

중·저준위 방사성폐기물 유리화 시설 배기체처리공정
시뮬레이션 코드 개발

Development of Simulation Code for Off Gas Treatment System
in LILW Vitrification Facility

김학수, 맹성준, 신상운, 이명찬

한전 원자력환경기술원
대전광역시 유성구 덕진동 150

요약

한국전력공사는 원전에서 발생하는 모든 폐기물을 처리하여 처분환경에서 장기적으로 안정한 고화체를 만들고 처분 부피를 대폭 줄일 수 있는 중·저준위 방사성폐기물 유리화 기술을 개발하였고 실증설비를 설치하여 운전중에 있다. 본 설비는 가연성폐기물을 처리할 수 있는 유도가열식 저온 용융로와 비가연성 폐기물을 처리할 수 있는 플라즈마 토치 용융로, 그리고 배가스를 처리할 수 있는 배기체처리계통으로 구성되어 있다. 배기체의 특성을 정확히 파악하여 각 핵종이나 유해 물질별로 그 특성에 따라 적절한 배기체 처리공정을 구성해야 한다. 따라서, 본 연구에서는 배기체 처리설비들에 대한 기능 및 운전변수 등을 참고하여 개발된 배기체 처리공정 시뮬레이션 코드를 이용하여 계산된 결과를 프랑스 SGN에서 수행한 Orientation Test 결과 및 현대정공(주)에서 계산한 결과와 비교하였으며 만족할 만한 결과를 얻었으며, 향후 배기체처리공정을 최적화하는데 유용하게 이용될 것이다.

Abstract

Vitrification technology is emerging as one of the most promising options for the treatment of intermediate and low level radioactive waste because of its high volume reduction ratio and long-term excellent characteristics of final waste form in the disposal environment. Korea Electric Power Corporation(KEPCO) had been developed a combined vitrification process composed of a Cold Crucible Induction Melter, a Plasma Torch System and and Off-gas Treatment System, and constructed a vitrification plant. The off-gas treatment system should be designed for the optimal treatment of off-gas depending on the its chemical and radiological characteristics. A computer code for the simulation of off-gas treatment system has been developed in this study. The function and operation parameters for each component of the system were considered. The results calculated using the code were compared with experimental data obtained from orientation tests performed in SGN and design data given by HDPIC. The comparison showed that this simulation code can be used for the optimization of off-gas treatment system in the vitrification plant.

1. 서론

배기체 처리시스템의 목적은 인체 및 환경에 유해한 성분을 포함하고 있는 배기가스를 적절한 방법으로 처리하여 환경에 대한 영향이 없을 정도까지 농도를 낮추는데 있다. 플라즈마 및 유도가열식 저온 용융로를 이용하여 원전에서 발생하는 방사성폐기물을 유리화할 때 다양한 화학종을 함유하고 있는 배기체가 발생할 수 있으며, 이들이 적절히 처리되지 않을 경우 유해한 금속, 탄화수소, 그리고 방사성 물질이 방출되어 사회, 환경적으로 심각한 문제를 야기시키게 된다.

따라서, 중·저준위 방사성폐기물 유리화 시설을 건설, 운영하기 위해서는 안전성 분석을 통한 인·허가가 필수적이며, 부산물로 발생하는 방사성 핵종이나 유해 화학물질을 적절히 처리하여 규제치 이하로 유지하는 것이 필요하다. 이를 위해서는 배기체의 특성을 정확히 파악하여 각 핵종이나 유해 물질별로 그 특성에 따라 적절한 배기체 처리공정을 구성해야 한다.

배기체의 특성, 종류 및 발생량은 처리되는 방사성폐기물의 종류에 따라서 크게 달라지며, 실제 배기체 공정을 설계하여 운영하기 전에 각 공정별로 효율이나 온도 등에 따른 전체 배기체 공정의 처리 효율을 예측할 수 있다면 그 결과를 설계치에 반영하여 효과적이고 경제적인 배기체 처리공정 구성을 기대할 수 있을 것이다. 따라서, 본 연구의 목표는 배기체 처리공정을 구성하고 있는 각 기기의 배기체 처리 효율 및 배기체 성분을 예측할 수 있는 시뮬레이션 코드의 개발에 있다.

2. 유리화 시설의 배기체 처리공정

중·저준위 방사성폐기물을 처리하기 위하여 설치된 유리화 설비는 가연성 폐기물을 처리하기 위한 유도 가열식 저온 용융로 공정과 비가연성 폐기물을 처리하기 위한 플라즈마 토치 용융로 공정의 복합공정으로 이루어져 있으며, 각 용융로에서 발생하는 배기체는 후단에 연결되어 있는 배관 냉각기와 고온 필터, 후단연소기, 배기체 냉각기, 세정기, 활성탄 필터/HEPA 필터 및 NO_x 제거계통으로 이루어진 배기계통을 통해 안전하게 처리된 후 환경으로 방출되도록 설계되었다. 그림 1은 유도 가열식 저온 용융로 및 플라즈마 토치 용융로를 포함한 배기체 처리계통을 나타내고 있다.

가. 냉각장치 (Cooler)

배기체 처리계통에서 사용되는 냉각 방식을 다음과 같이 3가지가 있다.

- By off-gas/water heat exchange
- By air dilution
- By Quencher

냉각장치 후단에 설치된 고온필터의 작동 온도가 300 ~ 500℃이므로 냉각기는 유도가열식 저온 용융로에서 나오는 800℃의 배기체 온도를 400 ~ 500℃까지 낮추는데 이용된다.

나. 고온 필터 (High Temperature Filter-HTF)

유도 가열식 저온 용융로로부터 약 800℃로 방출된 배기체는 휘발된 세슘을 효과적으로 응축시켜 제거할 수 있도록 배관 냉각기를 거치면서 500℃로 냉각된 후 고온필터로 유입

된다. 고온 필터는 입자성 물질을 제거하는 것을 주 목적으로 하는 기기로서 최대 900℃까지 견딜 수 있어야 하여 뱅츄리 칼럼에 배기체를 보내기 전에 입자를 제거하는 역할을 한다. 프랑스 Marcoule 에서의 오리엔테이션 테스트 결과 저온 용융로에서 폐수지를 처리할 경우 많은 입자성 물질들이 방출됨이 확인되었다. 입자의 농도는 10g/Nm³ 정도로 비교적 높게 나타났고 입자의 분포는 85 ~ 90% 가 직경 3.1 μ 이하의 미세 입자들이 10%를 차지했으며 나머지 10 ~ 15%는 3.1 ~ 7.5 μ 크기를 갖는 것으로 나타났다. 필터의 위치는 가능한 한 먼지 배출 Source와 근접하도록 하는 것이 바람직한데 이것은 먼지가 침적되는 것을 방지하고 배기체 공정 기기들 내에 막힘 현상등을 최소화 할 수 있기 때문이다.

다. 후단연소기 (Post Combustion Chamber-PCC)

후단연소기는 미연소된 유기 물질의 완전연소를 돕기 위한 장치로서, 저온 용융로를 떠난 배기체는 400 ~ 500℃ 온도로 배출된 후 후단연소기에 유입된다. 후단연소기에 유입된 배기체는 약 2초가 머무르면서 1,100℃의 온도를 유지하게 된다. 일반적으로 저온 용융로에서 폐수지를 태울 경우 초기에는 일산화탄소가 700 ~ 1,300ppm, 탄화수소가 170 ~ 200 ppm 정도의 많은 양이 배출되다가 정상상태에 도달하면 일산화탄소가 100 ppm 이하, 탄화수소가 10 ppm 이하정도로 감소하게 된다. 그러나 DAW의 경우에는 정상상태에서도 다소 많은 양의 CO와 C_xH_y가 발생하는 결과를 나타냈다. 유럽의 규제치를 살펴보면 배기체는 6% 산소로 최소한 2초간 후단연소기에서 체류토록 하여 1,100℃ 까지 가열하도록 권장하고 있으며, 우리나라의 경우는 12% 산소를 가지고 연소한 경우 일산화탄소의 농도를 600 ppm 까지로 규제하고 있다. 이러한 규제조건을 만족시킴으로서 산소량이 적은 공기를 사용하여 Thermal NO_x를 억제하고, 노내를 900℃ 이상 고온으로 유지함으로써 다이옥신의 생성도 억제하는 역할을 한다.

라. 급냉/세정기 (Quench/Scrubber)

급냉기는 배기체의 온도를 약 90℃까지 급냉시키는 것을 주 목적으로, 세정기는 배기체내에 포함된 SO₂, SO₃, HCl, NO_x 등의 산성가스 제거를 목적으로 사용되는 기기이다. SO₂, HCl 등의 산성가스 제거를 위해 NaOH 용액을 사용하고, 급냉기와 세정기에서 사용되는 용액이 심하게 오염되었을 경우에는 액체폐물처리계통(Effluent Treatment System)을 경유하여 정제시켜 재 사용할 수 있다. 세정기 상부에 세정된 배기체의 습분 제거를 위해 습분제거기가 설치된다. 세정기 출구에는 이산화황의 농도를 300 ppm 이하, HCl은 50 ppm 이하로 유지하도록 성능 목표를 설정하였다.

마. 활성탄/HEPA필터

세정기를 통과한 배기체는 세정기 후단재열기에서 포화온도 이상으로 다시 가열된 후 활성탄 필터와 HEPA 필터로 이루어진 여과 공정으로 유입되며, 활성탄 필터에서는 배기체 중의 잔류 유기물질과 옥소 등이 제거되며, HEPA 필터에서는 전단의 처리공정에서 제거되지 않은 미량의 미립자를 완전하게 제거한다.

바. 선택적 촉매 환원 장치(Selective Catalytic Reduction : SCR)

선택적 촉매 환원 장치는 NO_x와 다이옥신류 제거 기능을 하는 기기이다. 배기체는 일단 300℃까지 가열되어 DeNO_x 기기에 들어가기 전에 암모니아 가스와 혼합되게 된다. 첫 번째 단계에서 NO_x를 질소로 환원시켜 제거하고 다음 단계에서 다이옥신이 제거된다. 본 기기를 거친 후 NO_x를 200ppm 이하로, NH₃를 50 ppm 이하로, 그리고 다이옥신은 0.1 ng/N

m³ 이하로 낮추는 것을 목표로 한다.

3. 배기체 처리계통 시뮬레이션 코드 개발

단위 기기별 주요 변수

o 후단연소기

우선적으로 선행되어야 할 것이 연소계산인데, 연소계산이란 결정된 폐기물의 특성에 따라 발열량, 주입공기량, 연소가스 발생량, 연소가스 비열등을 계산하는 과정이다. 이를 위해서 후단연소기에 주입되는 공기 대 연료비 (Air Fuel Ratio-AF-)와 배기체가 다양한 오염원으로 구성되었을 때의 Heat Value값을 알아야 하는데 이를 식으로 표현하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$AF = \frac{(Mole \times Molecular Weight)_{air}}{(Mole \times Molecular Weight)_{fuel}} = \frac{n_a M_a}{n_f M_f} = \frac{28.97 n_a}{n_f M_f}$$

$$HeatValue = \nabla \frac{H_R}{m_f} = (\nabla \frac{H_R}{m_f})_f + C_{mp} (\nabla \frac{H_R}{m_f})_p \nabla AF \quad (MJ/kg)$$

여기서, sub f : Fuel

sub p : Pollutant

Cmp : Mass Fraction of Pollutant

또한, 후단연소기의 설계시 필요한 연소기 체적과 반응면적을 공기와 연료의 유량 및 체류 시간으로부터 계산할 수 있다.

$$V = Flow\ Rate\ of\ (Air + Fuel) \times Residence\ Time = \frac{m_a + m_f}{\rho_2} t$$

$$A = \frac{Flow\ Rate\ of\ (Air + Fuel)}{Production\ Gas\ Velocity} = \frac{Q}{v} = \frac{m_a + m_f}{\rho_2 v}$$

ρ_2 : Exit Air Density

발열량 계산은 고위발열량(HHV)과 저위발열량(LHV)을 계산해야 하는데 고위발열량은 여러 가지 식 중에서 Dulong의 식을 이용하고 저위발열량은 고위발열량값으로부터 계산한다.

$$HHV = 8100(C) + 34000 \left\{ (H) - \frac{(O)}{8} \right\} + 2500(S) \quad kcal/kg$$

$$LHV = HHV(1 - W) - 600(9H + W) \quad kcal/kg$$

C, H, O, S : wt% of components in waste

W : wt% of wet components in waste

실제로 완전 연소를 위해 주입되는 공기량은 이론공기량 A₀보다 많으며 산소농도를 6% 이상 유지시키기 위해서는 공기비(Air Ratio, m)가 대략 1.4 이상 되어야 한다. 연소시 각 원

소의 연소반응에 따른 필요공기량을 계산하면 다음과 같다.

$$m = \frac{\text{Real Air, } A}{\text{Ideal Air, } A_0}$$

$$A_0 = 8.89(C) + 26.7(H) - 3.33(O) + 3.33(S) \quad \text{m}^3/\text{kg}$$

연소가스의 비열은 온도 및 가스 조성에 따라 달라지므로 공학적인 계산에서는 다음과 같은 방식으로 단순화하여 비열계산을 한다. 이 식에서 임의의 상수 a, b 는 연소가스 성분별로 제공되어 있는 값을 인용한다. 또한 반응에 이용된 총 입열과 열손실, 출열등을 고려하여 이들이 균형을 이루어야 한다는 열정산 조건에서부터 연소실 출구의 온도를 예측하게 된다.

$$C_{p,g} = \sum_{i=0}^M m_i a_i + T \sum_{i=0}^M m_i b_i \quad \text{J/kg}^\circ\text{C}$$

◦ 선택적 촉매 환원 장치 (SCR)

SCR은 주로 NO_x 제거용으로 사용되었는데 최근들어 다이옥신 분해 성능이 알려져 널리 사용되고 있다. 촉매의 선정은 다이옥신 분해 반응에 활발한 물질(V₂O₅ 등)을 적당량 이상 포함하도록 하고 온도는 반응에 적합하도록 충분히 고온(250 °C) 이상 이어야 한다. 면적 속도가 중요한 인자로서 5 m/hr 이하로 유지하는 것이 바람직하다. 면적속도(Area Velocity)에 따른 다이옥신 분해 효율은 다음과 같은 실험식을 이용하여 계산한다.

$$AV = \frac{\text{Total Gas Flow Rate}}{\text{Cross Sectional Area}} = \frac{G(\text{m}^3/\text{hr})}{A(\text{m}^2)} \quad \text{m/hr}$$

$$\eta = \exp(-0.083338A_v + 0.233378)$$

◦ 세정기

습식세정기에서는 미세한 액적을 분무하게 되는데 액적의 변화하는 과정을 예측할 수 있어야 한다. 액적은 비행중 서로 뭉쳐지기도 하고 분산되기도 하며 오염원과 충돌하여 Intercept, Diffusion 현상을 유발하기도 한다. 이러한 현상을 두고 Boundary Effect 라고 하는데 간단히 말하면 입자가 액적의 경계면에 들어가게 되면 액적에 의해서 제거되었다고 보는 것이다. 일반적으로 습식 세정기에 쓰이는 입자 제거 효율은 다음과 같다.

$$\eta_d = \eta_{di} + \eta_{dd} - \eta_{di}\eta_{dd}$$

η_d : single drop efficiency
sub i and d : interception and diffusion

그리고 가스 제거 효율은 다음으로 나타낸다.

$$\eta_d = \frac{3 \frac{(C_{me,0} - C_{me,1})}{C_{me,0}}}{Sc^{2/3} Re^{1/2}}$$

$$h_m = \frac{M}{\pi a^2 (C_{mv\infty} - C_{mv0})}$$

$$Sh = 0.75 Sc^{1/3} Re^{1/2}$$

Sc : Schmidt number

$C_{mv\infty}$: Gas Conc. at sufficient distance from drop

C_{mv0} : Gas Conc. at drop surface

h_m : Mass Transfer Coeff.

액적이 미세한 경우 액적은 가스 유도에 실려 거의 가스처럼 이동하게 되고 큰 액적의 경우
가스와 입자간 속도차가 생기게 된다. 따라서 종단속도(Terminal velocity)를 고려해야 한다.
이 값 또한 입자의 크기가 큰 경우는 Drag Coeff. (Cd)로 보정해 주고, 입자가 작은 경우에는
Cunningham Correction Factor(C)를 도입하여 보정해 준다. 여기서 세부적인 식 변화는
언급하지 않겠다. 그리고 일반적으로 종단속도는 다음과 같이 표현되는데 Re수에 따라 종단
속도도 계산을 달리해야 한다.

$$V_t = \frac{F}{3 \pi d \mu} = g d^2 \frac{(\rho_p - \rho_f)}{18\mu}$$

F : Drag Force

ρ_p and ρ_f : Particle and Fluid Density

d : Particle Dia.

μ : Fluid Viscosity

$$V_t = \frac{2\mu}{\rho d} \left(\sqrt{9 + \frac{\rho F}{\pi \mu^2}} - 3 \right) \quad Re \leq 10$$

$$V_t = \frac{4.8\mu}{\rho d} \left(\sqrt{447 + \frac{\rho F}{\pi \mu^2}} - 20.4 \right) \quad 10 \leq Re \leq 700$$

$$V_t = \frac{2.48}{d} \left(\sqrt{\frac{F}{\rho}} \right) \quad Re \geq 700$$

◦ 필터

필터가 운전에 들어가면 Fiber와 필터내 공간(interstitial space) 사이에 입자가 모이게
되는데 일반적으로 hole이 없고 interstitial layer를 가진 필터의 경우 가스 유량이 낮을 때
좋은 효율을 보인다. (97 - 99%, 1-2m/s). 필터 설계시 제거 효율뿐만 아니라 Pressure
Drop도 중요한 고려사항이 된다. 필터를 계속 운전 함에 따라 필터 상부로부터 먼지층이 생
성되고 이렇게 되면 필터의 효율은 약간 증가하지만 Pressure Drop은 크게 상승된다. 이
Pressure Drop이 더욱 상승하면 필터를 교체해야한다. Pressure Drop은 다음의 식으로 표
현되는데 여기서 상수 K_1 과 K_2 는 일정한 값을 갖지 못하고 대략적인 범위만을 가지므로 계
산시 적절히 가정을 해야한다.

$$\nabla P = (K_1 + K_2 C_{m0}) V_o = (K_1 + K_2 C_{m0}) \frac{Q}{A_f}$$

$$12,000 < K_1 < 120,000 \text{ n} \cdot \text{s/m}^3$$

$$10,000 < K_2 < 130,000 \text{ s}^{-1}$$

여기서 C_{ma} 는 질량-면적 농도로서 가스유량 Q 와 필터 면적 A_f , 필터운전시간, 질량-부피 농도 C_{mv} 로부터 구해진다.

$$C_{ma} = \frac{QC_{mv}t}{A_f}$$

o Fan

팬의 종류로는 일반적으로 그 형태에 따라 아래와 같이 두가지로 나뉘고 있다.

- Axial Flow Fan : Propeller Fan, Vaneaxial Fan, Tubeaxial Fan 등을 포함한다.
- Centrifugal Fan : Forward-curved, Back-ward-curved, Radial Blades를 포함한다.

팬의 성능을 평가하고 설계를 하기 위해서는 그 팬이 가지는 특성 커브를 이해 할 필요가 있다. Centrifugal Fan의 경우는 팬을 통하는 물체의 체적 흐름율에 따른 여러 가지 커브의 조합으로 나타내는데 주로 압력, Power, 효율 등으로 나타낸다. 즉 정확한 팬의 특성커브는 팬의 형태 뿐만 아니라 위에서 언급한 변수들에 의해서 다양하게 영향을 받는다는 것이다.

팬의 특성 커브를 예측하기 위해서는 세 지점을 연결하는 선만으로도 표현 할 수 있다. 횡축을 체적 흐름율로 하고 종축을 Static Pressure Rise라고 놓는다. 첫 번째 지점은 Static No Delivery(SND) Point라고 하는데 체적 흐름율이 0이 되는 지점이다. 그리고나서 압력이 0이 되는 지점의 체적 흐름율을 Q_{max} 라고 한다. 마지막으로 SND와 같은 압력차를 갖으면서 체적 흐름율의 반이되는 지점을 연결한다. 이 세 지점을 연결한 커브 중에서 왼쪽은 양의 기울기를 갖고 오른쪽은 음의 기울기를 갖는데 이 영역은 많은 불확실성을 포함하고 있으므로 실제 팬을 운전하는 영역은 커브의 오른쪽 영역으로 하고 있다. 팬의 특성 커브와 함께 Fan Law를 이용하여 현재의 운전조건으로부터 새로운 운전 조건 즉, 팬 속도(N)나 압력(P), 유량(Q), Power(W)의 결정 등을 할 수 있다.

$$Fan Law : Q \propto N, P \propto N^2, W \propto N^3$$

배기체 처리계통 시뮬레이션 코드 구성

코드를 크게 입력부, 계산부, 출력부로 구성하였으며, 우선 입력부에서는 배기체의 성분 및 농도, 각 단위 기기의 운전변수 즉, 온도, 압력, 유량 등을 입력하게 된다. 여기서 배기체의 성분 및 농도는 응용로 시뮬레이션 코드에서 계산된 결과물을 활용할 계획이다. 다음으로 계산부에서는 배기체의 열역학적(온도, 엔탈피, 비열 등), 화학적 특성을 기본으로 하여 단위 기기에서의 배기체 성분 변화량, 제거효율 등을 계산하게 되고, 마지막으로 출력부에서는 계산된 결과를 수치화 또는 그래픽화하여 나타내게 된다. 구체적인 입·출력 변수를 표 1에 나타내었으며, 계산과정에서 중요하게 다뤄져야하는 변수들을 중심으로 구성하였다.

계산과정에서 각 단위 기기들을 독립적인 모듈로 구성하여 기기마다 필요한 계산을 따로 수행할 수 있도록 하고, 그 전 단계의 결과물이 다음 단계의 입력 자료로써 활용될 수 있도록 구성하였다. 대략적인 코드의 계산 과정은 그림 2에 제시되어 있다.

4. 결론 및 토의

유리화 설비의 배기체 처리공정을 묘사하기 위하여 개발된 본 코드를 이용하여 계산한

결과는 프랑스 SGN에서 수행한 Orientation Test 결과와 현대정공(주)에서 계산한 결과들과 비교하였으며, 표 2에는 코드 입력값이 주어져 있으며, 이 값을 이용하여 계산한 결과가 표 3에 주어져 있다. 표 3의 결과에서 보듯이 본 코드에서 계산된 결과가 SGN Orientation Test와 현대정공(주)의 계산 결과와 매우 유사한 값을 보여주고 있음을 확인할 수 있었으며, 향후 유리화 실증설비의 배기체 처리공정을 최적화하는데 유용하게 활용될 수 있을 것이다.

그림 1 중 · 저준위 방사성폐기물 유리화 실증설비 개략도

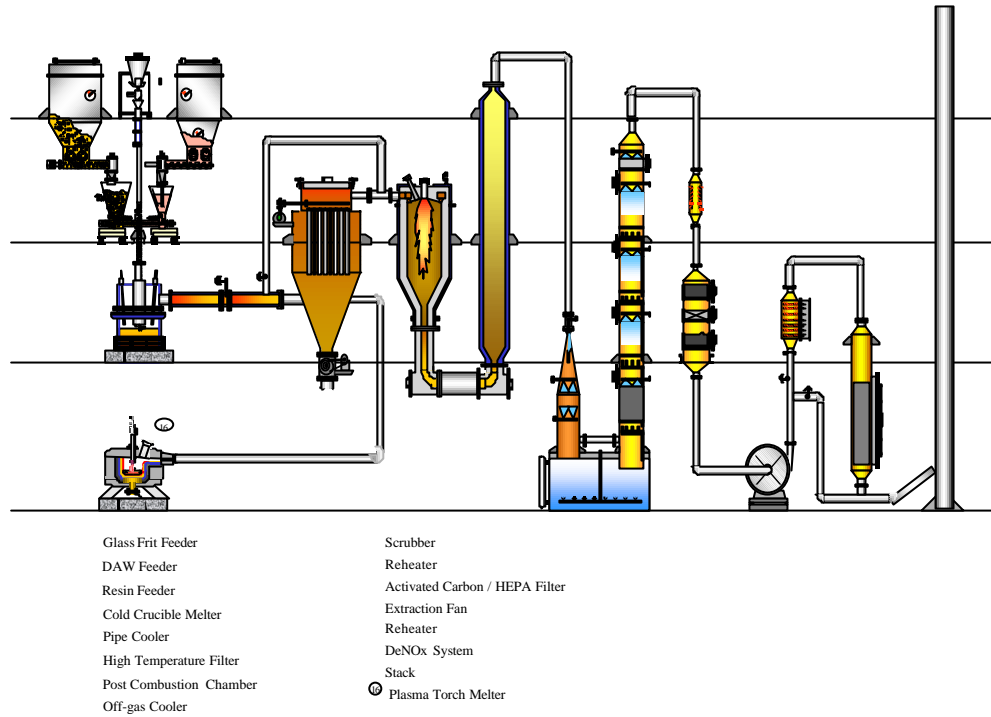


그림 2 배기체 처리계통 시뮬레이션 코드의 계산 과정

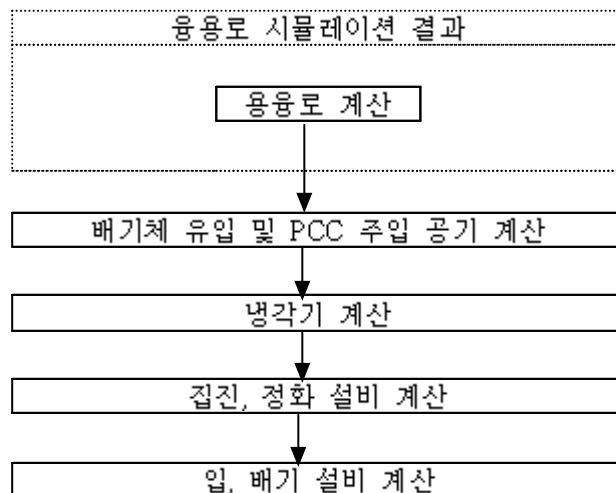


표 1. Code 입력 변수

Unit	입력변수명	Unit	입력변수명
HT Filter	Vol[m ³] Dia[m] Len[m] Num	Packed Colume	Dia[cm] Water In Rate[m ³ /hr] Vol[m ³] Cross Area[m ²]
PCC	Fuel In[kg/hr] A/F	HEPA & AC	Vol[m ³] Filter Area[m ²] Operation Time[hr]
Cooler	Heat Area[m ²] Heat Coeffi.[kJ/m ² hrc] Water Temp[°C] Exit Gas Temp[°C]	SCR	Reaction Area[m ²] Vol[m ³] Catalyst[w%] NH ₃ /NOx
Jet Scrubber	Water Temp[°C] Water In Rate[m ³ /hr] Drop Dia[cm] Gas Exit Temp[°C] Acid Eff		

표 2 Code 입력값

Unit 별 입력변수	입력값	Unit 별 입력변수	입력값
HT Filter Vol[m ³] Dia[m] Len[m] Num	8 0.04 1 64	Packed Colume Dia[cm] Water In Rate[m ³ /hr] Vol[m ³] Cross Area[m ²]	0.0276 2.5 10 5
PCC Fuel In[kg/hr] A/F	2.34 7	HEPA & AC Vol[m ³] Filter Area[m ²] Operation Time[hr]	50 20000 3
Cooler Heat Area[m ²] Heat Code.[kJ/m ² hrc] Water Temp[°C] Exit Gas Temp[°C]	2 60 80 500	SCR Reaction Area[m ²] Vol[m ³] Catalyst[w%] NH ₃ /NOx	100 10 5 0.8
Jet Scrubber Water Temp[°C] Water In Rate[m ³ /hr] Drop Dia[cm] Gas Exit Temp[°C] Acid Eff	80 0.25 0.0267 81.59 0.9		

표 3 코드 결과와의 비교표

- Orientation Test 결과와의 비교

	Cooler	HT	PCC	Cooler	Jet	Packed	HEPA	SCR
CO ₂ [code]	25,74	25,74	34,83	34,83	34,83	34,83	34,83	34,83
CO ₂ [Ref.]	28,74	25,74	28,74	28,74	28,74	28,74	28,74	28,74
H ₂ O[code]	40,8	40,8	52,62	52,67	52,67	4	4	4
H ₂ O[Ref.]	40,8	40,8	44,8	44,8	44,8	12,55	12,55	12,55
N ₂ [code]	13,07	13,07	14,451	14,451	14,451	14,451	14,451	14,451
N ₂ [Ref.]	13,07	13,07	13,07	13,07	13,07	13,07	13,07	13,07
O ₂ [code]	11,76	11,76	4,174	4,174	4,174	4,174	4,174	4,174
O ₂ [Ref.]	11,76	11,76	6,76	6,76	6,76	6,76	6,76	6,76
SO ₂ [code]	1,02	1,02	1,02	1,02	0,102	0	0	0
SO ₂ [Ref.]	1,02	1,02	1,02	1,02	0,61	0,012	0,012	0,012
HCl[code]	0	0	0	0	0	0	0	0
HCl[Ref.]	0	0	0	0	0	0	0	0
CO[code]	0,08	0,08	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
CO[Ref.]	0,08	0,08	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
NOx[code]	0,864	0,864	0,878	0,878	0,878	0,878	0,878	0,099
NOx[Ref.]	0,864	0,864	0,907	0,907	0,907	0,862	0,862	0,099
Dust[code]	0,28	0,03	0,03	0,03	0,01	0,01	0	0
Dust[Ref.]	0,28	0,03	0,003	0,003	0,001	0,001	0,001	0,001
Dioxin[code]	5	0,001	0	0	0	0	0	0

Folw Rate[Nm³/hr] Dust[kg/hr] Dioxin[ng_TEQ/Nm³]

- HDPIC 결과와의 비교

	Cooler	HT	PCC	Cooler	Jet	Packed
CO ₂ [code]	49,29	49,29	66,763	66,763	66,763	66,763
CO ₂ [Ref.]	49,29	49,29	66,79	66,79	66,79	66,79
H ₂ O[code]	39,1	39,1	61,603	61,648	61,648	39,027
H ₂ O[Ref.]	39,1	39,1	62,3	62,3	62,3	24,68
N ₂ [code]	19,08	19,08	20,461	20,461	20,461	20,461
N ₂ [Ref.]	19,08	19,08	19,08	19,08	19,08	19,08
O ₂ [code]	38,16	38,16	8,92	8,92	8,92	8,92
O ₂ [Ref.]	38,16	38,16	9,16	9,16	9,16	9,16
SO ₂ [code]	0,124	0,124	0,124	0,124	0,012	0
SO ₂ [Ref.]	0,124	0,124	0,124	0,124	0,07	0,04
HCl[code]	6,33	6,33	6,33	6,33	0,633	0,063
HCl[Ref.]	6,33	6,33	6,33	6,33	3,48	0,003
CO[code]	0,147	0,147	0,147	0,001	0,001	0,001
CO[Ref.]	0,147	0,147	0,001	0,001	0,002	0,002
NOx[code]	0,235	0,235	0,249	0,249	0,249	0,249
NOx[Ref.]	0,235	0,235	0,247	0,247	0,25	0,23
Dust[code]	0,5	0,054	0,054	0,054	0,026	0,026
Dust[Ref.]	0,8	0,008	0,008	0,008	0,006	0,004
Dioxin[code]	5	0,001	0	0	0	0

Folw Rate[Nm³/hr] Dust[kg/hr] Dioxin[ng_TEQ/Nm³]

참고문헌

- 1) H. C. Hottel, G. C. Williams, N. M. Nerheim and G. Schneider, " Combustion of Carbon Monoxide and Propane", 10th Int'l. Symposium on Combustion, Combustion Institute, Pittsburgh, Pa., 1965, pp. 111-121
- 2) B. Zeldovitch, P. Sadvnikov and D. F. Kamenetski, " Oxidation of Nitrogen in Combustion", Academy of Science(USSR), Inst. of Chem. Physics, Moscow-Leningrad, 1947
- 3) Dan B. Burns, Savannah Liver Technology Center, "Air Pollution Control System Testing at the DOE Offgas Components Test Facility", Int'l Incineration Conference at Oakland, 1997
- 4) J. R. Zamencnik, Savannah Liver Site, "Design, Operation and Evaluation of Transportable Vitrification System", Int'l Conference of Incineration and Thermal treatment, Oakland, 1997
- 5) 한국전력공사, 전력연구원 "중·저준위 방사성폐기물 유리화 기술개발(I)" 중간보고서, 1998, 10
- 6) Igor A. Sobolev, et al., "Low and Intermediate Level Waste Vitrification: Basic Principles, Process Units and Product Characterization", Waste Management '96, Tucson, Arizona, 1996