

유량계 교정시스템의 정확도 향상을 위한 6시그마 활동 Six Sigma Activity to Improving the Accuracy of Flowmeter Calibration System

*이동근, #조용

*D. K. Lee, #Y. Cho(ycho@kwater.or.kr)
한국수자원공사 K-water 연구원

Key words : Uncertainty, Diverter, Triggering, Load cell, Calibration, 6 Sigma

1. 서론

관로를 통과하는 유체의 양을 측정하기 위한 유량계는 그 정확성과 신뢰성을 확보하기 위하여 수도법에 따라 주기적으로 교정 또는 오차시험을 하고 있다. 이 유량계를 교정하기 위한 기준설비가 K-water 연구원에 구축되어 있으며 시스템의 규모는 국내 최대인 구경 $\phi 800$ mm, 유동율 $2,700$ m³/h까지 교정이 가능하다. 한국인정기구가 인정한 측정 방식은 피교정 유량계를 통과한 유체를 수집하고 그 무게를 부피로 환산하여 비교하는 중량측정법과 기준이 되는 정밀한 유량계를 통과한 부피와 피교정 유량계를 통과한 부피를 직접 비교하는 기준유량계법 등 2가지 방식이다. 중량측정법에 의한 교정시스템의 불확도는 유동을 정의하는 독립변수 즉, 중량장치에 수집된 중량, 수집시간, 물 밀도, 공기 밀도 및 분동 밀도로부터 정의된다. 그 중에서 중량 및 시간측정의 불확도가 지배적이다. 중량에 관한 불확도는 3점식 로드셀을 사용하여 각각의 출력을 합성하여야 하므로 설치조건이 좋지 않으면 불확도가 커지게 된다. 시간측정의 불확도는 유체를 수집하는 시간의 시작과 끝을 결정해주는 트리거링과 유로를 수집위치에서 바이패스로, 바이패스에서 수집위치로 전환시켜주는 유로 전환장치인 다이버터의 동작시간에 따라 발생하는 불확도이다. 본 논문은 유량계 교정시스템의 불확도를 줄이기 위한 6시그마 활동 중 DMAIC 기법을 활용하여 목표를 달성한 후 개선된 프로세스의 지속적 관리를 위한 대안 제시 과정을 소개하였다.

2. 6시그마 활동

처음 단계는 과제를 정의하는 Define 단계로 교정시스템의 문제를 개선하기 위한 기회를 파악하기 위하여 과제선정 배경, SWOT 분석, 고객을 정의

하고 기준에 충족되는 품질기준인 CTQ를 도출한 후 예상되는 재무성과를 나타내는 단계이다. 교정이 왜 중요한지, 현 시스템의 문제점은 무엇인지를 분석하기 위해 국내외 환경을 고려하여 SWOT 분석하였다. 내외부 고객의 요구사항을 충족시키기 위하여 고객의 소리를 바탕으로 CTQ를 정확도 향상으로 선정하였다. 다음 단계는 프로세스의 현재 상태를 파악하는 Measure 단계이다. 정확도 향상이라는 목표를 달성하기 위한 성과지표를 교정시스템의 불확도에 지배적인 영향을 미치는 다이버터의 합성불확도로 설정하였고 ISO 4185에서 제시하는 방법으로 실험 및 불확도를 계산하였다. 데이터 수집방법은 유체의 수집시간을 3초, 6초, 12초, 30초 및 60초에 대하여 각각 10회씩의 실험을 실시한 후 유동율의 반복성과 시간측정에 대한 불확도를 계산하였다. 미니탭을 이용한 성과지표의 현수준을 검토한 결과 P값이 0.005이하로 분석되어 정규성이 없는 것으로 판단하였다. 정규성이 없으므로 DPMO 방식으로 시그마수준을 계산한 결과 0.841621로 나타났다. 개선시킬 목표를 CTQ인 다이버터의 불확도는 0.087에서 0.057로 현수준의 33%, DPMO는 200,000에서 40,000으로 80%를 낮추는 것으로 설정하였다. 잠재원인변수를 발굴하기 위해 시간측정의 불확도를 산출하는 프로세스를 도표화하고 특성요인도를 활용하여 정확도가 낮아지는 잠재원인을 도출하였다. FMEA를 통한 잠재적 불량원인과 영향을 분석하여 위험순위가 높은 3개를 개선이 필요한 항목으로 선정하였다. 다음은 분석을 통해 핵심원인을 검정하는 Analyze 단계이다. 정확도가 낮아지는 잠재원인에 대하여 심각도, 발생도, 검출도에 근거한 RPN을 계산한 후 순위를 정하고 잠재된 인자별로 X_1, X_2, \dots, X_n 의 번호를 부여하였고, 친화도에 의한 잠재원

인변수를 4개의 그룹으로 분류하였다. 분류된 4개의 그룹 각각이 불확도에 영향을 미치는지(H1), 미치지 않는지(H0)에 대한 가설을 수립하고 동 가설에 대한 검정계획을 수립하였다. 검정을 위한 데이터 수집은 ISO 4185, 관련 연구논문, 제작사 사양 및 실험데이터를 분석하는 것으로 계획하였다. 다이버터의 전환속도는 그 측정원리와 ISO 4185를 활용하여 분석한 결과 다이버터의 전환속도가 빠를수록 노즐에서 분출되는 수류의 비대칭에 의한 영향을 줄일 수 있으므로 가설 H0를 기각하였다. 로드셀은 제작사의 기술자료, 관련 연구논문 및 도면 등을 분석한 결과 로드셀의 설치상태에 따라 편심하중이 발생하면 출력의 특성도 변화하므로 가설 H0를 기각하였다. 트리거링 위치는 그 위치가 정확할수록 시간측정에 의한 오차를 줄일 수 있으므로 가설 H0를 기각하였다. 잠재원인 중 마지막인 실험자의 숙련도에 의한 영향을 검증하기 위하여 미니탭의 쌍체 T검정을 이용하여 두 실험자에 의한 영향을 분석하였다. 분석결과 P값이 0.759로 계산되어 기준인 0.05를 초과하므로 가설 H0는 채택하였다. 기각된 3개의 잠재원인에 대한 개선방안으로 충격완화장치, 시간측정장치를 제작하고 로드셀의 수평과 무게중심 조정 및 트리거링용 광센서 위치를 조절이 가능한 구조로 변경하는 개선안을 마련하였다. 다음은 개선안의 도출과 그 적용을 검증하는 Improve 단계이다. 탱크에 수집되는 중량의 불확도가 다이버터의 불확도 계산의 기초 자료로 활용되기 때문에 로드셀 출력의 편차가 클 경우 오히려 불확도에 미치는 영향이 더 지배적일 수 있다는 것을 확인하였다. 따라서 다이버터와 로드셀의 불확도는 합성이 필요하므로 차원을 통일하기 위해 불확도에 감도계수를 곱한 불확도기여량을 CTQ로 변경하고 핵심이 되는 근본원인에 대한 특성을 파악하여 개선계획을 수립하였다. 즉, 다이버터의 전환속도와 트리거링 위치의 정확성은 실험계획법으로, 로드셀의 설치상태는 단위 하중별 편차의 추세를 확인하는 것으로 계획하였다. 로드셀 개선을 위한 최적대안 창출을 위해 브레인스토밍을 통한 아이디어를 도출하고 개선을 위한 장애요소 제거 및 조직의 적합성을 검토하였다. 다음으로 개선효과, 소요시간 및 실행 가능성에 대하여 가중치와 평가점수를 부여한 개선안을 평가한 후 최적의 개선안을 선정하였다. 다이버터의 전환속도와 트리거링 위치변

화에 따른 불확도 특성을 확인하기 위해 속도는 2수준, 위치는 3수준으로 설계하여 총 6회의 실험을 실시하였다. 요인설계분석 결과 R제곱(수정) 값이 84.44%로 나타나 예측모형에 대한 설명력이 높은 것으로 분석되었다. 주효과 분석결과 다이버터 동작시간과 트리거링 위치는 서로 교호효과는 있지만 그 효과는 그다지 크지 않으며 다이버터의 동작속도 보다 트리거링 위치가 불확도에 주는 영향이 더 큰 것으로 확인되었다. 다이버터의 동작속도를 빠르게 하기 위하여 동작시 발생하는 충격을 줄이기 위한 충격완화장치를 설치하고 트리거링 위치를 정확하게 설정하기 위하여 광센서의 위치를 조절할 수 있는 구조로 지지대를 변경하는 것으로 최적대안을 선정하였다. 개선결과 로드셀의 설치상태에 기인하는 불확도 기여량이 1.380×10^{-4} 에서 3.827×10^{-5} 로 개선되었으며 시간측정의 불확도는 1.09×10^{-3} 에서 3.667×10^{-4} 로 개선되었다.

3. 결론

개선된 프로세스에 대한 지속적인 관리를 위한 Control 단계는 개선안에 대한 오류와 원인, 영향에 대하여 그 영향의 정도를 발생도, 심각도와 검출도로 구분하여 평가하고 방지대책을 수립하였다. 프로세스의 체계적인 관리를 위하여 프로세스별 Map을 작성하고 관리기준과 방법, 주기 및 담당자를 설정하였다. 관리계획의 실행을 위하여 CTQ를 어떻게 운용할 것인지, 계산은 어떤 방식으로 할 것인지를 정의하였다. 개선후의 공정능력을 분석해 본 결과 요구수준인 불확도 기여량이 0.0011에서 0.00037로 66% 저감되었으며, 시그마 수준은 0.84에서 6으로, DPMO는 200,000에서 0으로, 불량률은 20%에서 0%로 개선된 것으로 나타났다.

참고문헌

1. K-water, "Executive Design Report on Construction for Water Education Center," 2004
2. Lim, K. W. "A Study on the Measurement Uncertainty of Flowmeter Calibrator," Journal of KSME(B), Vol. 25, No. 4, 561~571, 2001
3. ISO 4185, "Measurement of Liquid Flow in Closed Conduits-Weighing Methods," 1980
4. ISO, "Guide to The Expression of Uncertainty in Measurement(1st edition)," 1993.