

전산유체역학의 기술 동향 및 천공해석 사례 Trend in CFD Technology and CFD Case Simulation on Drilling

신대영 · 송창현 · 이유철

D. Y. Shin, C. H. Song and Y. C. Lee

1. 서 론

최근 공학산업이 고도화, 정밀화, 다양화되어 부품과 장치 산업에 대한 정밀 설계 및 최적설계가 요구되고 있다.

분야에 관계없이 시스템 및 부품의 설계 시 시간과 비용을 절감하면서 다양한 형태의 설계 결과를 통해 보다 최적화된 제품을 생산하고자 하는 것이 생산성 향상 및 기술고도화를 추구하는 현대 공학의 궁극적인 목표이기도 하다. 이러한 현대 공학의 목표를 달성하기 위해서는 전산설계 및 수치해석 기법이 요구되며 시스템 및 제품설계에 있어 불가결한 부분이 되었다.

다양한 수치해석 기법 중 본 논문은 전산유체역학의 소개 및 기술동향, 이를 이용한 연구사례에 대하여 서술되었다. 열-유체 기기를 설계하는데 있어 중요한 방안이 되고 있다. 이러한 전산유체역학은 전산처리능력을 이용해 유체의 운동을 해석하는 기법 CFD (Computational Fluid Dynamics)라는 명칭으로 잘 알려져 있으며, 유체역학과 수치해석을 병합시켜 수학적으로 풀기 어려운 비선형 편미분 방정식들의 근사해를 구하는 기법을 말한다.

Flow Solver라고 불리는 유동해석 기법은 유한차분법(Finite Difference Method), 유한요소법(Finite Element Method), 그리고 유한 체적법(Finite Volume Method) 중에서 한 가지 방법을 선택하게 되어 유동현상의 예측이 가능하다. 이러한 CFD 기법을 이용해 다양한 유동장의 복잡한 물리 현상을 예측이 가능해졌으며, 그 결과로 전산유체역학은 열-유체 기기 및 고효율의 비행체나 미사일등의 개발을 위해 사용되고 있다. 또한 전산유체역학 CFD 기술 발전에 필수적인 요소인 Computing Power 역시 함께 증대되고 있어 앞으로의 기술은 더욱 발전하리라 예상된다.

현재의 CFD 기술은 단순한 압축/비압축성의 유체 거동에 대한 해석을 넘어 그림 1과 같이 대기유동, 건물 환기, 자동차 주위의 공력 해석, 냉각 팬 및 전기 모터의 열-유동해석, 항공기 해석, 엔진의

연소 그리고 MEMS 기구설계 등 다양한 분야에서 활발히 사용되고 있다.

2. 전산유체역학 분야의 최근 기술 동향

전산유체역학(Computational Fluid Dynamics, 이하 CFD)은 유체유동, 열전달 및 이와 관련된 화학반응 등의 현상들을 컴퓨터 기반의 시뮬레이션을 통해 근사적으로 해석하는 기술 분야라고 정의할 수 있다. 1960년대부터 우주항공분야에서 CFD 기법들을 항공기와 제트엔진의 설계, 연구 개발 및 제조 분야에 도입하였으며, 이후 내연기관, 가스터빈의 연소 시스템의 설계에 활용되었으며, 자동차의 항력 계산과 엔진룸 방열 해석 등에 두루 활용되면서 제품 개발과정에서 필수적인 요소로 인식되고 있다⁵⁾. 관련 분야의 지적재산권 출원 현황과 연구결과물의 정보에 대한 연구⁶⁾에 따르면, 1990년대 말부터 급격한 양적 성장을 보이고 있으며, 이는 실험적 방법에 의한 검토 비용을 CFD 해석 기술의 구현 및 전산 해석 비용의 감소를 통해 본격적인 대체가 이루어지기 시작한 시점임을 유추해 볼 수 있다. 발표된 연구결과들은 주로 CFD기법의 개발 및 개선 등을 통해 CFD의 근본적인 성능을 향상시키기 위한 검증적 연구가 활발하게 진행되고 있다. 계산의 정확성을 향상시키기 위한 다양한 고정밀 유동해석 기법 개발, 다상 유동 및 비평형 유동 등과 같은 보다 복잡한 유동으로 확장, 구조 해석 및 화학 반응 등 다른 지배방정식의 물리 현상등과 결합된 다 분야 연성 해석, 그리드 컴퓨팅 등의 최신 전산해석 기술을 접목한 계산 환경에 대한 연구 등으로 요약된다⁷⁾. 이론 및 실험적 방법의 한계로 유체역학적인 측면에서 설명하기 어려운 유동현상의 메커니즘을 분석하는 분야도 주요한 활용 내용이라 할 수 있다.

유동현상을 해석하는 과정은 크게 초기 기하학적 형상으로부터 격자를 구성하는 전처리 과정, 수치모델 및 다양한 해석 기법을 활용한 계산과정, 계산결과를 효과적으로 가시화 및 분석 기능을 제공하는 후처리 과정으로 크게 나눌 수 있다. 이러한

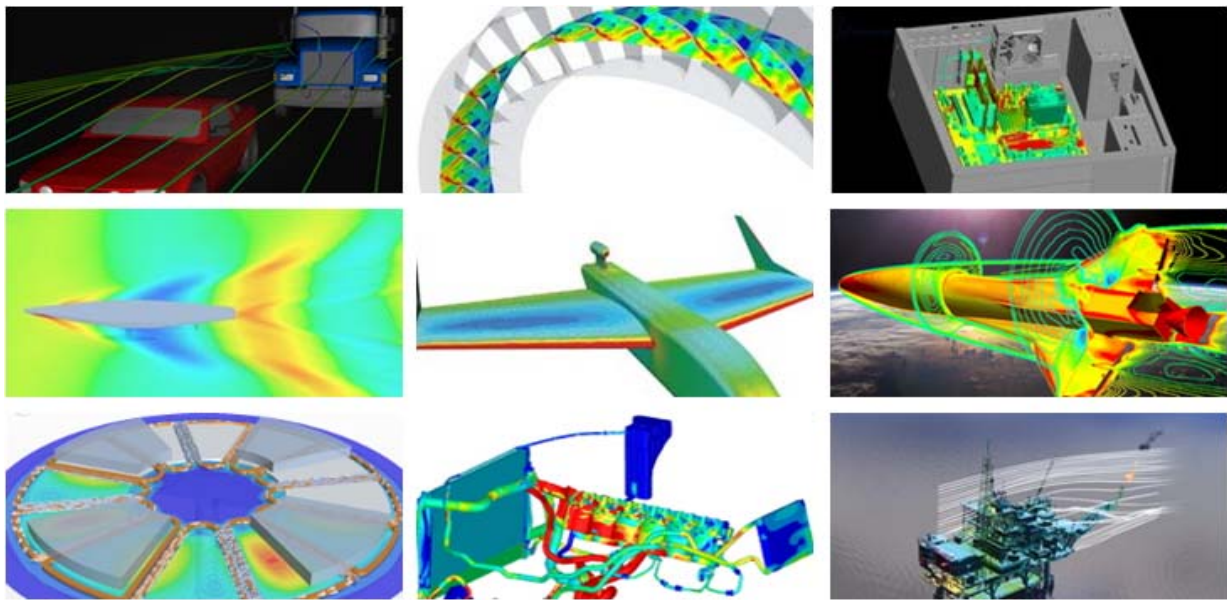


그림. 1 전산유체역학 CFD 응용 분야

필수적인 각각의 단계가 내포하고 있는 기술적 어려움을 살펴보면 다음과 같으며, 이를 통해 현재 및 미래의 기술동향을 쉽게 이해 할 수 있을 것이라 기대한다. 첫 번째, 이산화 과정에서 한정된 격자의 수로 표현하는 과정에서 포함되는 수치적 오류를 최소화하고 형상을 최대한 효과적으로 반영하기 위해 비정렬 격자 생성 기술을 포함한 다양한 시도가 이루어지고 있다. 두 번째는 현재의 유체역학에서 이해가 완벽하지 않으므로 발생하는 모델링 오류가 있으며, 난류모델, 복잡한 점성 유동 모델 개발 노력이 이를 극복하기 위함이라 하겠다. 편미분 방정식의 이산화과정과 관련해서는 유한차분법과 유한요소법의 장점을 결합하여 연속적인 유동영역에서 3차이상의 공간 및 시간에 대한 정확도를 유지하면서도 불연속적인 유동구간에 대한 수치적 안정성을 보장할 수 있는 고차 정확도 수치알고리즘에 대한 다양한 연구가 진행되고 있으며⁸⁾, 이는 고차 수치 플럭스 및 시간 적분법 개발, 수치안정성 기준, 격자 생성 기법 개발 등을 포함하게 된다. 마지막으로 가장 중요한 것은 전문가 시스템이라 할 수 있다. CFD는 구조 해석 등의 다른 분야의 시뮬레이션 기술 적용에 비해 여전히 많은 비용이 소요되며, 현재 개인 전산장비를 활용하더라도 상대적으로 방대한 양의 데이터를 생성하게 된다. 결국 CFD해석자는 구체적인 문제의 정의부터 효과적인 해석 결과의 분석까지 각 해석 단계에서 다수의 중요한 선택을 할 수 밖에 없으며, 정보 기술을 활용한 전문가 지

원 시스템이나, 설계 협업 센터 등을 통한 다양한 계층의 경험과 지식이 융합될 수 있는 시스템 구축 또한 주요한 최근 기술 동향이다.

3. 유동해석을 이용한 천공해석

본 해석의 목표는 실제 천공장비가 천공작업 시 발생하는 석분의 운동과 천공시간이 지남에 따라 내분에 잔류하는 석분의 크기 및 외부로 배출되는 현상을 유동해석 코드를 이용해 규명하기 위함이다. 천공작업 시 석분이 발생되는데 이 석분의 크기 및 외부로 배출 정도에 따라 천공 효율이 바뀌게 된다.

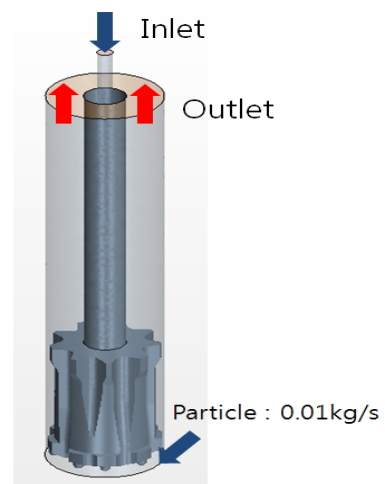


그림 2. 유동해석을 위한 Solid 모델

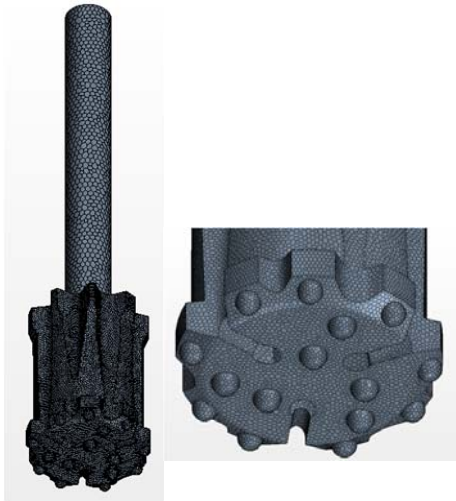


그림 3. 유한요소 모델

석분의 유동을 생각해 볼 때, 가압된 압축공기가 작용하는 고압의 상태에서, Drill Bit는 2,500bpm (41.6Hz) 또는 3,000 bpm (50Hz)의 타격운동으로 끊임없이 유동 상태에 진동을 발생시키며, Drill Bit의 타격에너지가 암반에 전달되어 입도 분포를 가진 석분이 압축공기와 혼합되어 Two-Phase Flow를 만들어 낸다. 이러한 Two-Phase Flow가 평균적으로 정지 상태에서 압력 차이에 의해 가속되어 Drill Body의 좁은 유로를 지나 천공된 구멍과 Rod 사이의 넓은 단면적을 지나 지상으로 분출되는 구조이다.

석분의 생성과 배출은 천공작업에 중요한 역할을 담당한다. 따라서 천공비트의 유로 설계에 중요한 인자로 판단되며, 천공비트 내 압축공기의 흐름을 파악하기 위해 유동해석을 수행 하였다. 천공해석은 유동해석 및 DEM(Discrete Element Method)에 특화된 범용 CFD S/W인 STAR-CCM+를 이용하였다.

유동해석을 수행하기 위해서 Drill Bit가 암반을 천공할 때, 그림 2와 같이 유동해석 적용 Solid 모델로 만들어 그림 3과 같이 Polyhedral 요소를 이용해 Mesh를 형성하였다. 모델의 Elements 수는 140,000개로 모델링 되었다.

유동해석을 위한 유체의 물성과 경계조건 입구의 속도는 유입되는 공기의 유량과 천공경과 Extension rod의 지름을 이용해 계산되었으며, 경계조건은 다음 Table 1에 나타내었다.

전체적인 유체의 운동을 비롯해 압력 손실과 효율을 확인하기 위해서 입구와 출구에서 난류를 배제하고 층류가 형성 될 수 있게 하기 위해서 입구와 출구의 길이를 길게 하였으며, 입구와 출구외의

경계조건은 일반적인 벽의 조건을 적용하였다.

사용되는 유체는 압축성 유체로서 압력변화 및 온도변화에 대해 체적, 밀도, 비중을 무시할 수 없는 공기이다. 공기의 경우에는 압축성에 의해 밀도가 크게 변화하므로 공기의 밀도 변화를 고려해 유동해석에 적용하였다.

표 1. 유동해석을 위한 Input data

Fluid	Compressed Air
Inlet Velocity	11.8 m/s
Outlet	Atmospheric Pressure
RPM	90
Particle	Granite
Particle Generation	0.01 kg/s
Particle Density	2700 kg/m ³

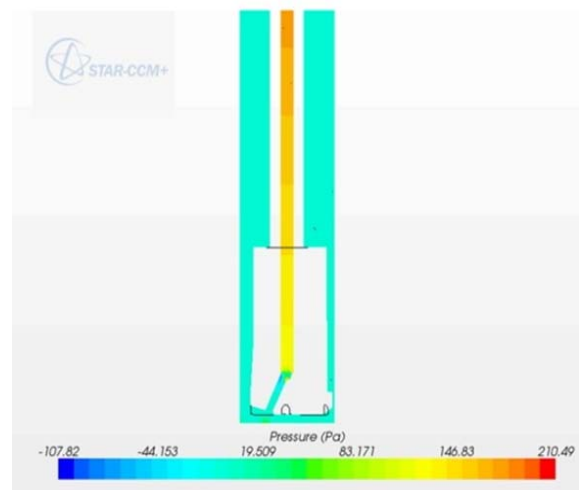


그림 4. Drill Bit 내 압력 분포

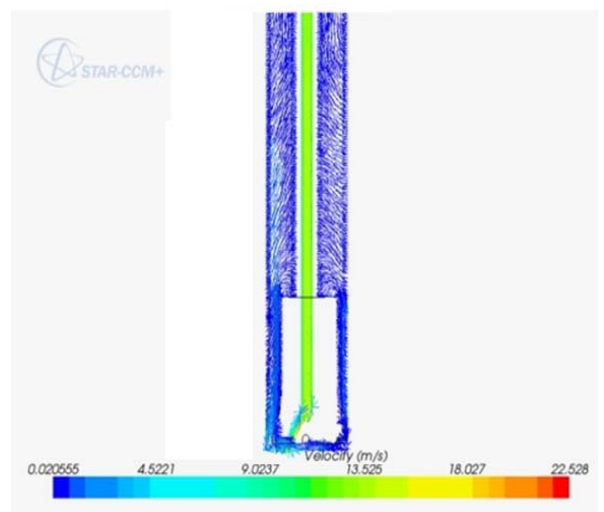


그림 5. Drill Bit 내 속도 분포

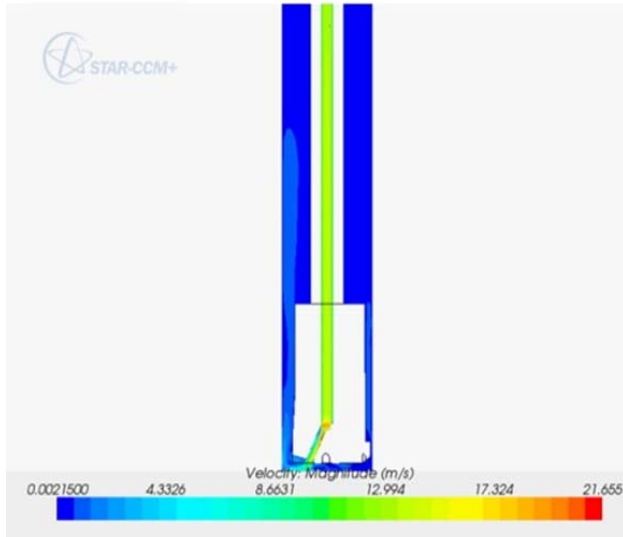


그림 6. Drill Bit 내 속력 분포

그림 4부터 그림 11까지는 Drill Bit의 유동해석 결과를 보여주고 있다.

그림 4는 Drill Bit내 압력분포를 나타내며, 그림 5와 그림 6은 각각 속도분포와 속력분포를 나타내고 있다. 속도는 급격하게 단면적이 변하는 부분에서 속도가 최대가 되고 이로 인해 Drill Bit내 압력은 감소하는 추세를 보이고 있다.

그림 6은 스칼라 값인 속력의 분포를 나타내고 있으며, 속도와 같이 단면적이 급격하게 변하는 부분에서 압력은 감소하고 속력은 최대가 된다.

그림 7부터 그림 11은 천공작업시 타격과 회전으로 인한 석분 발생과 압축공기의 공압에너지로 운동에너지를 부여받은 석분의 운동과 외부로 배출되는 현상을 나타내고 있다.

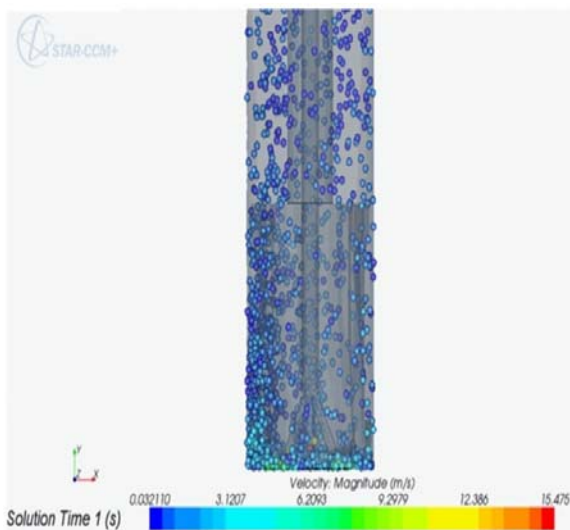


그림 7. Drill Bit 내 석분의 거동 1[sec]

총 해석시간은 5[sec]로 1[sec]부터 5[sec]까지 각각의 시간별로 해석결과를 제시하였다.

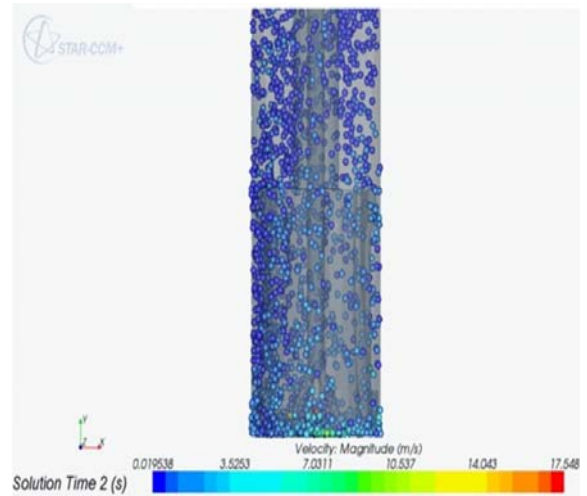


그림 8. Drill Bit 내 석분의 거동 2[sec]

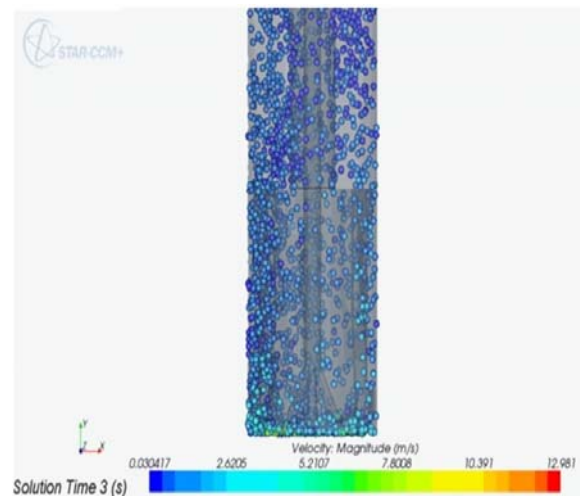


그림 9. Drill Bit 내 석분의 거동 3[sec]

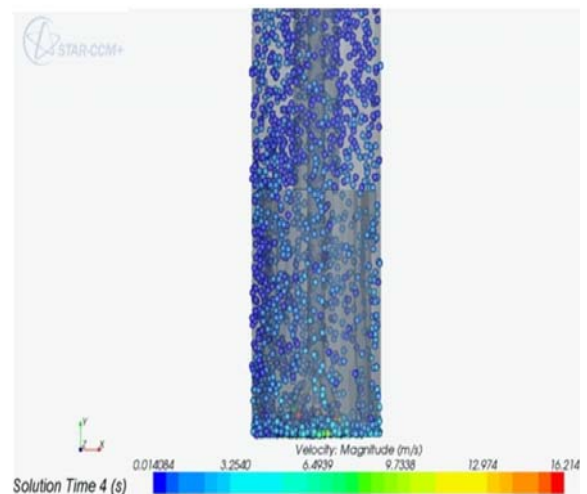


그림 10. Drill Bit 내 석분의 거동 4[sec]

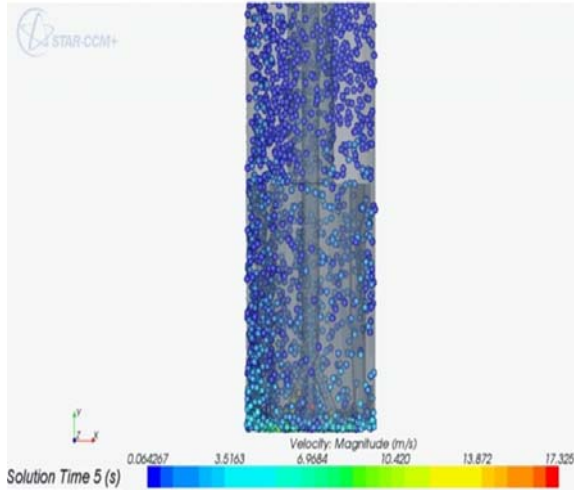


그림 11. Drill Bit 내 석분의 거동 5[sec]

4. 결 론

지금까지 전산유체역학인 CFD의 정의를 비롯해 국내외 기술동향 및 전산유체역학 CFD를 이용한 연구 사례에 대해 살펴보았다.

전산유체역학을 이용한 연구사례의 예로 천공 작업 시 Drill Bit의 석분 배출능력과 유동현상을 확인할 수 있었다. 또한 Drill bit에 대한 최적의 유로를 설계할 때, 유로 설계의 근거를 제시하여 Drill Bit 유로 설계를 위한 데이터 베이스의 근간이 될 수 있을 것이라 판단된다.

또한 유압시스템의 실질적인 성능을 규명하는 방안으로 가공상에서 존재하는 Burr나 유압부품의 마모에서 발생하는 분순물을 유동해석에 적용해 이들이 유압시스템에 어떠한 영향을 미치는지 수치해석으로 접근해 규명을 한다면 유압부품의 가공방법 및 설계 시 많은 이점이 될 것이라 생각된다.

현재 전산유체역학 CFD 기술 발전에 필수적인 Computing Power 역시 함께 증대되고 있어 앞으로의 유동해석 기술은 더욱 발전하리라 전망되며, 전산유체역학은 유동문제에 대한 근사해 및 문제해결책을 제공하여 공학적인 측면에서 비용과 시간을 줄일 수 있는 대안이 되었다. 하지만 이러한 수치해석의 신뢰성을 높이기 위해서는 수치해석과 이에 따른 시험도 병행되어야 한다.

마지막으로 전산유체역학 CFD의 기술은 유체 유

동 문제에만 국한하지 않고 유체로 인한 구조물의 열변형, 진동 등 여러 가지 문제가 동시에 발생할 수 있다. 이러한 현상을 모두 고려한 해석기술이 요구되는 바이다. 따라서 Multi-Physics 문제 해결 능력에 대한 적극적인 기술 개발이 이루어져야 할 것이다.

참고문헌

- 1) 한국기계연구소, “점성유체의 유동해석 연구”, 1991. 07.
- 2) Kang-Rae Cho, Jin-Ho Lee, and Joo-Hwan Kim “A study on the Quasi-3-Dimension Compressible Flow Calculation by Introduction of Viscous Loss Model in Axial-Flow Compressor”, KSME., Vol. 13, No. 5, pp. 104 4~1051, 1989
- 3) S. W. Choi, K. S. Chang, and H. N. Ok , “Sensitivity Analysis for the 3-D Navier-Stokes Equation with Two-Equation Turbulence Model”, Korea Society of Computational Fluids Engineering Fall Conference., pp 15~24, 2000. 10
- 4) 서정세, 이중섭, “예제로 배우는 STAR-CD” 인터넷버전., 2006
- 5) H K Versteeg and W Malalasekera, “An introduction to Computational Fluid Dynamics”, Pearson educational Limited, pp. 1~4, 2007
- 6) G I de Islabao, Jose Carlo Costa da Silva Ointo, Ardson dos Santos Vianna Junior, “Technological Trends in CFD Applications”, Journal of Technology Management & innovation, Volume 5, Issue2, pp.77~80, 2010
- 7) 김종암, “CFD의 소개 및 향후 전망”, CAD& Graphics, 10월호, pp. 90~93, 2011
- 8) Scott Post, “Applied and Computational Fluid Mechanics, Jones and bartlett publishers, pp. 198~200, 2011
- 9) Parankar, S. V., “ Numerical Heat Transfer and Fluid Flow”, McGraw-Hill, pp36~39, 1980