

◎ 특 집 : 연구실 소개

서강대학교 기계공학과 전산유체공학 연구실 소개

허 남 건¹

1. 머리말

최근 다양한 산업 현장에서 CFD를 이용하여 설계하고 해석하는 사례가 일반화되어가고 있으며, 거의 모든 업체에서 컴퓨터를 이용한 CAE (Computer Aided Engineering)를 수행하고 있기 때문에 CFD에 대한 연구 여건 또한 어느 정도 갖추어 졌다고 볼 수 있다. 특히 CFD가 실험을 대체할 수 있고 간단히 빨리 적용할 수 있다는 이점 때문에 더욱 제품 설계시 이에 대한 관심이 높아지고 있다. 본 고에서는 이러한 CFD에 대한 연구와 프로젝트를 수행하고 있는 서강대학교 기계공학과 전산 유체 연구실에 대하여 소개하고자 한다.

서강대학교 기계공학과는 1993년에 설립된 학과이며, 1996년 3월 허남건 교수의 부임으로 전산 유체공학연구실이 발족되었다. CFD연구실은 짧은 기간동안 다음과 같은 전산 및 실험장비들을 갖추고, 범용 CFD 프로그램 개발, 자동차 및 고속전철, 터보기계, 자연공조, 열전달 촉진, CFD 응용 최적설계 등 활발한 연구를 진행하고 있다.

- 전산장비 및 S/W
- SGI Origin2000 (4 R10k CPU, 2GB Memory, 54GB Hard Disk)
- SGI Indigo2 Solid Impact
SGI O2 3set
- Linux Clustering Server (11 Nodes, 2 Intel Pentium III 850MHz CPU per node, 512 MB Memory, 18GB Hard Disk per node, 120 GB Hard Disk for storage)
- Pentium IV PC 및 Notebook 다수
- Tektronix Phaser 560 Color Printer

- STAR-CD (상용 유동해석 프로그램)
- FRONTIER (최적화 프로그램)
- PRO-AM (상용 자동계산격자 생성 프로그램)

· 실험장비

- Towing Tank (1m×1m×12m)
- Wind Tunnel
- Hot Wire Anemometry
- Laser Doppler Velocimetry
- Digital Video Camera and Image Grabber
- Thermo Tracer
- CCD Camera 등

특히 고성능 Linux Clustering Server의 구축으로 저렴한 비용으로 슈퍼컴퓨터 성능에 맞먹는 강력한 시스템을 사용할 수 있게 되었으며, 실제적으로 많은 분야의 응용 문제를 경제성 및 효율성을 가지고 해결할 수 있게 되었다.

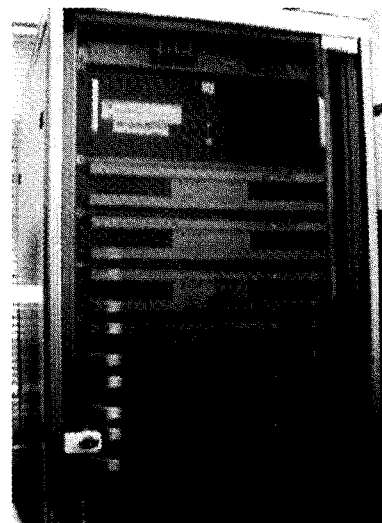


Fig. 1 Linux Clustering Server

¹ 정희원, 서강대학교 기계공학과
E-mail : nhur@ccs.sogang.ac.kr

2. 주요연구분야

본 연구실에서 수행하고 있는 연구분야는 크게 CFD 방법론 및 코드 개발과 CFD 응용분야로 나눌 수 있으며, 수행하고 있는 연구는 다음과 같다.

2.1 CFD 방법론 및 코드개발

: 공학용 소프트웨어 기술개발사업

CFD를 기계류의 설계에 적용하기 위해서는 CFD 코드의 개발이 필수적이다. 본 연구실의 CFD 방법론 및 코드개발분야의 연구로는 허남건 교수가 다년간 수행해온 유동해석 코드를 기반으로 현재 다양한 유동해석을 위한 코드 개발 및 Pre/Post Processor의 개발이 진행되고 있다. 아울러 본 연구는 2001년 11월에 과기부 연구개발사업 특정연구개발사업부문 공학용 소프트웨어 기술개발사업으로 선정되어 활발히 연구가 진행 중에 있다. 공학용 소프트웨어 기술개발사업은 크

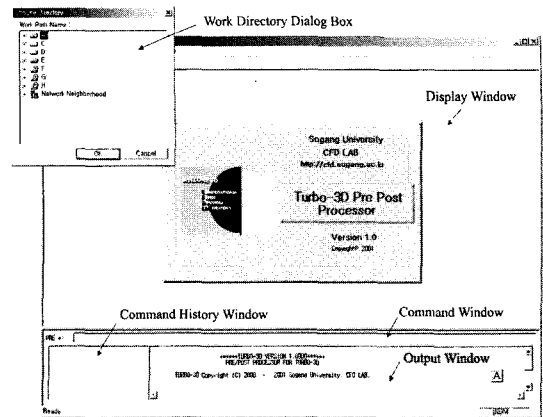


Fig. 2 Main window of pre/post processor for general purpose flow analysis program

게 코드를 개발하는 1단계, 코드의 안정화 및 준 상용화 단계인 2단계, 그리고 상용화 단계인 3단계로 나누어져 있으며, 본 연구실에서 수행하고 있는 연구는 그동안 많은 부분에서 검증된 프로그램을 이용하여 2단계부터 시작하여 현재 1년차 연

Table 1. Comparison of methodology & capabilities between the present program and STAR-CD

	STAR-CD	Present Program	Remarks (to be upgraded)
Coordinate	3-D General, Non-Orthogonal	3-D General, Non-Orthogonal	
Mesh	Unstructured	Structured	Block-Structured, Unstructured
Differencing Scheme	CDS, Upwind, LUD, Quick, MARS, SFCD, GAMMA	CDS, Upwind, LUD, Hybrid, Power Law, Quick	
Physics Model	Steady, Pseudo-Transient, Transient Incompressible, Compressible Flow Combustion, Free Surface, Two-Phase Flow	Steady, Transient Incompressible	Compressible Flow Combustion, Free Surface, Two-Phase Flow, Magnetic Flow
Solution Algorithm	SIMPLE, SMPISO, PISO	SIMPLE	
Turbulent Model	k - ε /High, Low Reynolds, RNG, Chen, Cubic, Quadratic k - L LES/Smagorinsky, KL Model	k - ε / Standard k - ε /RNG	
Boundary Condition	Inlet, Outlet, Wall, Symmetry, Pressure, Cyclic, Stagnation, Baffle, Free stream, Attach	Inlet, Outlet, Wall, Symmetry, Pressure, Cyclic	
User Subroutine	Available	Available	
Rotational Effect	Implicit, Explicit	Implicit	
Moving Mesh	Cell Topology Change	Cell Transformation Method	

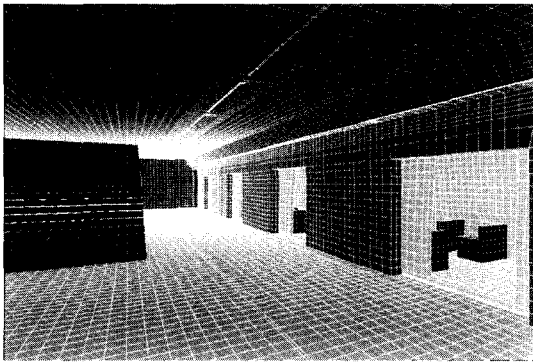


Fig. 3 Window of pre processing for grid test

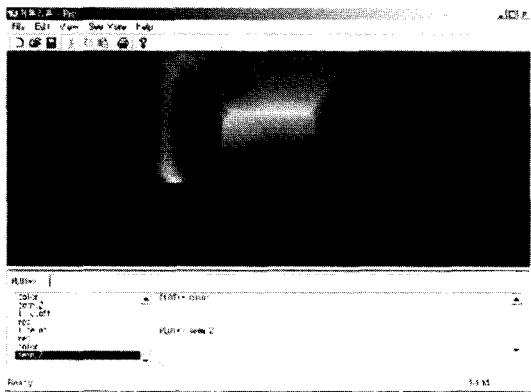


Fig 4. Window of post processing for fire simulation

구를 완료하였다. 아울러 Fig. 2~4와 같은 전용 전/후처리 장치를 개발을 통해 상용화 단계로 나아가기 위한 모습을 갖춰 가고 있다. 공동 연구 기관으로서 중앙대, 홍익대 등이 참여하고 있으며, 범용 프로그램 개발을 위해 다상유동, 연속주조, 확산연소, 자기장 해석등 다양한 모델들이 연구되어 해석 코드내에 포함되고 있다. 다상유동의 경우 기존의 VOF방법과 Level Set 방법의 장점을 취한 CLSVOF (Coupled LS-VOF)를 이용하여 Fig. 5와 같은 기포의 상승, 합체, 액적의 벽면 충돌등의 해석할 수 있는 코드를 개발하였다. 확산연소는 여러 가지 모델링이 고려될 수 있으나 본 연구에서는 혼합분율과 Favre밀도 평균을 적용한 확산연소모델을 통해 실험결과에 상응하는 결과를 보여주었다. 또한 EMBR 과 고상화에 대한 모델을 사용하여 연속주조공정에 대한 코드를 개발하였으며 이를 통해 실제 주조 공정에 적용할 수 있는 프로그램의 근간을 마련하였다.

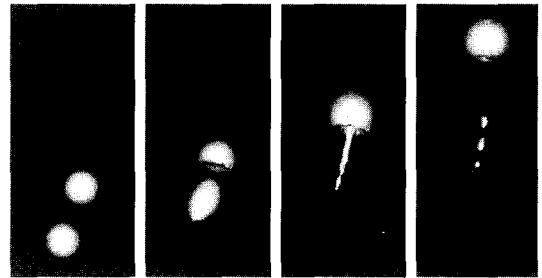


Fig. 5 Non-axisymmetric bubble me pattern using CLSVOF

본 해석 코드에 대하여 상용 해석 코드인 STAR-CD와 비교하여 Table 1. 에 나타내었다. 세부적인 수치 기법들에서는 여러면에서 다소 차이가 있지만 전체적으로 본 해석 코드가 범용성을 갖는 프로그램으로서의 모습은 갖추고 있음을 알 수 있다. 아울러 본 프로그램은 동일한 Hardware 조건하에서 수행한 벤치 마킹을 통해 계산 성능 또한 뒤지지 않음을 확인할 수 있었다.

이러한 기본적인 코드의 기능에 Rotating Reference Frame, Boundary Coupling 등 다양한 해석 기능을 추가하는 연구와 전후처리장치의 개발 및 병렬처리에 관한 연구를 진행하고 있다.

CFD를 다양한 설계/해석에 적용하기 위하여, 최근에는 본 연구실에서 개발중인 해석 코드에 최적화(Optimization) 기법을 추가하여, Cross Flow Fan의 날개 형상 최적화 연구등을 수행한 바 있다. 또한 유동/구조 상호작용 기법(Fluid/Solid Interaction Method)을 개발 첨가하여 유동현상이 구조물을 변형시키고 또 그 구조물의 변형으로 유동의 형태가 바뀌게 되는 Oil Fence의 변형에 대한 연구도 진행되어 왔다. 정지물체와 이동물체가 상호 작용할 때의 유동해석을 위해서는 해석 격자의 일부를 이동시키는 Moving Mesh 기능이 필요하나, 본 연구실에서는 격자변환기법 즉, 해석 격자의 성질이 시간에 따라 바뀌게 되는 기법을 개발하여 이동물체 주위의 유동장에 의한 정지물체의 움직임에 대한 연구도 수행되어 왔다. 자유 표면 유동과 Cavitation 유동에 대한 연구도 진행되고 있다.

2.2 CFD 응용

본 연구실에서는 연구실에서 개발중인 해석 코드와 상용 S/W인 STAR-CD를 사용하여 다음과

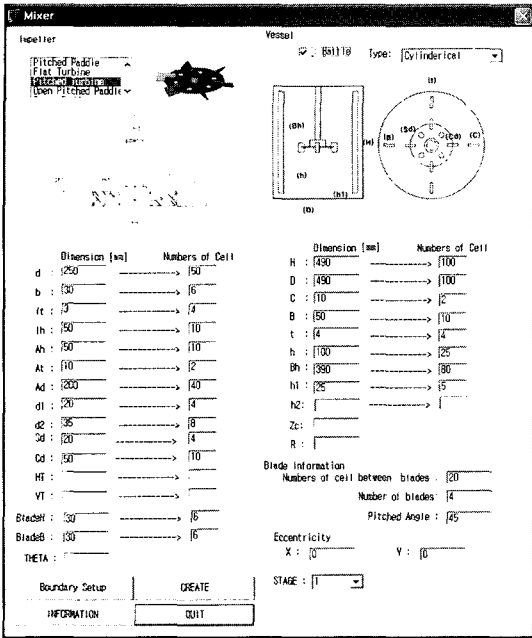


Fig. 6 Main window of automatic mesh generator for a mixer

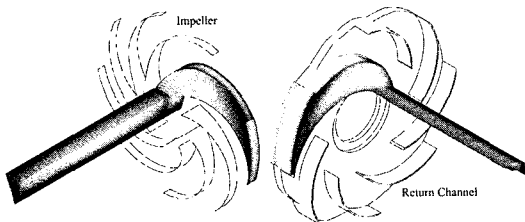


Fig. 7 Computational domain of the turbo fan for vacuum cleaner

같은 CFD 응용분야 연구를 수행하였거나 수행하고 있다.

2.2.1 터보기계 분야

터보 기계는 산업현장에서 뿐만 아니라 가정생활 분야까지 폭넓게 이용되고 있는 분야이며, 아직도 많은 연구가 진행되고, 필요한 부분이다. 본 연구실에서는 이에 대해 아래와 같은 연구들을 통하여 실제 제품 설계 및 개선에 도움을 주었다.

- Cross Flow Fan 유동해석 및 유동 측정[1]
- 반도체 검사장비 내의 Cross Flow Fan 유동해석 및 설계[2]

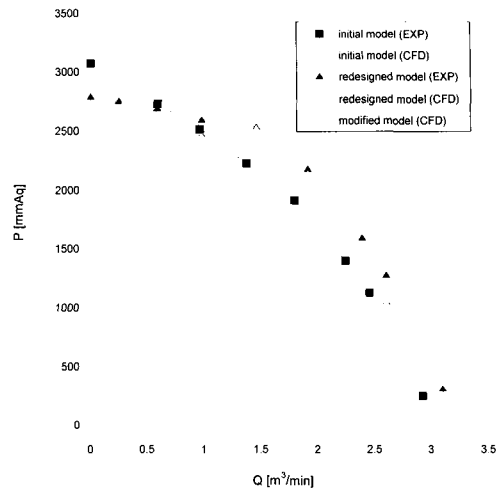


Fig. 8 Comparison of the predicted fan performance data with experiments

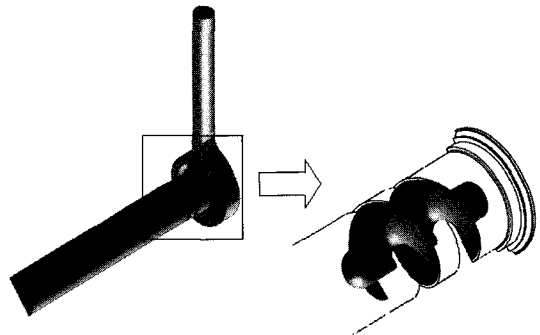


Fig. 9 Computational domain of solution pump (inducer)

- 원심형 압축기 Diffuser 내부유동해석[3]
- 초고속 압축기용 고속 Motor 냉각[4]
- 원자로 냉각재 펌프의 과도상태의 유동 및 열전달 해석[5]
- Honey Comb Seal 유동 특성 해석[6]
- 순간 정지하는 회전 원통내의 유동 불안정성에 대한 연구[7]
- 산업용 교반기 유동해석 및 유동해석 전처리 장치의 개발[8]
- 진공청소기용 소형 압축기 유동해석[9]
- 냉매 펌프 압축기 및 인듀서 유동해석[10]
- 자동차용 Gerotor 오일 펌프 유동해석[11]

이중 Fig. 6과 같은 산업용 교반기 유동해석 및 유동해석 전처리장치의 개발을 통해 다양한 교반

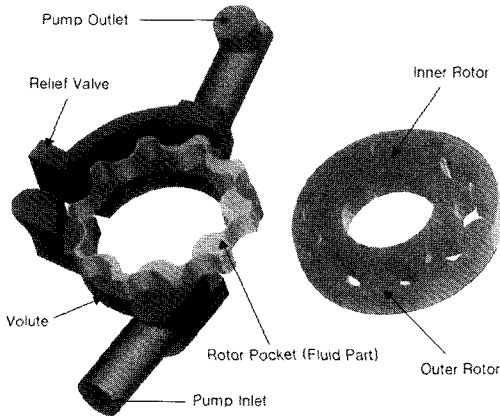


Fig. 10 Computational Mesh of gerotor oil pump

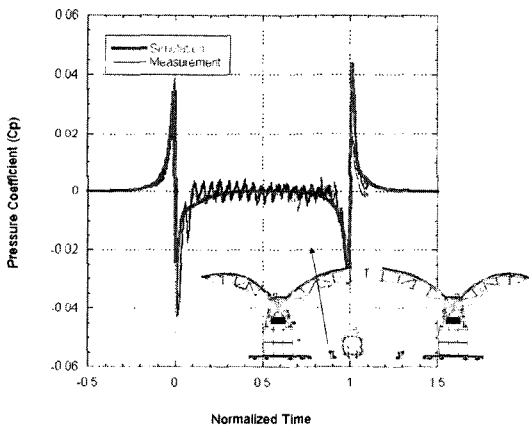


Fig. 11 Comparison of measurement data with numerical calculation for HST(High Speed Train) passing through the station

기 형상에 대한 유동해석 격자 생성 시간을 크게 단축시켰다.

2.2.2 운송체 분야

운송체 분야 CFD 응용은 가상 풍동과 같은 환경에서의 운송체 주위 유동특성 해석뿐만 아니라 실제적으로 계산 격자를 움직여서 시간에 따른 유동의 변화를 확인할 수 있다. 이에 본 연구실에서는 자동차뿐만 아니라 현재 공사중인 고속전철에 대한 수치해석을 통해 고속으로 주행하는 차량 주위 유동에 대한 많은 결과를 제시하였다. 또한 Fig. 11과 같이 해석 결과를 실제 풍압측정 결과

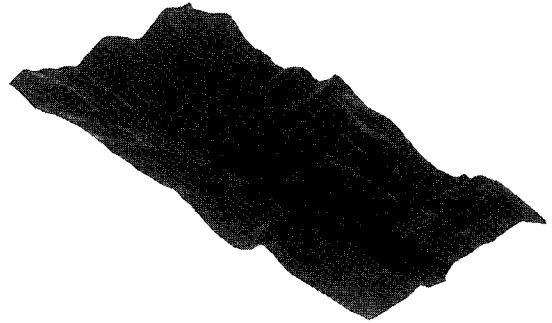


Fig. 12 Computational mesh for ventilation of road tunnel with mountain environment

와 비교함으로써 수치해석의 신뢰성을 확인한 바 있다.

- 고속전철 역사 내부의 풍압 해석 및 실험[12]
- 고속전철의 터널 진입시 압력 변동에 대한 수치해석[13]
- 한국고속전철(KTX)이 역사를 통과할 때 격벽의 유용성에 관한 수치해석 연구[14]
- 자동차 공기역학 특성 해석 및 저저항 설계를 위한 최적화[15]
- 엔진의 흡기포트/실린더 내부 유동특성 해석[16]
- 고속전철 풍압측정실험[17]
- 고속전철 주행저항측정 프로그램 개발[18]
- 인천공항철도 통과 열차 풍압특성 해석[19]

2.2.3 환기 및 화재분야

그동안 기계장치에 국한되던 CFD는 이제 건설, 토목 및 설비/공조 분야에서도 다양하게 활용되고 있다. 특히 컴퓨터 하드웨어의 발달과 함께 해석 격자와 시간이 많이 요구되는 길이가 매우 긴 터널 내에서의 환기 및 화재에 대한 3차원 해석이 가능하게 되었다. 뿐만 아니라 본 연구실에서는 Fig. 12와 같이 터널과 산지형까지 모두 포함하는 수치해석을 통하여 터널에서의 환기 특성이 터널 내부의 환경뿐만 아니라 외부 지형의 영향이 크게 작용함을 보여주었다.

- 도로터널 환기 Fan에 의한 종류식 환기해석[20]
- 철도터널의 교통환기량에 대한 수치해석[21]
- 장대철도터널 환기시스템에 대한 수치해석[22]
- 경량전철 화재 Simulation[23]

- 폐수 종말 처리실내의 환기 특성 해석[24]
- 지하철 9호선 화재 Simulation[25]
- 산(山) 지형을 고려한 도로 터널내의 환기시스템(조도순응장치 고려) 및 화재 Simulation[26]

2.2.4 기타

앞에서 언급한 연구 내용뿐만 아니라 보다 유체를 사용하는 광범위한 영역에서 CFD를 활용하고 있다. 그 예로 문화재와 관련된 자연공조 해석, 의공학, MEMS, 전자기장, 유동공진, 최적화, Fluid/Structure Interaction 등의 연구를 통하여 성공적인 결과를 제시하였다.

- 해인사 팔만대장경 판고 자연공조 유동해석[27]
- 원각사지 10층 석탑 보호각 내부 유동의 수치해석[28]
- 의료용 CSF 제어 밸브 설계를 위한 유동/구조 상호 작용 해석[29]
- 미세 유로에서의 유동 특성에 관한 실험 및 수치해석 연구[30]
- 자기장 및 유동해석을 이용한 자기유변 크러치의 성능 예측 및 검증[31]
- 사각 공동구 하부 벽면 거진에 의한 자연 대류 유동의 공진현상에 관한 연구[32]
- Fluid/Solid Interaction을 이용한 Foil Bearing 내의 유동해석[33]
- Fluid/Solid Interaction을 이용한 Oil Fence 주위의 유동해석[34]
- Mira Model, Ahmed Body 및 Cross Flow Fan 최적화[35,36]

3. 결 언

지금까지 본 고에서는 서강대학교 기계공학과 전산유체연구실에서 연구하고 있는 범용 CFD 프로그램 개발 및 CFD 응용 사례에 대하여 소개하였다. 특히 본 연구실에서는 파기부 과제인 범용 CFD 프로그램 개발에 중점을 두어 연구를 수행하고 있으며, 향후 보다 향상된 성능과 그래픽 환경을 지닌 프로그램 개발 및 다양한 CFD 응용 문제 해석을 통하여 CFD 분야 발전에 기여하고자 한다.

참고문헌

- [1] 허남건, 김옥, 강신형, "Cross Flow Fan의 유동해석: Blade 형상의 변화에 대한 연구," 유체기계연구개발협의회 '97 강연회 및 연구개발 발표회 논문집, (1997), pp.125-132.
- [2] 허남건, "반도체 검사장비내의 Cross Flow Fan의 유동해석 및 설계에 관한 연구," 한국전자통신연구원 보고서 SG19986016, 한국전자통신연구원 (1999).
- [3] 허남건, 김종규, 김옥, 이상열, "반경류형 터보제너레이터의 디퓨저 내부 유동해석," 한국기계연구원 위탁연구 연차보고서, SGI96050-1, 서강대학교 산업기술연구소 (1997).
- [4] 허남건, "초고속 모터의 냉각을 위한 복합 열전달 해석에 관한 연구," 연구개발정보센터 보고서, 연구개발정보센터 (1999).
- [5] 허남건, 유기풍, 김성원, 김승태, "원자로 냉각재 펌프의 과도 상태의 유동 및 열전달 해석 연구," '99 유체기계 연구개발 발표회 논문집, (1999), pp.245-251.
- [6] 홍은표, 허남건, "Honeycomb Seal의 유동특성 해석," 2000 유체기계 연구개발 발표회 논문집, (2000), pp.153-157.
- [7] 허남건, 원찬식, "가스 터빈 축 내부의 비정상 유동의 불안정성," 유체기계저널 제2권 제1호, (1999), pp. 103-107.
- [8] 허남건, "다양한 임펠러를 갖는 산업용 교반기 내부의 유동해석," 한국과학기술정보연구원 중간보고서 SG20016010, 서강대학교 산업기술연구소 (2001).
- [9] 이기춘, 김창준, 허남건, 전완호, "진공청소기용 저소음 터보팬 내부 유동 특성 해석," 제2회 한국유체공학학술대회 논문집, (2002), pp.631-634.
- [10] 배원영, 이기춘, 허남건, 정시영, "흡수식 냉동기용 용액펌프의 유동특성 해석," 제2회 한국 유체공학 학술대회 논문집, (2002), pp.569-572.
- [11] 원찬식, 허남건, 권성호, "자동차용 Gerotor형 오일 펌프의 유동 해석," 제2회 한국유체공학 학술대회 논문집, (2002), pp.573-576.
- [12] 허남건 등, "경부고속철도 대전 통합역사 신축설계 학술연구용역 최종보고서(풍압)," 단우

- 종합건축사사무소 (1997).
- [13] 허남건 등, “경부고속철도 남서울역사 신축설계 학술연구용역 최종보고회 보고서(풍압),” 무영종합건축사사무소 (1997).
- [14] 조두신, 허남건, 김사량, “한국고속전철(KTX)이 역사를 통과할 때 격벽의 유용성에 관한 수치해석 연구,” 제1회 한국유체공학학술대회 논문집, (2000), pp.519-522.
- [15] 허남건, “자동차 공기역학 특성해석 및 저저항 최적설계,” 대한기계학회 1998년도 유체공학부문 학술강연회강연집, (1998), pp.133-143.
- [16] 허남건, “흡기 포트내의 유동 해석,” KIST-산업계 CONSORTIUM 제12차년도 보고서, 한국과학기술연구원 (1995).
- [17] 원찬식, 김사량, 허남건, “고속전철 천안역사 내부의 풍압연구,” 제2회 한국유체공학학술대회 논문집, (2002), pp.843-846.
- [18] 허남건, “고속전철 시제열차 주행저항 시험절차서 작성 및 측정 분석,” 한국철도기술연구원 보고서 (2002).
- [19] 허남건, “인천 국제공항 철도역사 풍압해석,” (주)현대건설 보고서 (2002).
- [20] 허남건, “도로터널에서의 Jet Fan에 의한 종류환기 방식의 수치해석 연구,” 서강대 산업기술연구소 보고서 SGI-20007012, 대상설비기술(주) (2000).
- [21] 허남건, 정시영, 김사량, “영동선 이설철도 장대터널의 환기해석,” 대양설비기술단 위탁연구 보고서 SGI-19997012, 서강대학교 산업기술연구소 (1999).
- [22] 허남건, “성남-장호원 도로 터널의 화재 제연 및 환기 성능 해석,” 대상설비기술(주)보고서 (2001).
- [23] 원찬식, 이기춘, 허남건, 목재균, “경량전철시스템의 화재 시뮬레이션,” 한국전산유체공학학회 2001년도 춘계 학술대회 논문집, (2001), pp.170-175.
- [24] 허남건, “군장국가산업단지 군산지구 폐수종말처리시설 탈수기실 환기해석,” (주)태영 보고서 (2001).
- [25] 허남건, “서울 지하철 9호선 1구간 건설공사: 승강장 선로부 TES 환기 Simulation 및 화재배연 Simulation,” (주)화승 보고서 (2001).
- [26] 허남건, “평택-음성 고속도로 7공구(안성-평택) 건설공사 환기/방재 시뮬레이션,” (주)화승 엔지니어링 보고서 (2002).
- [27] 허남건, 정시영, 김태균, “해인사 팔만대장경 관공의 자연공조 유동해석,” 한국공기조화냉동공학회 '98 동계학술대회논문집, (1998), pp.509-514.
- [28] 정시영, 허남건, 김태균, “원각사지 10층석탑 보호각 내부 유동의 수치해석,” 한국공기조화냉동공학회 '98 동계학술대회논문집, (1998), pp.376-383.
- [29] 원찬식, 허남건, 이종선, “의료용 CSF 제어 밸브 설계를 위한 유동/구조 상호작용 해석,” 한국전산유체공학회지 제6권 제1호, (2001), pp.40-46.
- [30] 김형우, 원찬식, 정시영, 허남건, “실리콘 웨이퍼 상에 제작된 미소 유로에서의 유동특성,” 대한기계학회논문집 B권, 제25권 제12호, (2001), pp.1844-18521.
- [31] 이우섭, 김태균, 허남건, 전도영, “자기장 및 유동해석을 이용한 자기유변 클러치의 성능 예측 및 검증,” 대한기계학회 논문집 A권 제24권 제8호, (2000), pp. 2143-2150.
- [32] N. Hur, Y. Kim and B.H. Kang, “A Numerical Study on Control of Natural Convection in a Square Enclosure with an Oscillating Wall,” Proceedings of the Fifth JSME-KSME Fluids Engineering Conference, Paper OS4-2-6, (2002).
- [33] Y. Kim, C.-S. Won, and N. Hur, “Analysis of Flow Characteristics and Deformation of a Foil Bearing by using Fluid/Structure Interaction Method,” Proceedings of the Fifth JSME-KSME Fluids Engineering Conference, Paper OS16-1-4, (2002).
- [34] 김태균, 김욱, 허남건, “유체-구조물 상호작용 기법을 이용한 오일 펜스의 변형예측,” 한국전산유체공학회지 제5권 제3호, (2000), pp.16-22.
- [35] 허남건, 김욱, “MIRA Model 후미의 저저항 최적설계,” 한국전산유체공학회지 제4권 제1호, (1999), pp.34-40.
- [36] 김욱, 허남건, “CFD를 이용한 Ahmed Body 후미의 저저항 최적설계,” 한국전산유체공학회 '97 춘계학술대회 논문집, (1997), pp.181-187.