

## PD10) 질소산화물 제거를 위한 SCR 반응기 설계 Design of SCR Reactor for NOx Reduction

이인영 · 김동화 · 이정빈 · 김우영  
 한국전력공사 전력연구원 발전연구실

### 1. 서 론

선택적촉매환원(Selective Catalytic Reduciton: SCR)공정은 배기가스 중 질소산화물을 암모니아와 촉매상에서 반응시켜 무해한 질소와 물로 전환하는 기술이다(Bosch, 1988). SCR 공정에서 우수한 촉매가 확보되었을 경우, 설비의 성능은 촉매층로 유입되는 유동의 조건에 따라 좌우되므로 최적의 유동조건을 갖도록 반응기의 구조와 가이드 베인등 유로변경장치를 설계하는 것은 매우 중요하다(Cho, 1994).

본 연구에서는 개발된 SCR 국산촉매의 파일럿 플랜트 실험결과를 바탕으로(이정빈, 1999) 국내 500MW급 유연탄 화력발전소를 대상으로 한 SCR 촉매 반응기를 개념 설계하였으며 상용 전산유체 코드인 Fluent와 1/20 크기의 축소모형장치를 이용하여 최적의 SCR 반응기 설계를 위한 설계자료를 도출하였다.

### 2. 연구 방법

설계를 위한 대상 발전소는 국내 500MW급 석탄화력발전소를 대상으로 하였으며 이전의 연구에서 개발된 촉매를 이용한 파일럿 시험 결과와 SCR 촉매반응기의 설계 제약조건(표1)에 따라 반응기 개념설계를 실시하였다. 개념 설계된 반응기를 기준으로 상용 유동장 코드인 Fluent를 이용하여 안내깃(guide vane)과 rectifier 및 암모니아 분사노즐의 배치 등을 수치적으로 해석, SCR 반응기 설계를 위한 최적조건을 도출하였다. 전산해석 결과의 검증적 측면과 신뢰성 있는 설계자료를 확보하기 위하여 개념 설계된 원형반응기와 표 2와 같은 상사관계를 갖는 모형시험장치를 설치하여 설계변수에 따라 최적의 유동

Table 1. SCR reactor design criteria.

Catalyst	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /TiO <sub>2</sub>
Efficiency	above 80%
Space velocity	4,000/hr
Linear velocity	under 6 m/sec
Catalyst life	3 year
Reactor configuration	3 catalyst layers
Pressure drop	under 10 cmH <sub>2</sub> O

Table 2. Flow condition of prototype and reduced scale model.

	Prototype	Model(1/20)
Flow rate(m <sup>3</sup> /hr)	3,700,000	5,700
Density(kg/m <sup>3</sup> )	0.552	1.158
Viscosity(Pa.s)	4.314	1.837
Temperature(°C)	350	25
Reactor size(m <sup>3</sup> )	16.6×12.0×30.0	0.83×0.6×1.5
Velocity in duct(m)	18.0	11.1
Reynolds number	1.37×10 <sup>6</sup>	2×10 <sup>5</sup>

조건을 갖는 반응기를 설계하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 가. SCR 반응기 개념설계

대상발전소의 질소산화물 발생량은 약 200ppm(O<sub>2</sub> 4%)으로 현 배출허용치 350ppm에 못 미치지만, 향후 강화될 규제치를 고려하여 약 80% 제거효율을 목표로 설계를 하였다. 촉매반응기를 3단으로 설계, 촉매성능이 저하되는 시점에 상단부터 교체할 수 있도록 설계하였다. 파일럿 시험결과에 따라 공간속도(S.V)를 4000/hr을 기준으로 촉매량을 계산하였다. 보령화력발전소 1기(500MW)의 배기가스를 처리할 경우, 시간당 유량이 1,600,000Nm<sup>3</sup>이므로 요구되는 촉매요구량은

$$\text{촉매 요구량}(V) = \frac{1,600,000m^3/hr}{4,000/hr} = 400m^3$$

이 된다. 반응기에서의 촉매의 마모에 영향을 주는 선속도, 반응기에서의 압력강하, 기존 덕트의 폭을 고려하여 촉매반응기의 크기를 폭 16.6m×너비 12.0m×높이 30.0m 로 설계하였다.

나. 전산해석을 통한 반응기 설계

앞의 개념설계 내용을 기준으로 상용 유동장 코드인 Fluent를 이용하여 안내깃(guide vane)과 rectifier 및 암모니아 분사노즐 배치등을 수치적으로 해석, SCR 설비 설계를 위한 최적조건을 도출하였다. 전산해석 결과에 의해 최종적으로 결정된 SCR 반응기의 형상 및 배치는 그림 1과 같다.

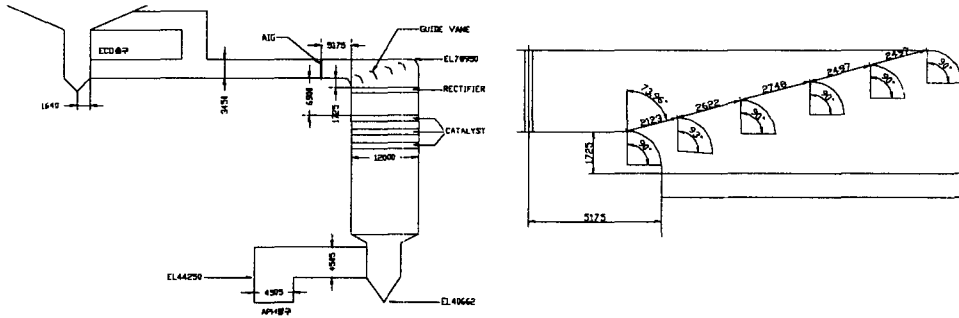


Fig. 1. Schematic diagram of SCR reactor.

나. 모형시험을 통한 설계자료의 신뢰성 확보

그림 2는 guide vane의 개수에 따른 촉매층 전단에서의 속도편차에 대한 모형시험결과를 수치해석의 결과와 비교한 것이다. 유동편차의 변화는 모형시험과 수치해석 결과 모두 가이드베인 개수 4개에서 우수한 결과를 보여 주었다. 가이드베인의 각도와 간격실험에서 역시 전산유체해석의 결과와 유사하게 첫 번째와 두 번째 간격을 촉매반응기 내벽으로 옮긴 상태에서 첫 guide vane의 각도를 93°로 할 때 우수한 유동분포를 얻을 수 있었으며 이때의 유동패턴은 그림3과 같다. 축소모형과 전산유체해석을 통한 해석결과의 비교 분석을 통해 전산유체해석 결과의 신뢰성을 확보할 수 있었으며 균일한 유동을 얻기 위한 신뢰성 있는 SCR 반응기 설계자료를 확보할 수 있었다.

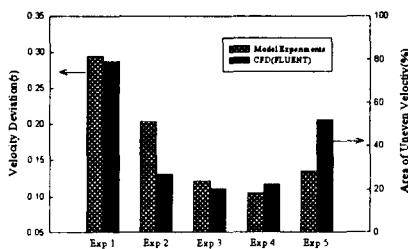


Fig. 2. Model prediction and CFD prediction

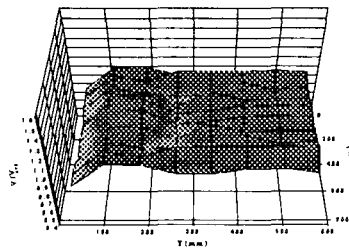


Fig. 3. Velocity profile in model

### 참 고 문 헌

- Bosch, H. and F. Janssen (1988) Catalytic reduction of nitrogen oxides-a review on the fundamentals and technology, Catalysis Today, Vol 2, 369-532
- Cho, S.M., (1994) Properly apply selective catalytic reduction for NOx removal, Chemical Engineering Progress, January, 39-45
- 이정빈, 이인영, 김동화, 엄희문, 지평삼(1999) 상업용 선택적환원촉매를 이용한 석탄화력발전소 배기가스 중 질소산화물 제거, 대한환경공학회지, 21(8), 1505-1510