

스마트 정수처리장의 자동화수준 평가모델

손상혁, 김선우, 이종연[†]

충북대학교 컴퓨터학과

jusort@naver.com, sfssss@naver.com, [†] jongyun@chungbuk.ac.kr

교신저자 : 이 종 연[†]

Evaluation Model of the Automation Level of Smart Water Treatment Plant

Sang Hyeok Son, Sun Woo Kim, Jong Yun LEE

Dept. of Computer Science, Chungbuk National University

요 약

4차 산업혁명의 출현과 함께 스마트공장, 스마트시티, 스마트러닝 등이 등장하면서 스마트 물관리시스템과 그 평가지표의 연구개발이 주요 사회문제로 대두되고 있다. 따라서 본 논문에서는 스마트 물관리시스템의 자동화 수준 평가지표를 제안하고자 한다. 그 세부 연구내용은 다음과 같다. 첫째, 기존의 CMM과 SPICE 소프트웨어 프로세스 평가모델과 스마트공장의 평가지표를 검토하고, 스마트 정수처리장의 개념을 살펴본다. 둘째, 제안하는 스마트 물관리시스템의 평가지표에는 정수장의 주요 공정에 따라 착수 공정, 약품투입 공정, 혼화·응집 공정, 침전 공정, 여과 공정, 소독 공정의 6개 평가영역으로 세분화 하였고, 각 평가영역별로 0에서 4까지의 5단계 평가수준으로 구분하여 제안하였다.

1. 서론

정수처리장은 일반적으로 착수, 약품주입, 혼화·응집, 침전, 여과, 소독 등의 공정 순서로 구성된다. 착수는 원수의 수위와 정수지의 수위를 고려하여 이루어진다. 착수된 물에 콜로이드성 물질을 제거하기 위한 약품(Apac, PACL)이 주입되면 혼화·응집지에서는 약품과 물이 골고루 섞이도록 혼합하여 약품에 의한 응집이 충분히 일어나도록 한다. 응집된 플러들은 침전지에서 침전시켜 후에 침전물의 높이가 일정높이 이상이 되면 제거한다. 여과공정은 탁질을 제거하는 최종공정이며 여과 공정을 통해 탁도 0.1NTU이하의 수질상태가 된다. 정수된 물은 정수지에 저장되고 염소의 농도를 조절하여 소독하여 적절한 CT값(소독능 계산값/소독능 요구값)을 유지한다.

기술이 발전해 가면서 많은 작업들이 자동화되고 있다. 아마존의 무인 배달 로봇, 테슬라와 구글의 자율주행자동차 등. 최근에는 높은 임금과 생산효율성 측면에서 공장자동화가 가속화되며 더 나아가 스마트공장으로도 발전하고 있다. 독일의 Industry 4.0을 시작으로 미국과 일본과 중국 그리고 한국도 스마트공장 구축에 집중하고 있다[1]. 반면 정수처리장 플랜트는 아직까지 완전 자동화를 이루지 못한 상태이

며, 더욱이 스마트 정수처리장 구축 사례는 거의 없는 상태이다. 게다가 현재 정수처리장은 현장 담당자에 의해 많은 부분이 수작업에 의존하고 있다. 이로 인해 모든 정수 공정에서 작업자의 주관적인 판단이 많이 개입되고 이로 인해 불균일한 식수 생산은 물론 투입 약품의 과다 투여가 자주 발생하는 실정이다. 그렇기 때문에 스마트 정수처리장의 일부분인 정수처리장 자동화 수준의 평가모델의 연구개발이 필요한 상태이다. 아울러 이것은 향후 스마트 정수처리장 평가지표 개발의 토대가 될 것이다.

따라서 본 논문의 목표는 스마트공장의 평가지표와 같이 스마트 정수처리장에서 각 공정의 자동화 수준을 평가할 수 있는 스마트 정수처리장 자동화 수준 평가도구의 개발하는 데 목표를 둔다. 아울러 세부적인 연구내용은 개략적으로 다음과 같다. 첫째, 관련 연구로서 기존의 소프트웨어 평가모델인 CMM과 SPICE, 그리고 스마트공장의 수준 평가지표 등을 검토하고, 정수처리장의 자동화 수준 평가모델에 적용 방안을 탐색한다. 둘째, 정수처리장의 주요 공정을 서술하고, 정수처리장의 각 공정별 자동화 내역과 추후 자동화가 필요한 부분을 제시한다. 셋째, 정수처리장의 자동화 수준 평가요소를 제시한다. 마지막으로 연구가 가진 의미와 앞으로의

발전 방향을 제시한다.

<표 2> SPICE 평가모델

2. 관련 연구

2.1 CMM과 SPICE

CMM(Capability Maturity Model)[2]은 1992년 미국 국방성의 지원으로 설립된 카네기멜론 대학의 SEI가 소프트웨어 프로세스 성숙도 평가를 위해 제안된 프레임워크 모델이다. 현재의 프로세스 상태를 벤치마킹하고 어떤 부분을 향상시킬 것인가의 전략을 선택하여 프로세스를 개선하려는 소프트웨어 개발 조직에 도움이 되기 위하여 제정되었다. CMM 평가모델은 <표 1>과 같이 레벨 0부터 5까지 프로젝트의 능력과 성숙도를 평가하고 있다. 세부내용은 다음과 같다. 프로젝트의 관리가 이루어지지 않으며 품질을 보장하지 않는 상태(레벨 1), 프로젝트 관리와 예측과 추적이 가능한 상태(레벨 2), 프로젝트의 문서화와 표준화가 된 상태(레벨 3), 프로젝트의 품질 평가와 예측이 가능하고 프로젝트 성과의 예측이 가능한 상태(레벨 4), 프로젝트를 정량적으로 평가할 수 있고 지속적인 개선이 가능한 상태(레벨 5)로 구분하였다. 이와 같이 CMM은 레벨에 따라 다음 성숙도 수준으로 향상되려면 개선해야 하는 영역을 제안하고 있다.

<표 1> CMM 평가모델

Level 5: Optimizing	정량적인 피드백이 가능해지고 다양한 아이디어와 기술들을 적용하여 지속적으로 프로세스의 품질을 향상시킬 수 있는 단계
Level 4: Managed	프로덕트의 품질에 대한 평가가 이루어지고 모든 데이터를 분석하여 성과와 품질 예측이 가능한 단계
Level 3: Defined	프로젝트의 문서화와 표준화가 이루어져 있어 관리가 안정적인 단계
Level 2: Repeatable	프로젝트 관리가 되며 비용, 일정 기능에 대한 예측과 추적이 가능한 단계
Level 1: Initial	소프트웨어 개발과정, 조직 내의 관리가 이루어지지 않는 단계이며 프로세스의 품질을 보장할 수 없는 단계

한편 SPICE(Software Process Improvement and Capability dEtermination, ISO15504)[3]는 소프트웨어 프로세스 평가를 위한 국제 표준을 제정하는 프로젝트로서 미 국방성의 CMM과 유사한 평가모델로서 프로세스별 평가를 위한 모델이다. 주요 평가 영역에는 5개의 프로세스와 각 프로세스별 6 단계로 평가하며, 세부내용은 <표 2>와 같다.

영역 레벨	고객 공급자 프로세스	공학 프로세스	지원 프로세스	관리 프로세스	조직 프로세스
Level 5	혁신적인 아이디어 수렴	결과 분석	프로세스 모니터링	정량적 피드백	조직 재사용
Level 4	공급자 선정 및 발주	측정 값 수집 및 분석	품질 보증	정량적 관리	정량적 측정가능
Level 3	요구사항 도출 및 공급	정확한 요구분석	표준화 문서화	위험 관리	프로세스 정의 및 심사
Level 2	정의된 산출물	설계 및 실험	형상 관리	프로젝트 관리	인적자원 관리
Level 1	요구사항 미비	요구분석 미비	문서화 미비	프로젝트 관리미비	조직관리 미비
Level 0	미적용	미적용	미적용	미적용	미적용

2.2 스마트공장 평가지표

Lee et al.(2017)은 <표 3>과 같이 2017년 스마트공장 수주 평가지표를 제안하였으며[4], 평가영역에는 리더십, 프로세스, 시스템 및 자동화, 성능평가로 구분하였다. 그리고 각 평가영역별 하위 평가요소는 <표 3>의 내용과 같다. 첫째, ‘리더십’ 평가영역에는 경영자의 스마트공장 추진 리더십과 추진전략을 평가요소로 갖는다. 둘째, ‘프로세스’ 영역에는 제품개발, 생산계획, 프로세스 관리, 시설관리, 물류관리 등의 프로세스 규정과 실적을 평가한다. 셋째, 시스템 및 자동화 영역에는 스마트공장 관련 주요 정보시스템인 ERP, MES(POP), APS, SCM, WMS, CRS, PDM(PLM) 등의 정보시스템 구축 여부를 평가한다. 넷째, 성능 평가에는 스마트공장 추진에 따른 생산성 향상, 품질향상 등의 주요 실적지표를 평가한다.

<표 3> 스마트공장의 평가영역과 하위 평가요소

평가영역	하위 평가기준
리더십	리더십 및 전략
프로세스	제품개발
	생산계획
	프로세스 관리
	품질관리
	시설관리
시스템 & 자동화	정보시스템
	설비자동화
성능	성능평가

3. 정수처리장의 주요 공정

정수처리장의 주요 공정을 나열하고 각 공정의 완전자동화를 달성하기 위해 각 공정 별 평가해야할 요소를 정의한다. 세부 공정에 대한 정의는 다음과 같이 요약된다. 첫째, 착수공정은 착수정과 정수처리장의 수위 데이터를 이용하여 최적의 수위를 산출하고 산출된 값에 따라 착수밸브개도를 자동제어 하는지 평가한다. 둘째, 약품공정은 원수의 상태에 따라 최적의 약품투입량을 산출하고 약품투입밸브를 자동제어 하는지 평가한다. 셋째, 혼화·응집지공정은 혼화지와 응집지 모터의 회전수를 조절하여 생성된 플록을 다시 파괴하지 않는 선에서 최대로 생성하는지 평가한다. 넷째, 침전지공정은 배슬러지, 슬러지 수위데이터를 바탕으로 원수 유입밸브와 슬러지 수집기를 자동제어 하는지 판단한다. 다섯째, 여과공정은 화수조, 농축조 수위와 원수의 탁도를 바탕으로 최적의 역세척 시점을 산출하고 역세척이 자동화 되었는지 판단한다. 여섯째, 소독공정은 원수의 상태데이터와 잔류염소를 바탕으로 최적의 염소 투입량을 산출하고 산출된 값에 따라 염소 투입이 자동화 되었

는지 평가한다. (그림 1)은 정수처리장의 세부 공정 흐름도이다.

4. 정수처리장의 자동화 수준 평가요소 설계

스마트 정수처리장의 자동화 평가지표는 기존의 CMM, SPICE의 소프트웨어 프로세스 성숙도 평가 모델과 기존의 스마트공장 수준 평가지표를 근거하여 앞으로 다가올 스마트 정수처리장의 주요 공정에 대한 자동화 수준 측정을 목적으로 설계하였다. 스마트 정수처리장 자동화 수준 평가는 레벨 0부터 4에 이르는 수준 평가기준을 두었고, 전체적인 평가 영역에는 <표 4>와 같이 정수처리장의 주요 공정인 (1)착수, (2)약품투입, (3)혼화·응집, (4)침전, (5)여과, (6)소독 공정에 따라 6개 평가영역으로 구분하였으며, 각 평가영역별 하위 평가요소는 다음과 같이 설계하였다.

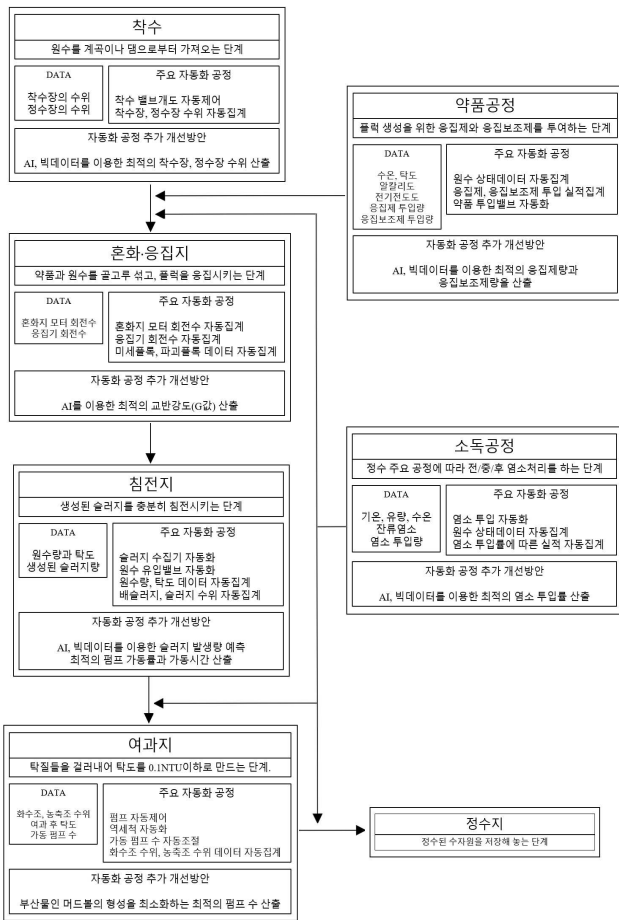
첫째, 착수공정의 자동화 수준은 수작업 단계(레벨 0), 착수장 채수펌프 및 밸브개도 제어 자동화 여부(레벨 1), 원수 수질에 따른 응집보조제 투입과 착수장·정수장 수위 집계 자동화 여부(레벨 2), 역세척 배출밸브 개도 자동화 여부(레벨 3), 착수공정 최적 완전제어 여부(레벨 4)로 구분하였다.

둘째, 약품투입공정은 원수의 상태데이터에 따라 수작업(레벨 0)에서 원수 데이터 집계 자동화, 약품(분말활성탄, 알칼리제) 투입밸브 자동화 여부(레벨 1), 약품투입량 집계 자동화 여부(레벨 2), 응집제, 응집보조제 투입량 자동집계 여부(레벨 3), 응집제, 응집보조제 투입 완전 자동화 여부(레벨 4) 등으로 하위 평가요소를 두었다.

셋째, 혼화·응집지 공정은 수작업 단계(레벨 0), 혼화지 모터와 응집기 회전수 집계 및 제어 자동화 여부(레벨 1), 교반강도와 플록 생성량 집계 및 응집기 회전 속도 제어 자동화 여부(레벨 2), 응집기 슬러지·스컴 배출 자동화 여부 (레벨 3), 모터 회전수·회전속도 최적 완전제어 여부(레벨 4) 등의 평가수준을 두었다.

넷째, 침전지 공정은 완전 수작업 단계(레벨 0), 침전지 정류설비 자동화 여부(레벨 1), 원수량·원수 탁도 집계 및 슬러지 수집기와 유입밸브 자동화 여부(레벨 2), 배슬러지·슬러지 수위 집계 및 배출설비 자동화 여부(레벨 3), 침전지 공정 및 펌프 최적 완전제어 여부(레벨 4) 등의 평가요소를 두었다.

다섯째, 여과지 공정은 수작업 단계(레벨 0), 화수조·농축조 수위 집계 및 여과 펌프 가동 수 제어 자



(그림 1) 정수처리장의 주요 공정

동화 여부(레벨 1), 역세척 시설 자동화 여부(레벨 2), 여과지 환경 제어 자동화 여부(레벨 3), 여과 펌프 가동 수 최적 완전제어 여부(레벨 4) 등의 평가요소를 두었다.

여섯째, 소독 공정은 수작업 단계(레벨 0), 계절에 따른 원수 데이터 집계 및 염소 주입펌프 밸브개도 제어 자동화 여부(레벨 1), 염소 저장설비 자동화 여부(레벨 2), 전·중·후 염소투입률 실적집계 자동화 여부(레벨 3), 염소주입량·주입밸브 최적 자동제어 여부(레벨 4) 등의 평가요소를 두었다.

<표 4> 정수처리장 자동화 수준 평가요소

공정	레벨	평가요소
착수 공정	4	• 착수 공정 최적 완전제어
	3	• 역세척 배출밸브 개도 자동화
	2	• 착수장과 정수장 수위 집계 자동화 • 원수 수질 측정·응집보조제 투입 자동화
	1	• 착수장 채수펌프 제어 자동화 • 착수장 밸브개도 제어 자동화
	0	• 수작업
약품 투입 공정	4	• 약품투입설비 공정 최적 완전제어
	3	• 약품 검수용 계량장비 자동화 • 약품별 저장설비(용량 포함) 자동화
	2	• 약품투입량 집계 자동화 및 최적화
	1	• 응집제·응집보조제 투입밸브 자동화 • 원수의 탁도, 수온, 알칼리도, 전기전도도 집계 자동화
	0	• 수작업
혼화·응집 공정	4	• 모터 회전수·회전 속도 최적 완전제어
	3	• 응집기 슬러지·스킴 배출 자동화
	2	• 응집기 회전 속도 제어 자동화 • 교반강도와 플록 생성량 집계 자동화
	1	• 혼화지 모터와 응집기 회전수 제어 자동화 • 혼화지 모터와 응집기 회전수 집계 자동화
	0	• 수작업
침전 공정	4	• 침전지 공정 및 펌프 최적 완전제어
	3	• 침전지 배출설비 자동화 • 배출러지·슬러지 수위 집계 자동화
	2	• 슬러지 수집기 가동·유입밸브 자동화 • 원수량, 원수의 탁도 집계 자동화
	1	• 침전지 정류설비 자동화
	0	• 수작업
여과 공정	4	• 여과 펌프 가동 수 최적 완전제어 • 여과지 공정 완전 자동화
	3	• 여과지 환경 제어 자동화
	2	• 세척펌프 밸브개도 제어 자동화 • 세척탱크 유량 집계 자동화
	1	• 여과 펌프 가동 수 제어 자동화 • 화수조·농축조 수위 집계 자동화
	0	• 수작업
소독 공정	4	• 염소주입량·주입밸브 최적 완전제어
	3	• 전·중·후 염소주입률 실적집계 자동화
	2	• 염소 저장설비 자동화
	1	• 염소 주입펌프 밸브개도 제어 자동화 • 계절에 따른 기온, 유량, 수온, 잔류염소 집계 자동화
	0	• 수작업

5. 결론

본 논문은 CMM 평가모델, ISO/IEC 15504의 소프트웨어 프로세스 평가기준(SPICE), 스마트공장 수준 평가지표를 기반으로 정수처리장의 자동화 수준 평가요소를 제안하였다. 연구 결과는 다음과 같다. 정수처리장의 공정을 6단계로 나누고 각 공정마다 자동화 수준을 5단계의 레벨로 나누어 30가지 이상의 평가요소를 정의했다. 또한 정수처리장 자동화 수준 평가요소는 각 공정 별 자동화 수준을 평가하기 위한 필수적인 지표로 사용될 뿐만 아니라 현재 정수처리장의 완전 자동화를 위한 개선방향을 세울 수 있는 평가지표로서 제안되었다. 추후 연구과제는 개발된 자동화 수준 평가지표의 통계적 검증이 요구된다.

Acknowledgement

이 논문은 산업통상자원부의 재원으로 한국산업기술진흥원(KIAT)의 지원을 받아 수행된 연구임. (2021년 스마트공장 운영설계 전문인력 양성사업, 과제번호: N0002429)

참고문헌

[1] Woo, S. H., & Cho, Y. B. (2018). Major Technologies and Introduction of Smart Factory. In Proceedings of the Korean Institute of Information and Commucation Sciences Conference (pp. 487-490). The Korea Institute of Information and Commucation Engineering.

[2] Paulk, M. C., Curtis, B., Chrissis, M. B., & Weber, C. V. (1993). Capability maturity model, version 1.1. IEEE software, 10(4), 18-27.

[3] Von Wangenheim, C. G., Hauck, J. C. R., Salviano, C. F., & von Wangenheim, A. (2010). Systematic literature review of software process capability/maturity models. In Proceedings of International Conference on Software Process Improvement and Capabity Determination (SPICE), (pp. 1-9).

[4] Lee, J., Jun, S., Chang, T. W., & Park, J. (2017). A smartness assessment framework for smart factories using analytic network process. Sustainability, 9(5), 794.