

BIM기반 MEP공사 시공용 도면 작성 자동화 프로세스 제안

An Automated Process to Produce Shop Drawings for MEP Works in BIM Environment

최창현¹⁾, 권대용²⁾, 조상호³⁾, 김주형⁴⁾

Choi, Chang-Hyun¹⁾ · Kwon, Dae-Yong²⁾ · Cho, Sang-Ho³⁾ · Kim, Ju-Hyung⁴⁾

Received September 29, 2020; Received December 28, 2020 / Accepted December 28, 2020

ABSTRACT: Shop drawing tasks conducted after finishing coordinated or engineering design have great influences on the quality and cost of a project. However, despite the development of commercial BIM applications, shop drawings have mainly produced manually in certain engineering fields. Incorrect shop drawings with human errors have occurred various problems such as cost overrun, time delay and reworks. An automated shop drawing publishing from BIM is expected to resolve these problems. Despite attempts for automate shop drawing production, the field of mechanical, electrical and plumbing (MEP) is yet regarded challenging due to complexity of components and connection. In this research, we develop a process for automated producing 3D MEP shop drawings in BIM environment as following steps: to analyze conventional MEP shop drawing process, to identify detailed process that can be automated, to classify existing MEP objects and assign codes usable in BIM, and to develop an application. The validation of automated process is conducted against 10 clean room projects in which MEP is more complex and its cost is higher than other projects in terms of productivity and workers' satisfaction. Results show that the number of manpower for shop drawing is reduced by 30%, and the working time is shortened by 31%. Personal opinions of involved practitioners is interpreted as positive as the average rate of agreement on practicability, easy-to-use and necessary retouch tasks is around 66%.

KEYWORDS: Building Information Modeling, Mechanical Electrical Plumbing (MEP), Shop Drawing, Application

키워드: BIM, MEP, 시공용 도면, 어플리케이션

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

건축 도면은 설계, 시공, 유지 관리 단계에서의 정보교환매체로 활용된다(Shin and Yang, 2009). 건축 도면의 종류 중 시공용 도면(shop drawing)의 경우 개념설계 및 엔지니어링 설계도면을 바탕으로 제작되고, 실제 시공을 위한 세부정보들을 담고 있어 건축 시공의 품질과 경제성에 많은 영향을 미치게 된다.

건축 프로젝트의 기계/전기/배관(Mechanical, Electrical, and

Plumbing; MEP, 이하 MEP)분야는 공사비에 주는 영향이 상대적으로 크기 때문에 정확한 시공용 도면 작성이 필요하다. 그러나 대다수 프로젝트에서 시공용 도면 작성이 전문가의 경험에 따라 수작업으로 진행됨에 따라 도면 작성 작업에 과도한 작업 비용 및 시간이 소모된다. 수작업으로 진행되는 경우 표현형식이 2D로 제한되는 경우가 많아 복잡한 내용에 대한 이해도가 저하될 수 있고, 인적오류(Human Error)가 발생할 경우 최종 결과(As_Built)의 정확도 저하 및 작업 불량에 따른 재시공 문제가 생긴다.

¹⁾학생회원, 한양대학교 건축공학과 석사과정 (rkfaor1144@gmail.com)

²⁾정회원, LG디스플레이 책임 (kdy30@lgdisplay.com)

³⁾정회원, 한양대학교 건축공학과 박사과정 (hoho-cho@hanmail.net)

⁴⁾정회원, 한양대학교 건축공학과 교수 (kcr97jkh@hanyang.ac.kr) (교신저자)

BIM(Building Information Modeling)의 도입이 3D 모델을 기반으로 공공간 사전 간섭체크, 프로젝트 참여자들의 이해도 증가 등의 이익을 가져다 줄 것으로 기대되었다. 그러나 실제 시공단계에서는 일반적인 BIM에 비교해 보다 구체적인 정보를 담은 시공용 도면 작성이 필요하다. 이에 따라 구조분야의 경우 CAD(Computer Aided Design)을 기반으로 한 철근배근도 작성 자동화에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다(Kim, 2019).

MEP분야에서도 BIM활용에 대한 연구가 진행되고 있으며 구조와 같은 엔지니어링 설계 과정과의 협업을 통한 사전 간섭체크(Pärn and Sing, 2018; Yarmohammadi, 2015), BIM시스템 개발을 통한 MEP 유지관리(Hu, 2018; Cheng, 2020) 등이 대표적 사례이다.

MEP중심의 프로젝트 중 난이도가 높은 편에 속하는 반도체와 디스플레이 공장의 클린룸(Clean Room)의 경우 세밀한 환경 제어를 위하여 보다 복잡한 재질 및 공종의 배관들로 이루어져있어 시공용 도면 작성 과정중 상대적으로 많은 문제가 발생할 여지가 있다. 10개의 클린룸 MEP 공사 프로젝트를 대상으로 한 사전 조사결과, 시공용 도면 작성 작업의 경우 작업자의 2D기반 수작업으로 진행하고 있었다. 또한 국외의 MEP분야 BIM가이드라인의 경우 덕트, 배관 단위의 구체적 작성 지침 및 세부적 작성 대상을 제시하여 실무에서 사용되기가 유용하다는 반면, 국내의 국토교통부 및 조달청에서 제시한 MEP분야 BIM가이드라인의 경우 세부항목이 도출되지 않고, 기준 자체가 매우 포괄적이어서 실무에서의 활용에 한계점을 지니고 있다(Park, 2017).

따라서 본 연구에서는 기존 MEP 시공용 도면 작성 프로세스에 대한 분석을 통해 자동화가 가능한 구간을 분석하고, 기존 MEP부재 객체들에 대한 분류 및 BIM에서 활용 가능한 코드를 부여해 자동화 업무 프로세스 기반을 마련하고 관련 어플리케이션을 개발한 후 이의 효용성을 검증하고자 한다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구에서는 BIM기반 MEP분야 시공용 도면 작성 자동화 프로세스 구축을 다음과 같이 진행하였다.

첫째, 재질, 접합방식, 배관 내 유체특성 등을 기준으로 MEP부재 객체들에 대해 3단계 계층구조로 분류하였다. 이후 BIM에서의 활용을 위하여 계층구조별로 코드(Code-1 : 부재, Code-2 : 재질, 접합방식, 배관 내 유체특성, Code-3 : 세부 특징(Type))를 부여하였다.

둘째, 시공용 도면 자동 생성 프로그램들에 대한 성능 및 프로세스 분석을 진행하여 자동화 프로세스의 기반을 마련하였다.

셋째, 분류 및 코드화된 MEP부재 객체 정보와 시공용 도면 자동 생성 프로그램을 활용하여 BIM기반 MEP분야 시공용 도면 작성 자동화 프로세스를 구축하였다.

마지막으로는 자동화 프로세스를 BIM 저작도구와 연동되는 어플리케이션으로 구현한 후, 실무 프로젝트에 참여하는 작업자들을 대상으로 효용성을 검증한다. 검증 내용은 기존 2D 프로세스와 비교한 생산성 및 작업자의 편의성 및 후 보정작업에 대한 필요 숙련도 등이다. 10개의 클린룸 프로젝트에 자동화 프로세스 적용 및 어플리케이션 도입 후 작업과정 및 사용자 설문조사를 통해 시간 및 투입인원 분석과 같은 양적 분석 및 어플리케이션 사용에 대한 편의성 및 숙련도 등에 대해 설문지 기반 질적 분석을 수행했다.

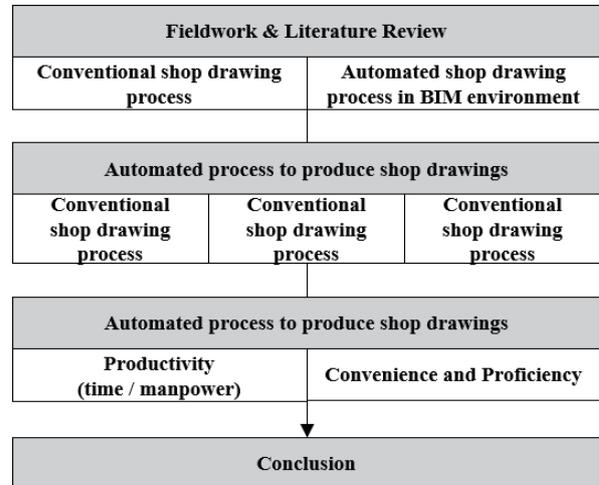


Figure 1. Research process

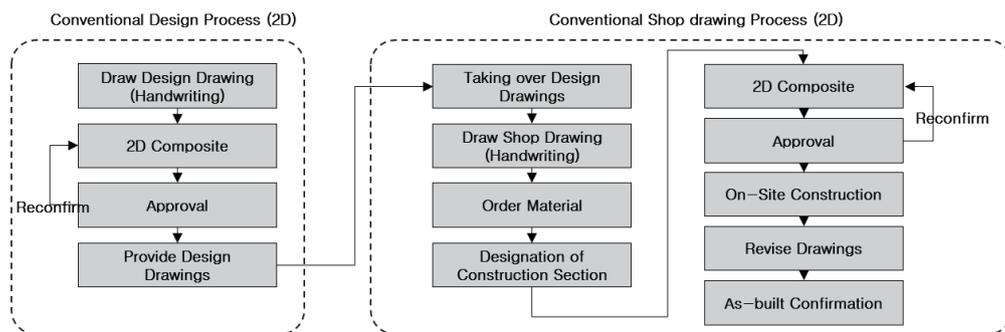


Figure 2. Conventional shop drawing process

Table 1. Drawing list

Drawing	Field
Material order drawings	Pipe length, Fitting(Elbow, Tee, Flange, Stub-end, Cap, Red, Plug) quantity, Accessory(Valve, Strainer, Trap) quantity
	Piping installation position based on column
	Display of connected shop drawings
	Calculation of welding quantity
Shop drawings	Perforated marking of firewall body
	Piping installation location based on column and various accessories installation location
	Field installation Routing
	Identify section

2. 이론적 시공용 도면의 중요성 및 현황 사전조사

최근 국내외에서는 반도체 및 디스플레이(Display) 제작공정에 필요한 클린룸 MEP 공사(Park, 2014)가 증가하고 있다(TechNavio, 2020). 클린룸 MEP 공사는 기존 MEP공사에 비해 상대적으로 복잡하고 난이도가 높은 MEP공사를 요구하며, 설계와 시공이 동시에 진행되는 패스트트랙(Fast-Track)방식으로 진행된다(Park, 2014). 패스트트랙(Fast-Track)방식의 특성상, 실제 시공에 필요한 세부 정보를 담고 있는 시공용 도면은 작업자의 업무 생산성 향상과 프로젝트의 품질에 매우 중요한 역할을 한다(Lee et al., 2019). 또한 MEP분야는 건축 및 구조에서 제공하는 정보의 부족과 개별 공종별로 도면화가 이루어지기 때문에, 타 공종보다 정밀한 시공용 도면이 요구된다(Ahn, 2013). 그러나 현장에서 2D도면을 기반으로 설계 및 시공용 도면 작성을 진행하는 과정에서 타 공종과의 간섭 및 충돌 오류는 지속적으로 발생하였고, 이는 경제적 손실을 불러일으켰다(Shittu, 2017).

이에 대한 대응 방안을 마련하기 위해 2019년 7월부터 2019년 8월까지 시공용 도면 작성 전문가 60인을 대상으로 클린룸 MEP 공사 프로젝트의 시공용 도면 작업 과정에 대한 사전조사를 진행하였다. 클린룸 MEP공사 프로젝트의 시공용 도면 작업은 Figure 2와 같은 과정으로 진행되었으며, Table 1은 프로젝트의 주요 도면 목록을 나타낸다.

클린룸 MEP공사 프로젝트는 작업자의 수작업과 2D도면을 기반으로 시공용 도면 작성 작업이 진행되었고, 이는 인적 오류(Human Error)로 인한 재검토(Reconfirm) 및 도면 수정을 불러일으켰다. 또한 클린룸 MEP 공사에 요구되는 복잡한 MEP(Ultrasonic Pipe, Petroleum Gas, Compressed Dry Air, Dry Cooling Coil 등)도면 작업의 경우 일반 MEP(소화배관)도면 작업에 비해 3배 이상의 시간이 소요되었다. 따라서 2D도면 기반 작업과 수작업으로 인해 발생하는 문제점을 해결하기 위한 방안에 관한 연구가 필요하다.

Table 2. Shop drawing time by type and utility

Type	Utility	Section			Drawing Time (Day)	
		Quantity	Construction	Adjustment		
UT Piping	UT Piping	X	0	0	56	
	P-GAS, Chemical	0	0	0	60	
	N2, CDA	X	0	0	42	
	DCC	0	0	0	60	
	Fire fighting		0	X	X	20
			0	X	X	14

2.2 BIM의 활용 및 자동 도면화 현황

BIM에 관한 연구는 2000년대부터 활발하게 진행되고 있으며, 최근에는 실무적인 활용도를 높이기 위해 설계 단계, 시공 단계, 유지관리 단계와 관련된 연구가 증가되고 있는 추세이다(Kim et al., 2016; Ham et al., 2019; Koo et al., 2019). BIM의 활용을 위한 주요 기능은 BIM의 주요 기능은 3D모델링, 설계 오류 및 간섭 검토, 수량 산출, 문서화, 시각화, 4D 시뮬레이션 등이 있다(Ham et al., 2019). 이 중 3D 모델링은 객체(Object) 정보를 기반으로 작성하게 되어 설계 및 엔지니어링 정보를 도면에 일관되게 공급할 수 있다. 이를 활용할 경우, BIM의 3D모델링으로부터 자동으로 도면을 산출할 수 있고, 이와 관련된 연구가 활발히 진행되고 있다. 김인한(2016)은 BIM을 기반으로 2D도면(입면도, 단면도, 평면도)을 자동으로 생성하는 프로그램에 관한 연구를 진행하였으며, 박선미(2016)는 BIM을 기반으로 건축 인허가 설계도서 작성에 관한 연구를 진행하였다.

또한 설계도면 뿐만 아니라 시공 업무에 필요한 정보를 담고 있는 시공용 도면(Shop Drawing)의 자동 생성과 BIM활용에 관한 국내외 연구는 Table 3과 같이 요약될 수 있다. Shin(2009)은 시공용 도면 구성 객체(Object)분석과 IDEF ϕ 를 이용한 기존 시공용 도면생성 프로세스 분석을 통하여 BIM 기반 철골구조물의 시공용 도면 자동 생성 프로세스에 관한 연구를 진행하였다(Shin and Yang, 2009). Jeon(2011)는 시스템 설계를 통해 철근 시공용 도면 작성 작업 과정 분석을 통한 정보 표준화 실시를 진행하였다. 또한 Seong(2012)는 철근 시공용 도면 작성 작업 과정 분석 및 정형적인 정보 표현을 통한 BIM기반 철근 시공용 도면 작성 작업 시스템 설계 및 개발을 진행하였다(Jeon, 2011; Seong, 2012). Nath(2015)는 시공용 도면 작업과정의 제약조건을 식별하고 이러한 제약조건을 해결하는 BIM기반의 시공용 도면 작업 프로세스 제안 및 제안된 프로세스의 생산성 분석에 관한 연구를 진행하였다(Nath et al., 2015). 위의 연구들은 주로 철근콘크리트 공사를 대상으로 진행되고 있으며, 기존 프로세스 분석 및 정보의 표준화와 도면 자동 산

출 시스템의 개발을 제시하고 있다. 국외에서는 MEP공사에서 BIM의 활용은 설계 및 조정과정에서의 효율성 향상을 이끌어낼 수 있다는 연구가 진행되고 있다(Yarmohammadi and Ashuri, 2015; Azhar et al., 2008; Lu and Wong, 2018; Motiejunas, 2016). 그러나 국내의 경우 MEP공사에서의 BIM활용을 위한 데이터 분석 및 프로세스 개선에 관한 연구는 미비하였고, 실무에서 또한 건축, 구조 분야에 비해 MEP분야의 BIM활용은 매우 저조하였다(Kim et al., 2016). 국내의 실무에서 활용되고 있는 MEP부재의 객체 정보

에 대한 분류가 되어있지 않고, 실제 작업자들이 활용할 수 있는 BIM기반 업무프로세스에 대한 연구가 미비한 현황이다(Kang, 2016). 따라서 MEP분야에서의 BIM활용성을 높이기 위하여 실무에서 활용되고 있는 MEP부재 객체들에 대한 분석 및 분류와 BIM기반 업무 프로세스에 대한 연구가 필요한 것으로 판단된다.

3. MEP공사 시공용 도면 작성 자동화 프로세스 구축

Table 3. Research on shop drawing process

Author	Title	Contents
Juan D. Manrique (2015)	Automated generation of shop drawings in residential construction	A Study on the Automated Method of Creating Shop Drawings for the Wooden Frame Design of Residential Facilities Based on D-CAD Model.
Seong (2012)	Design and Development of BIM Based Rebar Shop Drawing System for Column and Wall	A study on rebar shop drawing system design and development through analysis of rebar shop drawing process and formal information expression.
Jeon (2011)	Design and Development of BIM Based Rebar Shop Drawing System	A study on understanding the flow of rebar information and logistics information through analysis of the rebar shop drawing process through system design, and implementing information standardization.
Kim (2006)	Development of an Application to Generate 2D Drawings in Automation using Open BIM Technologies	A study on the development of a program for automatic creation of submitted drawings for licensing in connection with BIM design book optimization standards by applying the concept of open BIM.
Park (2013)	A Study on the BIM Application for Shop Drawing of Steel Structures	A study on applying to practical projects by constructing a custom component of a support structure for steel structure joints where application of system components is difficult.
Yarmohammadi and Ashuri (2015)	Exploring the approaches in the implementation of BIM-based MEP coordination in the USA	A study on the importance for BIM in the MEP coordination stage to solve the complexity of MEP construction.
Azhar, Mok and Leung (2008)	A new paradigm for visual interactive modeling and simulation for construction projects	A study on the use of BIM to improve economic efficiency, time management, and client management efficiency in construction projects.
Lu and Wong (2018)	A BIM-based approach to automate the design and coordination process of mechanical, electrical, and plumbing systems	A Study on the Use of BIM and Efficiency to Analyze Functional and Spatial Interference in MEP design and coordination Process
Motiejunas (2016)	Improving the MEP coordination using BIM technologies-A case study based on observations and interviews	A study on improving collaboration and efficiency in MEP design and coordination process using BIM

3.1 MEP부재 객체 정보 분류 및 BIM코드화

MEP공사에서의 BIM활용을 위해서는 각종 밸브, 펌프, 기타 설비에 대한 표준 라이브러리가 필요하다. 그러나 국내에서 사용하고 있는 대부분의 BIM소프트웨어는 외국에서 수입된 것이어서 국내의 실무에 적합하지 않거나 그 구성요소가 매우 부족한 상황이다(Kang, 2016). 따라서 국내 MEP실정에 맞는 표준 라이브러리의 구축이 필요하며, 이를 위해서는 기존 MEP부재 객체들에 대한 분류가 선행되어야 한다. 본 장에서는 실무에서 활용되고 있는 MEP공사 내역서를 기반으로 MEP부재 객체들에 대한 분류를 진행하였다. MEP부재의 속성 정보들을 기준으로 3단계 계층구조로 분류를 진행하였고, 이후 BIM에서의 활용성을 높이기 위하여 계층구조별 코드를 부여하였다.

Table 4의 예시와 같이 3단계 계층구조의 첫 번째 단계에서는

Table 4. Define piping object data code

Code-1	Code-2	Description	Code-3	Description
VALVE	VB	GLOBE VALVE	VBK	REGULATING GLOBE VALVE
			VBR	GLOBE VALVE (FOR FIRE FIGHTING)
			VBY	GLOBE VALVE (Y-TYPE)
	VC	CHECK VALVE	VC3	CHECK VALVE (FOR CLASS 300)
			VC6	CHECK VALVE (FOR CLASS 600)
			VCD	CHECK VALVE (DUAL PLATE TYPE)
	VJ	JACKET VALVE	VJA	JACKET GATE VALVE
			VJC	JACKET CHECK VALVE
			VJL	JACKET VALVE (BALL TYPE)
VLD			BALL VALVE (DOUBLE BLOCK AND BLEED TYPE)	
VL	BALL VALVE	VLH	BALL VALVE (FOR H2SO4 SERVICE)	
		VLR	BALL VALVE (FOR REDUCED BORE)	
		VLM	BALL VALVE (FOR METAL SEATED TYPE)	

MEP부재 객체들(Valve, Pipe, Fitting, Accessory)들에 대하여 부재별로 분류를 진행하였다. 그 이후에 부재별로 분류된 객체들에 대하여 두 번째 단계에서 재질, 접합방식, 배관 내 유체 특성과 같은 부재별 특징에 따라 분류하였다. 마지막으로 3번째 단계에서 부재의 세부 특징(Type)에 따른 분류가 이루어진다. 위의 과정에 따라 MEP부재 객체들에 대하여 3단계 분류를 진행한 이후 BIM활용성을 높이기 위해 단계별로 Code-1,2,3을 부여하였으며, Description을 통해 코드별 부재 객체 정보에 대한 상세설명을 기재하였다.

3.2 시공용 도면 작성 프로그램 분석

표준화된 객체(Object) 정보를 기반으로 BIM기반 3D 모델이 작성되면 실제 시공에 필요한 정보를 담고 있는 시공용 도면(Shop Drawing)을 자동으로 생성할 수 있다(Ham et al., 2019). 위와 같은 BIM의 기능을 활용하기 위하여 여러 시공용 도면 자동 생성 프로그램이 개발되었으나, 아직까지 실무에서는 BIM기반 업무 프로세스 방법의 부족 등과 같은 이유로 활용이 잘 되지 않고 있으며(Kim, 2020), 특히 MEP분야의 경우 타 공종에 비해 상대적으로 활용도가 매우 저조하다(Kim et al., 2016). 따라서 MEP분야의 시공용 도면 작성 자동화 프로세스 구축을 진행하기 위하여 현재 개발되어 있는 MEP 시공용 도면 작성 프로그램(EZ-ISO, Revit-ISO, AutoCAD Plant)의 성능 분석이 진행되어야 한다.

본 연구에서는 프로그램 성능의 Revit 연계작업 만족도, ISO변환 프로세스 편의성, Customizing 편의성과 같은 기능적 부분과 ISO엔진 성능/3D 변환, 기술 지원, 호환성과 같은 기술적 부분에 대해 분석을 진행하였다.

Table 5의 EZ-ISO프로그램은 변환 프로세스에서 별도의 변환 파일이 필요하지 않고, BIM과의 호환성 및 대용량 ISO 추출 성능이 높다. Table 6의 Revit-ISO프로그램은 BIM 호환성 및 대용량 ISO추출 성능이 높지만, 변환 프로세스에서 호환 파일로의 변환이 필요하다는 단점이 존재한다. Table 7의 AutoCAD Plant프로그램은 변환 프로세스에서 Fabrication CAD 파일 변환 및 Plant 3D에서의 ISO추출과정이 필요하며, BIM호환성 및 대용량 ISO추출 성능이 타 프로그램에 비해 상대적으로 낮다.

각 프로그램의 성능에 대한 비교분석은 Table 8과 같이 요약될 수 있으며(O: 적합, △: 부분 적합, X: 부적합), ISO 변환 프로세스의 단순화 및 대용량 ISO추출과 BIM호환성 측면에서 상대적으로 강점을 가지고 있는 EZ-ISO프로그램이 MEP분야 자동화 프로세스에 적합하다고 판단된다.

3.3 MEP공사 시공용 도면 작성 자동화 프로세스 구축

Table 5. EZ-ISO Program analysis

Check List	EZ-ISO
Conversion Process	• No conversion file required when converting to ISO (eif file conversion required when creating spool drawings)
Predecessor	• Construction Material Spec • Symbol Mapping Table • ISO Style Setup
Function Support	• Dedicated isometric engine based on Revit
->Revit File Compatibility	• Revit Add-In
Mega File Support	• Depends on the performance of the single engine when extracting large ISO file.
Conversion Script Format	• Conversion through self-developed converter engine (PCF can be provided)
2D Format(DWG, PDF)	• DWG
General Extract Time	• ISO extraction depends on single engine performance

Table 6. Revit-ISO Program analysis

Check List	Revit-ISO
Conversion Process	• Need to convert to rti file when converting to ISO
Predecessor	• Construction Material Spec • Symbol Mapping Table • ISO Style Setup
Function Support	• Dedicated isometric engine based on Revit
->Revit File Compatibility	• Revit Add-In
Mega File Support	• Depends on the performance of the single engine when extracting large ISO file.
Conversion Script Format	• Conversion through self-developed converter engine
2D Format(DWG, PDF)	• DWG
General Extract Time	• ISO extraction depends on the performance of its own engine, but also considers the impact on the N/W speed by server upload/download.

Table 7. AutoCAD Plant Program analysis

Check List	AutoCAD Plant 3D
Conversion Process	• Fabrication CADmep file conversion, PCF extraction, and ISO extraction from Plant3D
Predecessor	• Construction Material Spec • Symbol Mapping Table • ISO Style Setup • Fabrication CADmep Library • Design Line Mapping Table • Fabrication CADmep Button Code • Plant3D Spec
Function Support	• Includes dedicated isometric engine based on Autodesk Tool
->Revit File Compatibility	• Can't compatible with Revit
Mega File Support	• Extraction time is slower than other tools when extracting large ISO volumes
Conversion Script Format	• PCF(Piping Component File) Script
2D Format(DWG, PDF)	• 2D(DWG) / PDF(Add-In)
General Extract Time	• Slow speed to purchase and include other engines

EZ-ISO프로그램을 기반으로 MEP 공사에서의 시공용 도면 작성 자동화를 구축하기 위해서는 프로그램에 활용되는 MEP부재 객체 정보들에 대한 체계적인 분류 및 코드화와 설계단계와 시공 단계에서의 자동화 프로세스의 변화가 필요하다. 따라서 본 장에서는 3.1장에서 분류 및 코드화를 진행한 MEP부재 객체 정보와 3.2장에서 분석되었던 EZ-ISO프로그램을 통해 MEP분야 시공용 도면 작성 자동화 프로세스의 구축을 진행한다.

구축된 MEP공사 시공용 도면 작성 자동화 프로세스는 Figure 4와 같이 다음과 같은 순서로 진행된다. 첫째, 설계단계에서 MEP부재 객체 정보를 기반으로 3D 모델 제작 및 간섭 검토를 한다. 다음으로 간섭검토가 완료된 3D 모델의 각 부재 객체(Object) 정보들과 도면 생성 프로그램의 매핑을 통해 시공용 도면 자동으로 생성되고, 이후 물량산출표, 기정/정산 자료 제작이 진행된다. MEP부재 객체 정보를 기반으로 시공용 도면의 자동 생성은 Figure 3의 4단계를 통해 이루어진다.

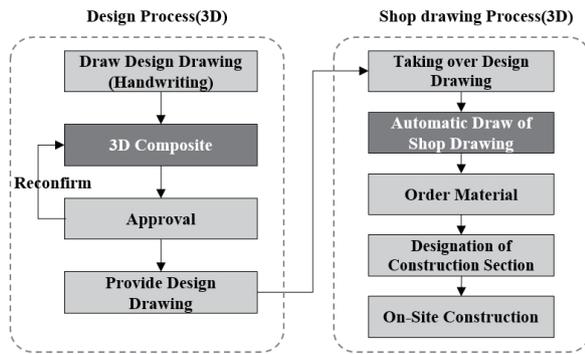


Figure 4. Automated shop drawing process 2

1) MEP모델의 객체 속성정보코드(Spec, Scode, Size)값을 이용하여 매핑 테이블(Mapping Table)에서 조건을 만족하는 Scode Description, Description, Skey값을 추출한다.

2) Line No속성 값을 기준으로 시공용 도면에 요구되는 객체를 추출한다.

3) 매핑 테이블에서 Skey값으로 사전에 정의된 객체를 기반으로

로 시공용 도면이 자동으로 생성된다.

4) 객체 속성 정보와 매핑 테이블 값을 이용하여 자재 목록 표(Bill Of Material, BOM)가 작성된다.

본 연구에서 제안하는 BIM기반 MEP공사 시공용 도면 작성 자동화 프로세스를 실무에서 도입할 경우, 설계단계와 시공단계 객체정보의 통일, 자동화를 통한 작업 시간 단축, 작업 인력 감소, 품질 향상의 이점을 가져올 것으로 기대된다.

4. MEP공사 시공용 도면 작성 자동화 프로세스 검증

4.1 2D CAD 및 BIM 기반 시공용 도면 작성 프로세스 효율성 비교분석

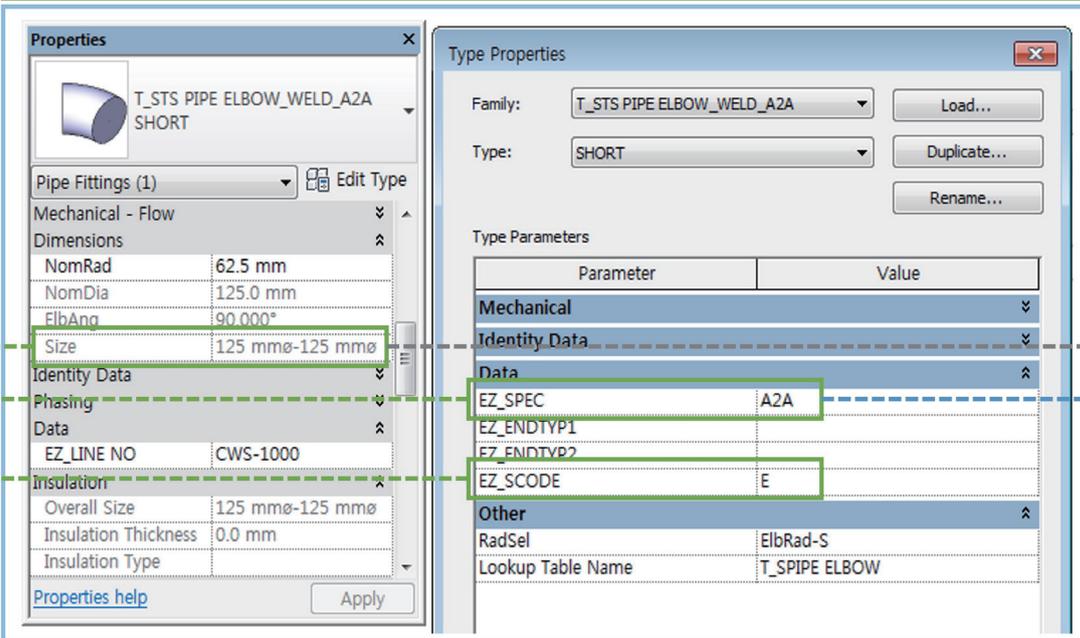
본 연구에서 구축한 자동화 프로세스를 BIM저작도구와 연동되는 어플리케이션으로 구현한 후, 실무 프로젝트의 작업자를 대상으로 효율성 검증을 진행하였다. 2019년 9월부터 2019년 10월까지 10개의 클린룸 MEP프로젝트의 시공용 도면 작성 전문가 63인을 대상으로 진행하였으며, 동일한 설계도면으로부터, 그룹 A는 2D CAD를 통한 시공용 도면 작성, 그룹 B는 BIM(Revit) 및 자동화 프로세스를 통한 시공용 도면 생성과 후 보정 작업을 진행하였다. MEP공사 중 가장 문제가 많이 발생하는 배관(설비, 소방) 공종을 대상으로 진행되었으며, 그룹 B는 3장에서 분석 및 제안하였던 EZ-ISO프로그램 기반의 시공용 도면 작성 자동화 프로세스를 사용하였다. Figure 5는 그룹 A와 그룹 B가 설계도면으로부터 시공용 도면을 작성하는데 소요되는 시간 데이터를 나타낸다. 그룹 B의 경우 실제 시공에 필요한 정보를 추가하는 후 보정 작업 시간을 포함하여 시간 데이터를 수집하였다. 시공용 도면 작성 시간에 대한 두 프로세스의 비교분석 결과, 자동화 프로세스를 적용한 그룹 B가 그룹 A에 비해 작업 시간이 31% 단축되었음을 도출해낼 수 있었다. 또한 Table 9와 같이 자동화 프로세스는 기존 프로세스에 비해 작업 인원을 30% 감축되었음을 알 수 있다.

Table 8. Program analysis

Evaluation Standard Program	Function Evaluation		Technical Evaluation		
	Convenience of ISO conversion process	Customizing convenience	ISO engine performance / 3D conversion	Technical Support	C4 Integration
EZ-ISO	O	O	O	O	O
Revit-ISO	Δ	Δ	O	Δ	O
AutoCAD Plant	X	X	Δ	X	Δ

Step1.

Extract SODE Description, Description, and SKEY values that satisfy the condition from the Mapping Table using EZ_SPEC, EZ_CODE, and SIZE values among model property information.



Step2.

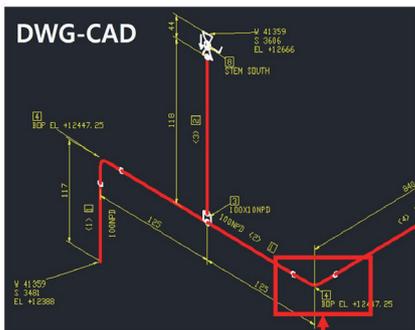
Extract ISO based on EZ_LINE NO attribute value

Mapping Table

SPEC	SCODE	SCODE DESCRIPTION	FROM SIZE	TO SIZE	DESCRIPTION	SKEY
A2A	P	PIPE	15	400	STS304TP, EFW, BE, SCH10S, KSD-3576	-
A2A	JN	NIPPLE	15	40	STS304TP, SMLS, PE, SCH10S, KSD-3576	NRSC
A2A	E	ELBOW	15	40	STS304, ERW, SW, SCH80S	ELSW
A2A	E	ELBOW	50	400	STS304, ERW, BW, SCH10S, KSB-1541	ELBW
A2A	T	TEE	15	400	STS304, ERW, BW, SCH10S, KSB-1541	TEBW

Step3.

Write ISO with predefined symbol as SKEY value of Mapping Table



Step4.

Write SODE Description and Description values of Mapping Table to Bill of Material.

NO	ITEM	SIZE	QTY	DESCRIPTION
[A2A]				
1	PIPE	100 A	34.6 M	STS304TP, EFW, BE, SCH 10S, KSD-3576
2	PIPE	10 A	0.1 M	STS304TP, EFW, BE, SCH 10S, KSD-3576
3	HALF	100X10 A	1	STS304, FORGING, SW, SCH80, KSB-1542
4	ELBOW	100 A	4	STS304, ERW, BW, SCH10S, KSB-1541, SHORT ELB

Figure 3. Automated shop drawing process 1(CAD & Graphics, 2017)

Table 9. Variation of human resources according to automatic process application

Project	Utility	Human Resource(M/M)	
		2D shop drawing process	3D Automated shop drawing process
A	DCC, FA Duct	3	2.1
B	CR Firefight	10	10
C	P-Gas, Chem, Support	7.8	5.4
D	N2, CDA	13.2	9.2
E	PCW, PV, HV, CW	10.5	7.3
F	Exhaust (Acid-C/G, Normal)	12	8.5
G	Exhaust (Acid, Acid-D)	7.6	5.3
H	Process Drain Shaft	5.5	3.8
I	Process Drain C/R	15.5	10.7
J	DI	15.5	10.7
Total		91	63

4.2 작업자 편의성 및 후 보정 작업 필요 숙련도 분석

BIM기반 시공용 도면 작성 자동화 프로세스의 경우 생성된 도면에 대하여 시공에 필요한 정보를 추가하거나, 배치하는 후 보정작업을 필요로 한다. 이에 따라 4.1장에서 BIM기반 시공용 도면 작성 자동화 프로세스 효율성 검증에 참여한 클린룸 MEP프로젝트 시공용 도면 작성 전문가 63인을 대상으로 프로세스의 편의성 및 후 보정 작업 필요 숙련도에 대한 설문조사를 진행하였다. 설문조사는 자동화 프로세스의 편의성, 만족도와 정확도, 효율성(작업 시간, 후 보정 작업)에 대한 항목들로 구성하였다. 각 항목

들에 대해 답변자가 매우 불만족, 불만족, 보통, 만족, 매우 만족 중 하나를 선택하도록 하여 부정과 긍정의 대답을 이끌어 낼 수 있도록 하였고, 이에 대한 이유를 추가 작성함으로써 추후 연구의 기반을 마련하였다.

분석결과, 설문에 참여한 작업자의 66%는 자동화 프로세스에 대해 긍정적인 반응을 보였다. 또한 부정적인 반응을 보인 작업자들의 프로세스 개선사항에 대한 의견은 Table 10과 같이 요약된다. 자동화 프로세스 사용에 있어서 일부 공종의 경우 실제 시공에 필요한 정보의 제작이 되지 않아 후 보정 작업 시간이 많이 소요되고, 부재가 많은 공종의 경우 변환 소요시간이 오래 걸린다는 의견이 도출되었다.

실무 프로젝트의 작업자를 대상으로 한 효율성 검증을 통하여 자동화 프로세스는 기존 프로세스에 비해 생산성과 작업자 편의성 향상 등의 이점을 가져온다는 것을 알 수 있었다. 그러나 실제 시공에 요구되는 정보 제공의 한계와 일부 공종의 경우 변환 시간의 소모가 크다는 점이 분석되었고, 이에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

Table 10. Problem & improvement in automatic process

Contents		Problem & Improvement
Automatic process application	Convenience	<ul style="list-style-type: none"> • Many predecessors of the process required • Lots of additional work • PMS management and symbol editing impossible
	Quality	<ul style="list-style-type: none"> • Visual expression of proportions is unsatisfactory • Create many unnecessary dimensions
	Accuracy	<ul style="list-style-type: none"> • Object loss (accessories not represented) • Insufficient drawing division standards
Productivity	Time	<ul style="list-style-type: none"> • No time reduction • Time increases with more parts such as fittings and valves
	Calibration	<ul style="list-style-type: none"> • Touch-Up Work is required • Calibration is required • Additional modifications such as dimensional standards and labeling for field workers are required

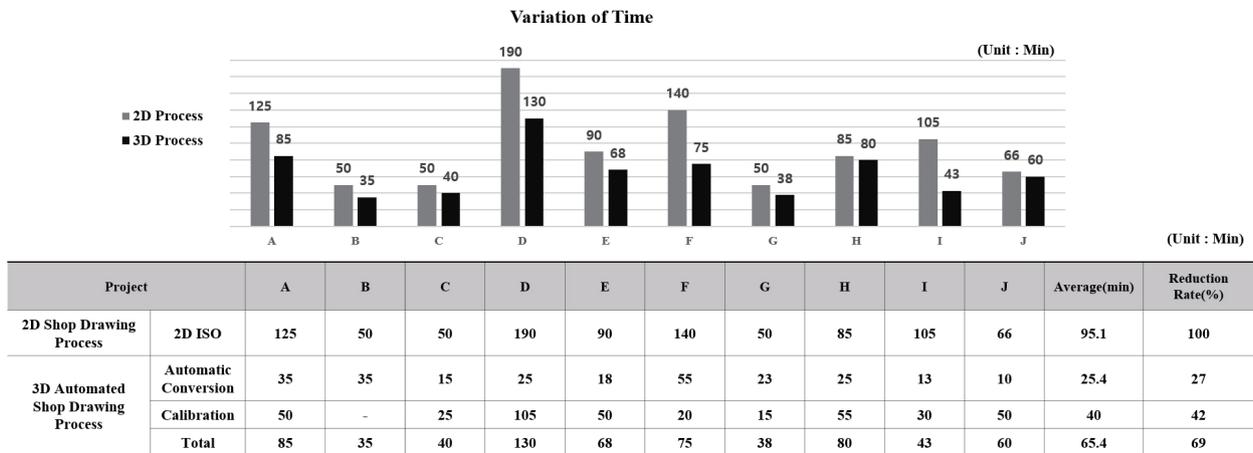


Figure 5. Variation of time(2d process / 3d automated process)

5. 결론

본 연구는 MEP부재 객체들에 대한 분류 및 코드화를 통해 BIM표준 라이브러리의 토대를 마련하였고, 이를 기반으로 MEP 공사 시공용 도면 작성 자동화 프로세스를 구축하였다. 이후 실무 프로젝트에 참여하는 작업자들을 대상으로 자동화 프로세스의 효용성에 대한 검증을 진행하였다. 본 연구를 통하여 얻은 성과는 다음과 같다.

첫째, MEP부재 객체들에 대하여 세부 특징(재질, 접합방식, 배관 내 유체특성)을 기준으로 3단계 분류 및 BIM코드화를 진행함으로써 국내 MEP분야에서의 BIM활용을 위한 표준 라이브러리의 토대를 마련하였다.

둘째, MEP분야 시공용 도면 작성 자동화 프로세스를 구축하여 실무에서의 BIM업무 프로세스의 가이드라인을 제시하였다.

셋째, 자동화 프로세스를 활용할 경우 기존 프로세스에 비하여 작업 시간 31% 단축, 작업 인력 30% 감축 등의 개선효과를 기대할 수 있다.

본 연구를 통해 MEP분야의 저조한 BIM활용도를 높이고, 시공용 도면 작성 작업의 자동화를 가능하게 할 것이다. 향후 추가 연구를 통해 국내 MEP분야의 BIM 표준 라이브러리를 구축하고, BIM업무 프로세스의 다양화가 이루어진다면 국내 MEP분야에서의 BIM활용성 및 효율성이 높아질 것으로 기대된다.

References

- Ahn, H. K. (2013). A Study on Improvement Plan of MEP BIM Business for 2D Design and Construction Step Using DSM. Hanyang University, Master's Thesis.
- Azhar, S., Nadeem, A., Mok, J. Y., Leung, B. H. (2008). Building Information Modeling(BIM):A new paradigm for visual interactive modeling and simulation for construction projects. First International Conference on Construction in Developing Countries, pp. 435-46.
- Bosché, F., Guillemet, A., Turkan, Y., Haas, C. T., Haas, R. (2014). Tracking the built status of MEP works: Assessing the value of a Scan-vs-BIM system. Journal of Computing in Civil Engineering, 28(4), 05014004.
- Cheng, J. C., Chen, W., Chen, K., Wang, Q. (2020). Data-driven predictive maintenance planning framework for MEP components based on BIM and IoT using machine learning algorithms. Automation in Construction, 112, 103087.
- Ham, N. H., Yang, J. H., Yuk, O. K. (2019). A Study on the Productivity Analysis of 3D BIM-based Fabrication Documents Extraction, Journal of KIBIM Vol, 9(3).
- Hu, Z. Z., Tian, P. L., Li, S. W., Zhang, J. P. (2018). BIM-based integrated delivery technologies for intelligent MEP management in the operation and maintenance phase. Advances in Engineering Software, 115, pp. 1-16.
- Jeon, C. B. (2011). Design and Development of BIM Based Rebar Shop Drawing System. Daejeon University, Master's Thesis.
- Kang, T. W., Kim, J. E., Jung, T. S. (2016). Study on 3D Reverse Engineering-based MEP Facility Management Improvement Method. Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, 17(8), pp. 38-45.
- Kim, E. J., Kim, J. H., Huh, Y. K. (2016). A case study on practical uses of BIM in building construction. Journal of the Architectural Institute of Korea Structure and Construction, 32(12), pp. 69-75.
- Kim, I., Lee, M., Choi, J., Kim, G. (2016). Development of an application to generate 2D drawings in automation using open BIM technologies. Korean Journal of Computational Design and Engineering, 21(4), pp. 417-425.
- Kim, Y. Y. (2019). A study on the automatic system of standardized rebar shop drawing. Yeungnam University, Master's Thesis.
- Kwon, O. C., Jo, J. W., Jo, C. W. (2013). Quality Management for Utilizing BIM in Construction Phase. Korean Journal of Computational Design and Engineering, 18(5), 338-347.
- Lee, J. S., Kwon, N., Ham, N. H., Kim, J. J., Ahn, Y. H. (2019). BIM-Based Digital Fabrication Process for a Free-Form Building Project in South Korea. Advances in Civil Engineering. 2019(1), <https://doi.org/10.1155/2019/4163625>.
- Lee, Y. J. (2017). Automatic Solution for piping Isometric. CAD&Graphics, 283, pp. 62-64.
- Lu, Q., Wong, Y. H. (2018). A BIM-based approach to automate the design and coordination process of mechanical, electrical, and plumbing systems. HKIE Transactions, 25(4), pp. 273-280.
- Manrique, J. D., Al-Hussein, M., Bouferguene, A., Nasser, R. (2015). Automated generation of shop drawings in residential construction. Automation in Construction, 55, pp. 15-24.
- Motiejunas, V. (2016). Improving the MEP coordination using

- BIM technologies—A case study based on observations and interviews. Chalmers University of Technology. Master's Thesis.
- Nath, T., Attarzadeh, M., Tiong, R. L., Chidambaram, C., Yu, Z. (2015). Productivity improvement of precast shop drawings generation through BIM-based process re-engineering. *Automation in Construction*, 54, pp. 54–68.
- Park, D. J. (2014). Research on the Economic Decision-Making of Industrial Clean-room Fast-Track Construction. Annual Conference of Architectural Institute of Korea, pp. 699–700.
- Park, H. J. (2013). A Study on the BIM Application for Shop Drawing of Steel Structures. Seoul National University of Science and Technology. Master's Thesis.
- Pärn, E. A., Edwards, D. J., Sing, M. C. (2018). Origins and probabilities of MEP and structural design clashes within a federated BIM model. *Automation in Construction*, 85, pp. 209–219.
- Seong, J. K. (2012). Design and Development of BIM Based Rebar Shop Drawing System for Column and Wall. Daejeon University. Master's Thesis.
- Shin, T. S., Yang, J. M. (2009). A proposal for the automation process of creating shop drawings in steel constructions. The Regional Association of Architectural Institute of Korea, pp. 267–274.
- Technavio. (2020). Global Cleanroom Technology Equipment Market 2020–2024. Global Research and Data, pp. 20–21.
- Yarmohammadi, S., Ashuri, B. (2015). Exploring the approaches in the implementation of BIM-based MEP coordination in the USA. *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*, 20(22), pp. 347–363.