

[Technical Paper]

TUTUM Easy-seismic: 소방시설 내진설계 자동화 소프트웨어 개발

오창수 · 최준호^{*†}

부경대학교 산업대학원 대학원생, *부경대학교 소방공학과 교수

TUTUM Easy-seismic: Development of a Seismic Design Automation Software for Building Fire Protection Systems

Chang-Soo Oh · Jun-Ho Choi^{*†}

Graduate Student, Graduate School of Industry, Pukyong National University,

^{*}Professor, Department of Fire Protection Engineering, Pukyong National University

(Received October 1, 2019; Revised October 21, 2019; Accepted October 21, 2019)

요 약

‘소방시설 내진설계 의무화’에 발맞추어 내진설계의 신뢰성과 효율성 향상을 위해서는 설계 자동화 소프트웨어 개발이 필수불가결하다. 본 연구에서 개발한 내진 설계 자동화 S/W는 소방청의 「소방시설의 내진설계 기준(이하 “국내 기준”）」에 따른 흔들림 방지 버팀대(이하 “버팀대”)의 자동 배치, 계산서 출력 및 그리고 물량 자동 산출 등의 기능을 제공한다. 또한, 자동화 S/W는 설계자의 수동설계와 비교하였을 때 약 3배 정도의 업무 속도를 단축시켜줄 뿐만 아니라 버팀대 등의 설계물량과 관련한 휴먼에러를 줄임으로써 설계안의 신뢰성을 높여준다. 뿐만 아니라 그동안 보수적으로 접근했던 소방시설의 내진설계방식에 있어 적어도 버팀대 사용에 대해서 컴퓨터 알고리즘을 이용한 최적의 내진설계를 수행할 수 있었다.

ABSTRACT

In line with the “mandatory seismic design of fire protection facilities,” development of design automation software is indispensable for improving the reliability and efficiency of seismic design. The seismic design automation software developed in this study is an automated S/W for seismic design of fire-fighting facilities, and functions such as automatic arrangement of anti-shake braces according to Korea National Fire Agency's Seismic Design Standards for fire-fighting facilities, output of seismic bracing calculation bills and automatic quantities counting. In addition, the seismic design automation software not only reduces the work speed by three times compared to the manual design of the designer, but also improves the reliability of the design by reducing the human error related to the design quantity such as the brace. In addition, in the seismic design method of fire protection facilities that have been approached conservatively, it was possible to perform the optimal seismic design by using computer algorithms for at least in the use of braces.

Keywords : TUTUM Easy-seismic, Seismic design, Earthquake resistant design, Seismic bracing calculations, Sway brace device

1. 서 론

2016년 이후 소방시설법령 개정에 따라 소방시설에 대한 내진설계가 의무화되었다. 그러나 여러 가지 변수를 복합 계산해야 하는 어려움과 수동설계로 발생할 수 있는 휴먼에러 및 오차발생을 예방하기 위해 내진설계 자동화 프로그램 개발에 대한 요구 및 필요성이 대두되고 있다. 이미

토목이나 기계설비 분야에서 보여준 상수도 내진성능평가 S/W인 ASAD-W⁽¹⁾와 가스계 소화설비 설계프로그램의 성능인증제도⁽²⁾, LH의 소화배관 수리계산 프로그램 개발⁽³⁾ 사례에서처럼, 소방시설 내진설계 자동화 소프트웨어의 개발 및 보급은 소방시설 내진설계의 신뢰성과 효율성 증대, 더 나아가 제도 개선에 도움이 될 것으로 기대하고 있다. 이에 본 연구에서는 2016년 제정된 국내 기준의 특징을

[†] Corresponding Author, E-Mail: jchoi@pknu.ac.kr. TEL: +82-51-629-7830, FAX: +82-51-629-7078

© 2019 Korean Institute of Fire Science & Engineering. All right reserved.

살펴보고, 이에 따라 개발된 내진 설계 자동화 소프트웨어⁽⁴⁾의 기능을 소개한 뒤, 자동설계와 수동설계의 비교 실험 결과 소개를 통해 소방시설 내진설계의 신뢰성 향상과 업무 효율성 증대를 위한 자동화 소프트웨어 사용의 제도적 필요성을 설명하고자 한다.

2. 소방시설 내진설계 국내외 기준 비교

2.1 소방시설 내진설계 기준의 특징

2016년 1월 25일부터 당시 국민안전처고시 제2015-138호(현 소방청고시 제2017-1호 「소방시설의 내진설계 기준」)에 의거, 건축물 내부에 설치된 소방시설의 내진안전성을 확보하기 위해 지진 발생시 화재, 폭발 등 소방시설의 손상으로 인해 발생할 수 있는 2, 3차적 재해에 대비하고, 그 피해를 최소화하기 위해 소방시설 내진설계가 의무화되었다⁽⁵⁾. 이 행정규칙은 사실상 국내에서 건축물의 비구조요소에 대한 내진설계를 의무화한 최초 기준으로, 2017년 4월 행정안전부의 「내진설계기준 공통 적용사항」 개정⁽⁶⁾과 후속적인 상수도⁽⁷⁾, 학교시설⁽⁸⁾, 가스시설⁽⁹⁾, 건축물의 내진설계 기준⁽¹⁰⁾ 등 비구조요소 내진설계를 강화하는 제도 마련에 큰 영향을 주었다.

소방청(Korea national fire agency, KNFA)의 행정규칙에서는 소방시설의 적용범위와 대상을 설정하였는데 이는 옥내소화전설비, 스프링클러설비, 물분무등소화설비이며, 설계대상은 수인(수조), 가압송수장치(펌프), 배관, 제어반, 비상전원장치 등이다.

수평 지진력의 산정은 발주자의 요구 또는 설계자의 필요에 따라서는 정밀한 동적해석방법인 응답스펙트럼해석법 및 시간이력해석법을 적용할 수도 있으나, 배관에 작용하는 수평력을 제외하고는 건축구조기준(KBC 2016 0306.10 「건축, 기계 및 전기 비구조요소」)에 제시되어 있는 등가정적 하중(F_p)으로 계산하는 방법을 주로 사용하며, 수직지진력은 「소방시설 내진설계 기준 마련에 관한 연구」 결과를 참조하여 수평방향 지진하중의 1/2로 한다($F_v = 0.5F_p$)고 해설되어 있는데, 2019년 3월 제정된 「KDS 41 70 00 건축물 내진설계기준(2019)」의 수직설계 지진력 계산방법인 $\pm 0.2S_{ds} W_p$ 과 일치하지는 않는다.

그리고 배관에 대한 내진설계는 지진에 의한 배관의 응력발생 및 건물 구조부재 및 각종 부착물들의 상대적인 움직임으로 인한 소방배관계통의 파손을 방지하는 것이 목적이다. 또한, 버팀대를 사용해서 배관과 천장 구조물이 일체화되어 거동하게 하고, 구조물의 상대적인 변형이 발생하여 배관에 영향을 줄 수 있는 위치에 지진분리이음 등을 설치하여 유연성을 확보하는 방법으로 단순화된 해석이 가능하도록 한 것이 특징이다. 이 때, 배관의 수평지진력은 설계의 편의성과 보수적인 설계를 유도하기 위하여 허용응력설계법(Allowable stress design, ASD)을 적용하여 배관의 가동중량에 0.5 g의 가속도가 작용한 것으로 산정하는

$F_{pw} = 0.5 W_p$ 로 정의하고 있으며, 배관의 진행방향(종방향)과 수직한 방향(횡방향)을 고려하도록 하고 있다.

또, 벽이나 바닥 또는 기초를 관통하는 모든 배관 주위에는 충분한 이격이 있도록 하면서도, 지진분리이음 및 지진분리장치가 설치되어 배관의 유연성이 확보된다면 이격 거리를 확보하지 않을 수 있도록 하는 등 내진설계의 목적에 맞게 과도한 설계를 지양시키기도 한다.

그리고 국내 기준에서 제시되지 않은 소방시설과 관련한 상세내용은 미국 NFPA 기준을 참조할 수 있다고 해설하고 있는데, 이는 소방청 기준이 NFPA의 그것에 기초하고 있음을 말해주기도 할 뿐만 아니라 국내 기준 또한 NFPA처럼 매뉴얼 방식 또는 ‘Cook Book 방식’⁽¹¹⁾으로 구조전문가가 아니더라도 이 기준을 토대로 쉽게 설계할 수 있도록 만든 기준이라는 것이 가장 큰 특징이다.

2.2 버팀대 설계 방법의 국내 기준

버팀대는 지진에 의한 배관의 흔들림을 방지하기 위한 지지부 장치로서 배관의 자중을 지지하는데 사용되는 행거와 구분되며, 소방배관에 작용하는 지진력을 구조물에 전달할 수 있도록 배관의 가동중량 및 수평지진력을 고려하여 충분한 강도를 가지고 있어야 할 뿐만 아니라, 건축물의 구조부재 및 그와 동등한 성능을 갖고 있는 부재에 단단히 고정되어야 한다. 소방청 고시의 소방배관 및 버팀대의 보호조치에 대해서는 NFPA13-16 9.3절을 참조하여 작성되었다⁽⁵⁾.

횡방향 및 종방향의 수평지진하중과 수직방향의 움직임을 지지하기 위해 수평배관과 입상관에는 버팀대를 설치하는데, 버팀대 지지대의 세장비는 300을 초과해서는 아니 되고, 버팀대의 간격은 중심선을 기준으로 횡방향은 최대 12 m, 종방향은 최대 24 m를 초과하지 않아야 한다는 등의 설계 기준을 제시하여 단순화된 설계, 해석이 가능하도록 하였다.

버팀대 설계는 배관계통 평면 결정, 횡방향, 종방향 및 4방향 버팀대 설치 위치 선정, 각 버팀대가 지지해야 하는 영향구역의 설정, 영향구역 내 배관의 가동중량과 수평지진력 계산, 구조부에 설치된 버팀대에 작용하는 하중 계산, 버팀대 및 정착부, 구성요소의 최대허용하중(성적서)과 세장비(좌굴) 검토의 절차로 수행한다.

그리고 버팀대 설계의 안전성은 버팀대 및 각 요소에 작용하는 하중이 구조해석이나 시험적 방법에 의해 결정된 최대허용하중 이내임을 계산서(Seismic bracing calculations)로 증명해야 한다.

2.3 버팀대 설계에 대한 NFPA13-16과 비교

국내 기준은 2007년 당시 소방방재청의 연구용역 보고서인 「소방시설 내진설계 기준 마련에 관한 연구」 결과에 기초하고 있으며, 연구결과는 미국의 NFPA 기준을 중심으로 인용했다고 해설하고 있다. 이 중 버팀대 설계에 대한 국내 기준과 NFPA13-16 9.3⁽¹²⁾을 비교하여 다르거나 완화

된 내용은 다음과 같다.

첫째, NFPA13-16 9.3.5.2 Listing 부분이다. 지지대의 세장비 100, 200, 300에 따라, 지지대 종류와 치수별, 설치 각도 구간별, 지지대의 최대길이 및 최대수평하중이 Table 9.3.5.11.8(a), (b), (c)로 제시되어 있고, 설치각도별 수평하중 또한 Table 9.3.5.2.3에 따르도록 되어 있다. 표준화된 구조용 강재를 사용하는 지지대의 경우 별도의 구조계산서를 제출하지 않더라도 이 표에 따라 세장비 100, 200, 300의 구간별 최소값을 사용할 수 있다. 그러나 국내 기준에는 이와 관련된 조항은 없으나, 소방청의 「흔들림방지버팀대의 성능인증 및 제품검사의 기술기준 제정안」에서 지지대 종류 및 치수별, 설치 각도 구간별 최대 세장비인 300에 대한 지지대 최대길이와 각도별 최대수평하중을 제시하고 있다.

국내 일부 제조사에서는 버팀대 최대하중에 대한 설치 각도 구간 중 60°~89° 구간을 60°~74°과 75°~90°로 재구분한 경우도 있다. 또한 소방 시스템 배관과 지지대로 많이 사용하고 있는 KSD 3507에는 항복강도를 규정하고 있지 않아서 위 성능인증 기술기준이 시행되어도 계속 표시사항을 붙이고 사용해야 하는 실정인데, 배관 내진설계 목적물의 국가표준(KS)에 항복강도가 명시되지 않은 것 자체가 시급하게 개선되어야 할 사안이다. 아울러 KSD 3507을 포함한 지지대의 종류별, 세장비 구간별, 설치각도 구간별 최대길이 및 최대수평하중에 대한 기준 정립이 필요하다.

둘째, NFPA13-16 9.3.5.5.2 횡방향 버팀대 설계시 배관의 재질 및 규격, 가지배관의 영향을 고려한 영향구역의 최대하중에 대한 설계 기준 부분이다. Table 9.3.5.5.2(a)~(l) 또는 9.3.5.5.3로 기준이 명시되어 있고, Annex E에 상세 계산방법이 설명되어 있다. 반면 국내 기준에는 이와 관련된 내용은 아직 없다.

이 부분은 배관 내진설계 구조계산의 중요한 부분으로 배관 재질의 항복강도와 수평 주행배관의 중간 위치한 가지배관에 의해 발생할 수 있는 모멘트를 계산하여 배관의 굽힘 능력(Flexural capacity of piping)을 고려한 설계를 요구한 것이다.

Table 1은 국내 기준과 NFPA13-16의 schedule 10, 100 mm 배관의 영향구역 내 최대수평하중 비교표로, 국내 기준에서는 정격하중 915 kg·f의 버팀대⁽¹³⁾를 설치 각도 60~89°로 사용한다면 영향구역 12 m 간격까지 수평 지진력 792 kg·f 까지 설계할 수 있다. 반면에 NFPA13-16에서는 배관의 굽힘 능력을 고려해서 영향구역 6.1 m까지 최대 741 kg·f, 7.6 m까지 593 kg·f, 9.1 m까지 486 kg·f, 10.7 m까지 416 kg·f, 12.2 m까지 349 kg·f까지로 배관의 길이에 따라 최대 수평하중을 다섯 구간으로 세분화하고 있다.

셋째, NFPA13-16 9.3.5.8.5 4방향 버팀대 생략 가능 규정이다. 입상관이 다층건축물의 중간층을 통과하고 이격거리(Clearance) 미만인 경우 4방향 버팀대를 생략할 수 있다고 한 반면, 국내 기준에는 이와 관련된 내용이 빠져있는데, 개정안에서는 보완될 전망이다.

Table 1. Comparison of Maximum Load in ZOI, Schedule 10 Steel Pipe 100 mm in Korea's NFA Standards vs. NFPA 13

| vs. | Korea NFA Standards | NFPA 13 | | |
|-------------|---------------------|----------|----------|----------|
| Max Spacing | 12.0 m | 6.1 m | 9.1 m | 12.2 m |
| Branch Line | NOT considered | 2 lines | 3 lines | 4 lines |
| Max Load | 792 kg·f | 741 kg·f | 486 kg·f | 349 kg·f |

이에 따라 현장에서는 국내 기준 제6조(배관) ③항 1조의 이격거리를 확보하는 대신, 제7조(지진분리이음) 2항에 따라 다층건물 중간층 배관 관통구의 위, 아래에 지진분리이음을 설치하여 배관의 유연성을 확보하고도 8 m 간격 이내로 입상관 4방향 버팀대를 추가로 설치하고 있다. 또 현장 특성과 시공성을 고려해서 바닥고정식 입상관용 버팀대가 다수 개발되었지만 제품 인증기관이 없어 현장마다 사용 가능여부에 대한 판단이 제각각인 실정이다.

넷째, NFPA13-16에서는 수평지진하중을 단주기응답지수(Short period response parameter, S_s)에 따른 지진계수(Seismic coefficient, C_p)표를 이용해서 수평지진력을 $F_{pw} = C_p \times W_p$ 로 구하지만, 국내 기준에서는 $F_{pw} = 0.5 W_p$ 로 일원화하고 있는데, 한국이 중앙지진지역임을 감안한 설계기준으로 판단된다.

다섯째로, NFPA13-16 9.3.5.9.6 입상 니플(Riser nipples)의 영향에 따른 가지 배관의 종방향 하중 편입 규정도 국내 기준에는 없다. 이 기준에 따르면 입상 니플이 1.2 m를 초과하는 경우, 그 배관의 길이와 가동중량, 지진계수를 모두 곱한 후 단면계수로 나눈 값이 항복 강도(Yield strength)보다 같거나 크면, 종방향 지진 하중을 개별적으로 재평가해야 하는데, 가지배관의 가동중량도 종방향 지진 하중에 포함해야 한다. 이 부분은 국내 소방배관의 경우 입상 니플이 1.2 m를 초과하는 경우가 드물기 때문에 생략한 것으로 생각된다.

마지막으로 NFPA13-16 9.3.5.12 Fastener (정착부) 부분이다. 버팀대가 구조부에 정착되는 위치(천정, 벽면, 측면) 및 각도 구간에 따라 A~I로 9구간 카테고리를 지정하여, Fastener의 종류별, 치수와 근입깊이별, 설치각도별, P_r 값별 최대수평하중이 Table 9.3.5.12.2(a)~(i)로 제시되어 있으며, 콘크리트 앵커에 대한 제품 인증 기준 및 작용하는 최대허용하중 계산방법이 상세히 제시되어 있다. 반면, 국내 기준에서는 ‘제12조 버팀대 고정장치에 작용하는 수평지진하중은 허용하중을 초과해서는 아니된다’는 원칙만 규정하고 있다.

특히, NFPA13-16 9.3.5.12.8.3에 따르면 콘크리트용 후설치 앵커의 허용최대하중(Allowable maximum load)은 프라이밍 효과, 지지대 각도, 초과강도계수($\Omega = 2.0$)를 고려하여 ACI 318 Chapter 17에 따라 계산된 ASD값의 전단력과 인발력으로 계산해야 하는데, 이 전단력과 인발력은 0.43을

Table 2. Comparison of Bracing Design Criteria in Korea's NFA Standards vs. NFPA 13

| vs. | Korea NFA Standards | NFPA 13 |
|---------------------|---------------------|--------------------|
| Slenderness Data | Only 300 | 100, 200, 300 |
| Max. load / Pipes | NONE | 5 sections / pipes |
| Skip 4way Brace | NONE | EXIST |
| Riser Nipple Effect | NONE | EXIST |
| Anchors Rule | NONE | EXIST |

곱해서 계산하도록 규정하고 있다. 여기서 0.43은 ACI 318 Chapter 17에서 산출된 Load resistance factor design (LRFD, 하중저항계수법)값을 ASD값으로 변환하기 위해서 1.4로 나누고, 또 초과강도계수 2.0으로 나눈 후, 허용응력가산 (Allowable stress increase) 1.2를 곱한 후 반올림한 값[$0.4286 = 1.2 / (2.0 \times 1.4)$]이다.

국내에서는 KDS 14 20 54 콘크리트용 앵커 설계기준⁽¹⁴⁾ 4.1(3)의 ③에서 지진하중이 포함되는 경우 앵커의 설계 강도로 $0.75 \phi N_n$ 과 $0.75 \phi V_n$ 을 연성강재요소로 설계하는 경우 사용하도록 하고 있으며, 이 값은 강도설계값이므로 0.7을 곱하여 ASD값으로 변환하여 배관의 허용응력설계 앵커 강도로 사용할 수 있다. 버팀대에 작용하는 앵커는 전단력과 인발력의 하중조합을 적용해야 하므로 강도감소계수 ϕ 는 이 기준 4.2⁽⁶⁾의 ①에 따라 인장력 0.75, 전단력 0.65를 적용하면, NFPA13-16의 설계계수 0.43보다 보수적인 값이 나오므로 국내에서도 0.43을 적용하는 상세 기준 마련이 필요하다. Table 2는 이상에서 언급한 우리나라와 미국 NFPA의 설계기준을 서로 비교한 것이다.

2.4 배관 내진설계기준과 건축물 내진설계 기준비교

국토교통부에서는 건축물 기계 비구조요소인 배관 내진설계에 대한 기준으로 2019년 3월 「건축물 내진설계 기준 (KDS 41 17 00: 2019)」을 제정하였다. 내진설계의 대상이 되는 건축물 내 배관설비는 중요도 계수(I_p)가 1.5인 소화배관과 스프링클러 시스템 등 인명안전을 위해 지진 후에도 반드시 기능하여야 하는 배관, 규정된 저장용량 이상의 독성, 맹독성, 폭발위험 물질을 저장하거나 지지하는 배관요소, 내진특등급 건축물에서 시설물의 지속적인 기능수행을 위해 필요하거나 손상 시 시설물의 지속적인 가동에 지장을 줄 수 있는 설비 배관 등이다.

소방청 고시와 NFPA13-16에서 설계지진력은 등가정적하중을 허용응력설계값으로 단순화시킨 F_{pm} 식으로 계산하는 것에 비해, 국토부 기준에서는 설계지진력 및 상대변위를 만족할 수 있도록 ‘허용응력을 기초로 설계’하는 기준만 제시하고 있어 구조전문가의 설계 검토가 필수적이다. 설계지진력은 등가정적하중을 이용하는 경우 수평설계지진력(F_p)과 수직설계지진력을 함께 계산할 것으로 요구하고,

동적해석법을 이용한 계산 방법도 제시하고 있다.

소방청 고시에서는 상대변위를 계산하는 계산식은 제시되지 않았지만, ‘상대변위에 의한 배관의 응력을 최소화시키기 위하여 신축배관을 사용하거나 적당한 이격거리를 유지하여야 한다’는 내용과 함께 지진분리이음과 지진분리장치의 설치 기준을 제시하고 있는 매뉴얼 방식이다. 반면 국토부 기준은 비구조요소가 수용해야 할 상대변위를 계산하는 계산식은 제시하지만, 상세 방법이 없기에 구조기술자의 설계 검토가 필수적이다.

비구조요소인 배관, 지지부, 정착부에 대한 내진설계 방법을 소방청 기준, NFPA13-16, 그리고 국토부 기준과 함께 비교하면 다음과 같다.

첫째, 소방청 고시에서는 배관의 재질을 고려한 세부조항이 없지만 NFPA13-16에서는 스프링클러 배관으로 사용되는 강관, 동관, CPVC 등 배관의 재질 특성을 고려한 최대허용하중을 제시하는 상세 설계 기준을 제시하고 있다. 그러나 국토부 기준에서는 18.4.6 파이프 및 배관 시스템 설계 기준으로 ‘설계지진력 및 상대변위를 만족할 수 있도록’ 선정된 재료의 연성을 고려해서 설계하고, ‘상대변위를 수용하기 위한 상세가 사용되지 않은 경우 유연한 연결부가 사용되어야 한다’는 등 원칙적 기준만 제시하고 있어 일반 기계설비 설계자가 이 기준에 따라 내진 설계하기는 쉽지 않다고 판단된다.

둘째, 소방청 고시와 NFPA13-16이 배관 지지부로서 버팀대 설계 기준을 설치 거리 규정을 포함하여 상세 설계 기준을 제시하고 있는 반면, 국토부 기준은 18.4.2.3 지지부 설계 기준에서 ‘지지부는 실험을 통해 결정된 정격하중 혹은 기준에 의한 지진하중 중 하나를 사용하여 설계할 수 있다’는 원칙적 방법을 제시하고 있다.

셋째, 소방청 고시에서 정착부에 대한 설계 기준은 원론적 기준만 제시하였으나, NFPA13-16은 정착부의 종류별, 치수와 근입 깊이별, 설치 각도별, P_r 값별 최대수평하중계산 등 설계 방법이 상세하게 제시되어 있다. 그리고 국토부 기준도 ‘KSD 14 20 54 콘크리트용 앵커 설계기준’과 공인된 설계 기준에 따라야 한다는 원칙을 제시하고 있다.

이상으로 국내 기준과 NFPA13-16이 매뉴얼방식으로 일반 설계자도 쉽게 설계할 수 있는 기준을 제시한 반면, 국토부 기준은 건축구조기술사 같은 전문 엔지니어만 설계할 수 있도록 원칙적 기준만 제시한 것이 특징이라고 하겠다.

3. 소방시설 내진설계 자동화 소프트웨어의 개발 및 기능

한편, 본 연구에서 개발한 소방시설 내진설계 자동화 소프트웨어의 구동장면과 S/W상의 세부메뉴는 Figure 1, 2¹⁾와 같다.

이 소프트웨어²⁾는 소방시설 설계에서 널리 이용되는 2D CAD 기반 플러그인 S/W로 국내 기준을 근간으로 하며,

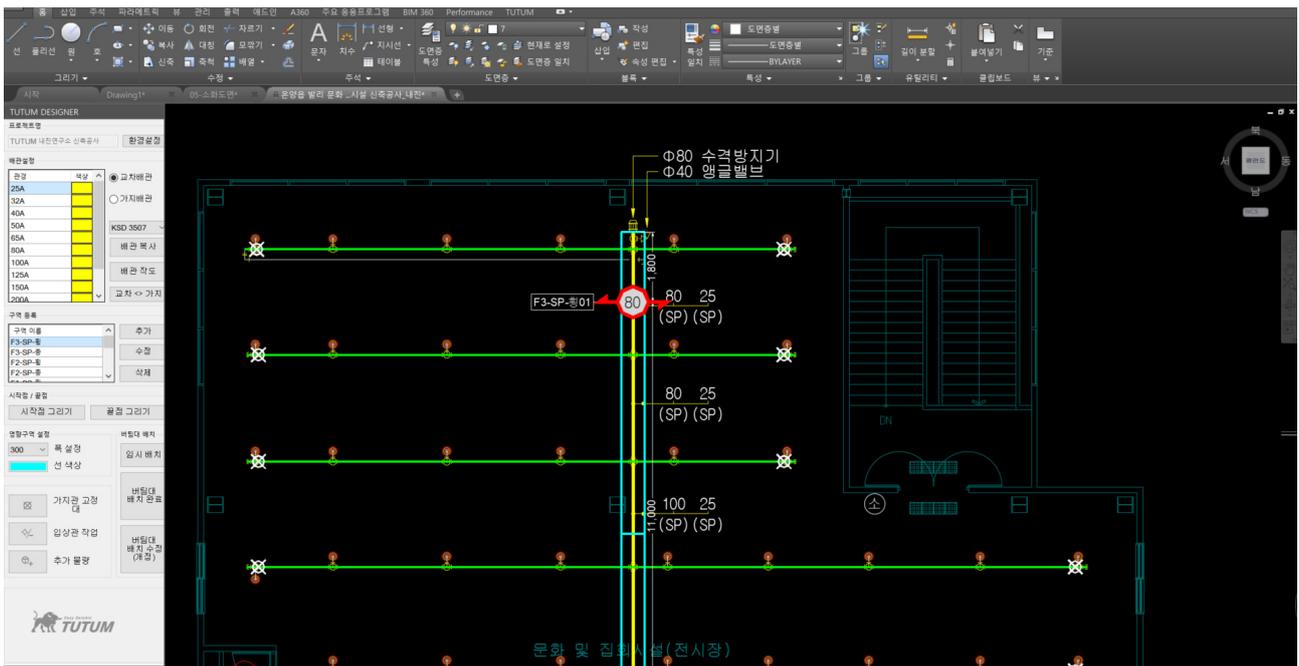


Figure 1. Screenshot of TUTUM.



Figure 2. TUTUM's user interface and menu tab.

NFPA13-16을 참조하여 배관의 가동중량 및 수평지진력 계산, 버팀대 자동 배치, 가지관 고정대 자동 배치, 치수선 및 네임태그 자동기입, 물량 자동 산출, 도면 수정 툴, 계산서 자동계산 및 출력 기능을 제공한다.

이 소프트웨어는 2016년 시행된 국내 기준을 근간으로 하였기에 이 기준의 개정에 맞게 수시로 업데이트되어야 하고, 국내 기준에는 없지만 NFPA13에 있는 규정들을 보완하여 NFPA13까지 완벽히 만족하는 소프트웨어로 될 전망이다. 그리고 국내 기준과 국토부 기준, NFPA13, ASME B31 시리즈 등 다양한 기준, 표준을 만족하는 것은 물론, 버팀대(지지부) 설계뿐만 아니라 정착부(콘크리트 앵커) 설계, 이격과 지진분리음 설계, 수조와 가압송수장치용 내진스토퍼 설계 등의 기능도 갖추어 스마트 건설의 핵심기술 중 하나인 Building information modeling (BIM)¹⁵⁾용 소프트웨어와 라이브러리(Library)로 업그레이드되어, 4차 산업혁명시대에 맞게 소방시설 내진설계의 첨단화를 이끌어 갈 전망이다. 소프트웨어의 세부 기능은 다음과 같다.

3.1 버팀대 자동 배치 기능

소프트웨어에는 배관의 규격종류별 항복강도, 외경, 두께, 단중 및 단위 길이당 충수무게, 그리고 버팀대 모델별 구성품의 모델정보, 각도별 정격하중과 지지대 종류 및 각도별 최대수평하중, 버팀대 모델별 P_p 값을 고려한 앵커볼트의 각도 카테고리별 최대하중 등의 기초정보가 저장되어 있으며, 정보를 추가할 수 있다.

그리고 Figure 3의 알고리즘을 바탕으로 버팀대 자동 배치가 된다. 배관 용도, 버팀대 종류를 선택할 수 있고, 수평배관 라인의 규격, 구경, 직선 길이, 시작점과 끝점을 작도하면 배관에 작용하는 수평지진력이 국내 기준 $F_{pw} = 0.5 W_p$ 에 따라 자동으로 계산된다. 버팀대 정보, 지지대 정보, 고정부 정보 및 설치 각도를 선택하면, 횡방향과 종방향 각각에 최대 설치 가능 간격 규정과 최대허용하중을 초과하지 않는 영향구역존(ZOI)이 생성되고, 그 중앙에 버팀대가 자동 배치된다. 입상관 버팀대는 이미지를 불러와 배관 길이를 수동으로 입력하는 반자동 방식으로 가동중량을 계산한다. 또한 가지배관 말단 헤드 고정 지지대도 지정된 거리에 일정하게 자동 배치된다.

1) Figure 1, 2는 실제 S/W 구동장면과 메뉴를 캡처한 것이라 영문으로 표현할 수 없음.
 2) <https://www.youtube.com/watch?v=TT3t6mZORv0>

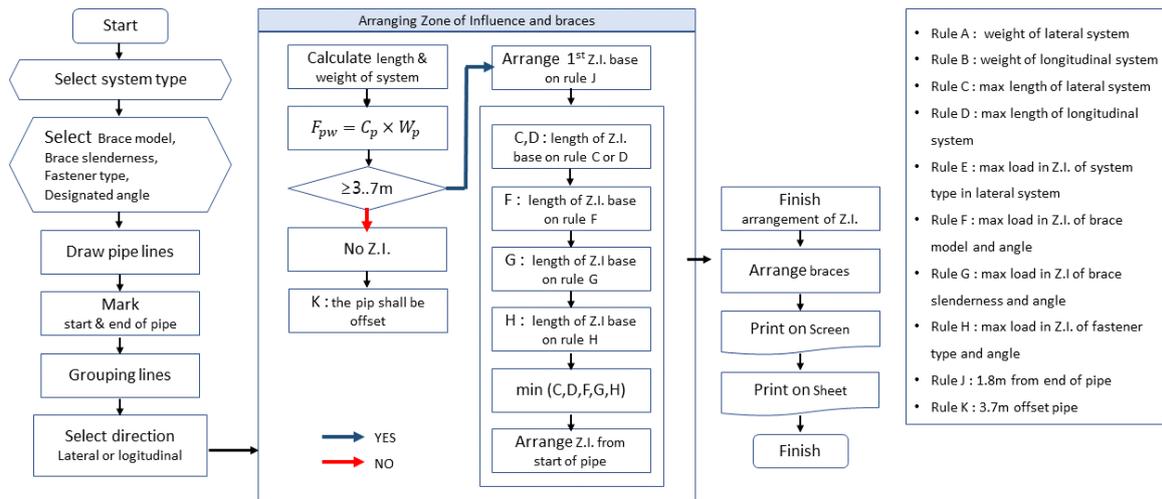


Figure 3. Algorithm of TUTUM easy-seismic.

기준이 변경 또는 추가될 수 있고, NFPA13 및 국토부 기준 등 다양한 코드를 추가 적용하기 위해서 세부 알고리즘을 'Rule A, B, C'식으로 모듈로 구성하였다.

3.2 계산서 출력 및 물량자동 산출 기능

소프트웨어의 또 다른 핵심기능은 CAD에서 버팀대별 계산서를 바로 출력할 수 있는 기능이다. 수동 설계시에는 CAD 작도를 하면서 별도의 프로그램 또는 스프레드시트를 이용해서 계산서를 다시 작성해야 하는 복잡한 과정을 반복해야 했기에, 설계에서 오류가 발생할 우려가 있고 설계 시간도 상당히 오래 걸린다는 단점이 있었다. 그리고 자동화 소프트웨어는 물량 자동 산출 기능도 제공하고 있어 프로그램 메뉴에서 수량표를 클릭해서 도면에 붙이기만 하면 된다. 그 외에 치수입력, 치수선 정렬, 범례기호, 상세도 기능 등도 제공한다.

4. 자동설계와 수동설계의 비교

4.1 대상 프로젝트

본 연구에서는 소방시설 내진설계의 효율성과 신뢰성을 입증하기 위해 자체개발한 자동화 소프트웨어를 이용한 자동설계와 수동설계의 설계 속도와 버팀대 설계과정과 결과를 비교하였다.

본 연구를 위해 지하 1층, 지상 3층 연면적 2,302 m²의 소규모 근린생활시설 1개소를 대상으로 선정하였다. 그리고 스프링클러 배관을 내진 설계하는 과정을 ‘자동설계’ 방식과 ‘수동설계’ 방식으로 서로 대조하였다. 이 때, 상호대조하는 설계의 범위는 주요 과정인 흔들림방지버팀대 설계, 지진분리이음 설계, 버팀대 계산서 작성, 버팀대와 지진분리이음 수량 산출까지로 설정하였다.

피실험자로 총 4명의 설계자들을 섭외하였는데, ‘갑(A)’, ‘을(B)’, ‘병(C)’ 3명은 소방기계설비 및 소방시설 내진설계

경력 1년 미만으로 S/W를 활용한 자동설계와 수동설계 시 그 차이를 잘 비교할 수 있을 것으로 기대되었다. 이 중 ‘병(C)’은 수동설계 경험은 적었고 소프트웨어를 이용한 자동설계 경력을 약 8개월 정도 가지고 있었고, ‘정(D)’은 기계설비 설계 경력 10년 이상이고 소방시설 내진설계 경력도 3년이 넘는 설계 경력자로 일종의 ‘대조군’ 역할을 위해 수동설계에만 참여하였다. 모두 개인 컴퓨터를 이용해서 각자 편한 시간대에 시간의 경과와 함께 내진설계과정을 기록하는 방식으로 진행했다.

4.2 설계 결과의 비교: 자동설계 vs. 수동설계

4.2.1 설계 소요시간

본 연구에서는 Table 3과 같이 4명의 수동설계 평균소요시간은 243분 11시 이후이고, 자동설계 평균소요시간 86분 11시 이후로 약 3배의 차이가 나는 것을 확인하였다. 자동설계는 별도의 배관 작도가 필요하다는 점을 감안하고 수동설계는 계산서 작업시간이 많이 걸린다는 점을 감안하면, 아파트와 같이 설계 대상 건축물이 커질수록 자동설계와 수동설계의 속도 차는 더 크게 날 것으로 판단된다.

또 ‘병(C)’을 제외한 3인의 수동설계 시간은 153분, 185분, 197분으로 일정량의 설계 경험이 쌓여 손에 익을수록 수동설계의 속도 차는 점차 줄어드는 패턴을 보일 것으로 판단되는 바, 설계 시 소요시간을 줄이기 위해서는 설계의 자동화율을 높이는 것이 필수적이라고 할 수 있다.

4.2.2 버팀대 설계 개수

이어서, 각 설계자들의 버팀대 설계수량을 측정하였다. 이 때, 4방향 버팀대는 2개로 계산하였다. 먼저, ‘정(D)’의 수동설계 시 산출된 버팀대 수는 55개로 가장 많았고, 3인의 자동설계에서는 평균 42개로 나타났다. 특히 3인의 자동설계 버팀대 개수는 입상관과 펌프실을 제외하고 평면

Table 3. Comparison of Results by Design Method: Design by TUTUM vs. Manually (Figure 4 - Figure 10)

| Designer's Name | | (A) | | (B) | | (C) | | (D) |
|-------------------|--------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Design Method | | by TUTUM | Manually | by TUTUM | Manually | by TUTUM | Manually | Manually |
| The Time Required | | 98 min | 197 min | 65 min | 185 min | 95 min | 440 min | 153 min |
| Riser | 4way | 8 | 8 | 5 | 5 | 5 | 4 | 6 |
| PT | Lateral | 5 | 5 | 6 | 8 | 4 | 4 | 11 |
| | Longitudinal | 5 | 5 | 6 | 8 | 4 | 4 | 11 |
| B1 | Lateral | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 4 |
| | Longitudinal | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 |
| 1F | Lateral | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| | Longitudinal | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 2F | Lateral | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| | Longitudinal | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 |
| 3F | Lateral | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| | Longitudinal | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 |
| Total | Lateral | 17 | 17 | 18 | 20 | 16 | 16 | 24 |
| | Longitudinal | 13 | 13 | 14 | 16 | 12 | 9 | 19 |
| | 4way | 8 | 8 | 5 | 5 | 5 | 4 | 6 |
| | Total | 46 | 46 | 42 | 46 | 38 | 33 | 55 |

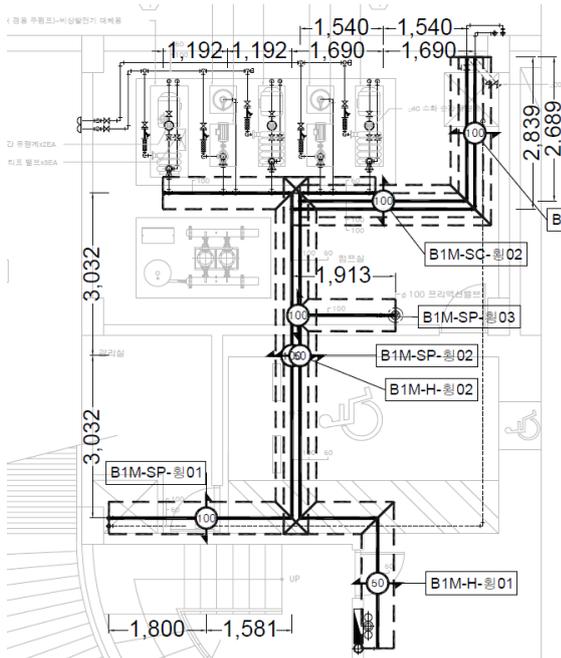


Figure 4. Designer A's drawing sheet using TUTUM.

횡방향과 종방향 수량에서는 동일했는데, 이는 프로그램을 이용한 특징이라고 하겠다. 반면 수동설계를 했던 '정(D)'은 지하 펌프실 설계에서 자동설계보다 약 2배 이상 많은 버팀대를 사용하는 것으로 설계했다. 이는 일반적 수동설계가 자동설계보다 더 보수적으로 접근하고 있음을 보여주는데 예라 할 수 있다.

국내 기준과 NFPA13-16 기준이 내진설계에서 상당히 보

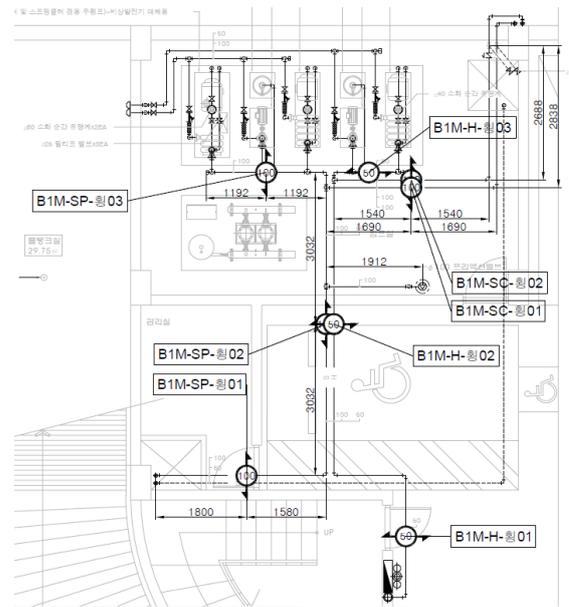


Figure 5. Designer A's drawing sheet manually designed.

수적 방법을 기준으로 채택했다는 점을 감안한다면 버팀대를 기준보다 많이 설계하는 것은 과다 설계가 될 수도 있기에, 최적설계를 위해서는 소방청 고시를 모두 만족하는 설계 자동화 소프트웨어를 이용할 필요가 있다.

4.2.3 버팀대 설계 위치

본 연구에서 섭외한 설계 대상지는 지하 1층부터 지상 3층까지 비교적 단조로운 형태의 배관을 사용하므로 설계자

후 기

이 논문은 부경대학교 자율창의학술연구비(2019년)에 의하여 연구되었음. 또한 본 연구는 저자들의 2018년도 한국화재소방학회 추계학술발표대회 발표원고⁽¹⁶⁾를 수정, 보완하여 작성되었음.

References

1. J. T. Hwang, J. G. Lee, K. J. Jung and H. G. Kwon, "Development of Water Seismic Performance Evaluation S/W (ASAD-W)", KISTEC, Infrastructure Safety, Vol. 48, pp. 123-135, Korea Infrastructure Safety Corporation (2016).
2. National Fire Agency, "Technical Standard for Performance certification and product Inspection of Gas System Fire Extinguishing System Design Program", No. of National Fire Agency Notice 2017-1, Enforce a Law (2017).
3. MBN, "LH develops First Domestic Digest Pipe Repair Calculation Program", <http://www.mk.co.kr> (2019).
4. <http://kor.ysmetals.com/>, Korea Yangsoo Metals Co., Ltd Website (2019).
5. Ministry of Public Safety and Security, "Seismic Design Criteria for Fire Protection System in 2016" (2016).
6. Ministry of Public Safety and Security, "Common Application of Seismic Design Criteria" (2017).
7. KDS 57 17 00 : 2017, "Waterworks Seismic Design" (2017).
8. Ministry of Education, "Seismic Design Criteria for School Facilities", Enforce a Law (2018).
9. KGS GC203 2018, "Code for Seismic Design of Gas Facilities and Aboveground Pipes" (2018).
10. KDS 41 17 00 : 2019, "Buildong Seismic Design Standards" (2019).
11. J. O. Lee, H. K. Kim and S. B. Cho, "A Study on Performance-based Seismic Design Method of Fire Extinguishing Pipe System", Fire Science and Engineering, Vol. 31, No. 4, pp. 86-94 (2017).
12. NFPA 13, "Standard for the Installation of Sprinkler Systems, Ch.9" (2016).
13. KFI, "KFI Recognition Standard for Sway Brace Device" (2016).
14. KDS 14 20 54 : 2016, "Design Criteria for Concrete Anchors" (2016).
15. Ministry of Land, Infrastructure and Transport, "Smart Construction Technology Roadmap" (2018).
16. C. S. Oh and J. -H. Choi, "Development of Seismic Design Automation Software for Fire Protection System", Annual Conference of Korea Institute of Fire Safety Science, pp. 93-94 (2018).

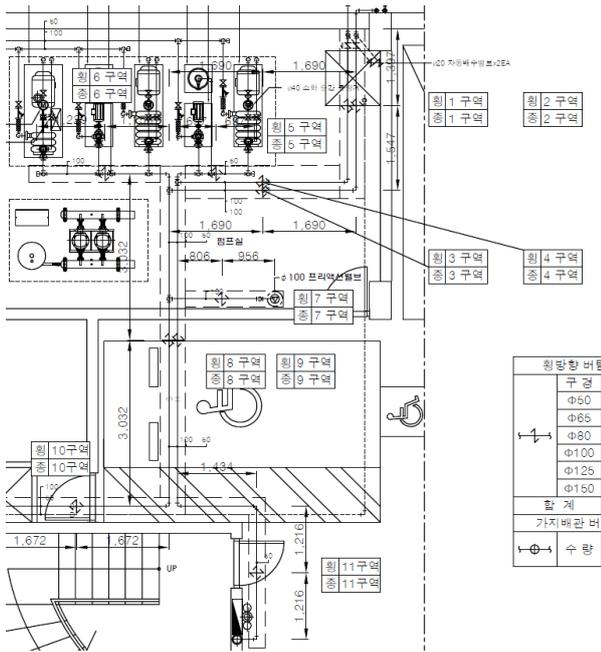


Figure 10. Designer D's drawing sheet manually designed.

5. 결 론

2016년 1월부터 소방시설법의 개정에 따라 소방시설의 내진설계 기준이 의무화되었음에도 불구하고 내진설계에 대한 학습이나 배경지식의 부족 등으로 현재까지 일부 제조사 또는 유통업체가 설계를 대신해주는 관행이 있는 것도 사실이다. 이에 제도적 문제점과 함께 소방시설 설계의 전문성에 대한 신뢰성에 대한 우려의 목소리가 큰 시점이다. 또한 건축물의 안전성에 대한 요구는 높아지는 반면, 노동가능 인구는 줄어드는 현실과 설계업무의 영세성과 비효율성을 감안하면 설계의 자동화는 거스를 수 없는 시대적 요구이기도 하다.

본 연구에서 개발한 소방시설 내진설계 소프트웨어는 소방청 고시를 토대로 NFPA13-16 또한 참조하여 버팀대 자동 배치, 가지관 고정대 자동 배치, 치수선 및 네임태그 자동기입, 물량 자동 산출, 도면 수정 툴, 계산서 출력 기능을 제공한다. 소프트웨어의 사용여부에 따른 설계자의 설계소요시간과 버팀대 물량산출결과를 비교한 결과 자동화 소프트웨어를 사용하면 기존 수동설계 방식에 비해 3배 이상 설계시간을 단축할 수 있고, 버팀대 물량 또한 사양기준을 충분히 만족시키는 최적설계를 할 수 있었다.

소방시설 내진설계 자동화 소프트웨어의 개발과 보급은 현실화된 BIM설계와 추후 연계할 수 있을 뿐만 아니라 소방시설 내진설계의 신뢰성과 편의성을 높여줄 수 있다. 이에 따라 복잡한 수학적, 공학적 계산이 수반되는 내진설계를 위해 제도권에서 학계에서 검증된 S/W를 이용하는 방법을 제도적으로 뒷받침할 방안을 강구할 필요가 있다.