vane endwall with purge flow," Proceedings of the KSFM 2021 Winter Annual Meeting, pp. 142~143.
- (12) Lee, J., 2021, "Flow Analysis of Gas-Turbine Engines using Delayed Detached Eddy Simulation (DDES)," Proceedings of the KSFM 2021 Winter Annual Meeting, pp. 174~175.
- (13) Kim, J.H., Chun, Y.H., Ahn, J., 2021, "Stepped Labyrinth Seal CFD Simulation Using RANS and LES," Proceedings of the KSFM 2021 Winter Annual Meeting, pp. 262~263.
- (14) Lee, J., Kim, J., Goo, B., Lee, S.Y., Lee, K., Hong, G., Kim, D., Cho, G., 2021, "Static seal leakage performance test," Proceedings of the KSFM 2021 Winter Annual Meeting, pp. 264~265.
- (15) Jun, S., Kang, Y.S., Rhee, D.-H., 2021, "Nozzle-Rotor Large Eddy Simulation with Fluctuation Inlet Condition," Proceedings of the KSFM 2021 Winter Annual Meeting, pp. 401~402.
- (16) Kim, J., Han, K., Hwang, W., 2021, "A Study on the Pressure Drop Characteristics According to the Shape of Strainer in the Gas Turbine Combustor," Proceedings of the KSFM 2021 Winter Annual Meeting, pp. 264~265.
- (17) Park, T.C., Lim, B.J., Cha, B., 2021, "Experimental Study on Nozzle Choking of Low Pressure Turbine of Gas Turbine for General Aviation Aircraft," Proceedings of the KSFM 2021 Winter Annual Meeting, pp. 412~413.
- (18) Kang, S.-H., Jun, S., Park, T.C., Lim, B.J., 2021, "Numerical simulation for the aerodynamics of two stage high pressure turbine," Proceedings of the KSFM 2021 Winter Annual Meeting, pp. 414~415.
- (19) Hur, M.S., Jo, S.Y., Kim, T.S., Kim, D.H., Jung, I.Y., 2021, "A study on the leakage characteristics of stepped labyrinth seals according to the casing type," Proceedings of the KSFM 2021 Winter Annual Meeting, pp. 424~425.
- (20) Lee, E.-H., Chu, S.-C., Im, J.-H., Joo, W.-G., 2021, "Numerical Study of NGV Endwall Flow characteristics Caused by change in Purge flow rate," Proceedings of the

- KSFM 2021 Winter Annual Meeting, pp. 426~427.
- (21) Kim, S., Lee, D.-E., Chung, H., Kang, Y.S., Rhee, D.-H., 2021, "Experimental Study on Film Cooling Effectiveness Downstream of Fan-shaped Film Cooling Holes with Staircase Geometry at Hole Exit," The KSFM Journal of Fluid Machinery, Vol. 24, No. 4, pp. 5~14.
- (22) Chung, H., Kim, S., Rhee, D.-H., Kang, Y.-S., 2021, "Measurement of Film Cooling Efficiency of Fan-shaped Holes on Endwall of Turbine Blades," The KSFM Journal of Fluid Machinery, Vol. 24, No. 4, pp. 5~14.
- (23) Jun, S., Rhee, D.-H., Kang, Y.S., Chung, H., Kim, J.-H., 2021, "Cooling Hole Arrangement Design of High Pressure Turbine for the Improvement of Cooling Performance," The KSFM Journal of Fluid Machinery, Vol. 24, No. 6, pp. 5~11.
- (24) Kim, S., Kang, S.-H., Rhee, D.-H., Kang, Y.S., 2021, "Study on the Heat Flow Analysis of Fan-Shaped Cooling Hole on a Flat Plate using OpenFOAM," Proceedings of the KSFM 2021 Summer Annual Meeting, pp. 105~108.
- (25) Song, Y.J., Jeong, J.Y., Kwak, J.S., Rhee, D.-H., Chung, H., 2021, "Effect of Wedge Exit of a Fan-shaped Hole on the Film Cooling Effectiveness," Proceedings of the KSFM 2021 Summer Annual Meeting, pp. 109~110.
- (26) Kim, Y.S., Kwak, J.S., 2021, "Heat Transfer Coefficient Measurement Of 3-Dimensional Gas Turbine Blade Internal Cooling Passage," Proceedings of the KSFM 2021 Summer Annual Meeting, pp. 180~181.
- (27) Park, J.S., 2021, "Thermal Stress Analysis of Effusion Plate in Gas Turbine Combustor," Proceedings of the KSFM 2021 Summer Annual Meeting, p. 268.
- (28) Jeong, J.Y., Kang, M.S., Kwak, J.S., 2021, "The Effect of Coolant Injected from Shower-Head on the Film Cooling of Vane Surface," Proceedings of the KSFM 2021 Summer Annual Meeting, pp. 296~297.
- (29) Lee, H.J., Kim, T., Park, H.S., Song, H.S., Heo, J., Cho, H.H., 2021, "Effect of slope in front of effusion hole on film cooling effectiveness," Proceedings of the KSFM 2021 Summer Annual Meeting, pp. 326~328.
- (30) Heo, J., Park, H.S., Song, H.S., Kim, T., Lee, C., Cho, H.H., 2021, "Effect of Inner Entrance Hole Height on Heat Transfer in Ribbed Trailing Edge Channel," Proceedings of the KSFM 2021 Summer Annual Meeting, pp. 329~330.
- (31) Song, H.S., Park, H.S., Kim, T., Choi, S., Kim, J., Cho, H.H., 2021, "Heat transfer characteristics in Impingement/effusion cooling with additive manufactured internal structure," Proceedings of the KSFM 2021 Summer Annual Meeting, pp. 350~352.
- (32) Kim, W., Joeng, J.Y., Kim, G.M., Kwak, J.S., 2021, "Heat Transfer Coefficient Measurement in Blow-down Type Wind Tunnel." Proceedings of the KSFM 2021 Winter Annual Meeting, pp. 9~10.
- (33) Ryu, J., Hwang, W., 2021, "Surface temperature measurement of a gas turbine blade using infrared thermography," Proceedings of the KSFM 2021 Winter Annual Meeting, pp. 140~141.
- (34) Bang, M., Kim, M.H., Kim, D., 2021, "Thermal design and DfAM of gas turbine component for additive manufacturing," Proceedings of the KSFM 2021 Winter Annual Meeting, pp. 172~173.
- (35) Kim, Y.S., Kang, M.S., Kwak, J.S., 2021, "The Effect of Metering Length and Hole Length on the Film Cooling Effectiveness of Fan-Shaped Film Cooling Hole," Proceedings of the KSFM 2021 Winter Annual Meeting, pp. 194~195.
- (36) Heo, J., Lee, B.J., Park, K.S., Chung, J.T., Jeong, J.Y., Kwak, J.S., 2021, "Numerical Study on the Effects of Film Cooling Hole Location on Heat Transfer Characteristics of a Partial Cavity Tip Blade," Proceedings of the KSFM 2021 Winter Annual Meeting, pp. 196~197.
- (37) Kim, J.H., Kang, C.W., Lee, S.R., 2021, "Performance analysis of a film-cooling hole with inlet groove," Proceedings of the KSFM 2021 Winter Annual Meeting, pp. 198~199.
- (38) Kim, S., Rhee, D.-H., Kang, Y.S., 2021, "Large Eddy Simulations for Fan-Shaped Film Cooling Hole on a Flat Plate using OpenFOAM," Proceedings of the KSFM 2021 Winter Annual Meeting, pp. 200~201.
- (39) Song, H.S., Park, H.S., Kim, T., Lee, H.J., Heo, J., Cho, H.H., 2021, "Cooling efficiency and flow characteristics on additively manufactured lattice structure in perforated plate cooling," Proceedings of the KSFM 2021 Winter Annual Meeting, pp. 202~203.
- (40) Kim, J.S., Shin, D.H., 2021, "Jet Impingement Cooling for Gas Turbine Combustor Liner," Proceedings of the KSFM 2021 Winter Annual Meeting, pp. 269~270.
- (41) Rhee, D.-H., Kang, Y.S., Kwon, S.-H., Min, T., Kwak, J.S., 2021, "Introduction of Research Program on Fan-shaped Film Cooling Hole Technology for Aviation Gas Turbine Engines," Proceedings of the KSFM 2021 Winter Annual Meeting, pp. 324~325.
- (42) Kang, Y.S., Rhee, D.-H., Chung, H., Jun, S., Kim, S., 2021, "Numerical Simulation Research Trend of KARI for Predicting Cooling Turbine Performances," Proceedings of the KSFM 2021 Winter Annual Meeting, pp. 326~327.
- (43) Song, Y.J., Kim, G.M., Kang, Y.J., Jeong, J.Y., Park, S.H., Lee, S.I., Seo, H.J., Kim, Y.S., Kang, M.S., Kwak, J.S., 2021, "The Research Statue of Korea Aerospace University for Technology Development of Highly Efficient Fan-shaped Film Cooling Holes for Cooled Turbine in Aviation Gas Turbine Engines," Proceedings of the KSFM

- 2021 Winter Annual Meeting, pp. 328~329.
- (44) Rhee, D.-H., Chung, H., Kim, J., Kim, H.M., Kim, S., Lee, D.-E., 2021, "Experimental Study of Cooling Performance for Turbine Components with Various Fan-shaped Film Cooling Holes," Proceedings of the KSFM 2021 Winter Annual Meeting, pp. 330~331.
- (45) Kim, T., Choi, S., Park, H.S., Song, H.S., Lee, H.J., Cho, H.H., 2021, "Effect of Jet Spacing on Heat Transfer Characteristics of Jet Plate for Gas Turbine Blade Leading Edge Impingement /Effusion Cooling," Proceedings of the KSFM 2021 Winter Annual Meeting, pp. 410~411.
- (46) Park, H.S., Choi, S., Kim, T., Song, H.S., Lee, H.J., Cho, H.H., 2021, "Effect of Jet Injection Location on Heat Transfer Characteristics of Pin-Fin Channel," Proceedings of the KSFM 2021 Winter Annual Meeting, pp. 418~419.
- (47) Kwak, J.S., Jeong, J.Y., Kang, Y.J., Kim, G.M., Lee, S.I., 2021, "Development of a Transonic Cascade Facility for the Heat Transfer Research of Gas Turbine Blade Tip," The KSFM Journal of Fluid Machinery, Vol. 24, No. 2, pp. 28~33.
- (48) Hong, D., Kim, M., Song, S., 2021, "Design of Turbine Cascade with Leakage Flow System," The KSFM Journal of Fluid Machinery, Vol. 24, No. 5, pp. 44~48.
- (49) Lee, D.-E., Kim, S.-M., Chung, H., Kang, Y.S., Rhee, D.-H., 2021, "Implementation of Engine Start Control Logic of Micro Gas Turbine Engine Using Arduino," Proceedings of the KSFM 2021 Summer Annual Meeting, pp. 33~34.
- (50) Kang, Y.S., Huh, J., 2021, "Aerodynamic Design of Small Gas Turbine Engine Components and Their Performance Assessments," Proceedings of the KSFM 2021 Summer Annual Meeting, pp. 37~39.
- (51) Moon, S.W., Kim, T.S., 2021, "Development of gas turbine operation condition and blade thermal structural analysis program," Proceedings of the KSFM 2021 Summer Annual Meeting, pp. 292~293.
- (52) Kim, H.-D., 2021, "On-line monitoring technology for lubricating & hydraulic oil to improve the reliability of rotating machineries," Proceedings of the KSFM 2021 Summer Annual Meeting, pp. 300~301.
- (53) Jun, S., Rhee, D.-H., Kang, Y.S., Chung, H., Kim, J.-H., 2021, "Validation of Numerical Analysis for the 1st Stage Nozzle of E3 High Pressure Turbine," Proceedings of the KSFM 2021 Summer Annual Meeting, pp. 320~321.
- (54) Moon, S.W., Kim, T.S., 2021, "PA study on improvement of gas turbine ramp rate using sub-compressor," Proceedings of the KSFM 2021 Winter Annual Meeting, pp. 1~2.
- (55) Park, J.H., Lee, J.H., Kim, T.S., Jung, K.W., 2021, "Development of a bottoming cycle analysis program to generate correction curves for gas turbine combined cycle plants," Proceedings of the KSFM 2021 Winter Annual Meeting, pp. 3~4.
- (56) Cho, K., Hwang, M., Cho, M., Kim, N., Jang, Y., 2021, "Remaining life assessment of steam turbine rotor according to operation type," Proceedings of the KSFM 2021 Winter Annual Meeting, pp. 7~8.
- (57) Bang, M., Song, I., Kim, Y., Kang, Y., Jung, J., 2021, "Flow Path Design of Turbine Blade Thermal Fatigue Test Facility," Proceedings of the KSFM 2021 Winter Annual Meeting, pp. 144~145.
- (58) Hur, K., Jang, H., 2021, "Performance Evaluation of Eco-friendly Dual Fuel Power(1.5MW)," Proceedings of the KSFM 2021 Winter Annual Meeting, pp. 146~147.
- (59) Park, G.S., Joo, M.L., Bang, M.H., Kang, H.S., Jang, S.H., Kim, D.S., 2021, "Gas turbine combustion instability diagnosis and prediction using AI technology," Proceedings of the KSFM 2021 Winter Annual Meeting, pp. 271~272.
- (60) Kim, J.S., Moon, S.W., Kim, T.S., 2021, "Modeling and performance analysis of gas turbine using commercial simulation software," Proceedings of the KSFM 2021 Winter Annual Meeting, pp. 420~421.
- (61) Joo, M.L., Park, G.S., Bang, M.H., Kang, H.S., Jang, S.H., Kim, D.S., 2021, "Expected of Gas Turbine Performance Prediction based on RTDB," Proceedings of the KSFM 2021 Winter Annual Meeting, pp. 422~423.
- (62) Min, T., Min, K. S., Hwang, Y., Choi, Y., Jeong, E.-S., Rhee, D.-H., Kang, Y.-S., Chung, H., 2021, "Manufacturing Process of Micro Turbojet Engine," Proceedings of the KSFM 2021 Summer Annual Meeting, pp. 35~36.
- (63) Joo, W.G., 2021, "Current status and direction of development of gas turbines for power generation in Korea," Proceedings of the KSFM 2021 Summer Annual Meeting, p. 157.
- (64) Cho, H., 2021, "The role of power generation companies for field test of Korean gas turbines," Proceedings of the KSFM 2021 Summer Annual Meeting, p. 158.
- (65) Kim, J., 2021, "Strategies for fostering the Korean gas turbine industry and entering the global market", Proceedings of the KSFM 2021 Summer Annual Meeting, p. 159.
- (66) Kim, T., 2021, "Turbine blade reengineering technology platform development," Proceedings of the KSFM 2021 Summer Annual Meeting, pp. 174~175.
- (67) Yoon, B., 2021, "Gas turbine blade reverse engineering development process and improvement direction", Proceedings of the KSFM 2021 Summer Annual Meeting, pp. 176~177.
- (68) Choi, Y., 2021, "Single crystal elastoplastic modeling and verification for prediction of deformation behavior of

- power turbine Fir-Tree part,” Proceedings of the KSFM 2021 Summer Annual Meeting, pp. 178~179.
- (69) Kim, D., 2021, “Role and necessity of LNG combined cycle power plant,” Proceedings of the KSFM 2021 Summer Annual Meeting, p. 220.
- (70) Do, H., 2021, “The role of gas turbines as eco-friendly power generation sources,” Proceedings of the KSFM 2021 Summer Annual Meeting, p. 221.
- (71) Kim, J., Kim, S., Park, H., Kim, S., 2021, “Hydrogen Combustion Gas Turbine of Hanwha Aerospace,” Proceedings of the KSFM 2021 Winter Annual Meeting, pp. 5~6.
- (72) Lee, J.W, 2021, “Development of main equipment design and manufacturing technology for standard gas combined cycle power generation,” Proceedings of the KSFM 2021 Winter Annual Meeting, p. 53.
- (73) Jung, J., Kang, Y.K, Kim, Y.D., Bang, M.H., 2021, “Development of F-class or higher gas turbine blade prototype performance verification technology,” Proceedings of the KSFM 2021 Winter Annual Meeting, pp. 54~55.
- (74) Ahn, J., Ahn, S., 2021, “1500°C class gas turbine high temperature component performance improvement design and component manufacturing technology,” Proceedings of the KSFM 2021 Winter Annual Meeting, pp. 56~57.
- (75) Jung, S.H., Youn, S.J., Noh, T.W., Kang, S.Y., Jung, M., Woo, T.K., 2021, “Repair Maintenance Technology for High Temperature Components in Gas Turbine,” Proceedings of the KSFM 2021 Winter Annual Meeting, pp. 58~61.
- (76) Kim, M., Cho, E., Kim, H., 2021, “Development of Eco-friendly Combustor for Hydrogen Gas turbine,” Proceedings of the KSFM 2021 Winter Annual Meeting, pp. 62~64.
- (77) Lee, D.H., 2021, “The Role of Hydrogen Turbine in the Carbon Neutral Era and Current Status of Doosan Heavy Industries & Construction’s Hydrogen Turbine Development,” Proceedings of the KSFM 2021 Winter Annual Meeting, p. 101.
- (78) Nam, S.S., 2021, “S1 Engine Test and Gimpo Cogeneration Demonstration Status,” Proceedings of the KSFM 2021 Winter Annual Meeting, p. 102.
- (79) Hong, K.W., 2021, “7FA Re-engineering Program (Doosan Advanced Re-engineered Turbine, DART),” Proceedings of the KSFM 2021 Winter Annual Meeting, p. 103.
- (80) Ahn, J., 2021, “Research Trends in Gas/Steam Turbine in 2020,” The KSFM Journal of Fluid Machinery, Vol. 24, No. 2, pp. 70~74.