



그림 3.1.2.37 05 section 전온도의 측정값 및 예측값

우선, 배관 내·외부 사이의 열전달을 온도 불균일의 원인으로 가정할 수 있다. 이를 전체로 내부 유동의 대류 열전달, 배관의 열전도, 배관 외부의 자연 대류를 모델링하여 열전달 계산을 수행하였다. 이러한 계산에는 Incropera 등^[3.1.2.1]의 식을 따랐다. 그 결과 유동 중심부의 온도(T_0)가 30 °C, 배관 외부 환경(T_∞)의 온도가 20 °C인 경우 배관 내표면(internal surface) 온도($T_{s,i}$)는 T_0 보다 단 0.15 °C 낮은 29.85 °C로 계산되었다. 그러나 동일 조건에서의 실측 데이터는 1 °C 이상의 분포를 보이므로 해당 시험 조건에서는 열전달이 온도 불균일의 원인이 아님을 알 수 있었다.

다음으로 온도 불균일의 원인을 dynamic temperature의 불균일에 기인한 것으로 보고, 유동 전체의 정온도는 일정하다는 가정 하에 식 아래 식으로 T_{T05} 를 예측해 보았다.

$$T_{T05,i} = T_{S,05,avg} \left(1 + \frac{\gamma-1}{2} M_{05,i}^2 \right) \quad (3.1.2.7)$$

여기에서 M 은 유동의 마하 수이며, 하첨자 T 는 전온도, S 는 정온도, 05는 05 section에서의 값, avg는 평균값, i 는 rake 상 각 probe 위치에서의 국소적인 값을 의미한다. $M_{05,i}$ 는 위 압력 측정 데이터를 사용해 계산하였다. 그 결과 위 그림에서와 같이 측정값과 유사한 온도 분포를 얻었다. 따라서 온도의 불균일성은 dynamic temperature의 불균일성에 기인한 것으로 판단하였고 이는 P_{T05} 로부터 계산하므로 P_{T05} 의 분포에 기인한 불확도를 바탕으로 T_{T05} 의 분포에 기인한 불확도를 계산해 내었다.

다만 앞서의 열전달 모델링에서 $T_0 = -50$ °C, $T_\infty = 30$ °C와 같은 가장 극단적인 경우에는 열전달에 의해 $T_{s,i}$ 와 T_0 가 1.2 °C까지 차이날 수 있는 것으로 예측되었다. 따라서 이때에는 열전달에 의한 불균일성도 함께 고려하여야 한다.