

위 그림에서 볼 수 있듯이, 측정된 전온도 센서의 회복계수는 저속구간에서 불안정한 거동을 보였으며 $Mn = 0.1$ 부근부터 안정적인 측정결과를 보여주었다. 이는 저속구간에서의 단열온도상승 자체가 매우 작기 때문에 실제 측정된 온도차와 측정불확도 내에서 의미있는 비를 산출하기 어려웠기 때문이다. $Mn = 0.2$ 까지의 비행모사속도까지 진행된 전온도 센서의 회복계수의 측정결과 항우연에서 새로 개발된 전온도 레이크는 $Mn = 0.2$ 부근의 비행속도에서 약 1.04의 회복계수를 보였으며, 이때의 측정불확도는 약 0.076(약 7.4 %)이었다. 이와 같은 측정결과는 비압축성 저속유동구간($Mn < 1$)에서의 kiel 형 전온도센서의 회복계수는 1에 근접하다는 일반적인 예측과 일치하는 결과이며, 항우연의 신규 전온도 레이크가 정상적으로 유동을 정체상태(stagnation state)로 유도하여 등엔로피 과정의 단열온도상승을 적절하게 모사해내고 있음을 보여주는 결과라고 할 수 있다. 해당 연구결과는 온도측정 전문 국제학술대회인 TEMPMEKO 2016에서 발표되었다^[3.1.3.8].

② 회복계수의 측정불확도 평가

위와 같이 측정된 전온도 레이크 내 전온도 센서 회복계수의 측정불확도는 아래의 식 3.1.3.11의 불확도 전파식을 이용하여 평가되었으며, 각 불확도 요소의 평가는 아래의 과정을 거쳐 평가되었다.

$$u^2(r) = \frac{4c_p^2}{w_\infty^4} \left\{ u_{cal}^2(t_m) + u_{meas}^2(t_m) + u_{cal}^2(t_\infty) + u_{meas}^2(t_\infty) + \frac{(t_m - t_\infty)^2}{c_p^2} u^2(c_p) \right. \\ \left. + \frac{4(t_m - t_\infty)^2}{w_\infty^2} (4\pi^2 r^2 u^2(f) + 4\pi^2 f^2 u^2(r) + u_{ent}^2(w_\infty)) \right\} \quad (3.1.3.11)$$

㉓ 전온도 측정불확도, $u(t_m)$

위 불확도 요소는 전온도 센서의 시험불확도, 전온도 센서 측정기(DVM)의 교정불확도, 빙점조의 온도안정도의 합성불확도로 평가된다. 본 과제에서 사용된 빙점조의 온도 안정도는 최대 0.01 °C 였다.

$$u^2(t_m) = u_{cal}^2(t_m) + u_{read}^2(t_m) + u_{ice}^2(t_m) \quad (3.1.3.12)$$

㉔ 정온도 측정불확도, $u(t_\infty)$

위 불확도 요소는 정온도 센서의 교정불확도와 전온도 센서 측정기의 측정불확도의 합성불확도로 평가된다. 본 과제에서 사용된 산업용 저항온도계의 리드아웃 유닛의 측정불확도는 0.02 °C ($k = 2$) 였다.

$$u^2(t_\infty) = u_{cal}^2(t_\infty) + u_{read}^2(t_\infty) \quad (3.1.3.13)$$

㉕ 대기의 정압비열, $u(c_p)$

위 불확도 요소는 건조공기가 아닌 실제 수분을 함유하는 습공기의 사용에 따라 평가된 정압비열의 불확도이며, 습공기 정압비열 모델(식 3.1.3.14 및 식 3.1.3.15)의 사용에 따라 불확도 전파식을 적용하여 계산하였다. 해당 습공기 정압비열의 불확도 전파식은 식 3.1.3.16과 같다.

$$c_p = 1.0029 + (5.4 \times 10^{-5})t_\infty + x(1.856 + 2 \times 10^{-4})t_\infty \quad (3.1.3.14)$$