

Global Report

복잡한 배관 설비에 대한 지능형 교육 플랫폼으로서의 BIM 기반 AR 유지관리 시스템(BARMS)

1. 서론
2. 관련 작업
3. 연구 목적
4. BARMS
5. 실험 설계
6. 실험 결과
7. 논의
8. 결론

1. 서론

건물 공간의 복잡한 조직은 일반적으로 기계, 전기 및 배관 (Mechanical, Electrical and Plumbing, 이하 MEP) 시스템의 설계로 인해 유지관리에 어려움을 겪는다. 이러한 복잡성은 설계 도면들을 완전히 이해하는 데 필요한 전문 지식뿐만 아니라 다양한 기계 구성재들 및 장비를 문서화하고 유지관리하기 위한 전문 지식을 필요로 한다. 건물 공간은 다양한 부품들이 통합되어 층고(高)와 배치구획이 상이 하기 때문에 건물 시스템과 거주자 모두에게 제한된 공간을 최적으로 사용하려면 집중적인 설계 노력이 필요하다. 실제공간에서 원래의 설계 정보와 그 위치 사이의 관계는 종종 불완전하다. 따라서 다른 쪽 벽에서 시작된 파이프의 상대적 위치를 확인하는 완벽한 방법을 식별하기 어려울 수 있다.

건물 구성재 정보와 현장 유지관리의 통합은 건설 시설 관리(Facility Management, 이하 FM)에 중요하다. 실제로 건물 구성재들의 위치를 정확하게 결정하는 일은 어렵고 모호한 특징이 있다. 건물 설계 데이터는 자주 업데이트되지 않기 때문에 원본 설계 도면을 사용하여 현장 상황을 해결하는 일은 매우 어렵다. 특히 특정 유지관리 작업에 추가적인 노력이나 경험이 필요한 경우 더욱 그렇다. 건물이 점유된 후에 모니터링이나 검사를 하려면 해당 운영 메뉴얼에 대한 철저한 이해가 필요하며 실제 현장에서의 실무 경험과 함께 잘 제어된 적용 절차가 필요하다. 비록 건물 정보 모델링(Building Information Modeling, 이하 BIM)에서 정의된 3D 모델과 속성은 전체 시설 정보에 기여하고, 클라우드 컴퓨팅 서비스에서 유지관리 작업자들이 정보에 접근할 수 있지만, 실제로 배관 레이아웃의 연결과 정확한 관통지점의 경우에 한 공간에서 다른 공간 그리고 칸막이 너머로 따라가기가 매우 어렵다. 다양한 수준의 정확성과 상징적 표현들이 존재하는 시스템 전반에 걸친 검사를 수행할 경우에 이러한 어려움이 커질 수 있다.

중요한 안전 관련 사항을 구성하는 유지관리 공간의 할당은 사전에 계획되어야 하며 이후 건물 설계 도에 명확하게 표시되어야 한다. 기계 장비의 복잡한 배치와 가까운 여유 공간의 제한된 가용성으로 인해 파이프에 접근할 수 있는 공간이 충분하지 않을 수 있다. 예상치 못한 부상을 방지하기 위해 명확한 표시가 있는 경로와 예상치 못한 장애물이 없도록 갱신된 위치와 관련된 적절한 가시성을 유지관리 공간에 제공해야 한다.

BIM 모델링을 테스트하기 위한 방법론적 접근 방식은 시스템 설계, 테스트 및 평가의 경험적 실험에서 적용되어야 한다. 증강현실(AR)은 정보와 현실세계를 통합하고, 이를 적용하여 편리하게 구현되는 배관 배치자료를 활용하여, BIM 모델을 유지관리 작업자가 점검하는 환경에 투사가 가능하다. 실제 건조(建造) 환경에서 서로 다른 시스템들과 그들의 운영 간의 상호 관계 문제들을 고려하여 시설 유지관리(FM) 측면에서 BIM의 적용 및 통합 가능성을 설명하기 위해 AR 시스템이 필요하다. BIM 기반 AR 유지관리 문제 해결을 지원하기 위해 위치 지정에 SLAM (Simultaneous Localization and Mapping, 이하 SLAM) 기술을 적용하는 냉각탑 및 배관 유지 관리 사례도 조사해야 한다. 다양한 조명 조건하에서 운영 체제를 지원하고, 안전한 유지 관리 경로를 표시하며, 3D 애니메이션 작동 절차를 보여주는 기능들을 제공하기 위한 사용이 편리한 스마트폰 기반 시스템을 조사해야 한다. 학습 후 시스템 사용성 설문(Post-Study System Usability Questionnaire, 이하 PSUQ) 테스트는 배관, 냉각탑 및 전원 스위치와 같은 상호 관련 부품들의 위치를 빠르게 찾기 위해 BIM 기반 AR 시스템 활용에 대한 통계적 피드백을 위해 여러 사용자와 함께 진행해야 한다. 위에서 언급한 목표들이 달성되고 테스트 된다면 유지 관리 효율성과 안전성이 향상되어야 한다.

본 논문은 다음과 같이 구성되었다.

1. 서론
2. 관련 작업, AR의 발전 및 FM과 BIM 에서의 적용
3. 연구 목적
4. BIM 기반 AR 유지관리 시스템(BARMS): 개발과정, 프레임워크, 시스템의 기능들
5. 실험 설계 : 실험의 설계, 작업 및 장소;
 - 5.1. 예비 테스트에서 발생한 문제들

- 5.2. 실험될 시스템들과 위치
- 5.3. 실험 과정
6. 실험 결과: PSSUQ 분석
7. 논의 : 실험 결과 및 관련 문제에 대한 추가 논의
8. 결론

2. 관련 작업

AR은 최근 몇 년 동안 건축, 건설 및 엔지니어링(Architecture, Construction and Engineering, 이하 ACE) 분야에서 큰 주목을 받았다.¹⁾ 유지관리는 건설에서 자주 강조되는 측면들 중 하나가 되었다. 예를 들어, HMD(Head-Mounted Display, 이하 HMD) 기반 AR 시스템은 복잡한 환경에서 유지관리 작업을 위해 개발되었다²⁾. 시설 관리에서 현장 유지관리 작업을 지원하기 위해 자연스러운 마커 기반 AR 프레임워크도 제안되었다³⁾⁴⁾. 새로운 AR 지원 시스템은 유지관리 작업에서 작업 흐름 및 장비 서비스 가능성을 교육하고 개선하기 위해 개발되었다.⁵⁾ 연구에 따르면 AR을 적용하면 유지관리 작업의 효율성과 생산성을 높일 수 있다.⁶⁾⁷⁾⁸⁾

AR과 BIM은 FM 외에도 개념적 시스템 프레임워크를 통해 시공관리와 통합해 시공 하자 발생을 줄였다.⁹⁾ AR은 BIM 모델에서 정보를 추출하여 작업자가 수행하는 작업의 효율성과 효과를 향상시키는 방법으로 제안되었다.¹⁰⁾ 정보 시설에 액세스하기 위해 저렴한 모바일 결합형 AR 및 BIM 도구가 개발되었다.¹¹⁾ 수많은 연구들이 AR이 건축관련 성과물을 3D 실제 개체에 매핑하는 과정을 용이하게 하여 AR과 BIM 간의 통합에 큰 잠재력을 제공한다는 사실을 밝혀왔다.¹²⁾¹³⁾¹⁴⁾¹⁵⁾¹⁶⁾

-
- 1) Rankohi, S.; Waugh, L. Review and analysis of augmented reality literature for construction industry. *Vis. Eng.* 2013, 1, 1-18.
 - 2) Alam, M.F.; Katsikas, S.; Beltramello, O.; Hadjiefthymiades, S. Augmented and virtual reality-based monitoring and safety system: A prototype IoT platform. *J. Netw. Comput. Appl.* 2017, 89, 109-119.
 - 3) Neges, M.; Koch, C.; König, M.; Abramovici, M. Combining visual natural markers and IMU for improved AR based indoor navigation. *Adv. Eng. Inform.* 2017, 31, 18-31.
 - 4) Koch, C.; Neges, M.; König, M.; Abramovici, M. Natural markers for augmented reality-based indoor navigation and facility maintenance. *Autom. Constr.* 2014, 48, 18-30.
 - 5) Ong, S.K.; Zhu, J. A novel maintenance system for equipment serviceability improvement. *CIRP Ann.* 2013, 62, 39-42.
 - 6) Lee, S.; Akin, Ö. Augmented reality-based computational fieldwork support for equipment operations and maintenance. *Autom. Constr.* 2011, 20, 338-352.
 - 7) Liu, F.; Seipel, S. Precision study on augmented reality-based visual guidance for facility management tasks. *Autom. Constr.* 2018, 90, 79-90.
 - 8) Fiorentino, M.; Uva, A.E.; Gattullo, M.; Debernardis, S.; Monno, G. Augmented reality on large screen for interactive maintenance instructions. *Comput. Ind.* 2014, 65, 270-278.
 - 9) Park, C.S.; Lee, D.Y.; Kwon, O.S.; Wang, X. A framework for proactive construction defect management using BIM, augmented reality and ontology-based data collection template. *Autom. Constr.* 2013, 33, 61-71.
 - 10) Chu, M.; Matthews, J.; Love, P.E.D. Integrating mobile building information modelling and augmented reality systems: An experimental study. *Autom. Constr.* 2018, 85, 305-316.
 - 11) Irizarry, J.; Gheisari, M.; Williams, G.; Walker, B.N. InfoSPOT: A mobile Augmented Reality method for accessing building information through a situation awareness approach. *Autom. Constr.* 2013, 33, 11-23.
 - 12) Meža, S.; Turk, Ž.; Dolenc, M. Component based engineering of a mobile bim-based augmented reality system. *Autom. Constr.* 2014, 42, 1-12.
 - 13) Wang, X.; Truijens, M.; Hou, L.; Wang, Y.; Zhou, Y. Integrating Augmented Reality with Building Information Modeling: Onsite construction process controlling for liquefied natural gas industry. *Autom. Constr.* 2014, 40, 96-105.
 - 14) Hou, L.; Wang, X.; Truijens, M. Using Augmented Reality to Facilitate Piping Assembly: An experiment-based evaluation. *J. Comput. Civ. Eng.* 2015, 29, 05014007.
 - 15) Wang, X.; Love, P.E.D.; Kim, M.J.; Park, C.S.; Sing, C.P.; Hou, L. A conceptual framework for integrating building information modeling with augmented reality. *Autom. Constr.* 2013, 34, 37-44.
 - 16) Ammari, K.E.; Hammad, A. Collaborative bim-based markerless mixed reality framework for facilities maintenance. In *Proceedings of the 2014 International Conference on Computing in Civil and Building*

위에서 언급한 모든 AR 연구는 마커 기반 추적 기술을 사용하는 대부분의 유지관리 응용 프로그램에서 상당한 진전을 이루었다.¹⁷⁾ 물리적 마커는 표면에 쉽게 부착할 수 있지만, 환경 미학적 고려에 따라 다른 물체로 덮이도록 하였다.¹⁸⁾ 그러나 마커들의 설정은 작업 환경에서 매우 많은 시간이 소요될 수 있다.¹⁹⁾ 마커 기반 AR 어플리케이션들의 실행 가능성은 제한될 수 있다. 이에 SLAM 기술을 사용하여 이 문제를 해결하기 위해 무(無)마커 증강현실이 개발되었다.²⁰⁾²¹⁾

조립 작업에 큰 도움이 되는 것으로 입증된 3D 애니메이션 기능을 사용하는 AR 시스템은 거의 없다.¹⁴⁾ 상대적으로 어두운 상황에서 유지보수 작업을 수행하는 것이 일반적이지만, 대부분의 AR 어플리케이션들은 충분한 조명 환경에서 테스트되었다. AR 어플리케이션들의 조명은 어두운 환경에서는 거의 개발되지 않았다.

3. 연구 목적

BIM 기반 무(無)마커 AR 유지관리 시스템이 3D 애니메이션 운영 지침과 야간 조명 기능을 제공하기 위해 개발되었다. 이 어플리케이션은 전통적인 MEP 유지관리 방식의 문제점 해소와 운영 효율성을 실질적으로 개선하기 위해 배관, 냉각탑, 전원 스위치 등의 순서(sequence)가 포함된 배관 운영 시스템을 대상으로 테스트 되었다.

4. BARMS

건물의 배관 시스템은 일반적으로 GPS와 같은 위치 기반 증강현실 센서를 적용할 수 없는 건물 내부나 벽에 위치한다.²²⁾²³⁾ 건물외부 또는 지붕 높이에 위치한 시스템의 경우 위치 기반 AR 센서가 충분한 정확도를 제공하지 못할 수 있다. 따라서 실내와 실외 사이를 횡단해야 하는 필요성을 충족시키기 위해 이미지 기반 AR이 선택되었다.

고품질 센서가 있는 HMD들이 AR 어플리케이션들에 사용되어왔다.²⁴⁾²⁵⁾ 그러나 HMD는 실제 환경에 대한 착용자의 인식에 영향을 미칠 수 있으며, 이는 많은 산업 분야에서 안전상의 문제로 인해 어려움을 겪을 수 있다. HMD는 비싸고 휴대하고 다닐 수 있는 일상적인 도구가 아니다. 손으로 들고 다닐 수 있는 장치들이 유지관리 작업에 더 적합하기 때문에 스마트폰은 AR 개발의 최우선 순위로 선택되었다.²⁶⁾²⁷⁾

Engineering, Orlando, FL, USA, 23–25 June 2014; pp. 657–664.

17) Palmarini, R.; Erkoyuncu, J.A.; Roy, R.; Torabmostaedi, H. A systematic review of augmented reality applications in maintenance. *Robot. Comput.-Integr. Manuf.* 2018, 49, 215–228.

18) Zhou, Y.; Luo, H.; Yang, Y. Implementation of augmented reality for segment displacement inspection during tunneling construction. *Autom. Constr.* 2017, 82, 112–121.

19) Kwon, O.S.; Park, C.S.; Lim, C.R. A defect management system for reinforced concrete work utilizing BIM, image-matching and augmented reality. *Autom. Constr.* 2014, 46, 74–81.

20) Diao, P.H.; Shih, N.J. MARINS: A Mobile Smartphone AR System for Pathfinding in a Dark Environment. *Sensors* 2018, 18, 3442.

21) Gerstweiler, G.; Vonach, E.; Kaufmann, H. HyMoTrack: A Mobile AR Navigation System for Complex Indoor Environments. *Sensors* 2016, 16, 17.

22) Mulloni, A.; Seichter, H.; Schmalstieg, D. Handheld augmented reality indoor navigation with activity-based instructions. In *Proceedings of the 13th International Conference on Human Computer Interaction with Mobile Devices and Services*, Stockholm, Sweden, 30 August–2 September 2011; pp. 211–220.

23) Kalkusch, M.; Lidy, T.; Knapp, N.; Reitmayr, G.; Kaufmann, H.; Schmalstieg, D. Structured visual markers for indoor pathfinding. In *Proceedings of the First IEEE International Augmented Reality Toolkit Workshop*, Darmstadt, Germany, 29 September 2002; pp. 1–8.

24) Mehta, D.; Siddiqui, M.F.H.; Javaid, A.Y. Facial Emotion Recognition: A Survey and Real-World User Experiences in Mixed Reality. *Sensors* 2018, 18, 416.

25) Mann, S. Wearable computing: A first step toward personal imaging. *Computer* 1997, 30, 25–32.

26) Träskbäck, M.; Haller, M. Mixed reality training application for an oil refinery: User requirements.

In *Proceedings of the ACM SIGGRAPH international conference on Virtual Reality continuum and its*

“ARKit”는 iPhone XS Max 용으로 개발된 AR 소프트웨어 개발키트 (Software Development Kit, 이하 SDK)를 사용하여 적용되었다. BARMS는 6개의 모듈들로 구성된다 (그림 1). 실시간 환경보기 모듈과 LED 조명 모듈을 통해 스마트 폰 카메라는 향상된 SLAM 포지셔닝 기능으로 저조도 환경에서도 잘 운영될 수 있다. 파이프 전환 모듈은 AR에서 서비스될 대상 파이프를 선택하고 표시한다. 3D 유지관리 애니메이션 모듈 및 유지관리 경로 모듈은 스위치 모듈에 밀접하게 연결되어 있어 안전하고 직관적인 장비 운영 지침을 제공한다. AR 가이드 그래픽 모듈은 작업자들이 증강된 정보 데이터베이스에서 유지 보수 관련 정보를 검색할 수 있도록 간결한 인터페이스를 표시한다.

AR 시스템은 다음과 같은 특징을 가지고 있다.

- 저조도 조건에서 SLAM 및 무(無)마커 운영
- 배관 및 개체 정보 디스플레이
- 안전 유지관리 경로 디스플레이
- 3D 애니메이션으로 구현되는 유지관리 지침

*** 그림 설명:** 모바일 장치, 증강 정보, 사용자간의 관계가 묘사됨

*** 모바일 장치**

- 실시간 환경 표시 모듈
- LED 조명 모듈
- 3D 유지관리 동영상 모듈
- 파이프 스위칭 모듈
- 유지관리 경로 모듈
- AR 가이드 그래픽 모듈

*** 증강 정보 데이터 베이스**

- BIM 정보
- 파이프 형상
- 안전 유지관리 경로
- 3D 유지관리 동영상

그림 1. BARMS의 시스템 구조와 모듈들

BARMS의 개발과정은 그림 2에 나와 있다. 시스템 요구 사항들을 정의한 후 3D BIM 모델 및 관련 배관 정보가 구성되었다. AR 장면을 만들기 위해 3D 배관 모델을 유니티(Unity)로 가져 왔다. 최종 앱은 다양한 기능들과 해당 링크들을 코딩할 수 있는 Xcode에서 만들어 졌다. 무인 항공기(unmanned aerial vehicle, UAV)인 DJI Spark는 건물의 2D 평면과 3D 모델 구축을 위한 측정 및 제도 도우미로 사용되었다. BIM 파이프 모델은 Autodesk Revit을 사용하여 구성되었다. Visual Studio를 사용하여 프로그램을 코딩했다.

- ① 요구사항 정의 → ② 매핑 → ③ BIM 모델 구축 → ④ 배관 정보 입력
→ ⑤ AR 장면 구성 → ⑥ 프로그래밍 → ⑦ 어플리케이션 구축 → ⑧ 최종 시스템 장면 구축

그림 2. BARMS의 개발 과정

BARMS의 대화형 사용자 인터페이스는 스마트 폰 화면 오른쪽에 있다. 그림 3과 같이 사용자는 인터페이스의 버튼을 눌러서 증강 정보 데이터베이스에서 정보를 검색할 수 있다. 가상 물체의 밝기는 주변

applications in industry, Singapore, 16-18 June 2004; pp. 324-327.

- 27) Polvi, J.; Taketomi, T.; Moteki, A.; Yoshitake, T.; Fukuoka, T.; Yamamoto, G.; Sandor, C.; Kato, H. Handheld guides in inspection tasks: Augmented reality versus picture. IEEE Trans. Vis. Comput. Graph. 2018, 24, 2118-2128.

의 빛 환경에 따라 변경되기 때문에 안전 유지관리 경로는 야간보다 낮에 더 밝게 표시되어 디스플레이 인식을 더 낮게 해 준다.

- * 그림 설명:** 스마트 폰으로 제어할 수 있는 BARMS의 사용자 인터페이스가 묘사됨.
- 파이프 BIM 모델: 선택되지 않은 파이프들은 스마트폰 화면에 나타나지 않음.
 - 실시간 뷰
 - 안전 유지관리 경로
 - 파이프 번호: 관련 버튼을 클릭하면 해당 정보와 안전 유지관리 경로가 나타남.
 - 파이프 BIM 정보
 - 클릭 한 후에 밸브의 회전 방향이 표시됨.
 - 안전 유지관리 경로는 실내에서 실외까지 작업자를 안내함.
 - 3D 동영상은 작업자들이 설비물들을 작동시키는 것을 보조함.

그림 3. BARMS의 사용자 인터페이스

5. 실험 설계

대부분의 캠퍼스 건물들은 완공한지 29년 이상이 경과하였다. 그 후로 관련된 MEP 시스템 설치와 유지관리가 이루어져 모든 온/오프 스위치들을 감시 또는 제어하거나 경고 신호들을 표시하는 중앙 집중식 사무실이나 패널이 없는 상태에서 매우 복잡한 레이아웃을 초래했다. 온/오프 스위치들이나 전원들은 제어 및 모니터링 절차들을 구역화하기 위해 대상 장치들의 근처에 배치되거나 층별 또는 구역별로 분산되어야 한다. 요구사항들, 순서들 및 위치들과 같은 다양한 제어 패턴들을 개별 수준과 통합 수준에서 동시에 처리해야 하는 여러 시스템들에서 문제 해결을 수행해야 하는 경우에는 상호 충돌이 발생한다. 이 테스트는 전기 시스템과 냉각 시스템의 요구사항들을 통합하도록 설계되었다. 선정된 캠퍼스 건물은 지하를 포함하여 9층 높이로 3개의 학과들, 1개의 대학 전산센터와 2개의 강당들로 구성된다. MEP 시스템들과 요구사항들은 층 또는 구역별로 분류되고 테스트를 위해 선택된 부분은 4층에 연결된 서브시스템이었다. 지하실에는 활용가능한 공간이 불충분하여 기계실은 배관들, 덕트들, 모터들, 콘덴서들 등으로 혼잡했다.

대학의 시공회사들은 건물의 주요 MEP 시스템 설치물들에 대한 철저하고 정확한 이해를 얻기 위해 수차례 상담을 받았다. 직접적인 관찰들은 지하의 기계실들로부터 천장 내부의 덕트 공간들과 지붕 위의 샤프트에 이르기까지 이동하면서 이루어졌다. 일부 시스템들은 최초의 건설 이후에 설치되거나 업데이트되어 모든 구성요소들을 명확하게 볼 수 있는 여유 공간이 너무 좁고 불충분하였다. 서비스 대상실(room)을 찾으려고 시도하는 동안, 바닥들, 실들 또는 천장들로 세분화된 통합 시스템들에 대한 개인이 알 수 있는 전체 범위는 최종 변경상황이 반영된 완전한 도면들이 제공되지 않으면 판단하기 어려웠다.

5.1. 예비 테스트들에서 발생한 문제들

캠퍼스 건물 옥상에 위치한 냉각탑과 관련 배관들이 테스트를 위해 선정되었다. BARMS 시스템 시험자들은 BARMS를 적용하여 배관 정보를 확인하고 밸브와 환수관이 연결된 냉각탑과 펌프의 전원을 차단해야 했다. 중앙 집중식 진단 패널이 있는 제어실에서 전체 시스템에 액세스할 수 없다는 점이 지적되었다.

테스트를 위한 컨텍스트 설정 과정에서 BARMS의 보조가 없는 상태로 예비 테스트들을 수행하는 과정에서 다음과 같은 일련의 문제들이 발생했다.

1. 통합된 시스템들의 제한된 범위 : 개별 또는 고립된 시스템으로 분리된 MEP는 완전한 서비스 기능을 제공하기 위하여 전체 시스템과 결합되거나 통합된 것으로 고려되어야 한다.
2. 탐색 문제 : 전원 스위치를 정확하게 찾을 수 없었다.

3. 부정확한 선택 : 실내에서 실외까지 벽의 양쪽에서 동일한 배관을 선택하는 데 실수를 했고 설치물들 중에서 파이프의 밸브를 정확하게 식별하기 어려웠다
4. 알 수 없는 운영 순서 : 밸브와 냉각탑 또는 펌프 사이의 차단 순서의 상호 관계에 대한 배경 지식이 없었다.
5. 잘못된 운영 순서 : 펌프의 전원이 꺼지기 전에 밸브가 차단되어 공회전 및 과열이 발생했다; 그리고
6. 불확실한 운영 세부 정보 : 밸브를 잘못된 방향으로 회전시켜 펌프를 끄려는 시행착오가 있었다.

5.2. 시스템들과 테스트된 장소

다음과 같은 상황, 시스템 및 장소는 BARMS가 적용된 조건들을 나열한다. 지붕에는 총 10개의 냉각탑들, 20개의 배관들, 그리고 다수의 통합된 밸브들이 있었다(그림 4). 배관들은 아래층들과 기초의 콘크리트들에 도달하도록 지면 인근의 계단통(staircase)의 벽체들로 들어갔다. 냉각탑과 전원 패널은 각각 건물 외부와 내부에 위치했다. 실내 누수 시 유지관리 작업자는 올바른 연결을 확인하기 위해 실내와 실외 사이를 여러 번 이동하면서 어느 파이프가 고장 났는지, 실외의 해당 위치와 지붕층에 연결된 전원 스위치를 확인해야 했다. 야외에서는 충분한 조명기구가 없어 낮 시간 보다 저녁 시간대의 유지보수 작업이 더 어려웠다.

- 그림 설명: 실외 배관 모습(위)와 실내의 유지관리 시작점, 전원, 밖으로 나가는 출구, 벽체 안의 파이프들의 모습(아래)

그림 4. BARMS가 적용된 실외(위) 및 실내(아래) 레이아웃 사진들.

5.3. 실험 절차들

주요 테스트는 저녁에 실시되었다. 작동 절차들의 흐름도는 그림 5와 같다. 벽면 내 파이프에 심각한 누출이 발견된 후에 BARMS 시스템 시험자는 먼저 냉각탑 쪽으로 또는 냉각탑으로부터 밸브를 배치하여 급수를 차단한 다음에 냉각탑과 제어 펌프에 연결된 해당 전원 스위치를 차단해야 했다.

이번 테스트는 여섯 개의 관련된 작업들로 구성되었다.

1. 누출 배관 관련 정보 검색 : 기존의 BIM 정보를 활용하여 공사 일자 및 이전 유지관리 일정을 검색하였다.
2. 반대편 벽에 있는 배관의 해당 위치를 추적한다. 정확한 배관을 식별하기 위해 가능한 20개의 파이프들 사이에서 추적을 수행해야한다. 20개의 벽 안의 모든 배관들이 수직 샤프트에서 보이지 않는다. 즉, 일부 파이프들은 벽 안에 밀봉되어 있다. 다른 파이프들보다 테스트된 배관을 샤프트에서 비교적 쉽게 볼 수 있다. 이것은 실내와 실외가 벽으로 분리되어 있고 외부 배관에 대한 어떠한 시각적 참조가 없으므로 테스트에서 가장 어려운 부분들 중 하나이다. 배관들의 순차적 레이아웃을 계산하는 것도 일부 배관들이 샤프트에서 보이지 않기 때문에 실용적이지 않다.
3. 선행 연구에서는 외부에서 관찰했을 때 정확한 위치를 표시하기 위해 벽 내부의 실재물(entity)의 윤곽을 표면에 투영함으로써 배관 인식별 문제에 대한 가능한 해법을 규명했다. 본 연구는 이 개념을 확장하여 반대편 공간에 있는 직접 연결되지 않은 배관을 보여준다. 또한, 전기 시스템의 전원 스위치와 같은 다른 시스템 구성요소들에 대한 실재물의 정밀 작업(entity-pinpointing task)을 수행해야 했다.
4. 파이프가 연결된 올바른 냉각탑을 찾는다 : 냉각수 공급관과 환수관, 두 가지 유형의 배관들이 있는데 이들은 정교하게 파이프를 식별하기 위한 복잡성을 증가시킨다.
5. 냉각탑 및 환수관에 연결된 펌프의 전원을 차단한다 : 배관이나 밸브에 이르기 전에 전원은 반드시 차단되어야 한다. 시스템 냉각탑 및 관련 펌프에 동일한 스위치를 사용하도록 설계되어 두 구성요소들의 전원이 동시에 꺼진다.
6. 환수관에 연결된 밸브를 정확하게 차단한다.

- 그림 설명: 실내의 유지관리 작업 시작점에서 실외 유지관리 작업 종점까지의 작동 순서를 보여주는 장면

그림 5. 작동 절차들의 순서

6. 실험 결과

건물의 배관 시스템은 너무 복잡해서 종종 비전문가가 유지하고 운영하기 어렵다. 이 실험의 목적은 서로 다른 지식 배경들을 가진 사용자들이 BARMS를 이용하여 긴급한 문제 해결 상황에서 기본적인 장비 운영 및 유지관리를 수행하도록 지원하는 것이었다. 다양한 교육 배경들을 갖는 학생들이 임의로 선발되어 이 실험에 시험자로 참여하고 설문지를 작성했다. 건축, 정보 공학 및 디자인의 교육 배경들을 갖고 있는, 총 6명의 박사 과정 학생들과 9명의 석사 과정 학생들이 이 연구에 참여했다.

테스트 결과들은 BARMS를 사용한 시험자들은 누출 배관에 연결된 정확한 전원 스위치와 냉각탑을 찾아 밸브를 정확하게 차단할 수 있다는 것을 예증하였다(그림 6). 만장일치로 시험자들은 BARMS를 활용하여 저조도 환경에서도 유지관리 작업의 효율성을 향상시킬 수 있었다고 진술했다.

그림 7은 BARMS 활용의 스크린 샷을 보여준다. 앱을 실행하면 내벽 및 하향 확장 배관들을 포함하여 모든 구역의 배관들이 표시되었다. 배관들은 A9, A10 또는 A11과 같은 3D 번호로 표시되었다. 시험자는 특정 파이프 번호를 눌러 관련 없는 파이프 정보를 숨길 수 있다. 한편, 냉각탑과 펌프에 연결된 전원 스위치의 위치를 3D 화살표로 표시하여 시험자의 주의를 끌도록 했다. 전원 스위치를 끈 후, 시험자는 화면에 표시된 안전 유지관리 경로를 따라 해당 냉각탑 및 밸브까지 걸어갈 수 있었다. 또한 “유지관리 애니메이션(Maintenance Animation, 이하 MA)” 버튼을 누르면 밸브 주위에 애니메이션 화살표가 나타나 펌프를 차단하기 위한 올바른 회전 방향을 보여 준다. 시험의 비디오 샘플은 부록 A에서 볼 수 있다.

- 그림 설명: 어둠 속에서 스마트 폰으로 배관을 확인하는 장면

그림 6. 어둠 속에서 한 학생이 테스트한 BARMS

① 개방형 어플리케이션	② 벽체 내부의 모든 파이프 라인	③ 파이프 번호
④ 유지관리 대상 배관 선택 (A9)	⑤ 전원 차단 (A9)	⑥ 안전 유지관리 경로(실내)
⑦ 안전 유지관리 경로(실외)	⑧ 환수관(A9)과 공급관	⑨ 밸브 작동 설명용 3D 동영상

그림 7. BARMS 이용에 대한 스마트 폰 스크린 샷

설문지는 연구 후 시스템 사용적합성 설문지(Post-Study System Usability Questionnaire, 이하 PSSUQ)를 기반으로 수정되었다(부록 B). PSSUQ는 "전체 평균"에 대한 1-16개 문항들, "시스템 유용성"에 대한 1-6번 문항들, "정보의 질"에 대한 7-12번 문항들, 그리고 "인터페이스의 질"에 대한 13-15번 문항들을 포함하는, 총 4개 범주들의 16개 평가 문항들로 구성되어 있다(표 1). 설문 문항들은 리커트 형 7점 척도로 점수가 부여되었는데, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7은 각각 "강력히 동의", "동의", "약간 동의", "보통", "약간 동의하지 않음", "반대", 및 "강력히 반대"를 의미한다. 기본적으로, 등급이 낮을수록 시스템의 보고된 활용성이 높다. 표 1은 PSSUQ로부터의 피드백을 보여준다.

전체 평균, 시스템 유용성, 정보의 질, 인터페이스의 질에 대한 점수는 각각 1.74, 1.42, 1.90, 그리고 2.00으로 높은 시스템 활용성을 보여주었다.²⁸⁾그림 8은 좀 더 자세한 점수를 보여준다. 질문 7과 8은 BARMS이 시스템 오류를 수정하는 방법을 제공하지 않았기 때문에 상대적으로 높은 점수를 받았다. 테스트 중 시스템에 명백한 오류는 없었지만, 그것은 시험자들이 향후에 제공받을 수 있을 것으로 생각했던 기능이었다. 다른 제안들은 사용자의 행위들을 지시하는 더 많은 텍스트 추가와 더 많은 시스템 옵션용 화면 버튼들이 포함되었다.

표 1. PSSUQ의 4개 항목들에 대한 점수.

	문항	개수	평균	표준편차
전체 평균	1-16	15	1.74	0.40
시스템 유용성	1-6	15	1.42	0.30
정보의 질	7-12	15	1.90	0.38
인터페이스의 질	13-15	15	2.00	0.83

● 그림 설명: 문항별 점수를 그래프로 표현하고 있음.

그림 8. PSSUQ 내 모든 주제들에 대한 평균 점수.

7. 논의

주요 AR 특성들 중 하나는 실제 환경에서 실제와 가상의 객체들의 조합이다. ²⁹⁾³⁰⁾이 조합은 다양한 수준들의 지식과 대표적인 형태들의 지식을 적용해 복잡한 작업을 구성하는 건축시스템 유지보수와 유사성이 강하다. 건축 시스템 유지보수에 있어 기계 장비의 다양성은 실제 현장에서 유지보수 작업들을 수행하기 위해서는 실무 경험과 적절한 운영 매뉴얼에 대한 철저한 이해가 필요하다. BIM 외에도, 작업은 일반적으로 건물 전체에 걸쳐 접근하기 어렵거나 교차 공간 배치들이 복잡할 수 있는 건조 부동산, 시설 관리, 운영 지침, 작업 환경들 등 다양한 특성들을 가진 다른 분야들의 지원 또는 자원들로 업무를 수행해야 한다.

28) Lewis, J.R. IBM computer usability satisfaction questionnaires: Psychometric evaluation and instructions for use. Hum. Comput. Int. 1995, 7, 57-78.

29) Azuma, R.T. A survey of augmented reality. Presence Teleoper. Virtual Environ. 1997, 6, 355-385.

30) Azuma, R.; Baillot, Y.; Behringer, R.; Feiner, S.; Julier, S.; MacIntyre, B. Recent advances in augmented reality. Recent advances in augmented reality. IEEE Comput. Graph. 2001, 21, 34-47.

어둡거나 낮은 루멘 조건에서의 유지보수 작업은 안전이 가장 중요한 작업 현장들에서 자주 발생한다. 안전 경로들과 절차들은 운영 표지판에 명확하게 연결된 조명 기능과 함께 명확하게 표시되어야 한다. BARMS는 예상치 못한 장애물들이 없는 경로와 최적의 주변 시야각을 위한 적응 가능한 방향을 제공한다. BARMS 지원 스마트폰은 손쉬운 이동성과 내장된 손전등으로 많은 도움이 된다. 스마트 폰 손전등으로 밝혀진 관심 구역은 영향을 받을 수 있는 구성요소들을 더 잘 이해할 수 있도록 전체 시스템에 연결될 수 있다. 야간 야외 작업이나 이와 비슷한 어두운 실내 환경에서 작업할 때 매우 유익할 수 있는 AR 시스템은 일반적으로 사용 가능한 조명 기능을 활용하여 설치물의 전체 범위와 결합되는 정확한 수준의 현실성을 얻을 수 있다. 결과적으로, 특히 낮은 공간과 관련된 경우에 작업의 난해함이 크게 줄어든다.

BARMS는 시험자들의 작업량을 줄이고 운영 효율을 높이기 위해 간명한 유지관리 애니메이션으로 밸브 위치에 대한 직접적인 표식을 제공했다. 가상 건물 구성재 정보와 현장 유지관리의 통합은 실제로 구축된 시설의 유지관리 작업들을 위해 매우 중요하다. BIM 3D 모델과 그 속성들은 클라우드 전산 서비스들로부터 유지관리 작업자들이 완전한 시설 정보에 액세스 할 수 있도록 해주지만 실제 배관 레이아웃과 정확한 침투 지점들은 양쪽 벽들에서 확인하기가 매우 어렵다. 이제 배관 레이아웃과 침투 지점은 양쪽 벽들에서 확인할 수 있으며 배관 형상들이 정보와 현실에서 모두 용이하게 통합된다.

AR에 관계된 많은 연구자들은 열악한 지리적 참조(geo-referencing) 문제에 직면한다. 시각 추적은 보통 저주파 동작에서는 최상의 결과를 얻지만 빠른 카메라 동작에서는 실패할 가능성이 높다³¹⁾.

BARMS는 형상과 정보 매핑에 도움이 되는 매개 정보를 제공할 수 있지만, 시작 참조점에서 약 16.5m 떨어질 경우에 파이프 끝에서 부동(浮動, drifting)(0-20cm)이 발생한다. 이 편차는 작업자들이 더 먼 거리에서 유지관리 위치에 접근할 때도 증가 할 수 있다. 현재, 하위 계층 위치에서 실행되는 보조 애플리케이션은 파이프 끝 옆의 먼 위치에서 부동을 제거 하는데 사용된다.

8. 결론

시스템 설계 및 실험 결과들은 BARMS가 어두운 곳에서도 조명 기능을 제공하고 안전한 유지관리 경로를 보여주며 BIM 모델을 투사하고 상대적 위치들을 확인하며 애니메이션을 사용하여 유지관리 사항을 설명할 수 있었음을 예증하였다. BARMS는 기존 조건들을 설치물의 전체 범위와 원활하게 통합하고 쉽게 사용할 수 있는 스마트폰 조명 기능을 사용하여 야간에 야외나 그와 유사한 실내 저조도 상황에서 작업할 때 매우 효과적이었다. 스마트폰 애플리케이션은 예기치 않은 장애물을 회피한 유지보수 경로를 제공하고 주변상황을 최적으로 살필 수 있는 시야각 방향을 제공했다. 이 시스템은 유지관리 작업자들을 위한 환경에 BIM 모델을 투영하여 반대편 벽에 있는 파이프의 상대적 위치를 확인했다. 작업 부담을 줄이고 운영 효율을 높이기 위해 간명한 유지관리 애니메이션으로 밸브 위치의 직접적인 표식이 제공되었다.

BARMS의 성공적인 적용과 시설 유지관리에서 BIM과의 통합이 확인되었다. PSSUQ 결과물들은 애플리케이션이 누출된 파이프에 연결된 정확한 전원 스위치와 냉각탑을 식별하고 밸브의 적절한 차단을 지원할 수 있음을 예증하였다. 일반적으로 저조도 환경에서도 유지 관리효율성이 향상될 수 있었다.

향후 연구에서는 축적된 부동 오류들을 줄이기 위해 잘 계획된 애플리케이션 고정 위치들의 네트워크를 개발하여 더 나은 위치 지정 정확성으로 부동의 문제를 해결해야 한다. 이러한 문제들에 대한 기술적 해법들은 향후에 컴퓨터 과학자들과 AR 엔진 개발자들에 의하여 달성할 것으로 확신한다.

<원문제목> BIM-Based AR Maintenance System (BARMS) as an Intelligent Instruction Platform for Complex Plumbing Facilities

<원문출처> APPLIED SCIENCES

31) Carmigniani, J.; Furht, B.; Anisetti, M.; Ceravolo, P.; Damiani, E.; Ivkovic, M. Augmented reality technologies, systems and applications. Multimedia Tools Appl. 2011, 51, 341--377.