



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

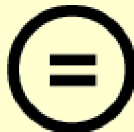
다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공 학 석 사 학 위 논 문

소방시설 내진설계 자동화 소프트웨어 개발



2020년 2월

부 경 대 학 교 산 업 대 학 원

소 방 공 학 과

오 창 수

공 학 석 사 학 위 논 문

소방시설 내진설계 자동화 소프트웨어 개발



지도교수 최 준 호

이 논문을 공학석사 학위논문으로 제출함.

2020년 2월

부 경 대 학 교 산 업 대 학 원

소 방 공 학 과

오 창 수

오창수의 공학석사 학위논문을 인준함.

2020년 2월



위 원 장 공학박사 최재욱 (인)

위 원 공학박사 이치영 (인)

위 원 공학박사 최준호 (인)

목 차

제 1 장. 서 론	1
1.1 연구의 배경 및 목적	1
1.2 연구 범위 및 방법	6
1.3 용어 및 기호의 정리	8
제 2 장. 소방시설 내진설계 국내외 기준 비교	13
2.1 소방시설 내진설계 기준의 특징	13
2.1.1 내진등급 및 성능 목표	14
2.1.2 설계 지진력 산정 방법	15
2.1.3 유연성 확보와 버팀대 설계	20
2.1.4 코드 방식 기준	20
2.2 버팀대 설계 방법의 국내 소방기준	22
2.3 버팀대 설계에 대한 NFPA13-16과 비교	24
2.4 배관에 대한 건축물 내진설계 기준과 비교	29
제 3 장. 소방시설 내진설계 자동화 소프트웨어의 개발 및 기능	31
3.1 소프트웨어 개요	31
3.2 버팀대 자동 배치 기능	33
3.2.1 기초 정보 DB	33
3.2.2 버팀대 자동 배치 규칙	48

3.2.3 버팀대 자동 배치 알고리즘	49
3.3 계산서 출력 및 물량자동 산출 기능	56
3.4 그 외 기능	58
제 4 장. 자동설계와 수동설계의 비교	59
4.1 대상 프로젝트	59
4.2 설계 결과의 비교	60
4.2.1 설계 소요시간	60
4.2.2 버팀대 설계 개수	74
4.2.3 버팀대 설계 위치	76
4.2.4 설계 자동화 프로그램 사용 결과 간 비교	77
제 5 장. 결 론	78
참 고 문 헌	80
Abstract	84

표 목 차

표 1-1. 지진화재 확산 위험	2
표 2-1. 건축물·구조요소·비구조요소의 성능수준 사이의 관계	14
표 2-2. 비구조요소 성능수준의 정의 및 일반적 피해 수준	15
표 2-3. 지진구역 및 지진구역계수	17
표 2-4. 위험도계수(I)	17
표 2-5. 지반분류체계	18
표 2-6. 단주기 지반증폭계수, F_a	18
표 2-7. 100mm 스케줄 10 배관에 대한 영향구역의 최대하중 비교 ..	25
표 2-8. 국내 소방기준과 NFPA13의 버팀대 설계 기준 비교	27
표 3-1. 시스템 배관의 규격별 계산 항복강도	35
표 3-2. 배관 규격별 충수된 배관중량(kg/m)	38
표 3-3. 설치 각도별 허용 수평하중	39
표 3-4. KS D 3507 지지대의 세장비별 최대수평하중	41
표 3-5. 국내 소방기준을 적용한 버팀대 설계 Rules	48
표 4-1. 실험 결과 비교	75

그 립 목 차

그림 1-1. 자동화 프로그램 의견 조사 기록	4
그림 2-1. 설계응답가속도스펙트럼	16
그림 2-2. 종방향(좌)과 횡방향(우) 흔들림방지버팀대	23
그림 3-1. 소프트웨어 스크린샷	32
그림 3-2. 소프트웨어 메뉴바	32
그림 3-3. 지지대 길이와 배관과 천정의 높이	42
그림 3-4 설치 위치각도 카테고리 정의	43
그림 3-5. 설치각도 A,B,C의 최대 수평지진력	46
그림 3-6. 설치각도 D,E,F의 최대 수평지진력	46
그림 3-7. 설치각도 G,H,I의 최대 수평지진력	47
그림 3-8. 단부부터 첫 번째 버팀대 배치	50
그림 3-9. 두 번째 버팀대 배치	50
그림 3-10. 집중하중인 구간의 버팀대 배치 예시	51
그림 3-11. 직선배관의 마지막 버팀대 배치 예시	51
그림 3-12. 버팀대 자동 배치 알고리즘	52
그림 3-13. 단부 양쪽에 횡방향 버팀대 설치	53
그림 3-14. 횡방향 버팀대 균등 추가 설치	53
그림 3-15. 횡-종 동시역할 버팀대 변환	54
그림 3-16. 종방향 버팀대 추가 설치	54
그림 3-17. 짧은 배관 여러 번인 경우 횡방향 버팀대 배치	55
그림 3-18. 짧은 배관 여러 번인 경우 종방향 버팀대 배치	55
그림 3-19. 소프트웨어의 자동출력 수량표 예시	56

그림 3-20. 소프트웨어의 흔들림방지버팀대 내진계산서 예시	57
그림 3-21. 소프트웨어의 범례 예시	58
그림 3-22. 소프트웨어의 횡방향 버팀대 상세도 예시	58
그림 4-1. 설계자 A의 펌프실 횡방향 버팀대 설계도	61
그림 4-2. 설계자 A의 펌프실 종방향 버팀대 설계도	61
그림 4-3. 설계자 A의 지하1층 횡방향 버팀대 설계도	62
그림 4-4. 설계자 A의 지상1층 횡방향 버팀대 설계도	62
그림 4-5. 설계자 A의 지상2층 횡방향 버팀대 설계도	63
그림 4-6. 설계자 A의 지상3층 횡방향 버팀대 설계도	63
그림 4-7. 설계자 A의 지하1층 종방향 버팀대 설계도	64
그림 4-8. 설계자 A의 지상1층 종방향 버팀대 설계도	64
그림 4-9. 설계자 A의 지상2층 종방향 버팀대 설계도	65
그림 4-10. 설계자 A의 지상3층 종방향 버팀대 설계도	65
그림 4-11. 설계자 A의 입상관 4방향버팀대 설계도	66
그림 4-12. 설계자 A의 펌프실 S/W설계	67
그림 4-13. 설계자 A의 펌프실 수동설계	68
그림 4-14. 설계자 B의 펌프실 S/W설계	69
그림 4-15. 설계자 B의 펌프실 수동설계	70
그림 4-16. 설계자 C의 펌프실 S/W설계	71
그림 4-17. 설계자 C의 펌프실 수동설계	72
그림 4-18. 설계자 D의 펌프실 수동설계	73

제 1 장. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

지진은 자연의 힘이 인간의 생명을 빼앗거나 거대한 규모로 인간 노동력의 산물을 파괴하는 자연재해의 일종이다.¹⁾

2016년 9월 12일, 국내 지진 관측사상 최대 규모인 5.8의 경주 지진과 2017년 11월까지 이어진 총 640회에 달하는 여진은 한반도도 지진으로부터 자유로운 안전지대가 아니라는 인식의 변화를 일으켰다.

지질구조상 지각이 약한 단층구조가 많은 편인 우리나라는 최근 들어 지진의 발생 빈도가 급증하고 있는데 중국과 일본에서 발생한 지진의 영향을 받으며, 통계적으로 중국(북동부 탄루단층지역)과 일본(서남부지역)에서 규모 7.0이상의 지진이 발생하면, 지진 후 약 2년 뒤 한반도에 규모 5.0정도의 지진이 발생할 가능성이 있는 것으로 분석한 사례도 있다.²⁾

일반적으로 지진피해 하면 붕괴를 가장 먼저 떠올리고, 2011년 동일본 대지진 영상을 접하면서 쓰나미 또는 후쿠시마 원전사고를 떠올리겠지만, 1906년 미국 샌프란시스코 지진의 경우 전체 피해의 90% 이상이 지진화재에 의한 것으로 추정하고 있으며, 1995년 일본 고베 대지진 때에도 지진화재로 150,000채 이상의 건물이 소실되고 300,000명의 이재민이 발생했고, 2011년 동일본 대지진 화재조사보고서(일본화재학회)에도

1) 김용섭, “우리나라 지진재해 대책법제의 현황과 개선과제”, (사)한국행정법학회.한국법제연구원사법정책연구원 2016년 공동학술대회, p. 1 (2016).

2) 국민안전처, “9.12지진백서”, 재난관리실, p. 20 (2017).

287건의 화재사고가 접수되었고, 특히 해안가 지역에 위치한 석유, 가스 사업장의 화재 및 폭발 사례가 많이 확인되었다³⁾

해외 지진화재의 사례 특징으로 볼 때, 우리나라의 지진화재 위험 지역을 표 1-1 처럼 크게 세 가지 유형으로 추려 볼 수 있다. 특히, 부산을 포함한 부.울.경 동남권은 밀집 시가지, 고층건물은 물론 석유화학단지 와 원자력 발전소 같은 화재와 폭발 위험이 높은 시설이 밀집되어 있으므로 지진화재 위험의 대책이 필수적인 지역이다.

표 1-1. 지진화재 확산 위험

밀집 시가지 지진화재	고층 건물(아파트) 지진화재	석유, 가스 사업장 지진화재
		
조기 진화 실패 시 화재 확산 위험	조기 진화 실패 시 화재 확산 위험	지진 및 쓰나미에 의한 화재.폭발 위험

1) 출처 : 이영규, 지진화재 리스크 및 경감 대책 방향, 한국화재보험협회 웹진 제64호, 2016

우리나라의 지진재해 대책법제로는 「재난 및 안전관리 기본법」, 「자연재해대책법」, 「지진·지진해일 관측·예보에 관한 법률」, 「지진·화산 재해대책법」 등이 있는데, 지진재해 대책과 관련하여서는 「지진·화산 재해대책법」이 1차적으로 적용되고, 이 법 제4조에 따라 보충적으로 「자연재해대책법」을 적용하게 된다.⁴⁾

3) 이영규, “지진화재 리스크 및 경감 대책 방향”, 한국화재보험협회 웹진 제64호 (2016).

「지진·화산 재해대책법」의 제정 배경은, 2004년 12월 26일 인도네시아에서 발생한 규모 9이상 지진으로 인한 지진해일로 23만 여명의 사망자가 발생하고, 2005년 3월 20일 일본 후쿠오카의 규모 7.0 지진으로 부산, 울산 등에서 지진이 감지되어 대책이 요구됨에 따라, 2005년 3월 22일 국무총리가 범정부 지진방재 종합개선대책 마련을 지시해 5월 30일 소방방재청, 지자체, 민간전문가로 구성된 지진방재종합개선기획단을 발족해 12월 31일까지 8개 분야 25개 개선과제를 도출하였고, 2008년 3월 8장 29조로 구성된 「지진재해대책법」이 제정되었고, 이후 2015년 「지진·화산재해대책법」으로 화산을 포함하여 현재의 법으로 되었다.⁵⁾

이 법 제14조제1항 각 호의 시설에 대해 「화재예방, 소방시설 설치·유지 및 안전관리에 관한 법률」 제9조의2(소방시설의 내진설계기준)에 의거 ‘대통령령으로 정하는 특정소방대상물에 대통령령으로 정하는 소방시설을 설치하려는 자는 지진이 발생할 경우 소방시설이 정상적으로 작동될 수 있도록 소방청장이 정하는 내진설계기준에 맞게 소방시설을 설치하여야 한다’는 사항을 규정할 목적으로 2015년 11월 30일에 국민안전처 고시 제2015-138호로 「소방시설의 내진설계 기준(이하, “국내 소방기준”)」이 제정되었다.⁶⁾

국내 소방기준의 제정 목적은 건축물 내부에 설치된 소방시설의 내진 안전성을 확보하도록 함으로써 지진 시 화재, 폭발 등 소방시설의 손상으로 인한 2, 3차적 재해에 대비하고, 그 피해를 최소화하기 위함이다. 이 기준의 적용대상이 되는 ‘특정소방대상물’이란 「건축법」 제2조제1항

4) 김용섭, “우리나라 지진재해 대책법제의 현황과 개선과제”, (사)한국행정법학회·한국법제연구원·사법정책연구원 2016년 공동학술대회, pp. 17-19 (2016).

5) 김근영, “우리나라의 지진방재 정책과 대응방향”, 안전충남 Issue Brief Vol. 2, pp. 7-8 (2016).

6) 국민안전처, “2016년도 소방시설 내진설계 기준 해설”, p. 5 (2016).

제2호에 따른 건축물로서 「지진·화산재해대책법 시행령」 제10조제1항에 해당하는 시설을 말하며, 이는 「건축법 시행령」 제32조에 따른 구조안전 확인대상을 말하고, ‘대통령령으로 정하는 소방시설’이란 소방시설 중 옥내소화전설비, 스프링클러설비, 물분무등소화설비를 말하며, 각 설비의 성능시험배관, 지중매설배관 등은 제외한다고 규정하고 있다.

본 연구에 앞서 2017년 11월부터 2018년 2월까지 울산과 부산지역 소방시설 설계업체 20곳을 37회 방문하여, 내진설계 자동화 소프트웨어의 필요성에 대해서 의견을 청취한 결과 ‘필요하다’는 의견이 86%였다. 그림 1-1 은 방문 일지를 화면 캡처한 것이다.

☆ 소방안전영업기록

구분

채권

지시

2017/01/20 ~ 2018/03/21

번호

작성일

거래처명

제목

작성자

진행상태

첨부

조회

14552018/02/13한진엔지니어링한진엔지니어링 견인종대리(소방설계 5년차) 자문단 요청 [1]문종현설계사R

24532018/02/12(주)사파이어(주)사파이어 (방문예정) [1]정민호설계사[2]R

34522018/02/09탐이엔지(주)탐이엔지문종현설계사R

44512018/02/08(주)한솔ENG한솔ENG문종현설계사R

54482018/02/07도무스설비연구소도무스설비연구소문종현설계사R

64452018/02/06현대방재엔지니어링(주)현대방재엔지니어링문종현설계사R

74442018/02/06(주)나르샤나르샤 (주)에스케이엔지니어링 [1]문종현설계사R

84432018/02/05한국IN엔지니어링한국IN엔지니어링문종현설계사R

94422018/02/05에코엔지니어링에코엔지니어링문종현설계사R

104412018/02/05하나엔지니어링하나엔지니어링정민호설계사R

114392018/02/02한진엔지니어링한진엔지니어링 명절선물 전달 및 미팅내용정민호설계사R

124382018/02/02(주)그린이엔씨그린이엔씨 명절선물 전달 및 미팅내용문종현설계사R

134372018/02/02(주)명성이엔지명성이엔지 명절선물 전달 및 미팅내용문종현설계사R

144332018/01/12(주)나르샤[설계사] (주)나르샤 방문정민호설계사R

154292018/01/04세정이엔지(주)세정이엔지 방문문종현설계사R

164282017/12/29도무스설비연구소도무스설비연구소 방문문종현설계사R

174272017/12/28현우엔지니어링현우설비연구소(부산) 방문/제품소개정민호설계사R

184262017/12/28민택민택 방문문종현설계사R

194232017/12/22에코엔지니어링에코엔지니어링 방문 [1]문종현설계사R

204182017/12/12금강디엔에스소방내진설계 프로그램의 필요성에 확인을 위한 미팅오창수설계사R

그림 1-1. 자동화 프로그램 의견 조사 기록

이렇게 국내 소방기준에 따라 소방시설 내진설계가 의무화된 지 벌써

4년째지만 여러 가지 변수를 복합 계산해야 하는 어려움과 수동설계로 발생할 수 있는 휴먼에러 및 오차발생을 예방하기 위해 내진설계 자동화 프로그램 개발에 대한 요구 및 필요성은 꾸준히 대두되고 있다. 이미 토목이나 기계설비 분야에서 보여준 상수도 내진성능평가 S/W인 ASAD-W⁷⁾와 가스계 소화설비 설계프로그램의 성능인증제도, LH의 소화배관 수리계산 프로그램 개발⁸⁾ 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 소방기준의 특징을 살펴보고, 이에 따라 개발된 내진 설계 자동화 소프트웨어의 알고리즘과 기능을 소개한 뒤, SW를 이용한 자동설계와 수동설계의 비교 실험 결과 소개를 통해 소방시설 내진설계의 신뢰성 향상과 업무 효율성 증대를 위한 자동화 소프트웨어 사용의 제도적 필요성을 설명하고자 한다.

7) 황정태, 이종근, 정규정, 권혁기, “상수도 내진성능평가 S/W(ASAD-W) 개발 소개”, KISTEC(한국시설안전공단), Vol. 48, pp. 123-135 (2016).

8) 매일경제, “LH, 국내 최초 ‘소화배관 수리계산프로그램’ 개발”, 2019.03.11, <https://www.mk.co.kr/news/business/view/2019/03/144156/>

1.2 연구 범위 및 방법

본 연구의 목적은 소방시설 내진설계 방법에서 자동화 소프트웨어를 이용한 자동설계와 기존의 수동설계의 비교 실험을 통해 자동화 S/W 사용의 필요성을 평가하는 것이다. 본 연구를 위해, 우선 국내 소방기준의 특징을 살펴보고 배관 내진설계에 대한 국내 소방기준과 NFPA13-16, 건축물 내진설계 기준을 비교한다. 비교의 목적은 본 S/W가 국내 소방기준 뿐만 아니라 국제 기준과 건축 구조기준 등을 만족하는 프로그램으로 확장성을 지향하기 때문이다.

다음으로 소프트웨어의 신뢰성을 증명하기 위해 S/W 내부 DB, 적용률(Rules), 배치 알고리즘 등을 소개한다. 그리고 소프트웨어의 효율성을 증명하기 위해 지하 1층부터 지상 3층까지 연면적 2,302 m²의 소규모 근린생활시설 1개소를 대상으로 실시한 실험을 소개 한다. 스프링클러 배관을 내진 설계하는 과정을 S/W를 이용한 ‘자동설계’ 방식과 ‘수동설계’ 방식으로 서로 대조한다.

피실험자로 총 4명의 설계자가 참가하는데, ‘A’, ‘B’, ‘C’ 3명은 소방기계설비 및 소방시설 내진설계 경력 1년 미만으로 S/W를 활용한 자동설계와 수동설계 시 그 차이를 잘 비교할 수 있을 것으로 기대한다. ‘D’는 기계설비 설계 경력 10년 이상이고 소방시설 내진설계 경력도 3년이 넘는 설계 경력자로 일종의 ‘대조군’ 역할을 위해 수동설계에만 참여한다.

실험 방법은 각자에게 대상 소방 기계 설비 도면 파일을 이메일로 미리 보내주고, 각자 개인 컴퓨터를 이용해서 편한 시간대에 자동설계와 수동설계 각각의 시간의 경과를 기록하여 내진설계 결과물인 설계도면과 함께 이메일로 회신 받는 방식으로 진행한다. 실험을 통하여 설계 소요

시간, 버팀대 설계 개수, 버팀대 설계 위치, 설계 자동화 프로그램 사용 결과 간 비교하고 비교분석 결과에 대한 고찰과 함께 소방시설 내진설계의 신뢰성 향상과 업무 효율성 증대를 위해 자동화 소프트웨어 사용의 제도적 필요성을 제언한다.



1.3 용어 및 기호의 정리

본 연구에서 사용된 용어 및 기호는 소방시설의 내진설계 기준, 건축물 내진설계 기준, 콘크리트용 앵커 설계기준, 흔들림 방지 버팀대의 KFI 인정기준, NFPA13-16 Standard for the Installation of Sprinkler System, UL203A Sway Brace Device for Sprinkler System Piping 등의 정의를 활용하였으며 그 내용은 다음과 같다.

- 4방향 버팀대(Four-way Bracing) : 건축물 평면상에서 종방향 및 횡방향 수평지진하중을 지지하거나, 종·횡 단면상에서 전·후·좌·우 방향의 수평지진하중을 지지하는 버팀대
- 가동중량(Component Operating Weight) : 수조, 가압송수장치, 함류, 제어반등 가스계 및 분말소화설비의 저장용기, 비상전원, 배관의 작동상태를 고려한 무게, W_p
- 가지배관 고정 장치(Restraint of Branch Lines) : 지진거동특성으로부터 가지배관의 움직임을 제한하여 파손, 변형 등으로부터 가지배관을 보호하기 위한 와이어타입, 환봉타입의 고정 장치
- 건축물부착장치(Structure Attachment Fitting) : 흔들림 방지 버팀대의 부품으로 지지대와 연결하여 건축물에 부착하는 장치
- 교차배관(Cross Mains) : 직접 또는 분기관을 통해 가지배관을 연결하는 배관
- 내진성능목표(Seismic Performance Criteria) : 설계지반운동에 대해 내진성능수준을 만족하도록 요구하는 내진설계의 목표
- 내진스토퍼(Bumper) : 지진하중에 의해 과도한 변위가 발생하지 않

도록 고정하는 장치

- 단부 : 직선배관에서 방향 전환하는 지점과 배관이 끝나는 지점
- 단주기 설계스펙트럼가속도(Short Period Spectral Acceleration): 설계지진에 대한 단주기에서의 응답스펙트럼가속도, S_{DS}
- 배관 연결장치(Sway Brace Fitting) : 지지대와 연결하여 배관을 직접 고정하는 장치
- 분기관(Riser Nipple) : 주.교차배관과 가지배관사이의 수직 배관
- 비구조요소(Non-Structural Components) : 건축비구조요소와 기계, 전기비구조요소를 총칭
- 비구조요소의 중요도계수(Component Importance Factor) : 건축물의 중요도에 따라 지진응답계수를 증감하는 계수, I_p
- 설계지진 : 비구조요소의 중요도 및 성능목표별 지진의 재현주기에 따라 기본설계지진에 중요도계수 및 위험도계수를 곱한 지진
- 세장비(L/r) : 흔들림 방지 버팀대 지지대의 길이(L)와 최소단면 2차 반경(r)의 비율
- 수평지진하중(Seismic Design Force) : 지진 시 흔들림 방지 버팀대에 전달되는 배관에 작용하는 동적지진하중을 같은 크기의 정적지진하중으로 환산한 값, F_{pw}
- 수평직선배관 : 수평방향으로 설치된 주배관, 교차배관, 가지배관 등으로서 어떠한 방향전환도 없는 직선배관. 단, 방향전환부분의 배관 길이가 옹셋거리 이내인 경우 하나의 수직직선배관으로 간주
- 앵커 그룹(Anchor Group) : 대체로 동등한 유효문힘깊이를 갖고, 인접 앵커 간 간격이 인장을 받는 경우 $3h_{ef}$ 이하, 전단을 받는 경우 $3C_{a1}$ 이하인 다수의 앵커

- 앵커(Anchor) : 헤드볼트, J 또는 L형 갈고리볼트, 헤드 스테드, 확장 앵커 및 언더컷앵커를 포함하는 강재요소로서 콘크리트 치기 전 설치되거나 혹은 굳은 콘크리트 부재에 후설치 되어 작용 하중을 전달하는데 사용됨
- 앵커뽑힘강도(Anchor Pullout Strength) : 앵커 자체 또는 앵커의 주요부가 주변 콘크리트를 심각하게 파괴시키지 않은 상태로 미끄러져 뽑히는 경우의 강도
- 연단거리(Edge Distance) : 콘크리트 면의 가장자리부터 가장 가까운 앵커 중심까지 거리
- 연성강재요소(Ductile Steel Element) : 인장시험 결과 연신율이 14% 이상이고 단면적 감소가 30%이상인 요소
- 영향구역(Zone of Influence) : 흔들림 방지 버팀대가 수평지진하중을 지지할 수 있는 예상구역
- 오프셋(Offset) : 영향구역 내의 직선배관이 방향전환 후 다시 같은 방향으로 연속될 경우, 중간에 방향전환 된 짧은 배관은 단부로 보지 않고 상쇄하여 직선으로 볼 수 있는 짧은 배관부분의 길이를 말하며, 최대 3.7m
- 유효묻힘깊이(Effective Embedment Depth) : 근입 깊이, 앵커가 힘을 주변 콘크리트에 전달하거나 또는 전달 받는 전체 깊이, 앵커가 벽면 또는 바닥면 속으로 들어가 인발력에 저항할 수 있는 구간의 길이, h_{ef}
- 입상관(Risers) : 수직직선배관, 중력방향으로 설치된 주배관, 교차배관, 가지배관 등으로서 어떠한 방향전환도 없는 직선배관. 단, 방향전환부분의 배관 길이가 오프셋거리 이내인 경우 하나의 수직직선배관으

로 간주

- 정격하중(Rated Load): 흔들림 방지 버팀대와 버팀대 구성부품의 최대사용하중을 1.5로 나눈 값과 같거나 작은 값
- 종방향 버팀대(Longitudinal Sway Brace) : 수평직선배관의 진행방향(종방향)의 수평지진하중을 지지하는 버팀대
- 지반종류 : 지반의 지진증폭특성을 나타내기 위해 분류하는 지반의 종류
- 지반증폭계수 : 지반암의 스펙트럼 가속도에 대한 지표면의 스펙트럼 가속도의 증폭비율, F_a
- 지지대(Brace Member) : 건축물부착장치와 배관 연결장치를 연결하는 강관, 형강 또는 케이블
- 지진계수(Seismic Coefficient) : 배관의 수평지진력을 산정하기 위해 결정된 계수, C_p
- 지진구역 : 유사한 지진위험도를 갖는 행정구역 구분으로서 지진구역 I, 지진구역 II로 구분
- 지진구역계수 : 지진구역 I 과 지진구역 II의 기반암 상에서 평균재현 주기 500년 지진의 유효수평 지반가속도를 중력가속도 단위로 표현한 값, Z
- 지진력 : 지진운동에 의한 구조물의 응답에 대하여 구조물과 그 구성요소를 설계하기 위하여 결정된 힘
- 지진분리이음(Flexible Coupling) : 지진발생시 지진으로 인한 진동이 배관에 손상을 주지 않고 배관의 축방향 변위, 회전, 1°이상의 각도 변위를 허용하는 이음
- 지진위험도(=지진재해도) : 내진설계의 기초가 되는 지진구역을 설정

하기 위하여 과거의 지진 기록과 지질 및 지반 특성 등을 종합적으로 분석하여 선정된 지진재해의 연 초과 발생 빈도

- 지진하중(Earthquake Load) : 지진에 의한 지반운동으로 구조물에 작용하는 하중
- 최대지반가속도(Peak Ground acceleration, PGA) : 지진에 의한 진동으로 특정 위치에서의 지반이 수평2방향 또는 수직방향으로 움직인 가속도의 절댓값의 최댓값
- 콘크리트 파괴강도(Concrete Breakout Strength) : 앵커 또는 앵커 그룹 주변 콘크리트일부가 모재로부터 분리되는 경우의 강도
- 콘크리트 프라이 아웃 강도(Concrete Pryout Strength) : 짧고 강성이 큰 앵커가 작용하는 전단력의 반대방향으로 변위하면서 앵커의 후면 콘크리트를 탈락시키는 경우의 강도
- 프라잉 값(Prying Factor) : 지렛대 효과를 고려한 값, P_r
- 행거(Hanger) : 시스템 배관의 자중을 지지하기 위한 장치 또는 조립체
- 횡방향 버팀대(Lateral Sway Brace) : 수평직선배관의 진행방향과 직각방향(횡방향)의 수평지진하중을 지지하는 버팀대
- 후설치 앵커(Post-Installed Anchor) : 굳은 콘크리트에 설치하는 앵커. 확장앵커 및 언더컷앵커가 후설치 앵커의 종류임
- 흔들림 방지 버팀대(Sway Brace Device) : 건축물에 설치되는 배관의 흔들림을 최소화하기 위한 장치

제 2 장. 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 발생 시 화재, 폭발 등 소방시설의 손상으로 인해 발생할 수 있는 2, 3차적 재해에 대비하고, 그 피해를 최소화하기 위해 소방시설 내진설계가 의무화되었다. 이 행정규칙은 사실상 국내에서 건축물의 비구조요소에 대한 내진설계를 의무화한 최초 기준으로, 2017년 4월 행정안전부의 「내진설계기준 공통 적용사항」⁹⁾제정과 후속적인 「학교시설 내진설계 기준」¹⁰⁾, 「가스시설 및 지상 가스배관 내진설계 기준」¹¹⁾, 「건축물 내진설계기준」¹²⁾ 등 비구조요소 내진설계를 강화하는 제도 마련에도 많은 영향을 주었다고 생각한다.

소방청(Korea National Fire Agency, KNFA)의 행정규칙에서는 소방시설의 적용범위와 대상을 설정하였는데 이는 옥내소화전설비, 스프링클러설비, 물분무등소화설비이며, 설계대상은 수원(수조), 가압송수장치(펌

9) 국민안전처, “내진설계기준 공통적용사항”, (2017).

10) 교육부, “학교시설의 내진설계 기준”, (2018).

11) 산업통상자원부, “KGS GC203 : 2018 가스시설 및 지상 가스배관 내진설계 기준”, (2018).

12) 국토교통부, “KDS 41 17 00 : 2019 건축물 내진설계기준”, (2019).

프), 배관, 제어반, 유수검지장치, 함, 비상전원, 가스계 및 분말소화설비 등이다.

또 「훈령·예규 등의 발령 및 관리에 관한 규정」에 따라 이 고시에 대하여 2016년 1월 1일을 기준으로 매 3년이 되는 시점(매 3년째의 12월 31일 까지)을 말한다)마다 그 타당성을 검토하여 개선 등의 조치를 하도록 규정하였는데, 2019년 12월 31일이 첫 번째 타당성 재검토 기한으로 많은 부분 개정이 예상되고 있다.

2.1.1 내진등급 및 성능 목표

소방 시설은 건축물의 내진등급과 상관없이 인명안전을 위해 지진 발생 후에도 반드시 기능수행이 요구되는 비구조요소로, 비구조요소의 성능목표 4 분류(기능수행, 위치유지, 인명안전, 미고려)에서 ‘기능수행’ 등급에 해당하는 중요도계수 I_p 가 1.5인 비구조요소로 반드시 기준에 따라 내진설계가 수행되어야 한다.

표 2-1. 건축물·구조요소·비구조요소의 성능수준 사이의 관계

건축물의 성능수준	구조요소의 성능수준	비구조요소의 성능수준
기능수행	거주가능	기능수행
즉시복구	거주가능	위치유지
인명보호	인명안전	인명안전
붕괴방지	붕괴방지	미고려

1) 출처 : KDS 41 17 00 건축물 내진설계 기준 표 2.4-1

표 2-2. 비구조요소 성능수준의 정의 및 일반적 피해 수준

성능수준	정의 및 일반적 피해 수준
기능수행	지진 이후에도 정상적으로 기능수행 할 수 있다.
위치유지	지진 이후 정상적인 기능수행을 하지 못하나 위치가 고정되어있어 탈락과 전복 등의 위험은 피할 수 있다.
인명안전	지진 이후 심각한 피해가 발생할 수 있지만, 인명피해를 유발하지 않는다.
미고려	지진에 대한 비구조요소의 성능을 고려하지 않는다.

1) 출처 : 학교시설 내진성능평가 및 보강 매뉴얼 표 9-2

2.1.2 설계 지진력 산정 방법

국내 소방기준에서 소방시설의 수평지진력의 산정은 발주자 또는 설계자의 요구에 따라서는 정밀한 동적해석방법인 응답스펙트럼해석법 또는 시간이력해석법을 적용할 수도 있으나, 배관에 작용하는 수평력을 제외하고는 건축구조기준(KBC 2016 0306.10 「건축, 기계 및 전기 비구조요소」)에 제시되어 있는 등가정적하중(F_p)으로 계산하는 방법을 주로 사용하며, 수직 지진력은 「소방시설 내진설계 기준 마련에 관한 연구」 결과를 참조하여 수평방향 지진하중의 1/2로 한다($F_v = 0.5F_p$)고 해설서¹³⁾에서 명시하고 있다. 여기서 수직 설계 지진력은 2019년 3월 제정된 「KDS 41 70 00 건축물 내진설계기준(2019)」의 계산방법인 $\pm 0.2S_{ds}W_p$ 과 일치하지는 않는다.

그리고 배관의 수평지진력은 설계의 편의성과 보수적인 설계를 유도하기 위하여 허용응력설계법(Allowable Stress Design, ASD)을 적용하

13) 국민안전처, “2016년도 소방시설 내진설계 기준 해설”, pp. 16-18 (2016).

여 배관의 가동중량에 $0.5g$ 의 가속도가 작용한 것으로 산정하는 $F_{pw} = 0.5 W_p$ 로 정의하고 있으며, 배관의 진행방향(종방향)과 수직한 방향(횡방향)을 고려하도록 하고 있다.

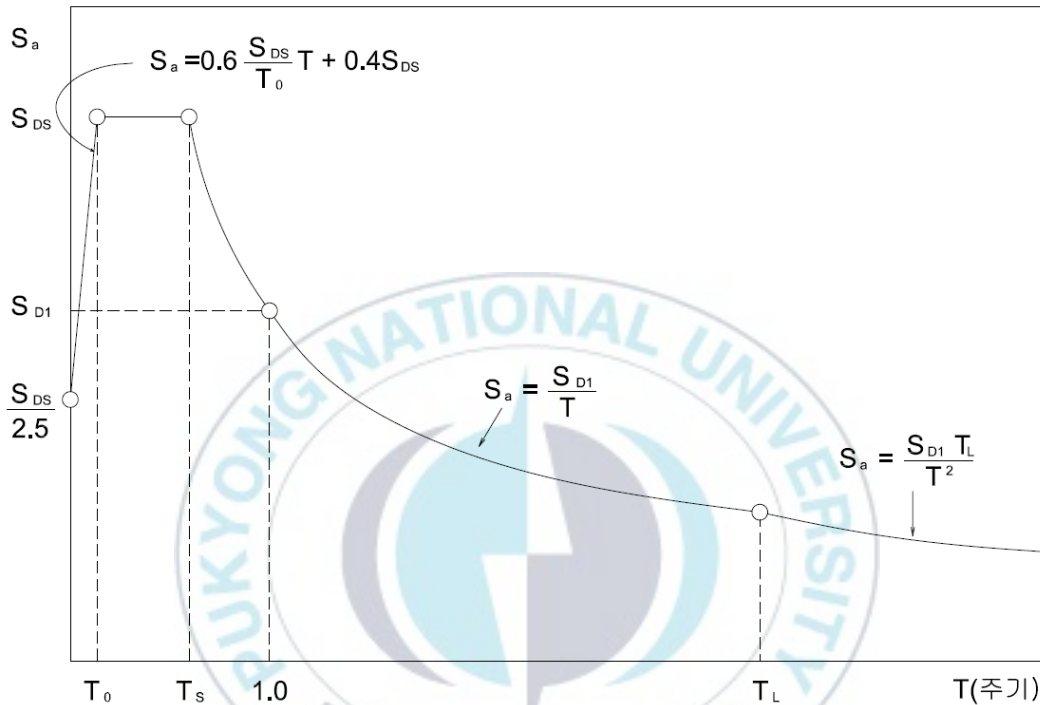


그림 2-1. 설계응답가속도스펙트럼

「내진설계기준 공통 적용사항」에 따라, 설계 지진력은 지역에 따른 설계지진의 세기와 지반분류, 설계지반운동의 특성표현 등으로 할 수 있다. 건축물 내진설계에서 최대고려지진은 2400년 재현주기이고, 기본설계 지진은 스펙트럼가속도가 최대고려지진에 의한 값의 $2/3$ 수준에 해당하는 지진으로 아래와 같이 정의한다.

$$S_{DS} = S \times 2.5 \times F_a \times 2/3 \quad (1)$$

$$S = Z \times I \quad (2)$$

여기서, S_{DS} : 단주기 설계스펙트럼가속도

F_a : 단주기 지반증폭계수

S : 유효수평지반가속도

Z : 지진구역계수

I : 각 재현주기의 위험도계수

표 2-3. 지진구역 및 지진구역계수

지진 구역	행정구역		지진구역 계수(Z)
Ⅰ	시	서울, 인천, 대전, 부산, 대구, 울산, 광주, 세종	0.11g
	도	경기, 충북, 충남, 경북, 경남, 전북, 전남, 강원 남부*	
Ⅱ	도	강원 북부**, 제주	0.07g

* 강원 남부 : 영월, 정선, 삼척, 강릉, 동해, 원주, 태백

** 강원 북부 : 홍천, 철원, 화천, 횡성, 평창, 양구, 인제, 고성, 양양, 춘천, 속초

1) 출처 : 내진설계기준 공통적용사항 3.2.1 (2017)

표 2-4. 위험도계수(I)

재현주기	50년	100년	200년	500년	1,000년	2,400년	4,800년
위험도계수(I)	0.4	0.57	0.73	1.0	1.4	2.0	2.6

1) 출처 : 내진설계기준 공통적용사항 3.2.1 (2017)

표 2-5. 지반분류체계

지반종류	지반종류의 호칭	분류기준	
		기반암 깊이, $H(m)$	토층 평균 전단파속도, $V_{s,sail}(m/s)$
S_1	암반 지반	1 미만	-
S_2	얇고 단단한 지반	1~20미만	260 이상
S_3	얇고 연약한 지반		260 미만
S_4	깊고 단단한 지반	20초과	180 이상
S_5	깊고 연약한 지반		180 미만
S_6	부지 고유의 특성 평가 및 지반응답해석이 요구되는 지반		

1) 출처 : 내진설계기준 공통적용사항 3.2.2 (2017)

표 2-6. 단주기 지반증폭계수, F_a

지반종류	지진지역				
	$S \leq 0.1$	$S=0.14$	$S=0.2$	$S=0.22$	$S=0.3$
S_1	1.12	1.12	1.12	1.12	1.12
S_2	1.4	1.4	1.4	1.38	1.3
S_3	1.7	1.62	1.5	1.46	1.3
S_4	1.6	1.52	1.4	1.36	1.2
S_5	1.8	1.6	1.3	1.3	1.3

1) 출처 : 내진설계기준 공통적용사항 3.2.3 (2017) 부분 인용

표 2-6 에서 단주기 지반증폭계수(F_a) $S=0.14$ 와 $S=0.22$ 값은 「내진 설계기준 공통 적용사항」에 없는 값이며, 직선 보간하여 삽입한 값이다.

지진구역 I 의 F_a 값이 높은 S_3 (얇고 연약한 지반)에 세워질 건축물의 설계 지진력을 계산해보면, $S = Z \times I = 0.11 \times 2.0 = 0.22$ 이므로 S_{DS} 는 아래와 같다.

$$\begin{aligned}
S_{DS} &= S \times 2.5 \times F_a \times 2/3 \\
&= (0.11 \times 2.0) \times 2.5 \times 1.46 \times 2/3 \\
&= 0.54
\end{aligned}$$

그리고 등가정적하중을 이용하여 배관에 작용하는 수평지진력을 허용
응력설계법(Allowable Stress Design, ASD)로 계산하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
F_p &= \frac{0.4a_p S_{DS} W_p}{\left(\frac{R_p}{I_p}\right)} \left[1 + 2\frac{z}{h}\right] \quad (3) \\
&= \frac{0.4 \times 2.5 \times S_{DS} W_p}{\left(\frac{4.5}{1.5}\right)} \left[1 + 2\frac{h}{h}\right] = 1.0 \times S_{DS} W_p
\end{aligned}$$

여기서, F_p : 비구조요소 질량 중심에 작용하는 설계지진력

a_p : 비구조요소의 증폭계수, 소방 배관은 2.5

W_p : 비구조요소의 작동상태를 고려한 중량

R_p : 비구조요소의 반응수정계수, 소방 배관은 4.5

I_p : 비구조요소의 중요도계수, 소방 배관은 1.5

z : 구조물의 밑면으로부터 비구조요소가 부착된 높이

h : 구조물의 밑면으로부터 지붕층의 평균높이

F_p 는 LRFD(Load resistance factor design, 하중저항계수법)값이므로,
ASD값으로 변환하기 위해서는 0.7을 곱해야 한다. 그리고 울산지역 S_3
지반의 S_{DS} 값 (2.1.2-3)을 입력하면 C_p 는 0.378이 되는데, 국내 소방기준
설계 지진력 $F_{pw} = 0.5 W_p$ 의 C_p 값 0.5가 국내 모든 행정구역과 모든 지반
종류를 고려한 보수적 값임을 알 수 있다.

$$F_{pw} = 0.7F_p = 0.7S_{DS}W_p = C_p W_p \quad (4)$$

$$C_p = 0.7S_{DS} = 0.7 \times 0.54 = 0.378 \quad (5)$$

여기서, C_p : 지진계수

2.1.3 유연성 확보와 버팀대 설계

국내 소방기준의 배관에 대한 내진설계는 지진에 의한 배관의 응력발생 및 건물 구조부재 및 각종 부착물들의 상대적인 움직임으로 인한 소방배관계통의 파손을 방지하는 것이 목적이다. 그 방법으로 버팀대를 사용해서 배관과 천장 구조물이 일체화되어 거동하게 하고, 구조물의 상대적인 변형이 발생하여 배관에 영향을 줄 수 있는 위치에 지진분리이음등을 설치하여 유연성을 확보하는 방법으로 단순화된 해석이 가능하도록 한 것이 특징이다. 국내 소방기준이 준용한 NFPA13-16에 이 원리를 설명하고 있다¹⁴⁾.

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.

2.1.4 코드 방식 기준

그리고 국내 소방기준에서 제시되지 않은 소방시설과 관련한 상세내

14) National Fire Protection Association, “NFPA 13 Standard for the Installation of Sprinkler Systems”, p. 353 (2016).

용은 미국 NFPA 기준을 참조할 수 있다고 해설하고 있는데, 이는 국내 소방기준이 NFPA의 그것에 기초하고 있음을 말해주기도 할 뿐만 아니라 국내 소방기준 또한 NFPA처럼 코드(Code) 방식 또는 ‘Cook Book 방식’¹⁵⁾으로 구조전문가가 아니더라도 이 기준을 토대로 쉽게 설계할 수 있도록 만든 기준이라는 것이 가장 큰 특징이라고 여겨진다.



15) 이재오, 김홍경, 조순봉, “소화설비 배관의 성능위주 내진설계 방법에 관한 연구”, 한국화재소방학회, Vol. 31, No. 4, pp. 86-94 (2017).

2.2 버팀대 설계 방법의 국내 소방기준

버팀대는 지진에 의한 배관의 흔들림을 방지하기 위한 지지부 장치로써 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. 국내 소방기준의 소방배관 및 버팀대의 보호조치에 대해서는 NFPA13-16 9.3절을 참조하여 작성되었다.

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 설계 순서는 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 정당성은 버팀대 및 각 요소에 작용하는 하중이 구조해석이나 시험적 방법에 의해 결정된 최대허용하중 이내임을 내진 계산서(Seismic Bracing Calculations)로 증명해야 한다.



그림 2-2. 종방향(좌)과 횡방향(우) 흔들림방지버팀대
(출처:<http://www.ysmetals.com>)

2.3 버팀대 설계에 대한 NFPA13-16과 비교

국내 소방기준은 2007년 당시 소방방재청의 연구용역 보고서인 「소방시설 내진설계 기준 마련에 관한 연구」 결과에 기초하고 있으며, 연구 결과는 미국의 NFPA 기준을 중심으로 인용했다고 해설하고 있다. 이 중 버팀대 설계에 대한 국내 소방기준과 NFPA13-16 9.3(12)을 비교하여 다르거나 완화된 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 최솟값을 사용할 수 있다. 그러나 국내 소방기준에는 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 설치각도 구간 중 $60^{\circ} \sim 89^{\circ}$ 구간을 $60^{\circ} \sim 74^{\circ}$ 과 $75^{\circ} \sim 90^{\circ}$ 로 재구분한 경우도 있다. 또한 소방 시스템 배관과 지지대로 많이 사용하고 있는 KSD 3507 국가표준에 항복강도가 명시되어 있지 않다가 2019년에 포함되었는데, 배관 내진설계 목적물의 국가표준(KS)에 항복강도가 명시되어 있지 않던 논리적 모순이 해결되어 천만다행이다. 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 설계 시 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 계산 방법이 설명되어 있다. 반면 국내 소방기준에는 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.

표 2-7 은 국내 소방기준과 NFPA13-16의 schedule 10, 100 mm 배관의 영향구역 내 최대수평하중 비교표로, 국내 소방기준에서는 정격하중 915 kg·f의 버팀대(13)를 설치 각도 60~89°로 사용한다면 영향구역 12 m 간격까지 수평지진력 792 kgf까지 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.

표 2-7. 100 mm 스케줄 10 배관에 대한 영향구역의 최대하중 비교

	국내 소방기준	NFPA 13		
최대 거리	12.0 m	6.1 m	9.1 m	12.2 m
가지배관	고려안함	2 lines	3 lines	4 lines
최대 하중	792 kg·f	741 kg·f	486 kg·f	349 kg·f

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

이에 따라 현장에서는 국내 소방기준 제6조(배관) ③항 1조의 이격 거리를 확보하는 대신, 제7조(지진분리이음) 2항에 따라 다층건물 중간층 배관 관통구의 위, 아래에 지진분리이음을 설치하여 배관의 유연성을 확보하고도 8m 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 소방기준에서는 $F_{pw} = 0.5 W_p$ 로 일원화하고 있는데, 한국이 중약진지역임을 감안한 설계기준으로 판단된다.

다섯째로, NFPA13-16 9.3.5.9.6 분기관(Riser Nipples)의 영향에 따른 가지 배관의 종방향 하중 편입 규정도 국내 소방기준에는 없다.

이 기준에 따르면 분기관이 1.2m를 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 분기관이 1.2m를 초과하는 경우가 드물기 때문에 생략한 것으로 생각 된다.

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 근입 깊이별, 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 소방기준에서는 ‘제12조 버팀대 고정 장치에 작용하는 수평지진하중은 허용하중을 초과해서는 아니 된다’는 원칙만 규정하고 있다.

표 2-8. 국내 소방기준과 NFPA13의 버팀대 설계 기준 비교

	국내기준(2016)	NFPA13-16
세장비 데이터	300만 있음	100, 200, 300
배관 규격별 최대하중 기준	없음	규격별 5 섹션
4방향 버팀대 생략 기준	없음	있음
분기관 고려 기준	없음	있음
앵커 상세 기준	없음	있음

특히, NFPA13-16 9.3.5.12.8.3에 따르면 콘크리트용 후설치 앵커의 허용최대하중(allowable maximum load)은 프라잉 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 곱해서 계산하도록 규정하고 있다. 여기서 0.43은 ACI 318 Chapter 17에서 산출된 LRFD값을 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 앵커강도로 사용할 수 있겠다. 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 필요하겠다.



2.4 배관에 대한 건축물 내진설계 기준과 비교

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 허용응력 설계값으로 단순화시킨 F_{pw} 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 이격 거리를 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 스프링클러배관으로 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 ‘설계 지진력 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 소방기준과 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.

제 3 장. 소방시설 내진설계 자동화 소프트웨어의 개발 및 기능

3.1 소프트웨어 개요

본 연구에서 개발한 소방시설 내진설계 자동화 소프트웨어의 구동 장면은 그림 3-1 과 같고, S/W 상의 세부메뉴는 그림 3-2 와 같다. 이 소프트웨어는 소방시설 설계에서 널리 이용되는 2D CAD 기반 플러그인 S/W로 국내 소방기준을 근간으로 하며, NFPA13-16을 참조하여 배관의 가동중량 및 수평지진력 계산, 버팀대 자동 배치, 가지관 고정대 자동 배치, 치수선 및 네임태그 자동 기입, 물량 자동 산출, 도면 수정 툴, 계산서 자동계산 및 출력 기능을 제공한다.

이 소프트웨어는 2016년 시행된 국내 소방기준을 근간으로 하였기에 이 기준의 개정에 맞게 수시로 업데이트되어야 하고, 국내 소방기준에는 없지만 NFPA13에 있는 규정들을 보완하여 NFPA13까지 완벽히 만족하는 소프트웨어로 될 전망이다. 그리고 국내 소방기준과 국토부 기준, NFPA13, ASME B31 시리즈 등 다양한 기준, 표준을 만족하는 것은 물론, 버팀대(지지부) 설계뿐만 아니라 정착부(콘크리트 앵커) 설계, 이격과 지진 분리 이음 설계, 수조와 가압송수장치용 내진스토퍼 설계 등의 기능도 갖추어 스마트 건설의 핵심기술 중 하나인 BIM(building information modeling)¹⁶⁾용 소프트웨어와 라이브러리(Library)로 업그레이드되어, 4차 산업혁명 시대에 맞게 소방시설 내진설계의 첨단화를 이

3.2 버팀대 자동 배치 기능

3.2.1 기초 정보 DB

소프트웨어 내부에는 설비의 종류, 시스템 배관 규격 정보, 시스템 배관 하중 정보, 버팀대 모델 정보, 지지대 정보, 앵커 정보 등의 기초정보가 저장되어 있으며, 각 DB 별로 정보를 추가할 수 있다.

① DB01. 설비의 종류

국내 소방기준 제2조(적용범위)에 따라 내진설계 대상이 되는 설비는 옥내소화전설비, 스프링클러설비, 물분무등소화설비로, 국내 화재안전기준 NFSC 102¹⁷⁾, NFSC 103¹⁸⁾, NFSC 104¹⁹⁾, NFSC 104A²⁰⁾, NFSC 105²¹⁾, NFSC 106²²⁾, NFSC 107²³⁾, NFSC 107A²⁴⁾, NFSC 108²⁵⁾에 해당한다.

-
- 17) 소방청고시 제2017-1호, 「옥내소화전설비의 화재안전기준(NFSC 102)」, 2017.7.26 시행
- 18) 소방청고시 제2017-1호, 「스프링클러설비의 화재안전기준(NFSC 103)」, 2017.7.26 시행
- 19) 소방청고시 제2017-1호, 「물분무소화설비의 화재안전기준(NFSC 104)」, 2017.26 시행
- 20) 소방청고시 제2019-37호, 「미분무소화설비의 화재안전기준(NFSC 104A)」, 2019.5.24 시행
- 21) 소방청고시 제2019-47호, 「포소화설비의 화재안전기준(NFSC 105)」, 2019.8.13 시행
- 22) 소방청고시 제2019-46호, 「이산화탄소소화설비의 화재안전기준(NFSC 106)」, 2019.8.13 시행
- 23) 소방청고시 제2016-93호, 「할로젠화합물소화설비의 화재안전기준(NFSC 107)」, 2016.7.13 시행
- 24) 소방청고시 제2018-17호, 「할로젠화합물 및 불활성기체소화설비의 화재안전기준(NFSC 107A)」, 2018.11.19 시행
- 25) 소방청고시 제2017-1호, 「분말소화설비의 화재안전기준(NFSC 108)」, 2017.7.26 시행

소프트웨어에서는 위 소방 설비 종류 중에서 옥내소화전설비, 스프링클러설비, 물분무등소화설비 3가지가 데이터베이스에 저장되어 있으며, ‘배관 용도’로 계산서에서 출력된다. 설비 종류는 추가할 수 있다.

② DB02. 시스템 배관 규격 정보

내진설계 대상이 되는 시스템 배관의 규격의 종류는 국내 화재안전기준에서는 배관용 탄소강관(KS D 3507), 이음매 없는 동 및 동합금관(KS D 5301), 배관용 스테인리스강관(KS D 3576) 또는 일반배관용 스테인리스강관(KS D 3595), 덕타일 주철관(KS D 4311), 압력배관용 탄소강관(KS D 3562), 배관용 아크용접 탄소강관(KS D 3583), 합성수지배관(CPVC) 1종 배관²⁶⁾ 등이 있고, 미국 NFPA13-16에서는 스프링클러배관으로 Table 6.3.1.1 Pipe or Tube Material and Dimensions²⁷⁾에서 지정한 Ferrous Piping, Copper Tube, CPVC, Brass Pipe, Stainless Steel 또는 동등이상을 사용하도록 하고 있으며, 일본의 기준에서는 배관용 탄소강관(JIS G 3452), 압력배관용 탄소강관(JIS G 3454), 수도배관용 아연도강관(JIS G 3442), 일반배관용 스테인리스강관(JIS G 3448), 배관용 스테인리스강관(JIS G 3459), 합성수지관(JIS K 6776) 등이 있다²⁸⁾.

소프트웨어에서는 위에 열거한 규격 배관 중 국내 소방기준을 중심으로 표 3-1 과 같이 8종류 배관의 항복강도, 인장강도 등의 속성 값이 데이터베이스에 저장되어 있는데, 추가도 가능하다. 이 속성 값은 배관 재료의 허용하중과 탄성능력을 계산하기 위해서 필수적이다. 수리계산에서

26) 소방청고시 제2017-1호, 「소방용합성수지배관의 성능인증 및 제품검사의 기술기준」, 2017.7.26 시행

27) National Fire Protection Association, “NFPA 13 Standard for the Installation of Sprinkler Systems”, p. 32 (2016).

28) 남상욱, “소방시설의 설계 및 시공” 성안당, p. 182 (2017).

는 배관의 인장강도(Tensile Strength)를 이용하지만, 내진설계 방법인 허용응력 설계에서는 배관 재료의 항복강도(Yield Strength, F_y)를 이용한다.

표 3-1. 시스템 배관의 규격별 계산 항복강도

시스템 배관명	항복강도(F_y , N/mm ²)	규격상의 항복강도
KSD3507	165	200 N/mm ² 이상 ²⁹⁾
KSD3562 S/40	186	250 N/mm ² 이상 ³⁰⁾
KSD3562 S/80	186	상동
KSD3576 S/10S	172	STS304TP 205 N/mm ² 이상 ³¹⁾
KSD3576 S/20S	172	상동
KSD3595	172	항복강도 명기 없음 ³²⁾
CPVC 1종 배관	48	항복점에서 인장강도 50 N/mm ² 이상 ³³⁾
A53/A106 S/40	207	NFPA13-2016 인용

NFPA13-16에서 허용응력설계에 사용하는 시스템 배관의 항복강도를 ASTM(American society for testing materials, 미국 재료 시험 협회)

29) 산업표준심의회, 「KS D 3507:2019 배관용 탄소 강관」, 2019, p.2

30) 산업표준심의회, 「KS D 3562:2019 압력 배관용 탄소 강관」, 2019, p.3

31) 산업표준심의회, 「KS D 3576:2017 배관용 스테인리스 강관」, 2017, p.5

32) 산업표준심의회, 「KS D 3595:2018 일반 배관용 스테인리스 강관」, 2018

33) 국가기술표준원, 「KS M 3414:2015, 냉·온수 설비용 플라스틱 배관계-염소화 폴리염화비닐(PVC-C)관」, 2015, p.9

규격의 항복강도보다 보수적 값으로 사용했듯이³⁴⁾, 본 소프트웨어에서도 한국산업표준(Korean Industrial Standards, KS)의 기계적 성질에 명시된 최소항복강도보다 보수적 값을 적용했으며, 관련 기준이 제정 또는 개정되면 그 기준을 만족하는 값으로 수정할 수 있다.

그러나 소프트웨어에는 NFPA13-16 9.3.5.5.2와 Table 9.3.5.5.2(a)부터 (1)에서 제시하는 배관 규격 종류와 영향구역존 거리별 최대수평하중 규정을 아직 적용하지 않았다. 국내 소방기준에 아직 없기 때문인데, 국내 소방기준이 개정되면, 적용할 계획이다.

③ DB03. 시스템 배관 하중 정보

배관의 허용응력설계 방식에 따라 수평지진력은 $F_{pw} = C_p \times W_p$ 로 계산한다. 여기서 C_p 는 지진계수로 국내 소방기준 0.5가 기본값으로 설정되어 있고, 사용자가 변경할 수 있다. W_p 는 충수(充水)된 배관 중량의 115%값이다.

아래 계산과정은 시스템 배관 KS D 3507의 충수된 배관의 수평지진력을 계산하는 과정인데, 규격 배관별 호칭경의 충수된 배관의 중량이 표 3-2 처럼 계산된다. 데이터베이스에는 배관 규격별 외경과 두께정보, 중량 계산식이 기초 정보로 저장되어 있다.

$$F_{pw} = C_p \times W_p \quad (6)$$

$$W_p = W_{pw} \times 115\% \quad (7)$$

$$W_{pw} = W + W_{water} \quad (8)$$

34) National Fire Protection Association, “NFPA 13 Standard for the Installation of Sprinkler Systems”, p. 116 (2016).

$$W = 0.02466t(D-t)^{35)} \quad (9)$$

여기서, F_{pw} : 배관에 작용하는 수평지진력

W_p : 유효중량(kg/m)

W_{pw} : 충수된 배관의 중량(kg/m)

W : 탄소강관 배관의 중량(kg/m)

W_{water} : 배관 내부의 충수중량(kg/m)

t : 배관의 두께(mm)

D : 배관의 외경(mm)



35) 산업표준심의회, 「KS D 3507:2019 배관용 탄소 강관」, 2019, p.4

표 3-2. 배관 규격별 충수된 배관중량(kg/m)

호칭경	KSD350 7	KSD356 2 S/40	A53/A1 06 S/40	KSD357 6 S/10S	KSD357 6 S/20S	KSD359 5	KSM341 4 CPVC
25(1")	3.04	3.15	3.06	2.81	2.94	1.24	0.42
30						1.76	
32 (1-1/4")	4.19	4.46	4.35	3.86	4.03	1.76	0.66
40 (1-1/2")	5.02	5.43	5.36	4.64	4.83	2.51	0.87
50(2")	7.34	7.62	7.60	6.39	7.22	3.10	1.34
60						4.80	
65 (2-1/2")	10.08	12.53	11.72	9.36	10.12	4.80	1.97
80(3")	13.64	16.09	16.06	11.85	13.64	10.02	2.89
100(4")	20.90	24.22	24.28	17.53	19.87	15.14	4.72
125(5")	29.39	34.28	34.67	25.49	30.03	21.35	
150(6")	38.18	45.60	46.89	33.40	38.91	32.00	
200(8")	63.26	73.47	74.81	55.26	66.44	50.62	
250(10")	92.08	107.79	111.14	79.02	93.00	65.55	
300(12")	126.59	147.96	151.88	110.40	123.76	100.26	

④ DB04 버팀대 모델 정보

데이터베이스에는 버팀대 모델별 구성품인 건축물부착장치어댑터, 건축물부착장치, 배관연결장치어댑터, 배관연결장치, 지지대 등의 부품번호와 정격하중이 저장되어 있으며, 정격하중은 성능인증 시험을 통해 설치각도별 승인받은 값과 승인서류와 함께 저장된다. 설치각도별 허용 수평하중은 아래 표 3-336)의 방법으로도 구할 수 있다.

36) National Fire Protection Association, "NFPA 13 Standard for the Installation of Sprinkler Systems", p. 115 (2016).

표 3-3. 설치 각도별 허용 수평하중

설치각도(수직에서)	허용 수평하중
30 ~ 44	2.000으로 나눔
45 ~ 59	1.414으로 나눔
60 ~ 89	1.155으로 나눔
90	1.000으로 나눔

⑤ DB05. 지지대 정보

데이터베이스에는 버팀대의 KFI 인정 기준과 NFPA13-16 Table 9.3.5.11.8(a)~(c)를 참고하여 지지대의 종류별, 세장비 class 100, 200, 300별, 설치 각도별 최대수평하중과 지지대의 최대길이 정보가 저장되어 있다.

KS D 3507 배관을 지지대로 사용하는 경우, 세장비별 최대 길이는 아래 계산식을 이용해 산출할 수 있다.

$$\lambda = L/r \quad (10)$$

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}} \quad (11)$$

$$I = \frac{\pi(d_2^4 - d_1^4)}{64} \quad (12)$$

$$A = \pi \frac{(d_2^2 - d_1^2)}{4} \quad (13)$$

여기서, λ : 세장비

L : 지지대의 횡좌굴에 대한 비지지길이(mm)

r : 좌굴축에 대한 단면 2차 반경(mm)

I : 2차 단면 모멘트(mm^4)

A : 지지대의 총 단면적(mm^2)

d_2 : 지지대의 외경(mm), 여기서는 34

d_1 : 지지대의 내경(mm), 여기서는 27.5

t : 지지대의 두께(mm), 여기서는 3.25

F_y : 지지대의 항복강도(Mpa, N/ mm^2), 여기서는 200

E : 강재의 탄성계수(Mpa, N/ mm^2), 여기서는 210,000³⁷⁾

그리고 세장비별 좌굴하중은 아래 식을 통해 구할 수 있다.

$$P_n/\Omega_c \quad (14)$$

$$P_n = F_{cr}A \quad (15)$$

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2} \quad (16)$$

(1) $F_y/F_e \leq 2.25$ 인 경우

$$F_{cr} = \left[0.658^{\frac{F_y}{F_e}}\right] F_y \quad (17)$$

(2) $F_y/F_e > 2.25$ 인 경우

$$F_{cr} = 0.877 F_e \quad (18)$$

여기서, P_n/Ω_c : 안전율을 고려한 좌굴하중

P_n : 공칭압축강도

37) 국토교통부고시 제2019-117호, “건축구조기준”, p. 303, 2019. 3. 14. 일부개정

F_{cr} : 횡좌굴응력(Mpa, N/mm²)

F_e : 탄성좌굴응력(Mpa, N/mm²)

K : 유효좌굴길이계수, 여기서는 1(양단고정)

지지대의 설치각도별 최대수평하중은 위에서 산출된 좌굴하중에서 표 3-4 의 방법을 이용하여 계산할 수 있으며, KS D 3507 지지대의 세장비별 설치각도별 최대수평하중을 계산하면 아래 표 3-4 와 같다.

표 3-4. KS D 3507 지지대의 세장비별 최대수평하중

세장비		100	200	300
최대길이(mm)		1,093	2,186	3,280
최대수 평하중 (N)	30 ~ 44	12,479	4,244	1,886
	45 ~ 59	17,648	6,002	2,667
	60 ~ 89	21,615	7,351	3,267
	90	24,959	8,488	3,772

또 소프트웨어에서는 설치각도, 지지대의 길이, 그리고 배관의 최상단과 천정과의 높이의 관계가 계산되도록 하여, 실제 설계와 시공 환경에 맞게 배관과 천정의 높이를 확인하고 설치할 각도를 선택하면, 지지대 길이가 계산되고, 세장비와 최대수평하중이 계산되도록 하였다.

$$L = h / \cos(\theta) \quad (19)$$

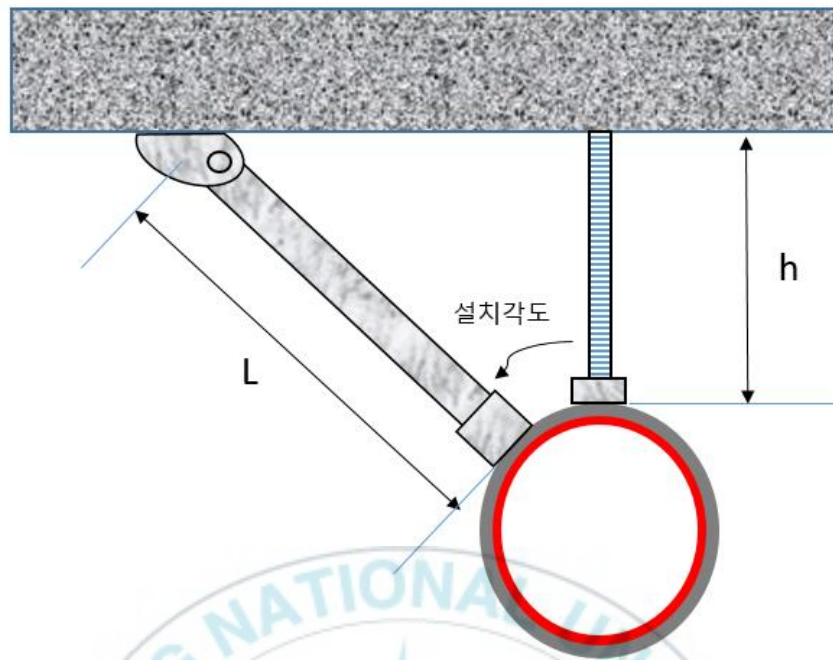


그림 3-3. 지지대 길이와 배관과 천정의 높이

⑥ DB06. 앵커 정보

일반적으로 콘크리트용 후설치 앵커의 설계 조건에서 검토해야 할 사항은 인장력을 받는 앵커의 강재강도, 콘크리트 파괴강도, 뿔힘강도, 콘크리트측면파열강도와 전단력을 받는 앵커의 강재강도, 콘크리트 파괴강도, 콘크리트 프라이아웃강도이며, 인장력과 전단력이 동시에 작용할 경우 수식 (3.2.1.6-1) 등을 적용하여야 한다.³⁸⁾

버팀대는 보통 단일 앵커로 연단거리의 영향을 받지 않는 조건으로 설치되므로 앵커의 최대 능력을 발휘할 수 있겠으나, 앵커가 정착되는 건축물부착장치의 형상과 지지대 설치 각도의 영향을 고려해야 한다.

따라서 버팀대의 정착부 콘크리트용 후설치 앵커가 견딜 수 있는 최대 허용하중(수평지진력)은 앵커의 인발력과 건축물부착장치의 형상에

38) 국토교통부, “KDS 14 20 54: 2016 콘크리트 앵커 설계 기준”, p. 15 (2016).

의한 P_r 값을 고려하여 콘크리트용 앵커 설계 기준에 적합하게 아래 수식³⁹⁾을 만족하는 값을 산출하여 데이터베이스에 저장한다.

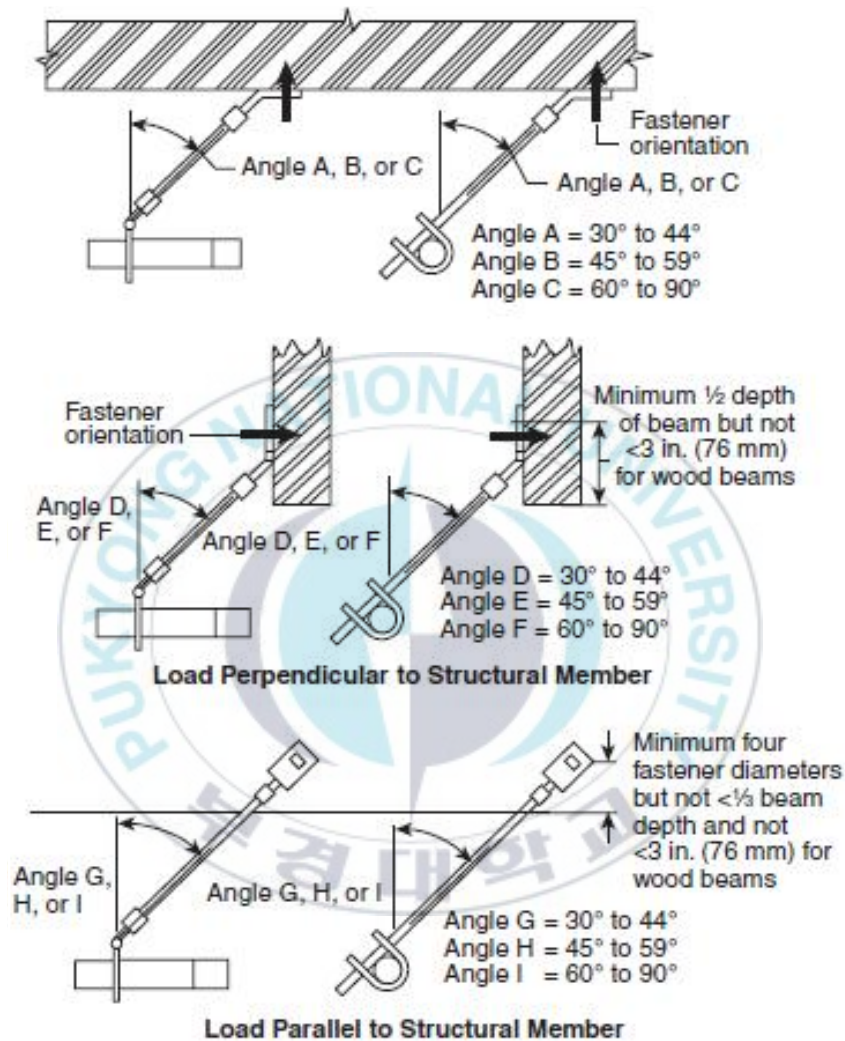


그림 3-4 설치 위치 각도 카테고리 정의

39) National Fire Protection Association, "NFPA 13 Standard for the Installation of Sprinkler Systems", pp. 366-367 (2016).

$$\left[\frac{T}{T_{allow}} \right] + \left[\frac{V}{V_{allow}} \right] \leq 1.2 \quad (20)$$

여기서, T : 프라잉 효과를 고려한 작용 인발하중($F_{pw} \times P_r$)

F_{pw} : 수평지진하중

P_r : 건축물부착장치 형상과 지지대 각도로 발생하는
프라잉 값

T_{allow} : 앵커의 허용 인발력

V : 작용 전단하중

V_{allow} : 앵커의 허용 전단력

T/T_{allow} : 1.0보다 커서는 안 됨

V/V_{allow} : 1.0보다 커서는 안 됨

천정부착 설치각도 카테고리 A, B, C에서의 P_r 값을 구하는 순서는
아래와 같다.

우선, 건축물부착장치의 프라잉 효과가 발생하는 각도를 구한다.

$$C_r = \tan^{-1} \left[\frac{C}{D} \right] \quad (21)$$

지지대가 인장력을 받을 때의 P_r 값은 아래와 같다.

$C_r >$ 버팀대 설치각도이면,

$$P_r = \frac{\left[\frac{C+A}{\tan \theta} \right] - D}{A} \quad (22)$$

$C_r <$ 버팀대 설치각도이면,

$$P_r = \frac{D - \left[\frac{C-B}{\tan \theta} \right]}{B} \quad (23)$$

또, 지지대가 압축력을 받을 때의 P_r 값은 아래와 같다.

$C_r >$ 버팀대 설치각도이면,

$$P_r = \frac{\left[\frac{C-B}{\tan\theta} \right] - D}{B} \quad (24)$$

$C_r <$ 버팀대 설치각도이면,

$$P_r = \frac{D - \left[\frac{C+A}{\tan\theta} \right]}{A} \quad (25)$$

다음으로, 각도별 인장과 압축에서 발생하는 최대 P_r 값을 선택한다.

$$\text{MAX}(\text{인장 } P_r, \text{ 압축 } P_r) \quad (26)$$

그 다음, P_r 값을 수식 (3.2.1.6-1)에 대입하여 최대 허용하중(수평지진력)을 각도별 그래프로 구하면 그림 3-5 와 같이 된다.

마지막으로, 각도 카테고리 A, B, C 별 각 구간인 30~44°, 45~59°, 60~90° 구간별로 최저값을 카테고리별 버팀대 모델의 앵커가 지지할 수 있는 최대수평하중으로 결정한다.

$$\text{MIN}(\text{각도구간 } F_{pw}) \quad (27)$$

같은 방법으로 벽면부착 설치각도 카테고리 D, E, F와 측면부착 설치각도 카테고리 G, H, I의 P_r 값과 최대 허용하중(수평지진력)의 각도별 그래프를 그리면 그림 3-6 및 그림 3-7 과 같다.

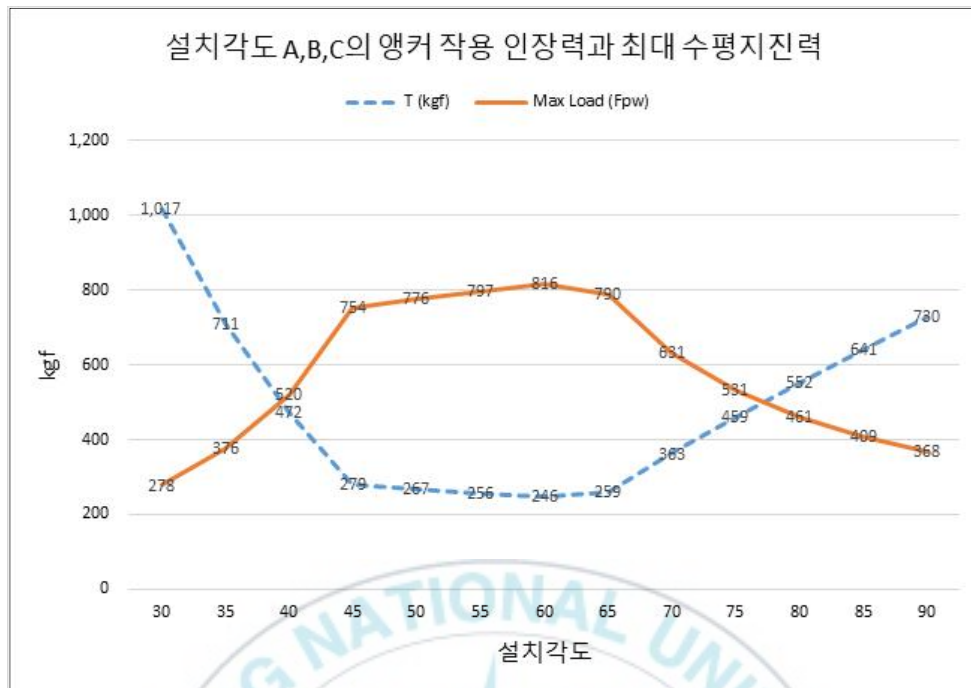


그림 3-5. 설치각도 A,B,C의 최대 수평지진력

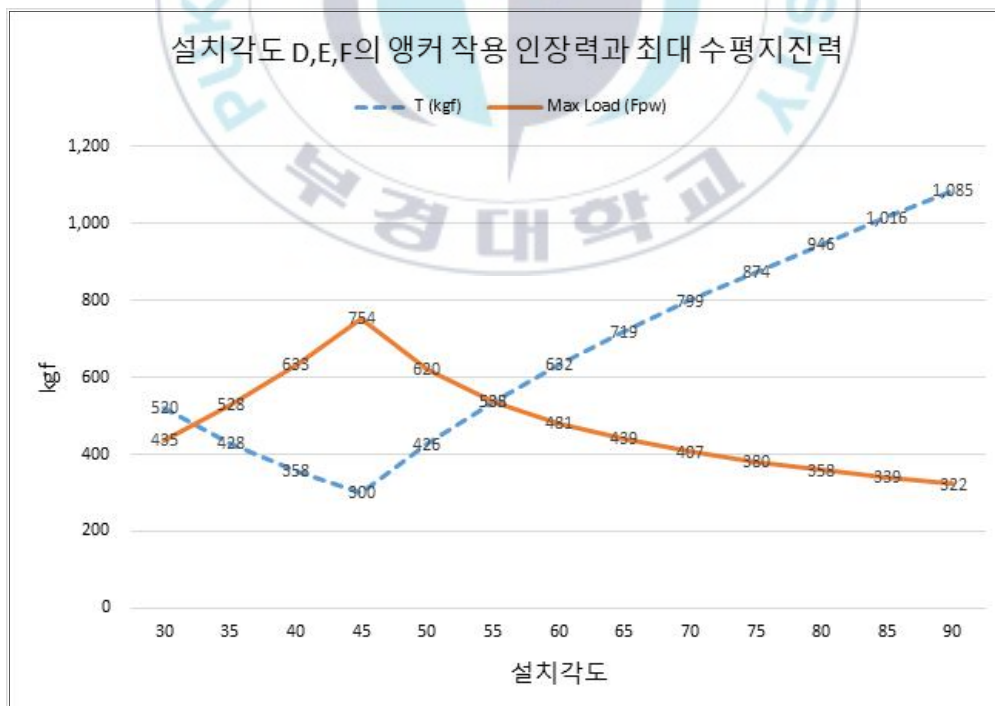


그림 3-6. 설치각도 D,E,F의 최대 수평지진력

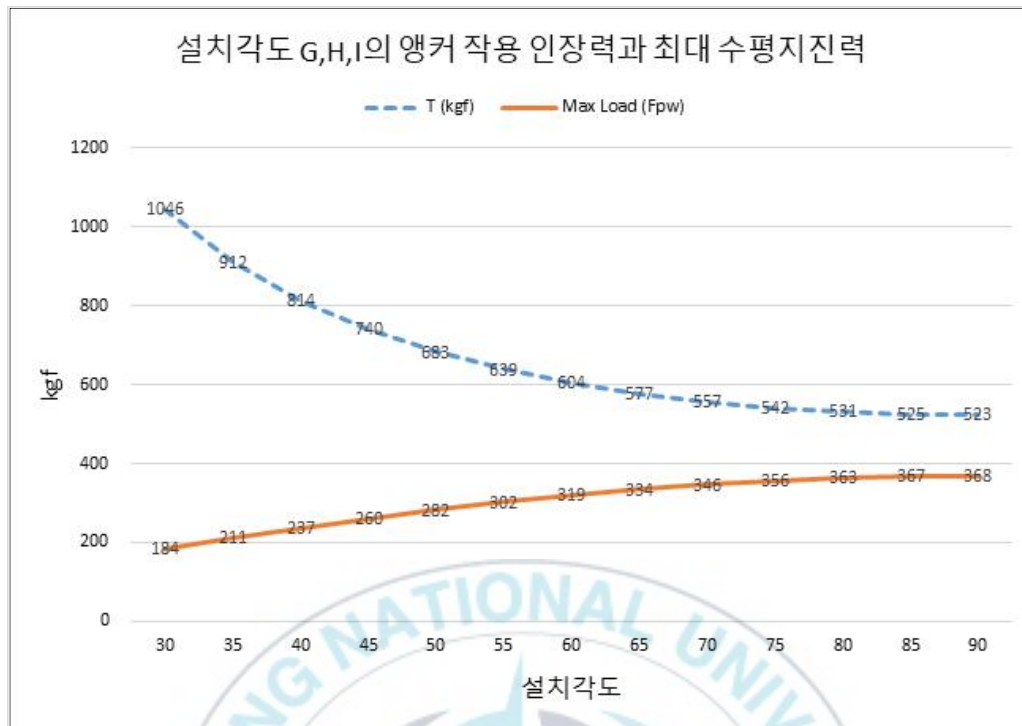


그림 3-7. 설치각도 G,H,I의 최대 수평지진력

3.2.2 버팀대 자동 배치 규칙

소프트웨어에는 버팀대 배치, 설계에 대한 주요한 규칙(Rules)이 개별 모듈로 정의되어 있어, 관련 법령이나 기준이 바뀌면 관련된 모듈만 수정하면 정상적 역할을 할 수 있도록 되어 있다. 2016년 제정, 시행중인 국내 소방기준을 적용하는 버팀대 설계의 중요한 Rules 몇 가지를 아래 표에 정리하였다.

표 3-5. 국내 소방기준을 적용한 버팀대 설계 Rules

Rule B01	• 횡방향 버팀대, 시스템 배관 하중 계산 방법 : 주배관, 교차배관, 가지배관의 하중을 모두 포함한다
Rule B02	• 종방향 버팀대, 시스템 배관 하중 계산 방법 : 수평직선배관(주배관, 교차배관)의 하중만 포함한다
Rule B03	• 횡방향 버팀대, 영향구역 최대 길이 규정 : 좌우 6m, 최대 12m를 초과하지 않아야 한다
Rule B04	• 종방향 버팀대, 영향구역 최대 길이 규정 : 좌우 12m, 최대 24m를 넘지 않아야 한다
Rule B05	• 버팀대 모델별, 각도별 정격하중 정보 찾기
Rule B06	• 버팀대 모델별, 지지대 세장비(천정높이, 지지대 길이)와 각도별 최대하중 계산 방법
Rule B07	• 버팀대 모델별, 정착부 종류(앵커)와 각도별 최대하중 계산 방법
Rule B08	• 횡방향 버팀대, 단부에서 1.8m 이내 버팀대를 설치한다
Rule B09	• 종방향 버팀대, 단부에서 12m 이내 버팀대를 설치한다
Rule B10	• 3.7 미만 배관은 인접한 버팀대로 지지한다
Rule B11	• 가지말단 고정장치 설치 규정 : 행거와 0.6m 이내 설치(단부로부터 0.6m 이내 설치로 명령)
Rule B12	• 가지말단 고정장치 설치 생략 가능 규정 : 행거 길이 150mm 이내인 가지배관

국내 소방기준에는 없지만, NFPA13에는 있는 몇 가지 Rules도 소개한다. Rules는 추가할 수 있으며, 언제든지 수정할 수 있다.

Rule N01. 횡방향 버팀대, 시스템 배관 규격별 최대하중 규정

Rule N02. Riser Nipple, 종방향 버팀대 하중편입 규정

Rule N03. 가지말단 고정장치 배치 규정

3.2.3 버팀대 자동 배치 알고리즘

소프트웨어의 핵심 기능은 기초 정보 데이터베이스와 Rules를 이용하여 버팀대를 자동 배치하는 것이다.

우선, 버팀대 자동 배치를 할 도면의 기본정보를 선택한다. 배관 용도(설비의 종류), 버팀대 모델, 지지대 세장비(또는 길이, 천장높이), 정착부 형태, 설치 각도를 선택하고, 시스템 배관의 규격, 구경을 선택하고 직선 배관을 작도한 후 시작점과 끝점을 작도한다. 그리고 버팀대의 종류(종방향, 횡방향)를 선택하고 ‘임시배치’를 명령하면, 배관의 길이와 중량, 수평지진력이 $F_{pw} = C_p W_p$ 에 따라 자동으로 계산되면서 버팀대 배치가 시작된다.

첫 번째 적용 Rule은 직선 배관의 길이가 3.7 m를 넘느냐 아니냐를 판단하는 것이다. 3.7 m 미만이면, 버팀대 배치를 하지 않고 인접 배관의 종속된 오프셋(offset) 배관으로 인식한다.

두 번째 적용 Rule은 단부에서 1.8 m 이내에 첫 번째 버팀대를 배치하는 것이다.

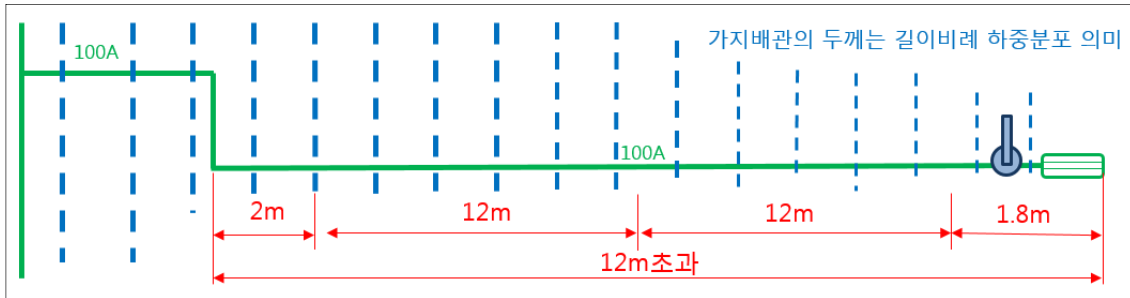


그림 3-8. 단부부터 첫 번째 버팀대 배치

세 번째 적용 Rule은 4가지 조건 Rule(버팀대의 정격하중, 지지대의 최대수평하중, 영향구역 최대 길이, 앵커의 최대수평하중)의 최솟값(min)을 선택하여 단부에서 두 번째 버팀대를 배치하는 것이다.

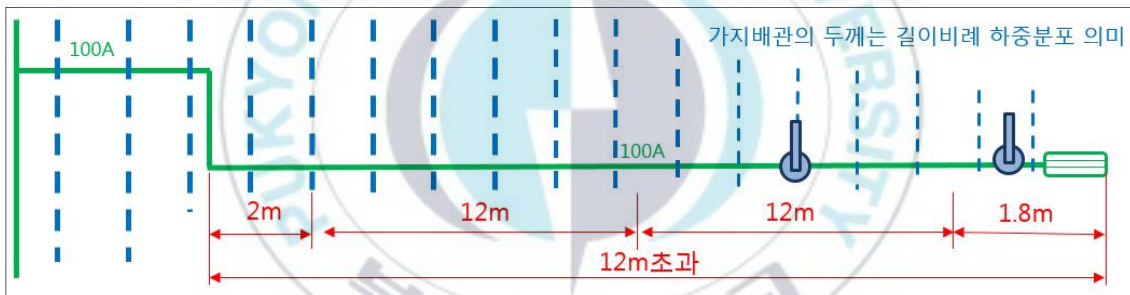


그림 3-9. 두 번째 버팀대 배치

이렇게 순차적으로 끝점부터 시작점까지 직선배관마다 횡방향과 종방향 버팀대의 영향구역존(Zone of Influence)이 생성되고 그 중앙에 버팀대가 자동 배치된다.

이때, 최대거리규정(횡방향 12m)보다 짧은 거리에서 버팀대의 정격하중을 초과하는 집중하중 구간이 있다면, 버팀대는 세 번째 적용 Rule의 4가지 조건 Rules중 최솟값이 되는 구간까지를 영향구역으로 결정하고 버팀대를 배치한다.

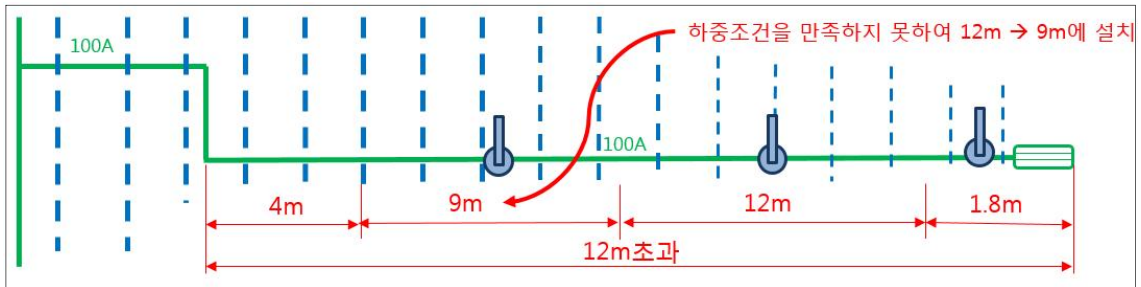


그림 3-10. 집중하중인 구간의 버팀대 배치 예시

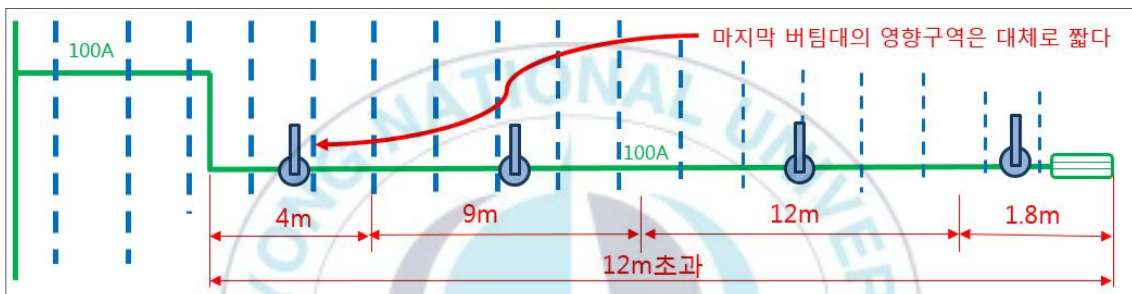


그림 3-11. 직선배관의 마지막 버팀대 배치 예시

입상관 버팀대는 이미지를 불러와 배관 길이를 수동으로 입력하는 반 자동 방식으로 가동중량을 계산한다. 또한 가지배관 말단 헤드 고정 지지대도 지정된 거리에 일정하게 자동 배치된다.

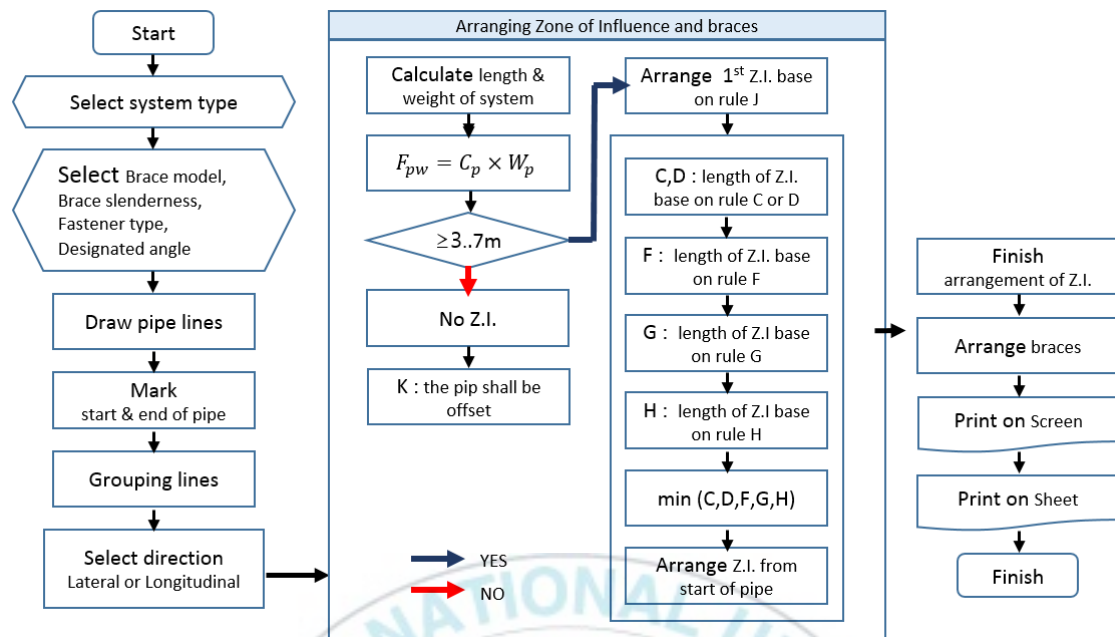


그림 3-12. 버팀대 자동 배치 알고리즘

그러나 이 자동배치 알고리즘은 2016년에 시행된 국내 소방기준을 만족하면서 최적 설계를 하기 위해 고안된 방식으로, 가장 큰 위험인 수평 배관의 횡방향 지진력에 의해 발생할 수 있는 모멘트를 전혀 고려하지 않은 것으로, 국내 소방기준이 개정되면 아래처럼 수정, 변경되어야 한다.

첫째, 배관 작도로 가동중량 자동계산, 시작점과 끝점을 지정한다.

둘째, 직선배관에서 방향 전환하는 지점과 배관이 끝나는 지점을 ‘단부’로 자동 인식한다.

셋째, 직선배관의 길이가 3.7m미만이고, 양쪽 단부에 인접한 배관의 방향이 같으면, 버팀대를 배치하지 않고 읍셋 배관으로 자동 인식한다. (읍셋 배관의 중량은 인접배관에 합산함)

넷째, 끝점이 있는 직선배관은 끝점 단부에서는 1.8m이내에, 반대쪽

단부는 0.6 m이내 횡방향 버팀대를 자동 배치한다.

다섯째, 끝점이 있는 직선배관을 제외한 3.7 m이상의 직선배관 양쪽에 단부로부터 0.6 m이내 횡방향 버팀대를 각 1개씩 2개를 자동 배치한다. 이 때 버팀대의 영향구역은 단부쪽은 단부끝까지, 반대쪽은 6 m가 최대 길이이다.

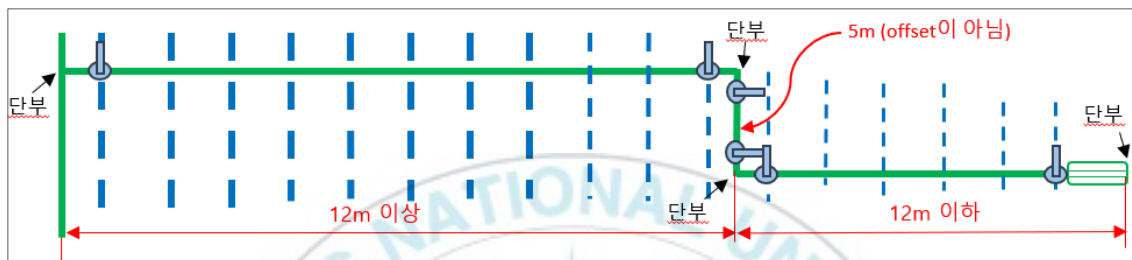


그림 3-13. 단부 양쪽에 횡방향 버팀대 설치

여섯째, 직선배관에서 양쪽 횡방향 버팀대의 영향구역으로 커버되지 않는 구간은 가지배관을 포함하여 하중계산을 한 후, 4가지 조건 Rules에 맞게 횡방향 버팀대를 균등 분배 자동 배치한다.

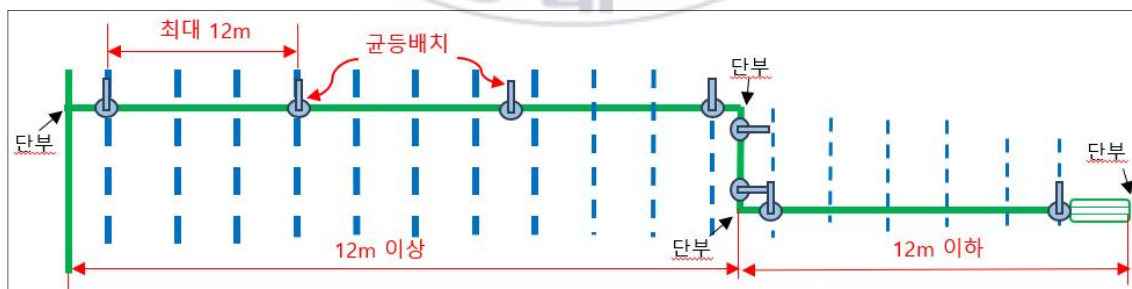


그림 3-14. 횡방향 버팀대 균등 추가 설치

일곱째, 단부로부터 0.6 m이내 자동 배치된 횡방향 버팀대는 인접한 직선배관의 종방향 버팀대 역할을 동시에 하는 ‘횡-종 동시역할 버팀대’

로 변환 된다. 영향구역도 횡방향, 종방향 별도로 생기고, 내진 계산서도 횡방향과 종방향이 별도로 생성된다.

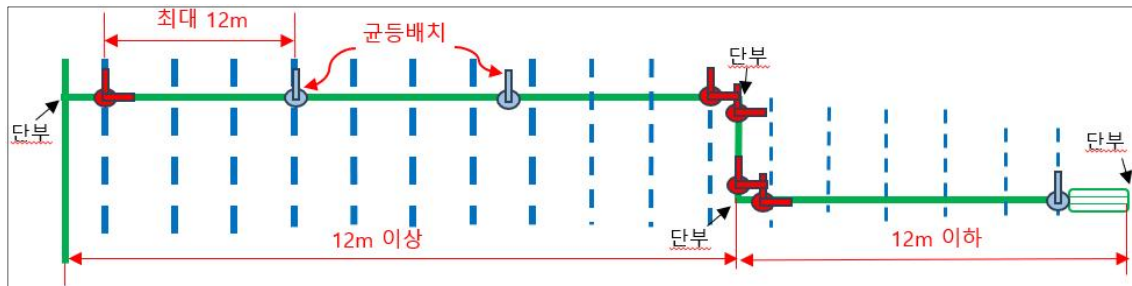


그림 3-15. 횡-종 동시역할 버팀대 변환

여덟째, 직선배관에서 ‘횡-종 동시역할 버팀대’로 종방향 버팀대의 영향구역으로 커버되지 않는 구간은 주배관과 교차배관만 하중계산을 한 후, 종방향 버팀대를 균등 분배 자동 배치한다.

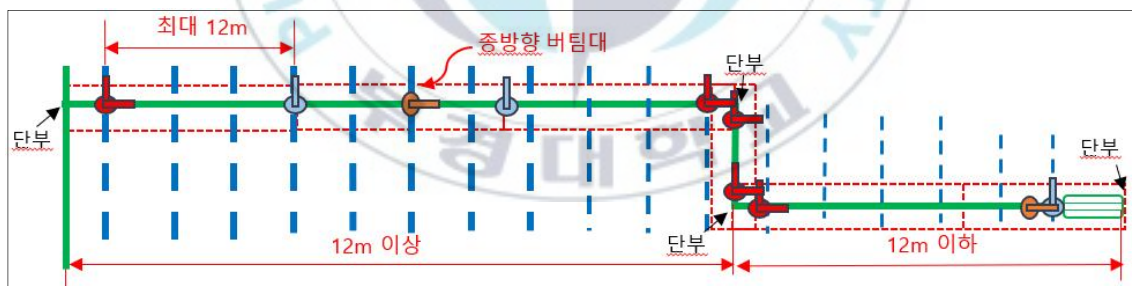


그림 3-16. 종방향 버팀대 추가 설치

응용해서, 근접 거리에 짧은 배관이 여러 번 있는 경우 버팀대 설계 순서를 정리하면 다음과 같다.

첫째, 짧은 배관 전체가 종-횡에서 3.7 m 이내라면 전체를 옹셋으로

정의한다.

둘째, 읍셋을 포함한 하나의 수평직선배관에 횡방향 버팀대 2개를 설치한다.

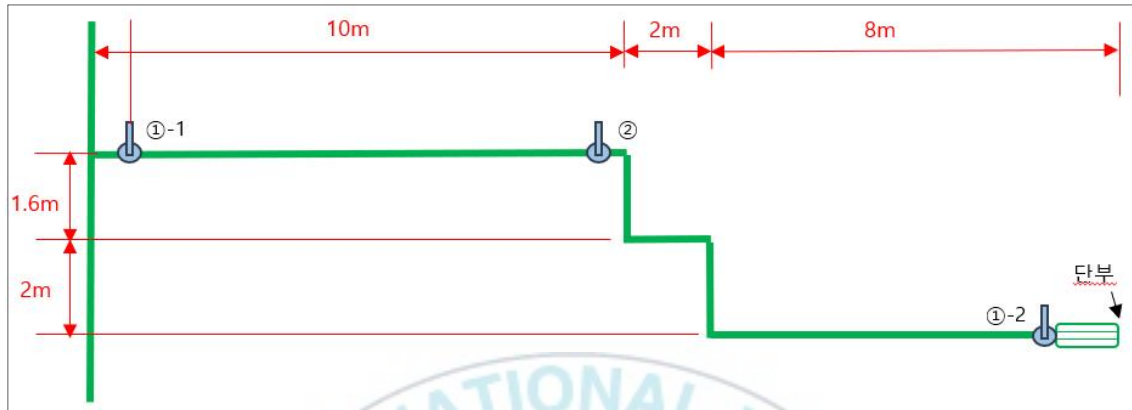


그림 3-17. 짧은 배관 여러 번인 경우 횡방향 버팀대 배치

셋째, 하중조건, 거리조건 등을 초과하는 경우, 횡방향 버팀대를 균등 추가 배치한다.

넷째, 횡방향 버팀대가 0.6 m이내 인접배관에 설치된 경우, 종방향 버팀대 역할을 동시에 수행한다.

다섯째, 하중조건, 거리조건 등을 초과하는 경우, 종방향 버팀대를 균등 추가 배치한다.

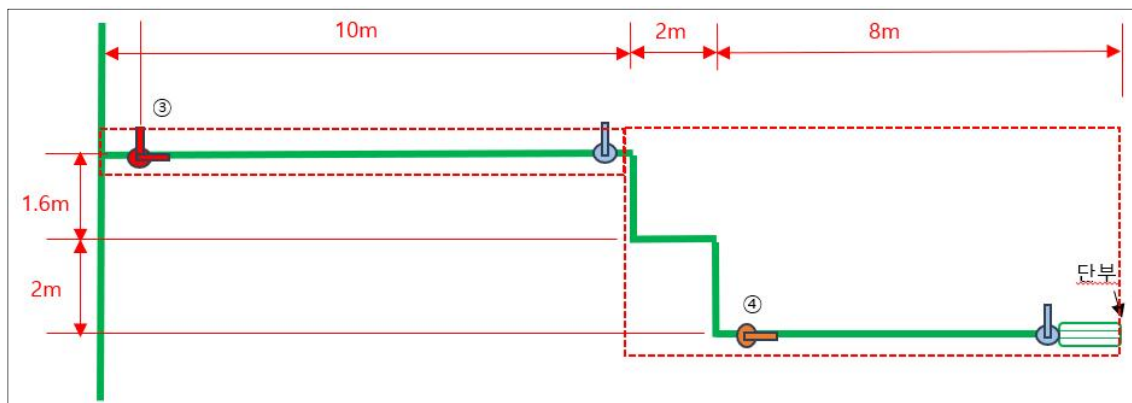


그림 3-18. 짧은 배관 여러 번인 경우 종방향 버팀대 배치

3.3 계산서 출력 및 물량자동 산출 기능

소프트웨어의 또 다른 핵심기능은 CAD에서 버팀대별 계산서를 바로 출력할 수 있는 기능이다. 수동 설계 시에는 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.

■ 버팀대 수량표

관 경	25A	32A	40A	50A	65A	80A	100A	125A	150A	200A	계
입상관(횡형)	-	-	-	4	-	-	4	-	-	-	8

■ 지진분리이음 수량표

관 경	25A	32A	40A	50A	65A	80A	100A	125A	150A	200A	계
지진분리이음	-	-	-	-	-	9	10	-	-	-	19

그림 3-19. 소프트웨어의 자동출력 수량표 예시

Seismic Bracing Calculation						
1. 현장정보						
공사명 :	3차 콘테스트			시 공 사 :		
날짜 :	2019-03-21			설 계 사 :		
배관 용도 :	스프링클러			도면정보 :		
적용 위치 :	B1			영향구역 :	B1-SP-종01	
2. 지지대 정보				3. 설치 상세도		
버팀대 종류 :	중방향 흔들림 방지 버팀대			* 중방향 흔들림 방지 버팀대 (전정부착) 		
버팀대 최대 설치 간격(m) :	24.00					
지지대 최대 길이(mm) :	1093					
지지대 규격 :	KSD3507 25A					
버팀대 설치각도 :	45°~50°					
최소회전반경(mm) :	10.93					
세장비 :	100					
최대 수평 하중(ASD, kgf) :	1624					
지진계수(Cp) :	0.5					
4. 고정부 정보				콘크리트-중방향 흔들림 방지 버팀대-NFPA B Type		
구조부 :	콘크리트 천장			5. 흔들림방지버팀대 구성품 정보		
최대 허용하중(ASD, kgf) :	791			FIG. Number	최대허용하중(ASD, kgf)	
앵커직경(mm) :	12			FIG 001 :	N/A	
근입길이(mm) :	70			FIG 002 :	647	
타입 :	0670-H120			FIG 003 :	647	
부착면 방향 :	NFPA B Type			FIG 004 :	647	
6. 버팀대 영향구역 내에 작용하는 수평력 계산(Zone of Influence)						
	배관	관경	규격	길이(m)	단위하중(kg/m)	하중합계(kgf)
1	교차배관	80	KSD 3507	10.61	13.643	72.36
2	교차배관	65	KSD 3507	7.80	10.079	39.31
3	교차배관	50	KSD 3507	3.02	7.343	11.10
4	-	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-	-
6	-	-	-	-	-	-
7	-	-	-	-	-	-
8	-	-	-	-	-	-
총 수평 하중(Fpw,kgf)						122.76
가동중량을 고려한 수평력의 총합(Fpw x 1.15)					1.15%	141.18
7. 계산결과						
버팀대 영향구역에 작용하는 배관의 수평 하중(ASD, kgf)					141.18	
지지대의 최대 허용 하중(ASD, kgf)					1624>141.18	만족
고정부 최대 허용하중(ASD, kgf)					791>141.18	만족
흔들림방지버팀대 구성품의 최대 허용 하중의 최소값(ASD, kgf)					647>141.18	만족
결론					만족	

그림 3-20. 소프트웨어의 흔들림방지버팀대 내진계산서 예시

3.4 그 외 기능

소프트웨어는 버팀대 자동배치, 계산서 출력, 물량 산출 외에 치수입력, 치수선 정렬, 범례기호, 상세도 기능 등도 제공하여 설계의 편리성을 높였다.

■ 범례

기 호	명 칭	기 호	명 칭
	횡방향 흔들림 방지 버팀대		영향구역 (ZONE)
	종방향 흔들림 방지 버팀대		가시관 흔들림 고정대
	4방향 버팀대 (횡+횡)		지진분리이음
	4방향 버팀대 (횡+중)		추가물량(분기T, Flexible Hose)

그림 3-21. 소프트웨어의 범례 예시

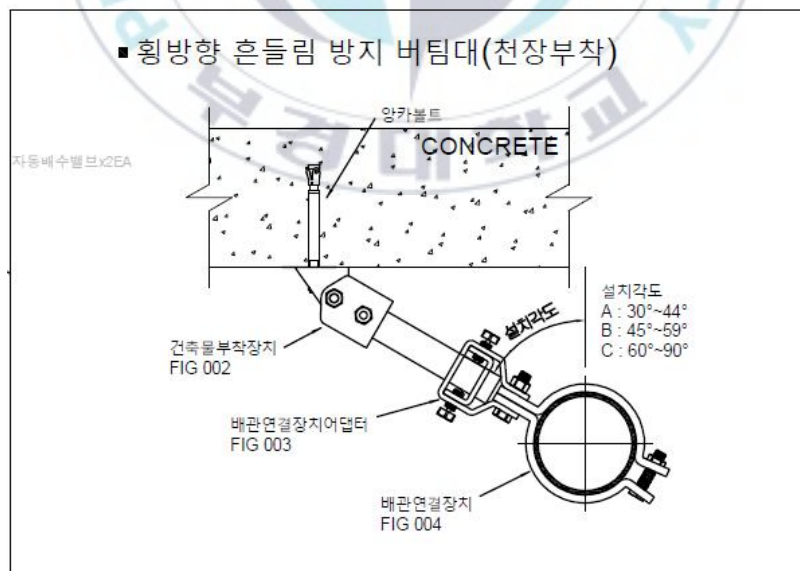


그림 3-22. 소프트웨어의 횡방향 버팀대 상세도 예시

제 4 장. 자동설계와 수동설계의 비교

4.1 대상 프로젝트

본 연구에서는 소방시설 내진설계의 효율성과 신뢰성을 입증하기 위해 자체 개발한 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 내진설계하는 과정을 ‘S/W설계’ 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, ‘A’, ‘B’, ‘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 ‘C’는 수동설계 경험은 적었고 소프트웨어를 이용한 자동설계 경력을 8개월 정도가지고 있었고, ‘D’는 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

4.2.1 설계 소요시간

그림 4-1 부터 그림 4-11 까지는 설계자 'A'의 S/W를 이용한 설계안이다. 펌프실을 제외하면 'A'와 'B', 'C'의 S/W를 이용한 설계 결과가 같으므로 설계자 'A'의 설계 결과만 대표로 게재한다.

그리고 그림 4-12 부터 그림 4-18 은 설계자 'A', 'B', 'C', 'D'의 펌프실 S/W설계 및 수동설계안이다('D'는 수동설계만 참석).

실험 결과, 4명의 수동설계 평균소요시간은 243분이고, 자동설계 평균 소요시간 86분으로 약 3배의 차이가 나는 것을 확인하였다. 자동설계는 별도의 배관 작도가 필요하다는 점을 감안하고 수동설계는 계산서 작업 시간이 많이 걸린다는 점을 감안하면, 아파트와 같이 설계 대상 건축물이 커질수록 자동설계와 수동설계의 속도 차는 더 크게 날 것으로 판단된다.

또 'C'를 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.

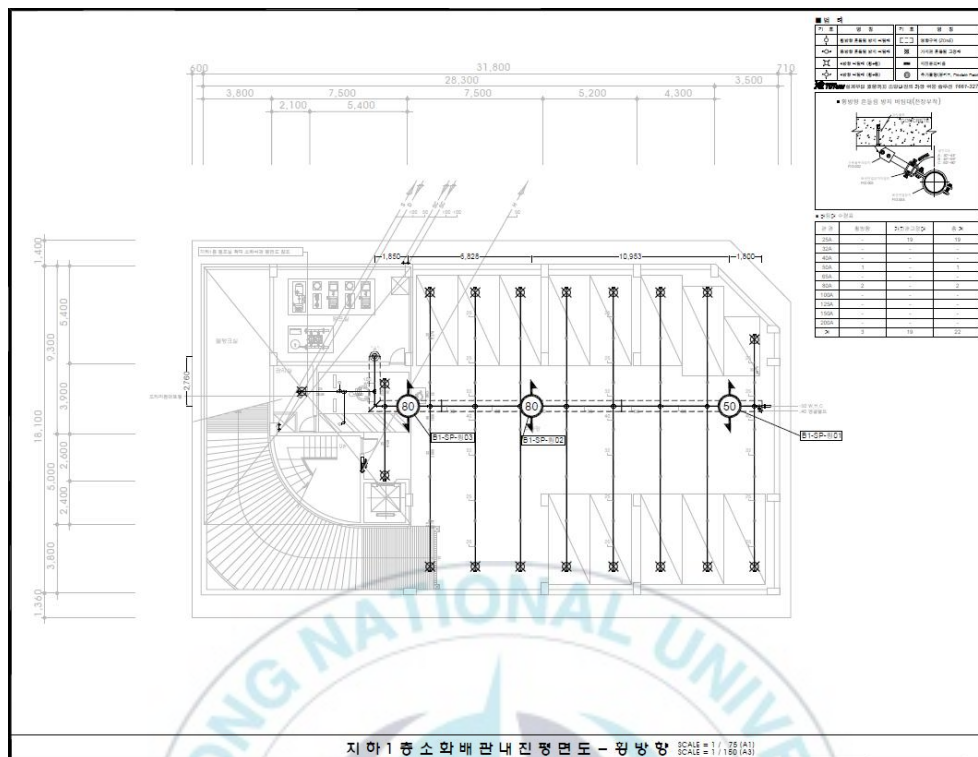


그림 4-3. 설계자 A의 지하1층 횡방향 버팀대 설계도

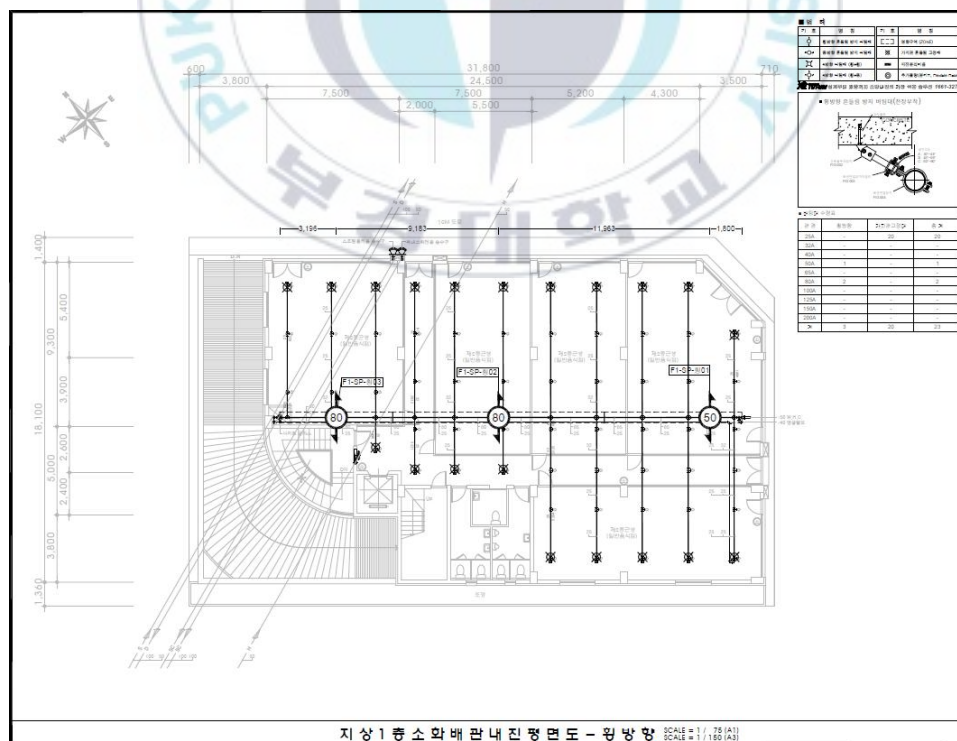


그림 4-4. 설계자 A의 지상1층 횡방향 버팀대 설계도

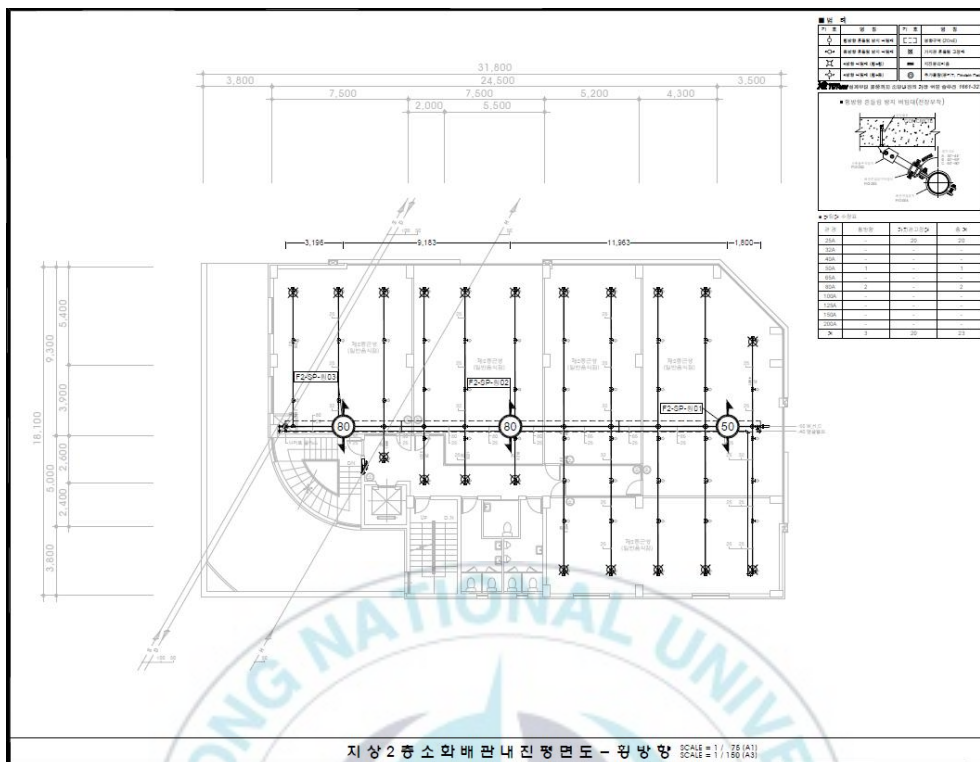


그림 4-5. 설계자 A의 지상2층 횡방향 버팀대 설계도

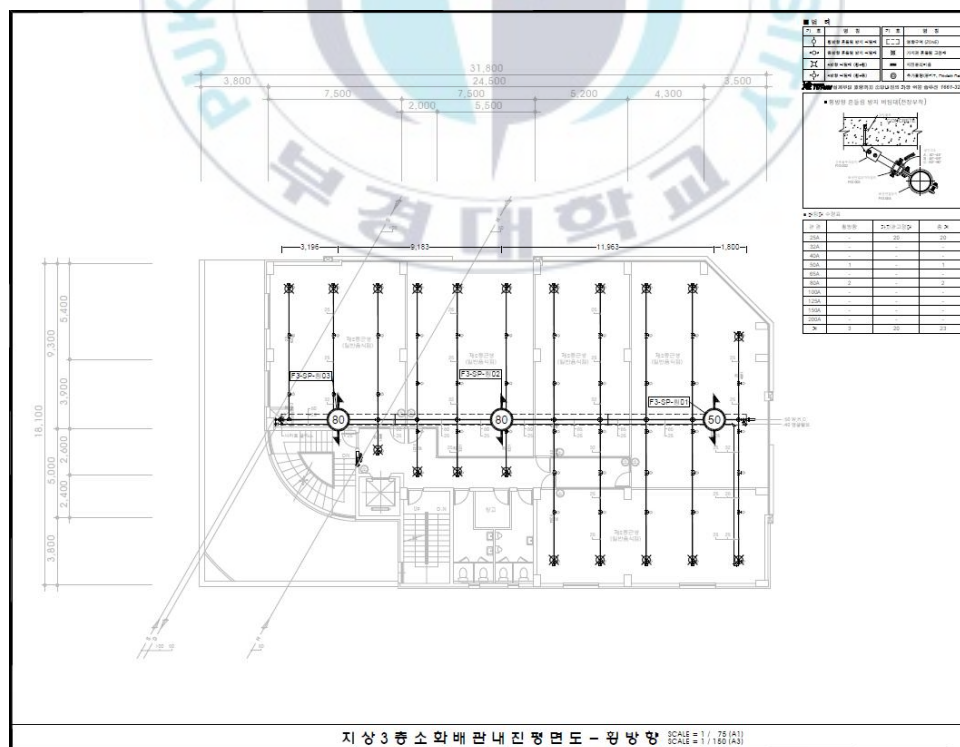


그림 4-6. 설계자 A의 지상3층 횡방향 버팀대 설계도

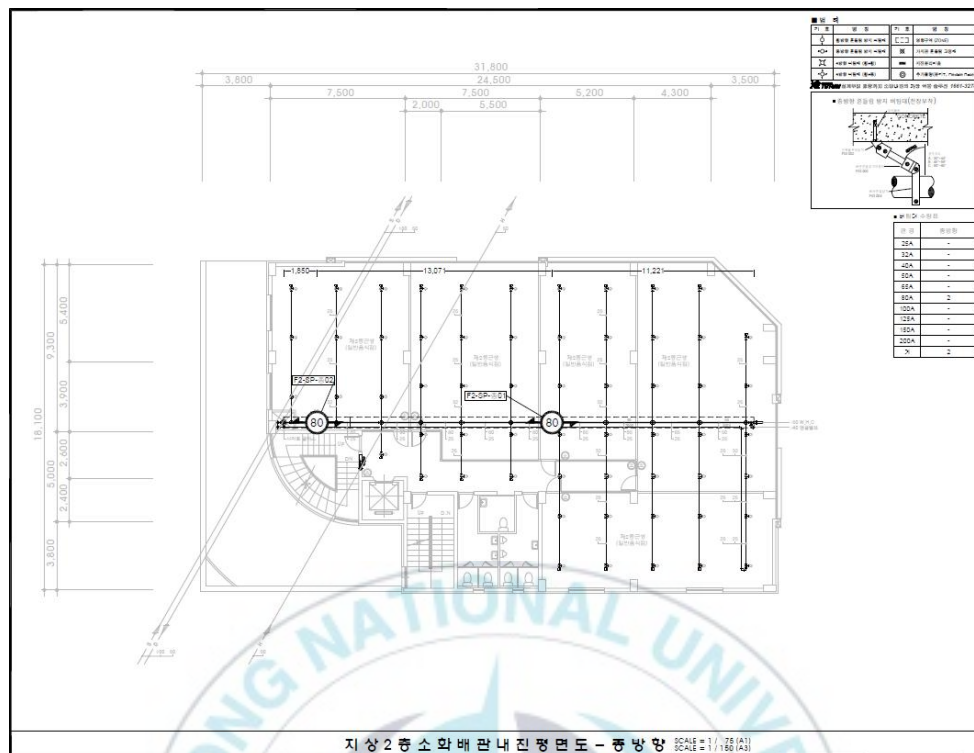


그림 4-9. 설계자 A의 지상2층 종방향 버팀대 설계도

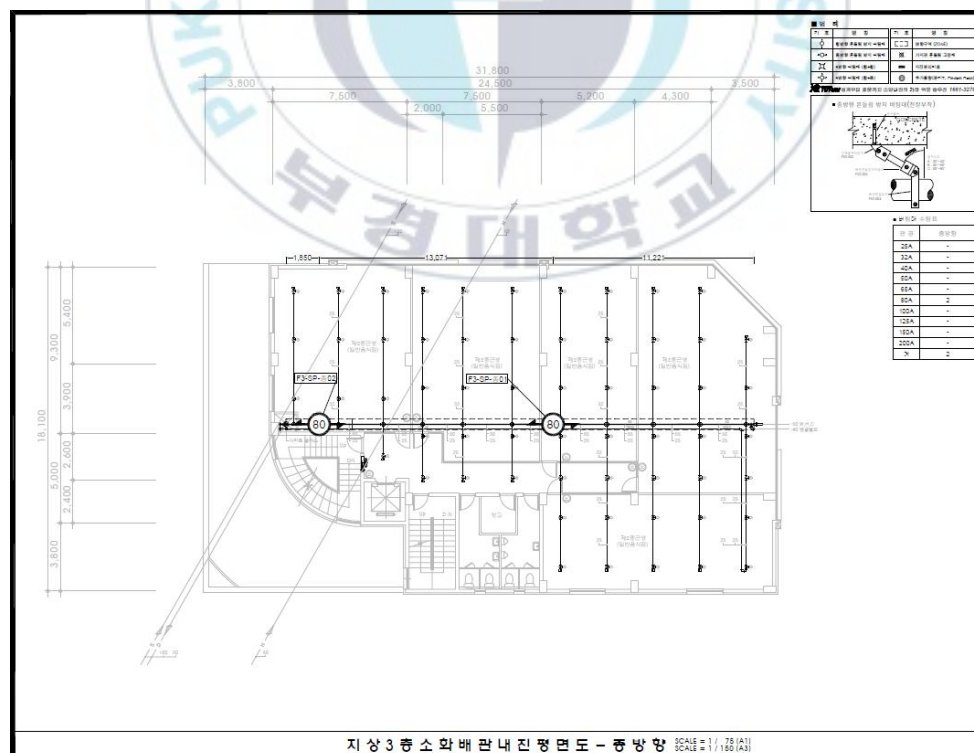


그림 4-10. 설계자 A의 지상3층 종방향 버팀대 설계도

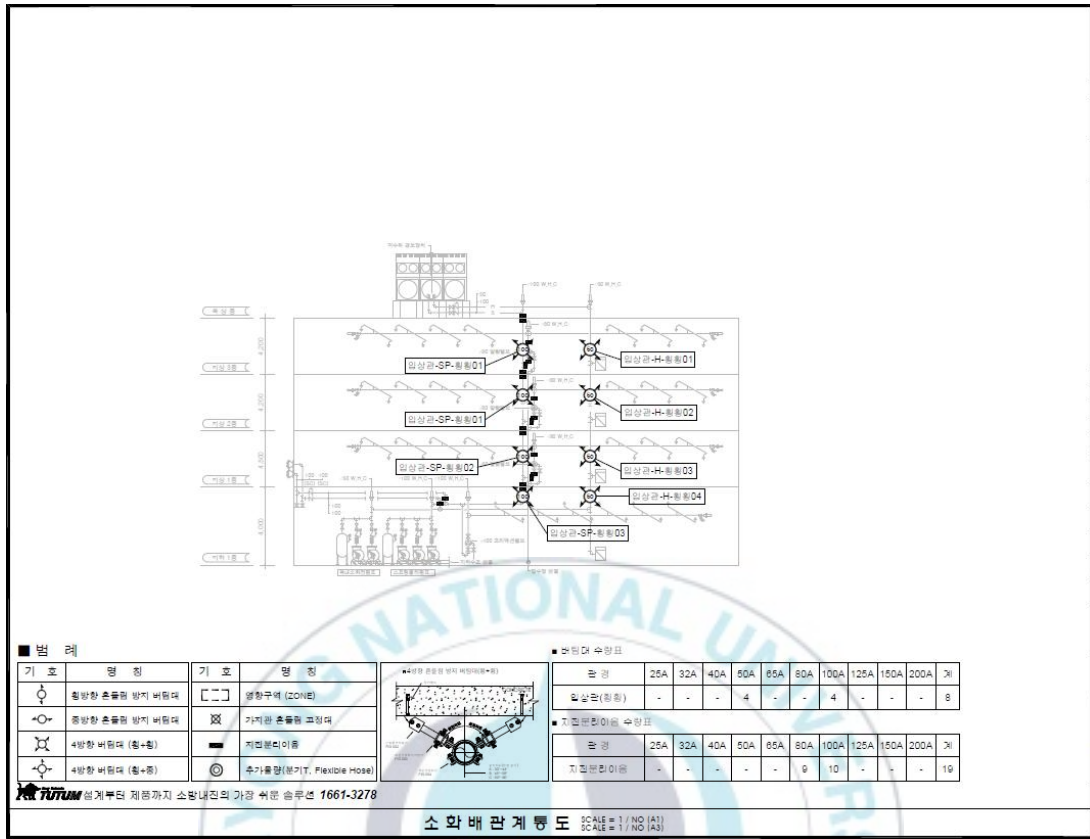


그림 4-11. 설계자 A의 입상관 4방향버팀대 설계도

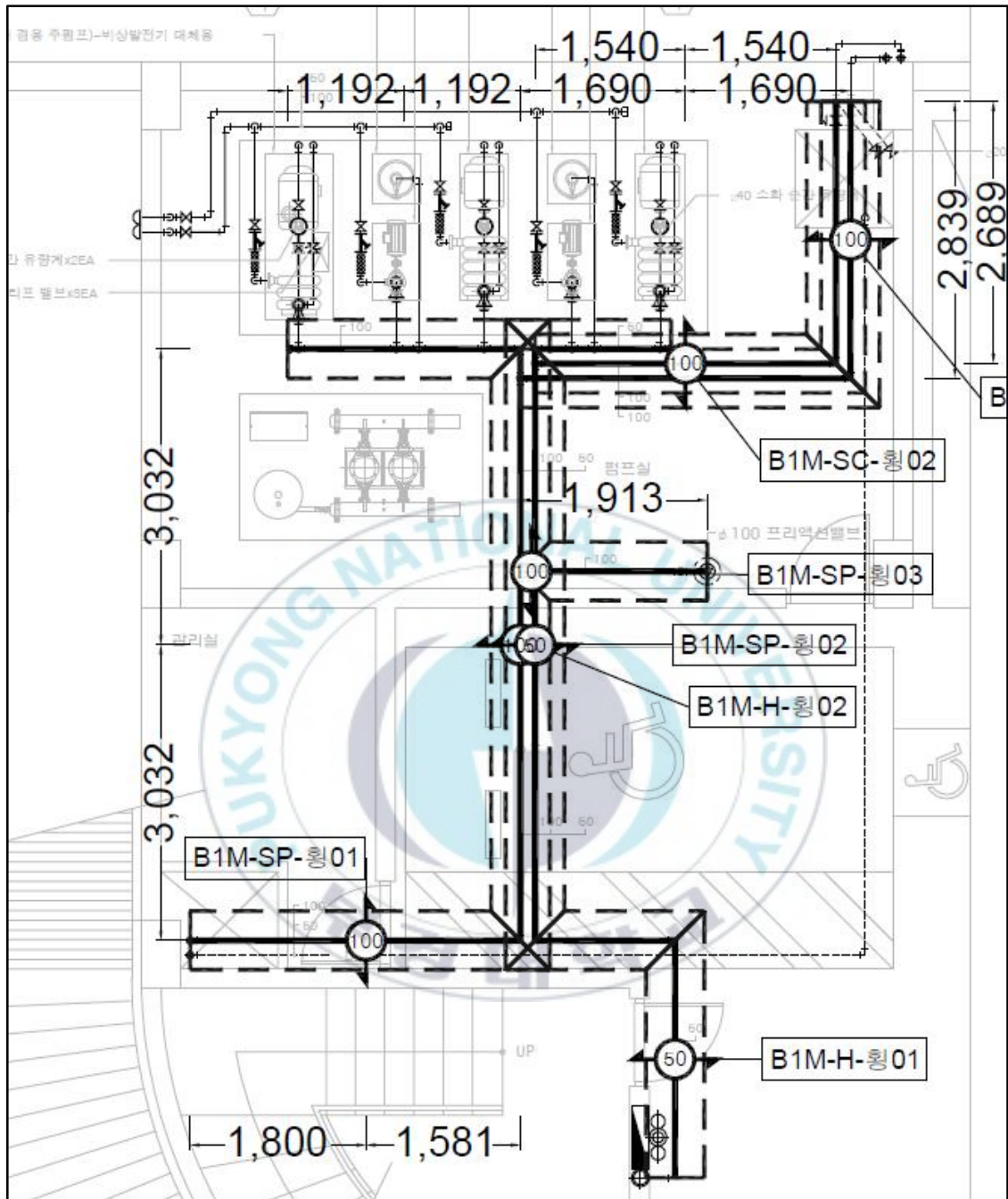


그림 4-12. 설계자 A의 펌프실 S/W설계

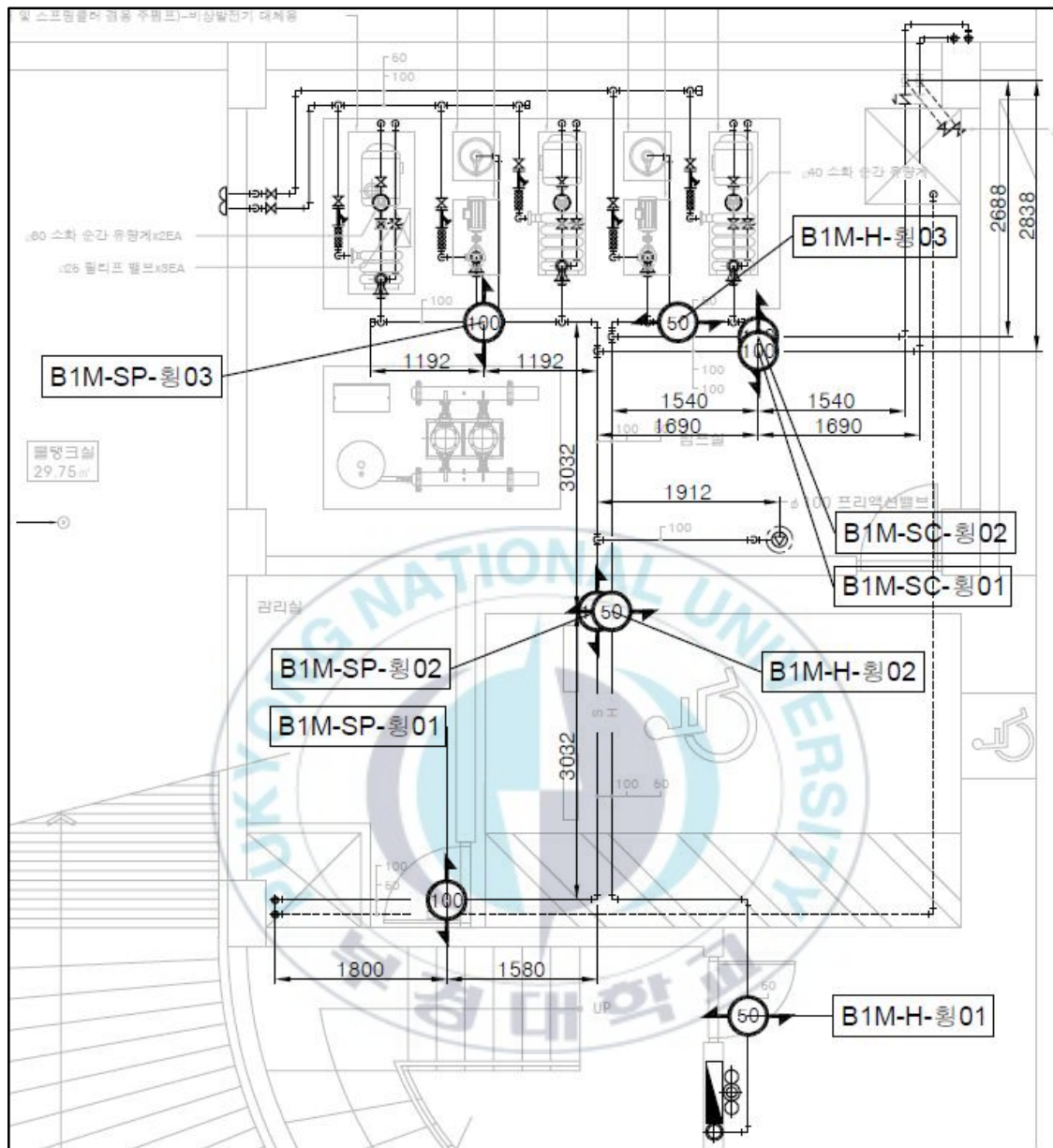


그림 4-13. 설계자 A의 펌프실 수동설계

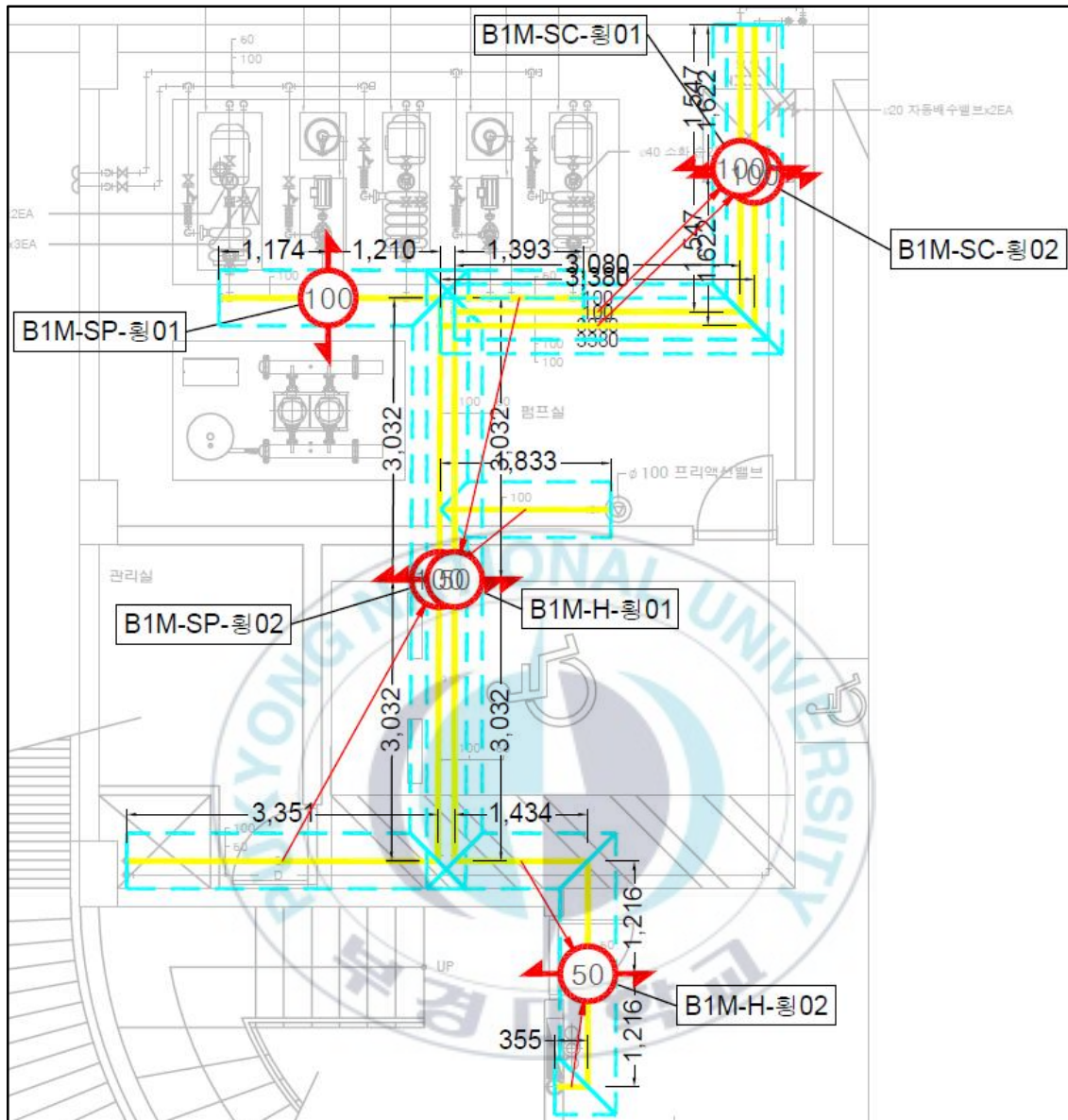


그림 4-14. 설계자 B의 펌프실 S/W설계

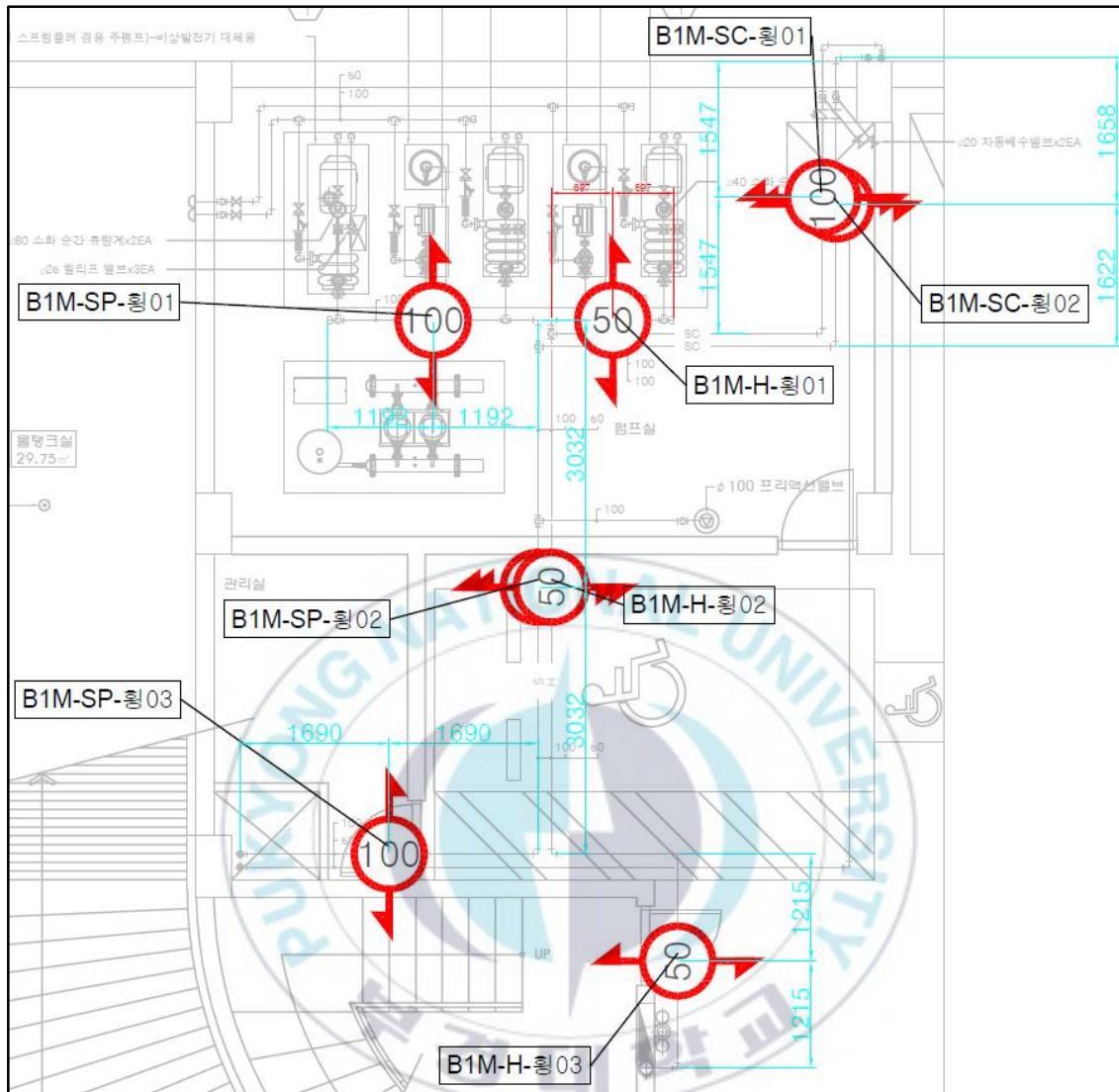
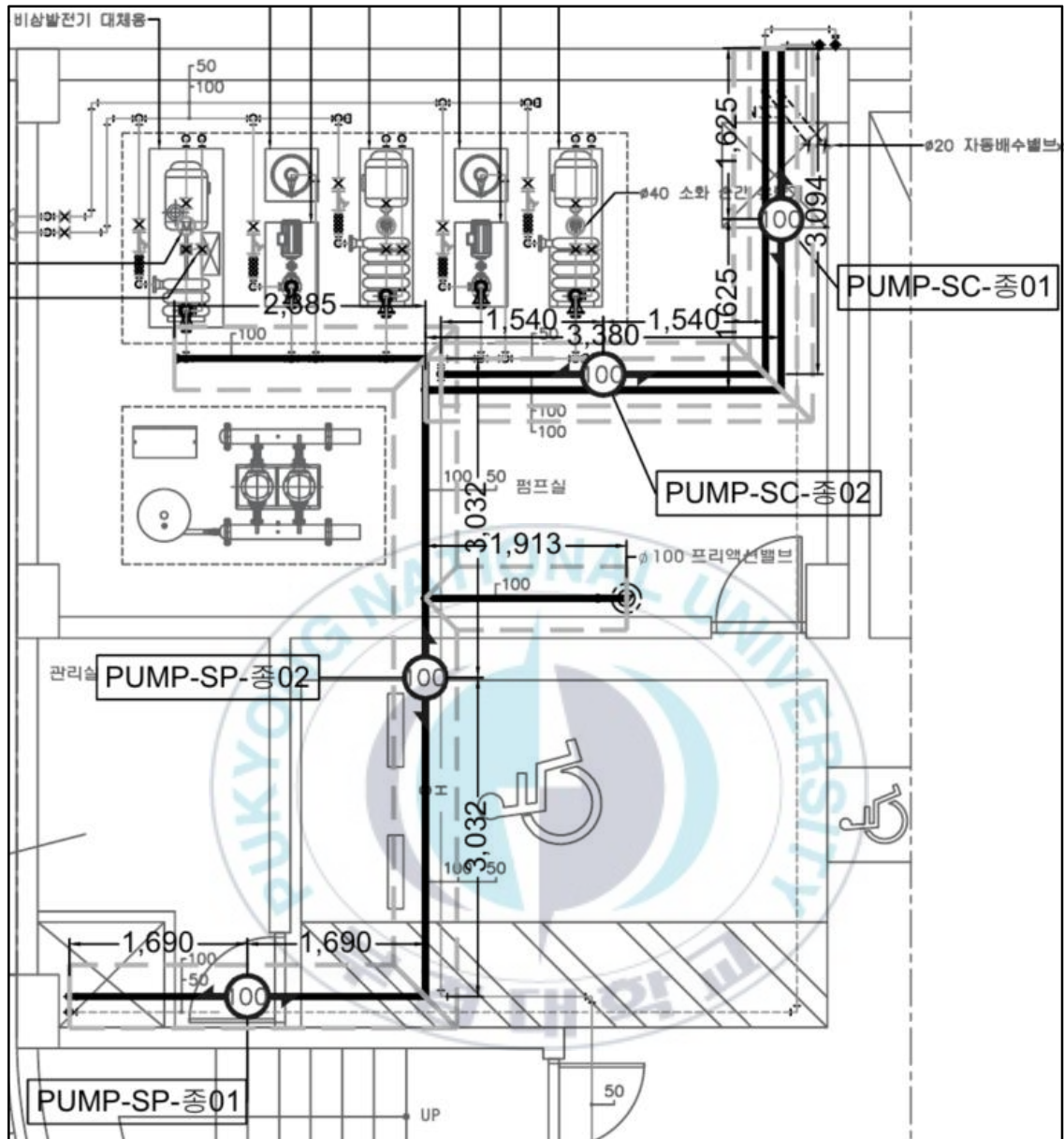


그림 4-15. 설계자 B의 펌프실 수동설계



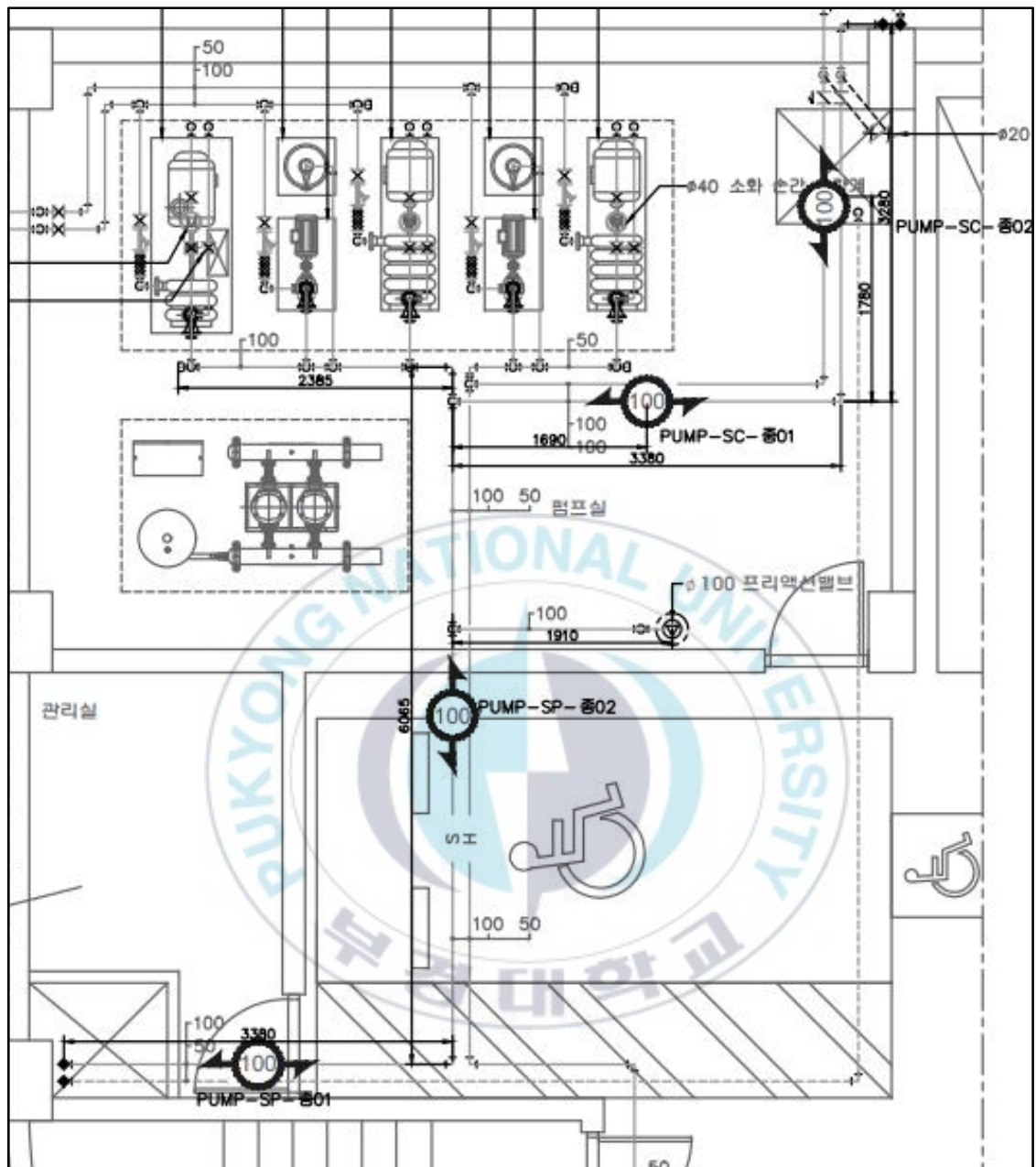


그림 4-17. 설계자 C의 펌프실 수동설계

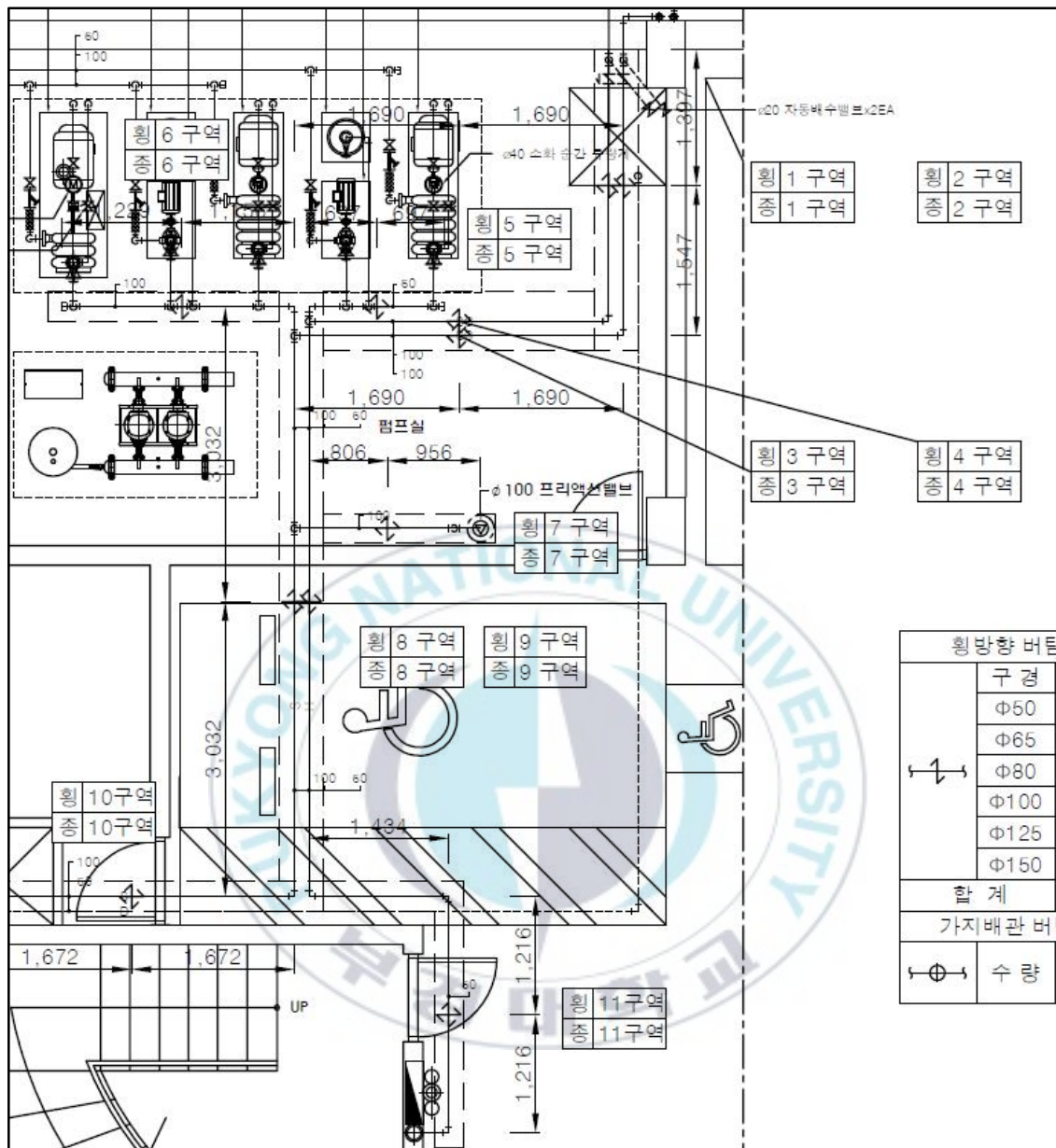


그림 4-18. 설계자 D의 펌프실 수동설계

4.2.2 버팀대 설계 개수

각 설계자들의 버팀대 설계수량을 측정하였다. 이 때, 4방향 버팀대는 2개로 계산하였다. 먼저, 'D'의 수동설계 시 산출된 버팀대 총 수는 55개로 가장 많았고, 'A', 'B', 'C' 3인의 S/W설계에서는 평균 42개로 'D'의 수동설계와 비교할 때, 25% 가량 수량이 적었다. 특히 3인의 자동설계 버팀대 개수는 입상관과 펌프실을 제외하고 평면 횡방향과 종방향 수량에서는 동일했는데, 이는 프로그램을 이용한 특징이라고 하겠다. 반면 수동설계를 했던 'D'는 지하 펌프실 설계에서 'A', 'B', 'C'의 S/W 자동설계보다 약 2배이상 많은 버팀대를 사용하였는데, 이는 일반적으로 수동설계시 기준보다 많은 수의 설계를 하는 '보수적 접근'을 하고 있음을 보여주는 예라 할 수 있다.

국내 소방기준과 NFPA13-16 기준이 내진설계에서 상당히 보수적 방법을 기준으로 채택했다는 점을 감안한다면 버팀대를 기준보다 많이 설계하는 것은 과다 설계가 될 수도 있기에, 최적 설계를 위해서는 국내 소방기준을 모두 만족하는 설계 자동화 소프트웨어를 이용할 필요가 있다.

표 4-1. 실험 결과 비교

설계자		'A'		'B'		'C'		'D'
설계방법		S/W이용	수동	S/W이용	수동	S/W이용	수동	수동
설계시간		98분	197분	65분	185분	95분	440분	153분
입상관	4방향	8	8	5	5	5	4	6
PT	횡방향	5	5	6	8	4	4	11
	종방향	5	5	6	8	4	4	11
B1	횡방향	3	3	3	3	3	3	4
	종방향	2	2	2	2	2	1	2
1F	횡방향	3	3	3	3	3	3	3
	종방향	2	2	2	2	2	2	2
2F	횡방향	3	3	3	3	3	3	3
	종방향	2	2	2	2	2	1	2
3F	횡방향	3	3	3	3	3	3	3
	종방향	2	2	2	2	2	1	2
합계	횡방향	17	17	18	20	16	16	24
	종방향	13	13	14	16	12	9	19
	4방향	8	8	5	5	5	4	6
	합계	46	46	42	46	38	33	55

1) 붉은 글씨가 기준에 맞는 최소 수량

4.2.3 버팀대 설계 위치

본 연구의 실험 대상은 지하 1층부터 지상 3층까지 비교적 규모가 작고 단조로운 형태의 소화 배관 시설이므로 설계자별, 자동설계와 수동설계에서 기준을 크게 벗어나지는 않았다. 특히, 펌프실을 제외한 지하 1층부터 지상 3층까지 설계자 'A'의 S/W설계와 수동설계, 'B'의 S/W설계와 수동설계, 'C'의 S/W설계는 수량이 모두 일치했고 위치도 거의 일치했다.

그러나 입상관과 펌프실에서는 설계 개수의 차이가 있었다. 우선, 짧은 배관으로 연결된 펌프실의 경우, 수동설계 시 상대적으로 2배나 많은 버팀대를 설계한 것을 확인할 수 있었다. 'A'와 'C'는 S/W설계와 수동설계의 버팀대 수가 같았지만, 'B' 설계자의 경우 자동설계에서는 횡방향 6개, 종방향 6개를 설계한 반면, 수동설계에서는 횡방향 8개, 종방향 8개를 설계했다. 버팀대가 추가 설치된 곳은 펌프 토출부의 수평배관 한 부분과 3.7m 단척구간 한 부분인데, 설계자 'B'는 '수동설계시 아무래도 보수적으로 설계를 하기 때문'이라고 스스로 평가하였다. 또 수동설계에만 참여한 'D'는 횡방향 11개, 종방향 11개로 가장 많았는데, '기준이 모호한 부분이 아직 많아서 보수적으로 설계한다'고 답변했다.

또, 입상관은 비축적(Non-scale) 부분이라 S/W 자동설계가 지원되지 않는데, 예상보다 설계자별로 차이가 많았다. 설계 기준에 가장 적합한 설계를 한 설계자는 'D'이고, 'A', 'B', 'C' 모두 설계에서 누락 또는 과설계를 했다.

4.2.4 설계 자동화 프로그램 사용 결과 간 비교

한편, 소프트웨어를 활용한 설계자 3인의 S/W설계 결과도 차이가 있음이 확인되었다. 비교적 단조로운 지하1층부터 지상3층에서는 차이가 없었지만, 공간이 좁은 펌프실의 경우 3명의 설계안이 모두 달랐는데, 이유는 ‘A’와 ‘C’ 모두 배관도면을 정확히 파악하지 못한 이유에서 발생한 오류였음을 확인했다.

그리고 비축적인 입상관은 반자동설계이므로 설계자의 판단에 따라 설계 방법이 달라지므로 S/W의 로직과 알고리즘과는 무관한 것으로 판단한다.



제 5 장. 결 론

2016년 1월부터 소방시설법의 개정에 따라 소방시설의 내진설계 기준이 의무화되었음에도 불구하고 내진설계에 대한 학습이나 배경지식의 부족 등으로 현재까지 일부 제조사 또는 유통 업체가 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 필연적 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 자동 기입, 물량 자동 산출, 도면 수정 툴, 계산서 출력 기능을 제공한다. 소프트웨어의 사용 여부에 따른 설계자의 설계 소요 시간과 버팀대 물량산출 결과를 비교한 결과 자동화 소프트웨어를 사용하면 기존 수동 설계 방식에 비해 3배 이상 설계시간을 단축할 수 있고, 버팀대 물량 또한 사양 기준을 충분히 만족시키는 최적 설계를 할 수 있었다.

소방시설 내진설계 자동화 소프트웨어의 개발과 보급은 현실화된 BIM 설계와 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.

후 기

이 논문은 2019년 10월 한국화재소방학회 투고 원고⁴⁰⁾를 수정, 보완하여 작성되었음



40) 오창수, 최준호, 「TUTUM Easy-seismic: 소방시설 내진설계 자동화 소프트웨어 개발」, 한국화재소방학회, Vol. 33, No. 5, 2019, pp.140-148

참 고 문 헌 (References)

1. 김용섭, “우리나라 지진재해 대책법제의 현황과 개선과제”, (사)한국행정법학회.한국법제연구원.사법정책연구원 2016년 공동학술대회, p. 1 (2016).
2. 국민안전처, “9.12지진백서”, 재난관리실, p. 20 (2017).
3. 이영규, “지진화재 리스크 및 경감 대책 방향”, 한국화재보험협회 웹진 제64호 (2016).
4. 김용섭, “우리나라 지진재해 대책법제의 현황과 개선과제”, (사)한국행정법학회.한국법제연구원.사법정책연구원 2016년 공동학술대회, pp. 17-19 (2016).
5. 김근영, “우리나라의 지진방재 정책과 대응방향”, 안전충남 Issue Brief Vol. 2, pp. 7-8 (2016).
6. 국민안전처, “2016년도 소방시설 내진설계 기준 해설”, p. 5 (2016).
7. 황정태, 이종근, 정규정, 권혁기, “상수도 내진성능평가 S/W(ASAD-W) 개발 소개”, KISTEC(한국시설안전공단), Vol. 48, pp. 123-135 (2016).
8. 매일경제, “LH, 국내 최초 ‘소화배관 수리계산프로그램’ 개발”, 2019.03.11., <https://www.mk.co.kr/news/business/view/2019/03/144156/>
9. 국민안전처, “내진설계기준 공통적용사항”, (2017).
10. 교육부, “학교시설의 내진설계 기준”, (2018).
11. 산업통상자원부, “KGS GC203 : 2018 가스시설 및 지상 가스배관 내진설계 기준”, (2018).
12. 국토교통부, “KDS 41 17 00 : 2019 건축물 내진설계기준”, (2019).

13. 국민안전처, “2016년도 소방시설 내진설계 기준 해설”, pp. 16-18 (2016).
14. National Fire Protection Association, “NFPA 13 Standard for the Installation of Sprinkler Systems”, p. 353 (2016).
15. 이재오, 김홍경, 조순봉, “소화설비 배관의 성능위주 내진설계 방법에 관한 연구”, 한국화재소방학회, Vol. 31, No. 4, pp. 86-94 (2017).
16. 국토교통부 기술정책과, “건설 생산성 혁신 및 안전성 강화를 위한 스마트 건설기술 로드맵” (2018).
17. 소방청고시 제2017-1호, 「옥내소화전설비의 화재안전기준(NFSC 102)」, 2017.7.26. 시행
18. 소방청고시 제2017-1호, 「스프링클러설비의 화재안전기준(NFSC 103)」, 2017.7.26. 시행
19. 소방청고시 제2017-1호, 「물분무소화설비의 화재안전기준(NFSC 104)」, 2017.26 시행
20. 소방청고시 제2019-37호, 「미분무소화설비의 화재안전기준(NFSC 104A)」, 2019.5.24. 시행
21. 소방청고시 제2019-47호, 「포소화설비의 화재안전기준(NFSC 105)」, 2019.8.13. 시행
22. 소방청고시 제2019-46호, 「이산화탄소소화설비의 화재안전기준(NFSC 106)」, 2019.8.13. 시행
23. 소방청고시 제2016-93호, 「할로젠화합물소화설비의 화재안전기준(NFSC 107)」, 2016.7.13. 시행
24. 소방청고시 제2018-17호, 「할로젠화합물 및 불활성기체소화설비의 화재안전기준(NFSC 107A)」, 2018.11.19. 시행
25. 소방청고시 제2017-1호, 「분말소화설비의 화재안전기준(NFSC 10

- 8)」, 2017.7.26. 시행
26. 소방청고시 제2017-1호, 「소방용합성수지배관의 성능인증 및 제품
검사의 기술기준」, 2017.7.26. 시행
27. National Fire Protection Association, “NFPA 13 Standard for the
Installation of Sprinkler Systems”, p. 32 (2016).
28. 남상욱, “소방시설의 설계 및 시공” 성안당, p. 182 (2017).
29. 산업표준심의회, 「KS D 3507:2019 배관용 탄소 강관」, 2019, p.2
30. 산업표준심의회, 「KS D 3562:2019 압력 배관용 탄소 강관」, 2019,
p.3
31. 산업표준심의회, 「KS D 3576:2017 배관용 스테인리스 강관」, 2017,
p.5
32. 산업표준심의회, 「KS D 3595:2018 일반 배관용 스테인리스 강관」,
2018
33. 국가기술표준원, 「KS M 3414:2015, 냉·온수 설비용 플라스틱 배관
계-염소화 폴리염화비닐(PVC-C)관」, 2015, p.9
34. National Fire Protection Association, “NFPA 13 Standard for the
Installation of Sprinkler Systems”, p. 116 (2016).
35. 산업표준심의회, 「KS D 3507:2019 배관용 탄소 강관」, 2019, p.4
36. National Fire Protection Association, “NFPA 13 Standard for the
Installation of Sprinkler Systems”, p. 115 (2016).
37. 국토교통부고시 제2019-117호, “건축구조기준”, p. 303, 2019. 3. 14.
일부개정
38. 국토교통부, “KDS 14 20 54: 2016 콘크리트 앵커 설계 기준”, p. 15
(2016).
39. National Fire Protection Association, “NFPA 13 Standard for the

Installation of Sprinkler Systems”, pp. 366-367 (2016).

40. 오창수, 최준호, 「TUTUM Easy-seismic: 소방시설 내진설계 자동화 소프트웨어 개발」, 한국화재소방학회, Vol. 33, No. 5, 2019, pp.140-148



Development of a Seismic Design Automation Software for Building Fire Protection System

Oh, Chang-Soo

Department of Fire Protection Engineering, The Graduate School of Industry,
Pukyong National University

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.