

에너지환경 산업에서의 CFD 해석 및 설계에의 적용

이 글에서는 열유체 기술이 전통적인 기계공학 이외의 산업에서 어떻게 응용되고 있는지를, 에너지환경 분야에 적용되고 있는 CFD 기술을 예로 들어 고찰함으로써 기계공학에서 열유체공학을 전공한 기술진들의 전통적인 기계공학 이외의 분야에 대한 관심을 환기시키는 데 일조하고자 한다.

기계공학도로서 열유체공학을 전공하였고, CFD를 주된 도구로 활용하여 짧다고 할 수 없는 기간을 산업체에서 근무하고 있다. 공부는 기계공학과에서 하였음에도 불구하고 불행인지 다행인지 미흡하나마 같고 닦은 실력을 전통적인 기계공학의 범주에 속하는 유체기계 또는 자동차 등의 분야에 응용하지 않고 오랜 기간을 화학공학 또는 에너지환경 분야에 응용하는 업무를 수행하는 경력을 가지게 되었다. 불행이란 단어를 사용한 것은 주변에 CFD 전공자 심지어는 기계공학 전공자들이 상당히 적은 환경 하에서 업무를

수행한 기간이 길어서 주변 동료들과의 전공에 대한 의사소통이 어려운 때가 많았기 때문이다. 한편, 다행이란 표현도 언급할 수 있는 이유는 CFD를 전공한 기술진이 상당히 적은, 결과적으로 수많은 CFD 고수들이 거의 없는 동네이었기에 전문가 소리도 툴툴이 들을 수 있는, 즉 어느 정도는 골목대장 역할을 즐길 수도 있었기 때문이다.

현재는 CFD 소프트웨어 업체에서 컨설팅과 기술지원을 총괄하고 있는 업무의 특성상 아주 다양한 분야의 응용에 대한 해석을 수행하고 고객을 지원하고 있다. 적지 않은 기간을 CFD 소프

트웨어 업체에서 근무하면서 최근에는 좁게는 CFD 그리고 넓게는 열유체 공학의 진정한 가능성을 보는 여러 가지 징후를 자주 경험하게 되어 사기가 오르는 경우가 많다. 제품의 개발주기에서 초기에는 열유체 기술의 필요성이 약하다가 어느 정도 기술이 성장하면 제품의 고급화/고사양화/고효율화 등이 필수적이고 우리나라의 기술개발 주기가 이러한 시기에 도달하였다는 일반적인 평가로 미루어 판단할 때에도 열유체공학의 기술의 가능성을 보는 것은 필자만의 허황된 판단이 아니라고 생각한다. 이와 같은 열유체 기술의 필요성의 증대로

이진욱 | ATES(주) 엔지니어링사업부, 상무
김종현/민동호/최성훈 | ATES(주) 엔지니어링사업부, 과장/과장/차장

e-mail : jwlee@ates.co.kr

인하여 CFD 분야의 응용범위도 아주 다양한 산업분야로 전파되고 있는 것을 필자의 경우는 CFD 코드의 판매처 및 CFD 컨설팅을 의뢰한 회사의 소속 산업군의 분류에서 느끼고 있다.

CFD 응용과 관련하여, 엄격하게 말하면 열유체기술의 응용 측면에서, 위와 같은 경향을 고려하면 기계공학도들이 진출하여 기술의 발달에도 기여함과 동시에 최소한 최소 가치에 의하여 전문가 소리를 들을 수 있는 분야는 상당히 넓다고 할 수 있겠다. 그중의 한 분야가 에너지환경 분야인데, 혹자들은 화학공학 또는 환경공학에서 열유체의 개념을 충분히 숙지한 기술진들의 주도하에 기술들이 개발되어도 충분하다고 한다. 하지만 필자의 응용 경험에 의하면, 기하학적 형상이라는 개념 즉 3차원의 개념이 뚜렷하게 정립된 기계공학도들의 시각이 반영되어야 할 시스템 또는 단위 장치들의 개발 분야가 너무 많다고 판단된다. 즉, 필자의 사건으로는 에너지환경 분야는 열유체 전공자들이 핵심적으로 필요함에도 불구하고 비교적 적은 인력들이 진출해 있는 분야라고 판단된다. 이에 이 글에서는 열유체기술이 전통적인 기계공학 이외의 산업에서 어떻게 응용되고 있는지를, 에너지환경 분야에 적용되고 있는 CFD 기술을 예로 들어 고찰함으로써 기계공학에서 열유체공학을 전공한 기술진들의

전통적인 기계공학 이외의 분야에 대한 관심을 환기시키는 데 일조하고자 한다. 응용 사례의 예로서, 발전소와 소각로 그리고 이 두 분야에 공통적인 기술인 연소가스 처리 설비의 응용 사례들을 선택하였다.

최근 화력발전소는 고온고압의 증기조건에 건디는 기계재료 개발과 디지털 제어용량증가 및 네트워크를 이용한 고속전송 기술의 발달에 힘입어 가혹한 운전조건하에서 대용량, 고효율 운전을 할 수 있는 초임계압 관류형 보일러가 개발되어 왔으며, 800MWe급의 영흥화력발전소가 여기에 속하며 유연탄 전소를 한다. 현재의 화력발전소는 500 MWe 관류형을 기준으로 하는 표준화력을 제정하여 설비의 표준화와 건설공기 단축을 이루어 왔으며 이를 채택한 발전소는 태안화력, 당진화력, 하동화력, 삼천포화력, 보령화력 등이 있다. 이와 같은 발전 플랜트에서는 미분탄 연소로를 채택하고 있는데, 미분탄 연소로에서는 연료탄의 성상 및 운전조건에 따라 화염의 안정성, 열효율, 오염물질의 배출 등이 매우 민감하게 변하는 특성을 지니고 있다. 또한 연소가스의 편류가 발생할 경우에는 비산재가 한 쪽 방향으로 치우치거나 빠른 유속을 지니게 됨으로써 야기할 수 있는 침식의 가속화를 방지하자는 측면에서도 연소로 내부의 물리/화학적 특성의 이해

가 필요하다고 판단된다. 따라서 연소로 내부의 제반현상에 대한 이해를 통하여 효율 증대 및 환경오염물질 배출 규제치를 만족시키기 위해서는 효과적인 운전조건 제시를 위해 여러 가지 조건변수에 따른 데이터의 축적이 필수적이다. 그러나 연소로 내부에 유입된 미분탄의 난류혼합 및 연소반응에 따른 복잡한 시스템 내부의 현상이 명확히 규명되지 않았으므로 최적의 미분탄 연소로 설계 및 운전조건의 설정을 위해서는 연소로 내부의 물리적/화학적 현상의 충분한 이해가 선행되어야 한다. 이러한 특성을 고려하여 질소산화물(NOx)의 저감대책을 세울 필요도 있으며, 특히 수치해석 연구는 설계 인자 도출에 결정적인 도움을 줄 것으로 판단된다. 국내의 대형 화력발전소의 경우 코너 분사형(corner firing) 화로를 채택한 경우가 많은데, 이에 대한 해석의 예를 그림 1에 나타내었다. 그림 1에서는 약한 선회 유동(weakly swirling flow)하의 유동 및 온도 특성이 잘 관찰되고 있다. 발전 분야의 CFD 연구의 경우 이와 같은 기본적인 유동장 및 온도장에 대한 특성 이외에도 버너 위치별 미분탄 입자의 로내 체류시간 및 각 위치별 공기 분배비율에 따른 영향 등의 연구가 이루어지고 있다. 미분탄을 연료로 사용하는 대형 화력발전소의 경우에 코너 분사형 이외에도 대향 분사형 버너

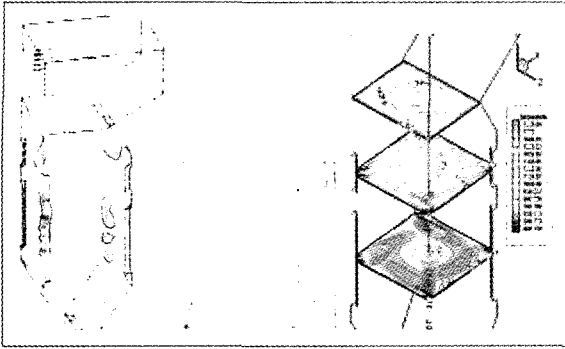


그림 1 코너 분사형 연소로에서 속도 벡터 및 온도 분포

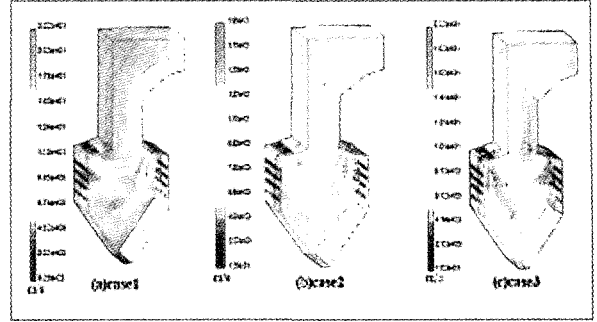


그림 3 석탄-오일 혼소 연소로에서 연소용 공기의 분배비 변화에 따른 유동 특성

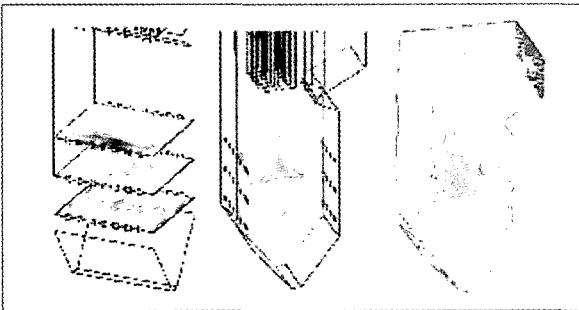


그림 2 대형 분사형 연소로에서 속도 분포, 온도 분포 및 석탄 입자의 이동 궤적

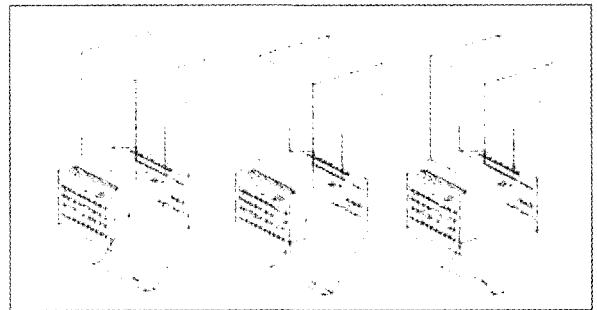


그림 4 석탄-오일 혼소 연소로에서 연소용 공기와 석탄의 분배비 변화에 따른 일산화질소 분포 특성

를 채택한 경우도 있다. 그림 2는 이에 대한 해석 결과의 예를 나타내고 있다. 본 연구에서는 유동 및 온도 특성의 해석, 그리고 선회 버너에 의한 유동 특성 고찰 및 버너 위치별 입자의 체류시간에 관한 고찰 등이 이루어졌다.

외국에서 수입되는 유연탄은 연소성이 뛰어나 유연탄 전소를 택하고 있는 반면에 국내에서 생산되는 무연탄은 연소성이 좋지 않아 중유 계통의 액체 연료와 혼합 연소 방식을 채택하고 있다. 무연탄의 경우 필연적으로 유연탄의 경우보다 미연탄소의 발생량이 많으므로 이에 따른 연료비

의 손실은 상당히 큰 것으로 알려져 있다. 그림 3은 무연탄과 중유를 혼합하여 연소시키는 화로에 대한 해석 결과를 나타내고 있다. 본 연구에서는 각 버너별 공기량의 분배에 따른 영향, 석탄의 차등 분배에 따른 영향 등에 대한 고찰이 이루어졌다. 그림 4는 이와 같은 공기 분배 또는 석탄 분배에 차등을 줄 경우의 NO 발생 특성의 해석에 대한 예를 나타내고 있다.

상기와 같이 대형 화력발전소의 경우 대부분 미분탄을 연료로 사용하는 반면에, 액체 연료를 용하는 발전소도 존재한다. 그림 5

는 현재 중유를 사용하고 있는 발전소에서 액체 연료의 특성에 따른 질소산화물(NOx, 본 연구에서는 NO) 분포도를 나타내고 있다. 본 연구에서는 연료를 중유에서 오리멀전(Orimulsion, 역청과 물을 계면활성제를 이용하여 혼합한 에멀전 상태의 특수 연료)으로 변경할 경우를 대상으로 하여, 연소실 내부의 연소를 동반하는 유동장 및 NOx 발생 특성의 변화에 대한 연구를 수행하였다. 액체 연료를 사용하는 경우에 fuel NOx의 발생량도 thermal NOx의 발생량에 버금가는 특성상 본 연구에서도 Thermal

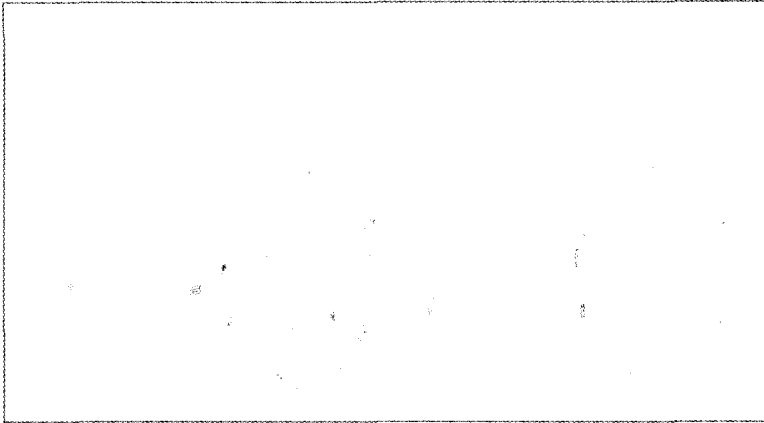


그림 5 연료의 특성 변화에 따른 일산화질소 분포 특성(좌: 중유, 우: 오리멸전)

NOx와 fuel NOx를 동시에 고려하는 방법을 선택하여, 연료의 종류 및 과잉 공기비율에 따른 NO 발생 특성에 대한 연구가 이루어졌다.

상기와 같이 화력발전소의 화로에 관한 비교적 많은 연구가 국내에서 이루어지고 있는데, 화로를 원천설계하기 위한 일환으로서 연구가 수행되는 경우는 많지 않은 것으로 판단되며, 운전조건의 변경에 따른 내부의 제반 변수의 영향을 고찰하는 연구 위주로 수행되는 것으로 판단된다. 반면에 발전소의 배기가스 처리 장치, 특히 SCR 장치 및 전기집진기의 경우 CFD 해석을 통하여 이를 결과에 직접 반영하고 있는데, 이에 대해서는 이 글의 후반부에서 고찰하고자 한다.

소각로 연소실 내의 유동과 연소현상의 특성을 파악하는 것은 소각로의 형상 및 노즐 설계, 성능 개선을 위한 적절한 운전조건

의 설정 등을 위하여 필수적인 요소이다. 특히 소각로의 연소실은 소각 플랜트의 핵심적인 장치인 특성상 소각 플랜트의 기술 자립을 위해서는 연소실 설계에 대한 기술을 확립하는 것이 필수적이라 할 수 있다. 현재 국내의 경우 소각로 설비는 외국 기술사의 기본 설계를 기반으로 플랜트를 설계하는 경향이 강하다고 할 수 있는데, 고유 기술에 의하여 환경친화적인 설비로서 보다 효율적으로 설계하기 위해서는 이들 설비 내의 열적 거동 및 유체의 거동에 대한 이해가 필수적이다. 이를 위해 최근 CFD 기법을 이용한 수치해석 방법이 대두되어, 모델 및 파일럿 플랜트에서의 측정에 의한 방법과 함께 이용되고 있다. CFD에 의한 소각로의 연소실 내부의 유동 및 연소현상 해석은 외국의 사례를 통해서도 상당한 가치가 있음이 입증되었다. 특히 유동현상 해석에 의해

소각로 연소실의 형상이나 2차 공기의 양과 분포를 조절하여 균질한 유동을 얻음과 동시에 실질적인 체류시간의 감소를 가져오는 재순환영역(recirculation zone, 또는 dead zone)을 제거할 수 있다. 이는 소각로 연소실의 우수한 연소에 필요한 3T 조건, 즉 체류시간(time), 고온 환경(temperature) 및 혼합 효과(turbulence) 중 체류시간과 혼합 효과를 향상시킬 수 있으므로 소각로의 운전 조건에 직접적인 도움을 줄 수 있다. 본 연구에서는 CFD 기법을 응용하여 소각로의 기본설계에의 적용 또는 운전되고 있는 상업용 소각로의 운전조건 개선 등에 적용한 사례를 보고하고자 한다.

우리나라의 도시폐기물 소각로는 화격자 위에 폐기물을 공급하고 화격자 밑에서 공기를 공급하는 스토커식 소각로를 대부분 채택하고 있다. 이러한 스토커 소각로 연소실 내에서는 매우 복잡한 연소현상이 발생하는데, 연소실로 투입된 쓰레기는 먼저 건조부에서 수분의 건조가 일어나고, 화격자의 구동에 의해 쓰레기가 혼합 및 이송되면서 열분해, 가스화, 가연성분의 탈휘발분화 및 연소, 일부 고정탄소의 표면연소 등의 반응이 일어난다. 그리고 1·2차 연소실에서는 휘발분 및 비산된 고체의 연소가 일어나는데, 이때 대류 및 복사열전달 등의 복잡한 현상을 수반하는 유동장이 형성

된다. 연소실 내에서 쓰레기가 효율적으로 연소되기 위해서는 1차 연소실 상부에 층분이 높은 온도가 형성되어 쓰레기 층으로 복사열을 효과적으로 전달하여 건조 및 연소가 원활하게 이루어져야 한다. 또한 환경관련법의 직접 적용을 받는 2차 연소실에는 850℃ 이상의 온도가 유지되어야 하고, 2차 공기를 그레이트 위치에서 상승하는 연소가스와 적절히 혼합시키고 재순환영역을 최소화하여 충분한 체류시간을 유지시켜야만 CO나 다이옥신 등의 공해물질을 완전히 파괴할 수 있다. 이와 같은 유동 특성의 상세한 이해를 통하여 연소실 설계를 하기 위하여서는 CFD 기술의 도움이 상당히 필요로 할 것으로 판단된다. 그러나 국내의 경우 여러 업체에서 소각로를 제작하고 있으나 외국과의 기술 협력 관계를 지니고 있는 특성상 CFD 기술을 이용하여 설계에 반영하는 경우는 많지 않은 것으로 알려져 있다. 그러나 약 10년 이상 진행된 G7 과제에서는 CFD 해석 결과를 이용하여 연소실 설계에 반영하였는데, 이때 파일럿 플랜트, 초기 제안된 모델, CFD 연구에 의하여 제안된 모델 및 최종 선정된 모델 등에 대한 해석 결과를 그림 6에 나타내었다.

본 연구에서는 2차 연소실의 최적 형상 설계에 가장 주된 목적을 두고 연구가 수행되었는데, 최종적으로 이와 같이 개발된 모

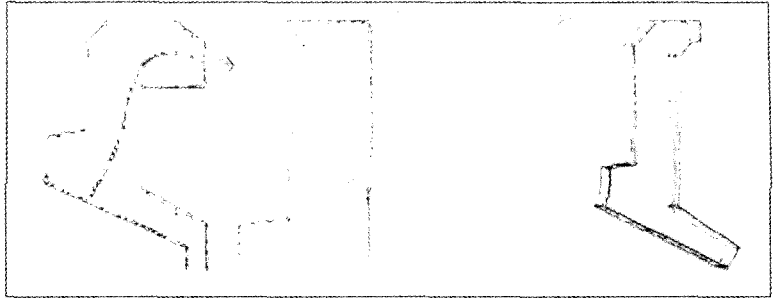


그림 6 G7 연구개발 과제에서 전산유체역학의 해석결과 예(pilot plant, 1st design, research result, final design)

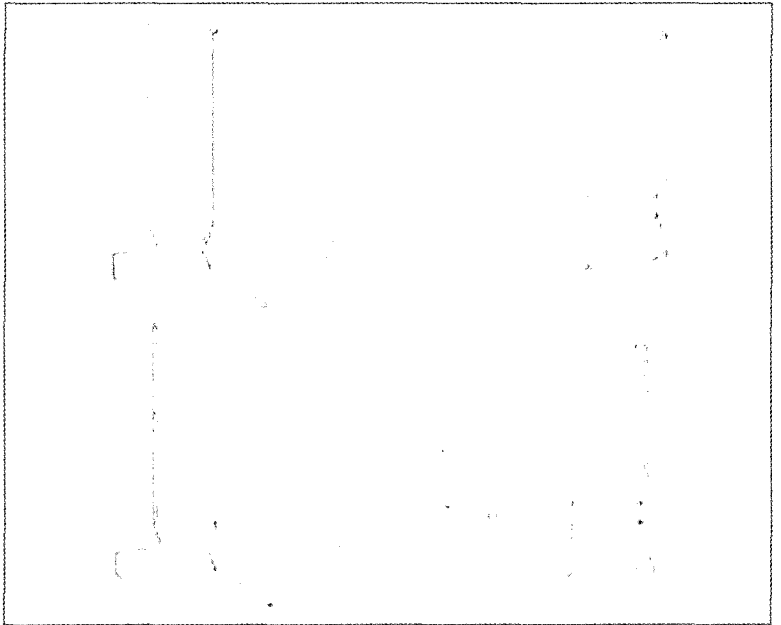


그림 7 소각로에서 전산유체역학을 통한 해석 및 상용플랜트 적용의 예(상 : 개선 전, 하 : 개선 후)

델은 최근 상업용 소각로에 채택되어 국내에 1호기가 건설되고 있다. 필자가 파악하고 있는 정보 범위 내에서는 소각로 개발 과제는 국내에서 최초로 소각 플랜트를 독자 기술로 개발하는 과제이었다. 또한 CFD해석 결과를 응용하여 소각 플랜트의 핵심 장치인 연소실을 설계한 국내 최초의

사례인 것으로 판단된다.

이와 같이 CFD 해석 결과를 원천 설계에 반영하는 경우에 비하여 많은 경우 기본설계가 완료된 소각로의 연소실에 대하여 약간의 수정 설계가 필요한 경우에 CFD 기술을 응용하는 경우는 상당히 많으며 이에 대한 해석 결과의 예를 그림 7에 나타내었다.

그림 7에 나타난 해석 결과는 운전 조건 변경 또는 2차 공기 노즐 설계에 직접 CFD 결과를 반영한 경우에 대한 결과이다.

향후 소각 플랜트에 대한 특히 연소실에 대한 원천 설계 기술을 확보하기 위해서는 CFD 기술의 보다 적극적인 활용이 필요하다고 판단된다. 국내의 경우 점진적으로 강화되어 가는 환경규제 관련 법규의 영향으로 인하여 에너지 및 환경 플랜트에서의 공해물질 배출의 최소화는 이제 선택의 문제가 아닌 필수적인 문제이다. 이에 따라 많은 에너지환경 플랜트가 저공해를 목표로 연구와 개발이 진행 중에 있다. 반면에 에너지환경 플랜트의 후처리 설비는 작동 원리 및 시스템의 구성이 비교적 단순한 관계로 고전적인 설계에 의존하는 경우가 대부분이다. 그러나 많은 경우에 최적화되지 않은 개념으로 설계가 진행되고 있는 것으로 판단이 되며, 이에 대한 보완으로 CFD 방법을 응용한 설비의 최적화를 통하여 공해물질 제거 성능의 향상을 가져올 수 있을 것으로 판단이다.

SCR(Selective Catalytic Reduction) 또는 SNCR(Selective Non-Catalytic Reduction) 설비의 경우 분사된 암모니아 또는 요소수가 균일하게 분포되는 것이 필수적이라 할 수 있다. 그러나 이와 같은 설비 내의 복잡한 유동현상을 직접 관측할 수 없는 특성상 대부분의

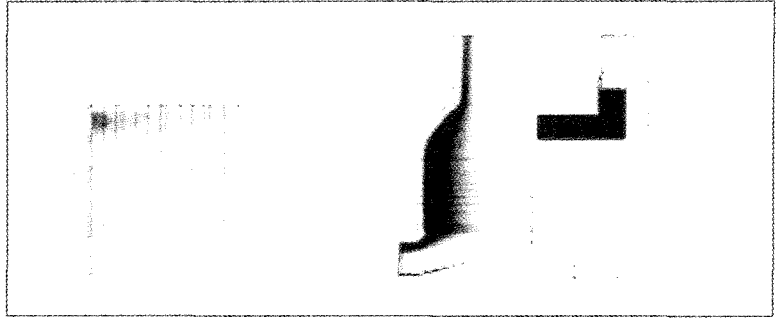


그림 8 화력발전소 SCR 시스템에서 수평형 HRSG와 수직형 HRSG에서 암모니아 가스의 분포 특성

경우 경험적인 설계에 의존하고 있다. CFD 해석을 응용할 경우에는 유동현상의 이해 및 이에 따른 적절한 분사 조건을 설정하여 줌으로써 암모니아 가스 또는 요소수의 증발 및 증발된 기체가 균일하게 분포되는 조건을 설정하여 줄 수 있으므로 질소산화물 제거에 탁월한 효과를 가져올 수 있을 것으로 기대할 수 있다. 전기 집진기의 경우에도 균일한 유속을 확보하여 집진효율을 높이거나 유지보수에 필요한 시간을 확장하는 등의 직접적인 효과를 기대할 수 있다. 이에 본 연구에서는 후처리 설비 최적화를 위하여 전산유체역학 기법을 적용한 사례를 보고하고자 한다. 이미 위에서 고찰한 바와 같이 에너지환경 플랜트의 핵심장치라 할 수 있는 연소실에 대해서는 원천설계에 적용하기 위한 CFD 응용연구는 비교적 적은 것으로 알려져 있으며 대부분의 경우 운전조건의 개선 또는 일부 보조 장치의 설계 등에 응용하고 있다. 또한

이와 같은 해석은 대부분 기초 연구에 치우치는 경향이 있으며 플랜트의 설계에 직접 응용되는 경우는 많지 않은 것으로 알려져 있다. 이와 같은 이유는 대형 플랜트의 경우 연소실 설계를 외국 기술사에 의존하는 경향이 높은 점 및 복잡한 연소실에서의 연소현상의 해석 방법 및 정확도에 있어서의 CFD 기술 자체의 한계 등에 기인한 것으로 판단된다. 또한 국내에 연소 해석에 대하여 학계 및 연구계의 연구 인력은 많은 반면에 산업계에서 연소현상을 해석하는 기술인력은 상대적으로 비교적 적은 원인이 함께 작용하였다고 판단된다. 반면 연소실의 후단부에 설치되는 각종 연소가스(배가스) 후처리 장치의 경우 대부분 내부의 현상이 비교적 단순하고 기본설계도 국내의 업체에서 이루어지는 경우도 많아 CFD 해석 기술을 직접 설계에 응용하는 경우가 상당히 많은 것으로 알려져 있다. 그러나 후처리 장치의 경우에도 많은 경우

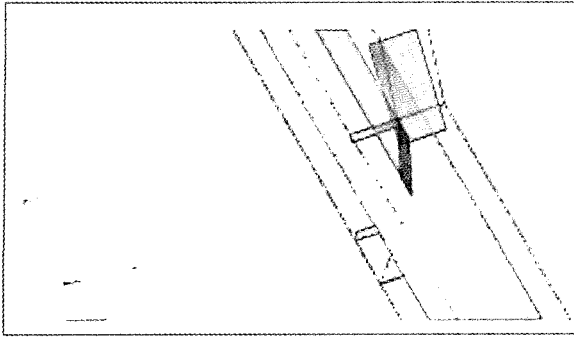


그림 9 생활폐기물 소각로의 SCR 시스템과 특수 목적 소각로의 전단 덕트에서 암모니아가스의 분포 특성

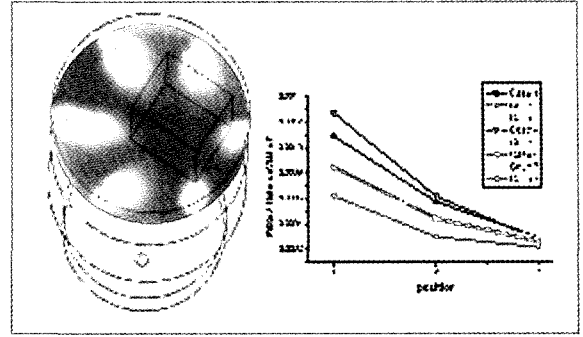


그림 10 SNCR 시스템에서 우레아 분사노즐의 다양한 조건에 따른 우레아가스의 분포 및 연소로 높이에 따른 우레아가스의 혼합도 편차

표 1 IGCI-EP7 제약조건 및 해석의 최종 결과

구분	1.15U	1.4U	RMS
IGCI-EP7 기준 조건	1.15U 이상 속도 15%	1.4U 이상의 속도 1%	25% 이하
전단에서의 규정 위치	6.8	0.75	22.0
끝단에서의 규정 위치	8.5	0.0	21.7

핵심 장치의 설계보다는 보조 장치의 설계를 위한 목적으로 CFD 해석 결과가 활용되는 경우가 많은 것으로 판단된다. 이 글에서는 CFD 기술을 직접 연소실의 배가스 처리 장치에 활용한 사례를 살펴보고자 한다.

그림 8은 기력발전소 또는 복합화력발전소 등의 여러가지 형식의 발전소 후단부에 설치되는 질소산화물(NOx) 제거장치인 SCR(Selective Catalytic Reduction) 설비에 대한 해석 결과의 예를 보여주고 있다. 연소실에서 생성된 NOx가 각종 열교환기를 거치는 동안 균일하게 분포되었을 것이라고 생각하면, 균

일한 반응을 통하여 질소산화물의 제거를 최대화하기 위해서는 분사하는 암모니아와 연소가스가 최적으로 혼합이 이루어져야 한다. 우선 분사된 암모니아 가스가 촉매층에 도달하기까지의 제한된 거리 이내에서 충분한 혼합이 이루어질 수 있는 노즐 설계가 필요하다. 노즐설계를 최적화한 이후에도 암모니아 농도 분포의 균일화를 위해서는 SCR 장치에서 유동의 균일도가 매우 중요한 인자로 작용하게 된다. 따라서 유동의 균일도를 확보하기 위하여 안내깃(guide vane) 또는 각종 보조장치를 적절하게 설계하여 주는 것이 필요하다. 이와 같은 응

용을 위하여서는 난류 유동해석과 농도해석을 포함하는 비교적 기본적이라고 할 수 있는 CFD 기법만으로도 해석이 가능하므로 2000년 초반 이후에 발전소에 채택된 SCR 설비의 경우 대부분이 CFD해석 결과를 적용한 것으로 알고 있다. 또한 대부분의 상업용 소각로의 경우에도 SCR 설비의 설계에 CFD 해석 결과를 바로 적용하였는데, 소각로의 SCR 시스템에 적용한 예를 그림 9에 나타내었다.

소각로 SCR의 경우 유동의 균일도 확보를 위한 보조장치의 설계와 동시에 노즐의 숫자가 적은 특성상 주어진 거리 이내에서 충분히 혼합될 수 있는 노즐의 숫자 및 배열 등을 찾는 연구가 진행되었다. SCR 설비의 경우 저온에서 암모니아를 분사하여 촉매 반응에 의하여 NOx 제거 반응을 일으키는 것에 비하여 SNCR(Selective Non-Catalytic Reduction) 설비에서는 고온에서 요소수(우레아)를 분사하

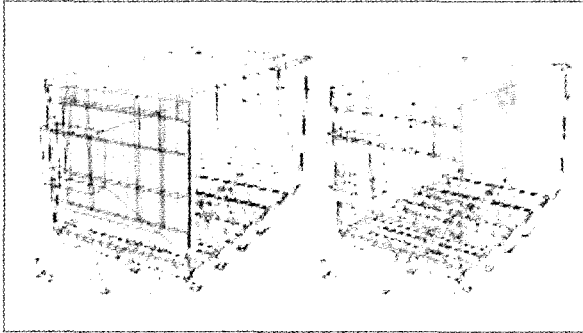


그림 11 전기집진기에서 주유동 방향의 속도 분포 특성(좌: 전면, 우: 후면)

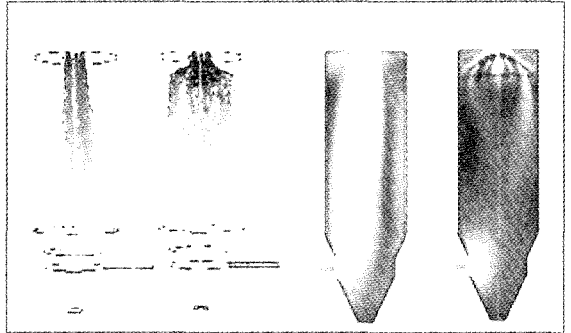


그림 13 SDA 시스템에서 전산유체역학 해석의 예

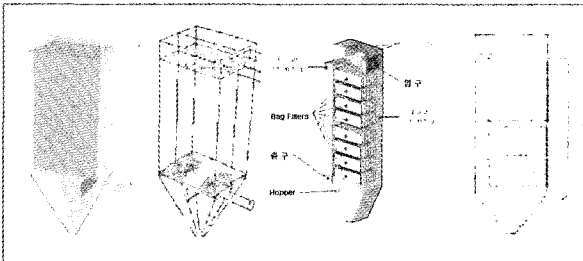


그림 12 일반적인 백필터와 수평 포켓형 백필터에서 형상 및 속도 벡터 특성의 예

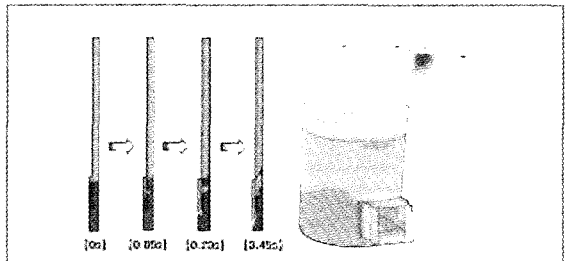


그림 14 FGD 시스템에서 전산유체역학 해석의 예(좌 : chemical solvent type, 우 : limestone injection type)

여 NOx 제거 반응을 일으킨다. 이 경우에는 분사된 요소수가 증발된 후 빠른 시간 내에 균일하게 혼합되는 것이 중요하다. 그림 10에 유동상 소각로에서의 SNCR 설비에 대한 해석 결과의 예를 나타내었는데, 본 연구에서는 적절한 분사 방법, 즉 우레아 분사 노즐에서 적절한 분사 방법 및 적절한 분사위치를 찾는 것에 주된 목적을 둔 연구가 수행되었다.

최근에는 전기집진기에서 유동의 균일도를 확보하기 위하여 제작 이전에 CFD 해석결과를 설계에 적용하는 경우가 대부분이다. 특히, 전기집진기의 경우, 유동의

균일성을 확보하여야 한다는 IGCI-EP7 규정을 만족하는 설계가 이루어져야 하는 특성상 최근에는 한국전력(주)에서 발주하는 전기집진기의 경우, 설치 이전에 CFD 해석 결과를 설계에 반드시 반영하여 플랜트 설치 후의 시행착오를 최소화하는 방안으로 적용되고 있다.

다음의 그림 11과 표 1에 CFD 해석에 의하여 IGCI-EP7 조건을 만족하는 최종 설계의 예를 나타내었는데, 전기집진기 입구에 분산판(다공판) 및 안내깃 설치 그리고 다공판의 적절한 위치를 막아 유동의 균일도를 확보하는

연구가 수행되었다.

백필터 집진기의 경우 형상이나 운전 조건이 단순한 특성상 고전적인 경험에 의존한 설계에 의존하여 왔는데, 최근에는 조금이라도 우수한 집진기를 설계하겠다는 움직임이 보이고 있으며 이에 따라 CFD 해석 결과를 설계에 반영하려는 움직임이 보이고 있다. 특히 일반적인 집진기에서 발생할 수밖에 없는 와류 구조의 최소화를 위한 설계 변경 또는 새로운 개념의 집진기 개발시의 검증 목적 등에 CFD해석 결과가 응용되고 있다. 그림 12에 백필터 집진기의 해석 결과의

예를 나타내었다. 본 연구에서는 와류 영역(vortex flow or recirculation zone)을 최소화 하거나 특정 영역으로 연소가스가 치우치지 않기 위한 구조 설계 등에 목적을 두고 연구를 수행하였다.

상기와 같은 후처리 설비 이외에도 최근에는 소각 플랜트에서 염화수소(HCl)를 제거하는 장치인 SDA(Semi-Dry Absorber)에도 CFD 해석결과를 응용하는 시도가 이루어지고 있다. 또한 한국전력(주) 및 발전 플랜트설비를 제조하는 기업체 등에서 아황산가스(SO_x) 제거장치인 FGD(Flue Gas Desulphurization) 장치의 설계를 위하여 CFD 해석결과를 이용하려는 시도가 이루어지고 있는데, 그림 13에 소각로 SDA 해석 결과의 예를 그리고 그림 14에 화력발전소 탈황장치의 해석 결과의 예를 보여주고 있다.

상기에서 살펴본 바와 같이 최근에는 이전과는 달리 후처리 설비 대부분의 영역에서 CFD 해석 결과가 응용되고 있다. 대부분의 에너지환경 플랜트의 후처리 설비 내부의 현상은 비교적 간단한 특성상 해석이 용이하고, 복잡한 물리화학적 현상을 동반하지 않는 특성상 해석 결과의 정확도의 측면에서도 비교적 신뢰도가 높다고 할 수 있겠다. 이와 같은 특성을 고려할 때에 해석 결과를 바로 설계에 적용할 수 있다고

판단되며 실제 많은 경우 설계에 바로 적용되었다. 초기에는 환경법규의 만족의 확인 또는 발주처에서 제시한 의무조건을 만족을 위한 수단으로 해석 결과를 이용하는 방식으로 수동적으로 CFD 해석을 수행하는 경우가 대부분이었는데, 최근에는 조금이라도 성능을 향상시키자는 의지에 의하여 자발적으로 CFD 해석을 수행하는 경우가 점차로 증가하고 있다. 다만 아직도 아쉬운 점은 핵심 장치의 설계보다는 보조 장치의 설계의 비중이 훨씬 크다는 점인데, 향후에는 급진적이지는 않겠지만 점진적이거나 핵심장치 개발을 위한 해석의 비중이 높아질 것으로 판단되며 또한 해석을 통한 기본 설계에의 반영 빈도수도 증가할 것으로 판단된다.

상기와 같이 에너지환경 분야에 CFD 기술을 적용함에 있어서, 한 가지 흥미로운 사실은, 중소기업(경우에 따라서는 중견기업 또는 대기업)의 경우에는 이러한 해석의 필요성이 기술진 또는 경영진의 자발적인 기술 개발에 대한 의지가 아닌, 외부 환경에 따른 수동적인 측면에서 시작되는 경우도 종종 발생한다는 점이다. 소각 플랜트의 경우, 초기(약 6~7년 전)에는 대형 프로젝트의 수주를 위한 제안서에 멋진 그림을 넣기 위한 목적으로 CFD 해석을 수행한 경우도 존재한다(이와 같은 경우 CFD는 Colorful Fluid Dynamics로 전략한다고

볼 수도 있는데, 필자의 사건으로는 이와 같은 경우에는 멋진 그림과 기술적 가치 두 가지를 동시에 제공함으로써 기술자의 가치를 유지함과 동시에 CFD 기술의 저변 확대를 도모할 수 있다고 판단한다). 발전플랜트의 경우, 플랜트의 완공 이후에 시운전 기간의 단축 또는 시행착오를 최소화하고자 하는 한국전력(주)의 의지에 의하여 제조업체에 부여된 의무를 충족시키고자 하는 수동적인 자세에서 CFD 해석을 수행한 경우도 존재한다. 이와 같은 의무 충족을 위한 해석의 수행은 비단 에너지환경 분야에서만 일어나는 업무는 아니다. 예를 들어, 자동차산업의 경우에도 완성차 업체에서 부품 납품 업체들에게 의무적으로 CAE(CFD/FEM 해석 등) 해석 결과를 첨부하도록 요구하여, 부품 제조업체에서는 수동적으로 해석을 수행하는 경우가 상당히 많은 것으로 알려지고 있다.

반면, 새로운 한 가지 흥미로운 사실은, 이와 같이 제조업체에서 몇 차례의 멋진 그림 확보 또는 수동적인 의무를 완수하는 과정에서 실제로 해석 기술의 중요성을 인식하게 되어 해석 기술을 적극적으로 도입하게 되는 경우가 자주 발생한다는 점이다. 이러한 사실에서, 필자의 사건으로는, CAE 해석자들이, 특히 열유체공학 기술진들이, 다양한 분야에 대한 응용을 통하여 저변 확대를

계속하여 나간다면 파급되는 효과는 상당히 클 것이라고 판단된다. 실제로 지구상에서 유체의 영향을 전혀 받지 않는 기계는 단 하나도 없다는 점을 고려할 때에, 그리고 열유체 기술은 제품개발의 상위 단계에서 이루어지며 우리나라의 제품개발 수준이 이러한 상위 단계의 기술을 필요로 하는 시점이 되었다는 여러 가지 정황들을 참고할 때에, CFD 전공자들의 활동영역은 엄청나게 넓다고 할 수 있다. 실제로 최근에는 건축, 환경, 화공, 전기, 전자 등의 다양한 분야의 공학 기술진들이 상업용 CFD 코드들 이용하려고 시도하는 추세를 볼 때에, 다른 분야의 공학자들보다 적어도 열유체공학에서는 당연히 고수라고 할 수 있는 CFD 전공자들의 활동영역은 아주 넓다고 확신할 수 있다. 최근 회자되는

우스개 소리에 비추어 표현하더라도, CFD 전공자(넓게 보아 열유체공학 전공자)들은 이태백 또는 삼팔선 등의 단어를 다른 나라의 이야기로 생각하여도 될 것으로 판단한다. 또한 여기에 더하여, CFD 전공자들이 다양한 분야에 대한 저변확대를 위한 노력까지 기술인다면 CFD 기술의 필요성(넓게 보아 열유체공학 기술의 필요성)은 보다 핵심적인 분야로 자리잡을 수 있을 것으로 판단된다.

결론적으로 요약하여, 국내의 CFD 기술이 어떻게 적용되고 있는지 비교적 잘 알 수 있는 업종에 근무하고 있는 필자의 사견으로는 향후에도 다양한 산업분야에서 CFD 기술의 필요성은 꾸준히 증가할 것으로 판단한다. 그 근거의 하나로서, 국내의 CFD 코드 판매 및 컨설팅 용역을 수

행하고 있는 대부분 업체의 경우 매출액 규모 자체는 아직 크지 않지만 IMF 시절을 제외하고는 현재까지 계속적으로 매출액이 증가하고 있는 점을 제시한다.

후 기

이 글의 작성을 위하여 여러 산업체 및 연구기관의 수탁과제로 수행된 해석 결과들을 예로서 인용하였습니다. 이에 관계자 여러분들께 감사의 말씀과 함께 사전 승인을 받지 못한 점에 죄송한 말씀을 드립니다. 그러나 각 기관의 대외비에 포함될 수 있다고 판단되는 내용을 제외시키기 위한 최대한의 노력을 기울였으며, 이러한 과정에서 본 연구의 내용에 포함된 그림에서의 LEGEND 또는 색깔에는 일정한 규칙을 배제하였음을 밝힙니다.

기계용어해설

자기유변유체(Magneto-rheological Fluid)

MR(magneto-rheological) 유체는 비전도성 용매에 수 마이크론 크기의 극성 입자를 분산시킨 현탁액(suspension). 외부에서 부하된 자기장 강도에 따라 수 msec 이내에 유변학적 특성이 연속적이면서 가역적으로 변하는 기능성 유체

병렬 기구(Parallel Mechanism)

적어도 두 개 이상의 직렬 부속기구에 의해 이동 가능한 말단효과장치가 고정된 하판과 연결되어 구성된 닫힌 형태의 기구

재배치(Remap)

입력의 변형된 메시에서 구해진 해(solution)를 다른 메시 구조에서의 해로 mapping 하는 기법

외란(Disturbance)

위성의 자세 제어를 위한 힘과 토크 이외에 여러 가지 원인에 의해 발생하는 불필요한 힘 및 토크들에 의해 위성 자세 제어에 악영향을 미치는 요인들을 말한다.