

FTA기법을 이용한 교육시설 누수 하자 유형 분석 및 주요 원인 관리방안

정대교¹ · 박현정² · 이동엽³ · 김대영^{4*}

¹부산대학교 건축공학과 박사과정 · ²신라대학교 건축공학과 교수 · ³부산대학교 건축공학과 학사과정 · ⁴부산대학교 건축공학과 교수

Analyzing Leakage Defect Types in Educational Facilities and Deriving Key Management Strategies Using the FTA Method

Jung, Daegyo¹, Park, Hyunjung², Lee, Dongyeop³, Kim, Daeyoung^{4*}

¹Graduate Student, Department of Architectural Engineering, Pusan National University

²Professor, Department of Architectural Engineering, Silla University

³Undergraduate Student, Department of Architectural Engineering, Pusan National University

⁴Professor, Department of Architectural Engineering, Pusan National University

Abstract : In recent years, the construction industry has diligently focused on improving the quality and safety of buildings through smart technologies. However, there is a growing trend of leakage defects, especially in educational facilities, due to aging. The objective of this study is to analyze the causes of these defects in educational environments using the Fault Tree Analysis (FTA) technique and propose preventive measures based on the findings. The FTA technique is explained through a review of domestic literature, and data from the Educational Support Center from 2019 to 2021 are examined to identify major defects. The construction of the Fault Tree (FT) for leakage defects resulted in the identification of 12 basic events. Subsequently, a comprehensive understanding of the causes of leakage is achieved through FTA analysis, leading to the identification of the primary causes of defects. Leakage defects accounted for 46.8% of all reported issues in educational facilities, with roof (ceiling) leaks being the most common problem. FTA analysis revealed that poor substrate treatment was the main cause of roof (ceiling) leaks, which could be attributed to cracks in the waterproof layer, joint cracks, and microvoids in the waterproof layer. The primary achievement of this research is to provide essential data for preventing leakage defects in educational facilities and developing preventive measures through the FTA technique. These results are expected to significantly enhance the management of educational facilities and the prevention of leakage issues.

Keywords : FTA(Fault Tree Analysis), Educational Facilities, Leakage Defects, Defect Prevention

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

최근 건설 산업은 건축물의 품질 향상과 근로자 및 시민의 안전확보를 위해 ICT·드론 등 첨단기술을 사용하는 스마트 건설 산업 육성에 힘을 쓰고 있다(Allied Market Research, 2020). 하지만 첨단기술을 적용한 스마트 건설 공법에도 불구하고 하자 발생은 증가하는 추세이다. 오늘날 교육 시설은 환경개선사업을 진행하며 노후화된 초·중·고등

학교에 발생한 하자에 대해 유지보수공사 등 지속적인 시설의 개선을 노력하고 있지만, 이는 사후관리적 처리이며 하자에 대한 사전적 예방 대책은 부족한 상황이다. 공동주택의 경우 하자 유형별 중점관리대상 및 저감 대책 등이 다양하게 제시되고 있지만, 교육 시설의 경우 중점관리대상 및 저감 대책 등 하자에 대한 해결대책들이 부족한 실정이다. 현재 COVID-19로 인해 호흡기와 관련된 질병에 많은 관심이 있는 가운데 누수 하자의 경우 물 고임, 곰팡이 등 비위생적 요인으로 인해 청소년들의 호흡기 질병을 일으킬 수 있다. 이외에도 누수 하자는 철근 부식으로 인한 균열 발생, 동결 융해, 백화현상 등으로 구조적 기능을 저하시켜 청소년의 인명적 피해로 이어질 수 있다.

위와 같이 교육 시설의 누수 하자는 다양한 문제를 발생시킬 수 있으나, 이에 관한 기존 연구들이 부족한 상황이며, 누수 하자에 관한 연구는 대부분이 공동주택으로 국한되어

* **Corresponding author:** Kim, Dae Young, Department of Architecture and Architectural Engineering, Pusan National University, 2 Busandaehak-ro 63beon-gil, Geumjeong-gu, Busan, Republic of Korea

E-mail: dykim2017@pusan.ac.kr

Received August 25, 2023; **revised** -

accepted December 1, 2023

있다. 또한, 기존 교육 시설 하자에 관한 기존 연구들은 대부분 특정 지역의 데이터를 분석하여 결과물을 제시하거나 정책의 개선 필요성만 거론되고 있어 교육 시설 하자에 대한 문제점 및 해결대책 제시가 부족한 실정이다. 따라서 본 연구는 효율적인 하자 관리를 위해 교육 시설에서 발생한 하자 사례를 분석하여 FTA (Fault Tree Analysis)를 이용한 누수 하자 발생의 원인을 분석하여 교육 시설 누수 하자 예방을 위한 기초자료 마련을 목적으로 한다.

1.2 연구 방법

본 연구를 진행하기 위해 국내 문헌연구를 통해 FTA (Fault Tree Analysis) 기법의 개념, 평가 및 분석 절차를 정리하여 이론적 고찰을 수행한다. 그 후 2019~2021년 3년간 전국 교육지원청 176곳에 정보공개로 접수된 하자 및 유지보수 관련 데이터를 수집하였다. 이를 바탕으로 교육 시설에서 발생하는 누수 하자의 사례 유형을 도출하고, 이러한 하자 유형의 발생원인에 대한 조사 분석을 문헌연구를 통해 진행하였다. 전국 176개의 교육지원청에 접수된 학교별 하자 및 유지보수 데이터를 통해 하자 발생 시기, 발생 부위 등을 세부적으로 검토하였다. 그 이후 누수 하자의 각 발생 위치별로 FTA (Fault Tree Analysis) 분석을 수행하고 위험도 분석을 토대로 대책방안 및 관리방안을 제시한다. 연구 방법은 아래와 같고, 연구의 흐름은 <Fig. 1>과 같이 구현하였다.

첫째, 국내 문헌연구를 통해 FTA (Fault Tree Analysis) 기법으로의 개념, 기호 및 분석 절차를 정리하였다.

둘째, 전국의 교육지원청에서 수집된 하자 및 유지보수 데이터를 바탕으로 유형별로 발생 시기, 발생 부위 등을 분석한 후 재해발생 위험이 높은 주요 하자를 선정하였다.

셋째, 선정된 주요 하자에 대해 FTA 분석을 수행한다.

넷째, 국내 교육 시설에 대한 누수 하자 연구가 부족하여

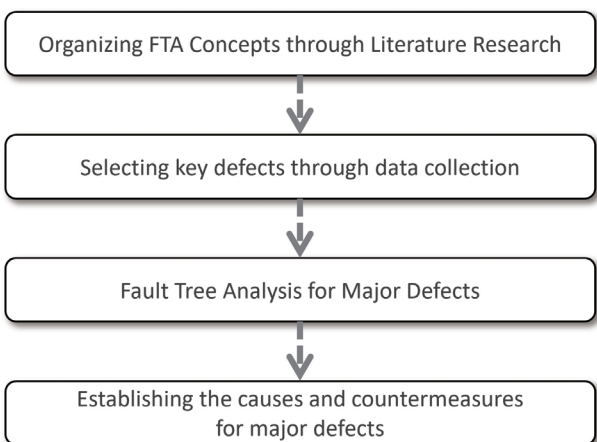


Fig. 1. A method of study

공동주택과 건축물 하자과 관련된 자료를 바탕으로 하자 원인 및 대책을 도출한다.

1.3 이론적 고찰

1.3.1 FTA (Fault Tree Analysis) 기법 개념 및 정의

FTA (Fault Tree Analysis) 기법이란 사고의 원인을 발견하기 위한 연역적 기법으로 1962년 벨 연구소(미국)에 의해 처음으로 고안되었다. 당시 주로 보잉사를 중심으로 하는 항공 우주산업 및 원자력산업을 시작으로 1965년부터 산업안전 분야에 소개되었다. 이후 ‘라스무센 보고(Rasmussen Report)’에서 FTA가 대규모로 활용되며 재해 예측의 기법으로 사용되었다. 오늘날 이 기법은 도해적 분석을 통해 사고의 기본적인 원인 발견 및 이 원인으로 인한 사고의 가능성을 정량적으로 평가하는 방법으로 사용된다(Chatstech, 2003).

FTA (Fault Tree Analysis)는 고장을 야기하는 원인들과의 관계를 나뭇가지 모양의 Tree를 사용하여 나타낸 Fault Tree를 만들고 이를 바탕으로 고장의 발생확률을 구함으로써 취약점을 발견하고 시스템의 신뢰도를 개선하는 정량적 고장해석 신뢰성 평가 방법이다(Chun, 1990).

가장 큰 특징으로는 AND와 OR 두 종류의 논리게이트 조합을 통해 위험성을 트리구조에 표현하기 때문에 시각적으로 우수할 뿐만 아니라 다양한 분야의 정보를 다룰 수 있는 유연한 분석 방법이라고 할 수 있다(Chatstech, 2003).

FTA (Fault Tree Analysis) 기법에 사용되는 기호는 사건 기호와 논리게이트 기호가 있으며 다음 <Table 1>과 <Table 2>와 같다(Chun, 1990).

Table 1. Symbols used in Fault Tree Construction

Name	Symbol
Basic Event	
Compound Event	
Undeveloped Event	
External Event	

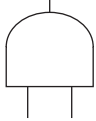
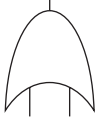
a) 기본사상: 더 이상 해석할 필요가 없는 기본적인 결함 또는 오동작

b) 합성사상: 결함이 재해로 연결되는 현상 또는 사실 상

황 등을 나타내는 것으로 논리게이트에 의해 각각의 다른 사상의 조합으로부터 기인 된 사상의 표현

- c) 생략사상: 사상과 원인과의 관계를 알 수 없거나 정보가 충분히 없어 이 이상 전개할 수 없는 최후의 사상
- d) 통상사상: 통상적으로 발생이 예상되는 사상 및 원인

Table 2. Logical Gate Symbols used in Fault Tree Construction

Name	Symbol
AND Gate	
OR Gate	

- a) AND Gate: 모든 입력사상이 공존하는 경우에만 출력 사상이 발생
- b) OR Gate: 입력 사상 중 어느 하나의 것이라도 존재하는 경우 출력 사상이 발생

1.4 문헌연구

남금석(2007)은 FTA 분석과 설문 조사를 통해 토목공사에서 발생하는 하자의 형태, 하자보수 비용 등을 파악한 뒤 콘크리트 균열 발생 대상을 선정하여 설계조건외 오류, 시멘트 불량, 골재의 불량, 콘크리트의 불량, 부적절한 혼화제 및 혼화제 사용, 콘크리트 시공 불량 등 콘크리트 균열에 기인한 항목들의 원인들을 FT도 작성을 통해 토목공사 하자 관리방안을 제시하였다.

임남형(2022)은 연안역 안전사고의 예방 및 대응을 위한 기초자료를 제공하기 위해 해상추락에 대한 사고사례 수집 및 유형별 원인분석을 실시하고 일반인과 경찰관을 대상으로 한 설문 조사를 통해 FTA 분석을 수행하였다. 이를 통해 추락 가능한 장소 접근 및 불안정한 행동을 주요 원인으로 파악하였다.

전태웅(1990)은 재해 사례연구를 위한 FTA 기법의 활용 방안을 제시하기 위해 FTA 기법의 활용방법으로 연구의 순서 및 활용방법을 설명하고 FTA 기법에서 사용되는 기호 및 논리게이트를 설명하였다.

이정훈(2004)은 발파사고에 대한 체계적 분석을 실시하기 위해 사고조사표를 개발하여 건설현장에서의 발파사고를 분석하였다. 이후 일본과 한국의 사례를 비교·분석하여 건설현장에서의 발파사고는 안전규칙 미준수, 안전지식 결여 등 주로 인적요소의 원인에 의한 것으로 판명하였다. 이를

Table 3. Domestic research trends about Fault Tree Analysis

Research trends		
Author	Year	Title
Nam	2007	Fault Tree Analysis-based Risk Management of Defects in Construction
Lim et al.	2022	An Analysis of Fall Accidents into the Sea by the Fault Tree Analysis Method
Chun	1990	The Study on Method of Accident Case Study by Fault Tree Analysis
Lee et al.	2004	A Study on the FTA Analysis of Blasting Accidents

Table 4. Domestic research trends about Leaks

Research trends		
Author	Year	Title
Kim	2021	Case Analysis and Major Quality Control Aspects on Leakage Defects in Buildings
Kim et al.	2022	Defect management process for improvement of construction due to leakage of urban living house
Choi et al.	2011	A Study on the Plan of Construction Management for Reduction of Water Leakage in Apartment Housing's Underground Parkig Lot

통해 화약류에 의한 유사재해 및 동종재해를 미연에 방지하여 피해를 최소화하는데 필요한 기초자료를 제공하였다.

김남수(2021)는 건축물에서 발생하는 누수의 원인을 세부적으로 설계적, 재료적, 시공적, 유지관리적 원인으로 분류하여 누수 하자발생의 유형과 빈도를 분석하고 이에 따르는 누수 피해 복구 및 손실로 발생하는 비용을 분석하였다. 이후 적용된 방수공법의 적정성 여부를 데이터 마이닝을 통해 누수 하자 발생을 방지하기 위한 주요관리방안을 선정하였으며, 상위 1, 2위로 철근콘크리트 시공 이음 품질확보와 시트 방수 조인트 손상방지 및 품질확보를 주요 관리방안으로 최종 선정하였다.

김성수(2022)는 1~2인 가구가 증가함에 따라 도입한 주택 유형인 도시형 생활주택에서 집중 강우 이후 발생하는 누수 하자 시공개선 사례에 대해 분석하였다. 테라스 바닥 콘크리트 표면 동해, 주차장 화단 조적 방수 불량, 에어컨 드레인 피트 마감 불량 등에 대해 누수 하자 발생 현상 및 원의 분석을 진행하였다. 도시형 생활주택은 대부분 소규모 공사이기 때문에 콘크리트의 품질관리가 시방 규정대로 잘 이루어지지 않고 있는 실정으로 가장 기본적 개선 방법으로 콘크리트의 품질관리를 강조하였다.

최일호(2011)는 공동주택 지하주차장에서 발생하는 누수 하자를 저감하기 위한 시공 관리방안에 대해 연구를 하였다. 본 연구에서는 지하주차장 누수 발생의 원인을 방수공사 완료 이후 상부 작업 하중의 영향으로 통행 구간 주변에서 주요 누수가 발생하고 있는 것으로 조사하여 책서포트, 상부

마감, 수축변형을 검토인자로 설정하여 비교·분석하였다.

이처럼 국내 연구에서 이루어진 누수 하자의 경우 주거공간과 관련된 공동주택 및 주차장 등에 대한 하자를 많이 다루고 있지만, 학습 공간인 교육 시설에 관한 하자의 연구는 부족한 실정이다. 따라서 본 연구는 교육 시설에서 발생하는 누수 하자 발생의 원인을 분석하여 교육 시설 누수 하자 예방을 위한 기초자료 마련을 목적으로 한다.

2. 교육 시설 하자발생 현황

2.1 교육 시설 하자발생 현황 분석

교육 시설에 발생한 하자 현황을 분석하기 위해 2019~2021년 3년간 전국 교육지원청 176곳에서 정보공개로 접수된 하자 및 유지보수 관련 데이터를 수집하였으며 총 1,028건으로 하자 유형별 발생 건수는 아래 <Fig. 2>와 같다.

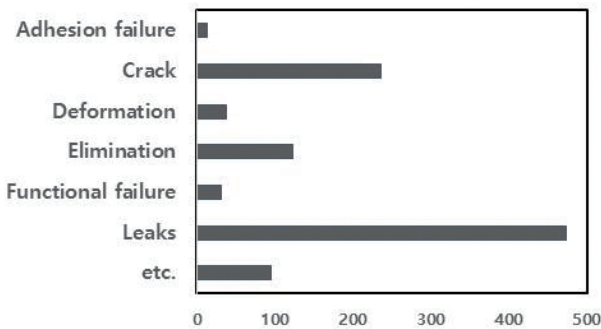


Fig. 2. Current Status of Defects in Educational Facility

하자 유형 중 누수 하자가 473건으로 가장 크게 확인되었으며, 다음으로는 균열 236건, 탈락 123건 순으로 나타났다. 그 밖에 변형, 기능 불량, 접착 불량 등은 40건 이내로 낮은 발생빈도로 다음 <Table 5>와 같이 나타났다.

Table 5. Current Status of Defects in Educational Facility

Defect Type	Count	Ratio(%)
Adhesion failure	13	1.3
Crack	236	23.0
Deformation	56	5.4
Elimination	123	12.0
Functional failure	32	3.1
Leaks	473	46.0
etc	95	9.2
Total	1,028	100

위와 같은 발생 현황을 통해 교육 시설에서의 누수 하자는 빈번히 발생함을 알 수 있다. 누수 하자는 벽체, 옥상층

(천정), 배관, 창호를 비롯한 다양한 장소에서 발생 가능하며 누수 하자 473건의 발생 위치별 현황은 다음 <Fig. 3>과 같다.

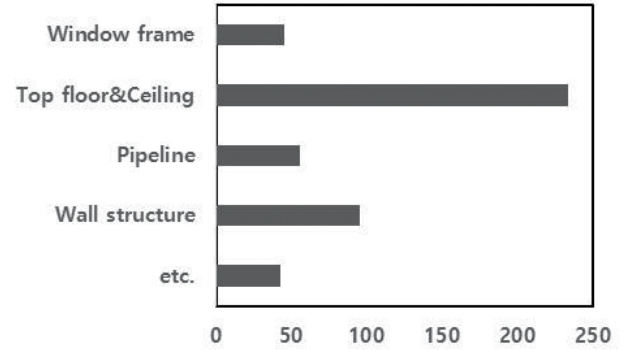


Fig. 3. Incidence Status of Defects by Location in Educational Facilities

다음<Fig. 3>과 같이, 누수 하자 중 가장 많이 발생하는 위치는 옥상층(천정)이 234건으로 1위를 차지하였으며, 벽체 95건, 배관 56건, 창호 45건, 그 밖에 우수 흡통과 같은 기타 위치에서 43건 순으로 다음 <Table 6>과 같이 나타났다.

Table 6. Incidence Status of Defects by Location in Educational Facilities

Defect Type	Count	Ratio(%)
Window frame	45	9.5
Top floor&ceiling	234	49.5
Pipeline	56	11.8
Wall structure	95	20.1
etc	43	9.1
Total	473	100

2.2 누수 하자 발생 부위 별 하자 원인분석

본 연구에서 누수 하자 발생 부위 별 하자는 2019년~2021년 3년간 전국 교육지원청 176곳에서 정보공개로 접수된 하자 및 유지보수 관련 데이터의 접수 내용 및 첨부 사진을 통해 파악하고 Kim (2021), Choi et al. (2011)의 연구를 참고하여 앞서 파악한 발생 부위별 하자의 원인분석을 실시하였다.

2.2.1 옥상층(천정)에서 발생한 누수 하자

전체 473건 중 234건으로 49.5%를 차지하고 있는 옥상층(천정) 누수의 주된 원인은 바탕면 처리 불량 때문에 발생하는 것으로 확인하였다. 이로 인한 방수층 성능 감소가 옥상층(천정) 누수의 가장 큰 원인으로 나타났다. 바탕면 처리가 미흡하여 습기가 발생하거나 강수가 발생하는 경우 시공 이음 및 이질재료 접합부에서 누수가 발생하는 것으로 확인하였다(Kim, 2021).

2.2.2 벽체에서 발생한 누수 하자

전체 473건 중 95건으로 20.1%를 차지하고 있는 벽체 누수 하자의 주요 원인은 구조체 균열 및 시공이음에 의해 발생하는 것으로 확인하였다. 콘크리트 균열은 재료적, 시공적, 유지관리적, 외적 요인 등 다양한 요인들로 인해 발생하며 이는 벽체에서 발생하는 누수의 주요 원인이 되며 대표적으로 양생 중 동해 및 보양 불량, 다짐 불량, 조인트 균열, 해풍에 의한 부식, 외기 영향에 의한 열화 및 동결 피해 등이 있다(Choi et al., 2011).

2.2.3 창호에서 발생한 누수 하자

창호 누수는 전체 473건 중 45건으로 9.5%를 차지하였다. 교육 시설은 특성상 적정 공기농도 및 조도 확보를 위해 창호가 많은 형태이다. 이러한 커튼월 및 외벽 창호는 벽체와 접합하는 부위는 실란트의 손상 및 균열, 조인트의 마감 불량, 수밀성 및 내구성 부족 등의 원인으로 인해 누수가 발생한다. 해당 원인들은 주로 외기 영향에 따른 수축 팽창으로 인해 실란트 및 코킹의 성능 저하로 인해 발생한다(Kim, 2021). 창호 누수로 인해 빗물이 유입되어 콘크리트의 철근 부식이 발생하기 시작하며 벽체 누수로 이어지는 것을 확인하였다.

2.2.4 배관에서 발생한 누수 하자

배관에서 발생한 누수 하자는 전체 473건 중 56건으로 11.8%를 차지하였다. 교육 시설 내에서 발생하는 배관 누수 하자는 많은 양의 물을 사용하는 장소인 화장실 및 식당이 대표적으로 나타났다. 이러한 누수의 원인은 배관부 주위 방

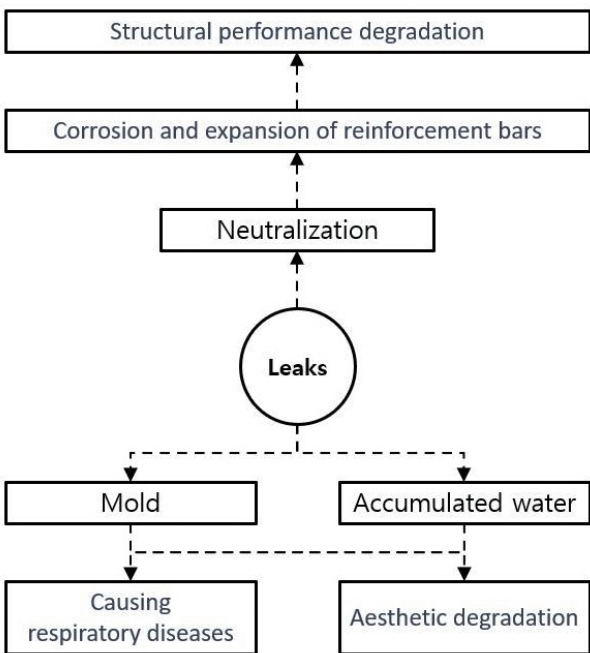


Fig. 4. Impact of Leakage Defects Occurrence in Educational Facilities

수 보강 상태 불량, 노후로 인한 배관의 탈락·균열 및 배수구 접합부 방수 보강 미실시로 인해 발생하는 것으로 확인하였다(Kim, 2021).

2.3 누수 하자 발생 시 영향

앞에서 나타난 하자 발생의 원인들로 인해 누수가 발생하게 되면 철근의 중성화로 인한 철근의 부식 및 팽창이 발생하며 콘크리트 구조체에 균열이 발생하기 시작한다. 이로 인해 건축물의 구조적 성능 저하가 발생하며 이는 교육 시설을 사용하는 학생 및 교사의 인명피해로 이어질 수 있다. 이 밖에도 누수가 발생하게 되면 실내 교실, 복도 및 화장실 내부 바닥 및 천장 마감재에 물 고임 현상이 발생하며, 벽체 곰팡이가 발생한다. 이로 인해 건축물의 미관 저하 및 호흡기 질병을 유발할 수 있다는 점에서 관리가 필요한 하자이다.

3. 누수 하자 FT도 분석

본 연구에서는 발생 위치별 누수 하자의 FT (Fault Tree) 도를 작성하여 교육 시설 위치별로 발생하는 누수 하자의 원인을 AND와 OR 두 가지 논리게이트를 통해 시각적으로 표현하여 분석하였다.

3.1 누수 하자의 기본적 사고 FT도

누수 하자의 FT 도는 다음 <Fig. 5>와 같이 옥상층(천정) 누수, 벽체 누수, 벽체 누수, 창호 누수, 배관 누수 4개의 요인이 최상단의 기본적인 상위 트리를 이루며 구성되었다.

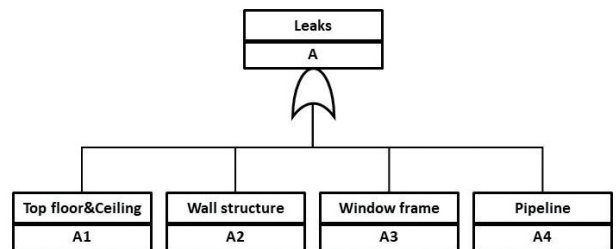


Fig. 5. Fault Tree Analysis of Leakage Defects

3.2 옥상층(천정) 누수 FT도

옥상층(천정)에서 발생한 누수 하자는 옥상층의 바탕면 처리 불량이 이루어지고 우천으로 인해 아래층의 누수가 발생하기 때문에 AND gate의 관계로 확인하였다. 이후 옥상층의 바탕면 처리 불량에 경우 크게 방수층 균열, 이음부 균열, 방수층 미시공 3가지 원인이 대표적으로 나타났으며 이 중 1가지만 발생하더라도 바탕면 처리 불량으로 이어지는 원인이기 때문에 위의 3개의 사고요인이 OR gate의 관계로 연

결되었다. 옥상층(천정) 누수의 기본 사상(cut set)은 방수층 균열, 이음부 균열, 방수층 미시공, 우천 4개의 사고요인으로 추출하였다. 따라서, 옥상층(천정) 누수의 FT 도는 다음 <Fig. 6>과 같이 A11과 4의 AND gate와 1, 2, 3의 OR gate로 구성된 트리를 이룬다.

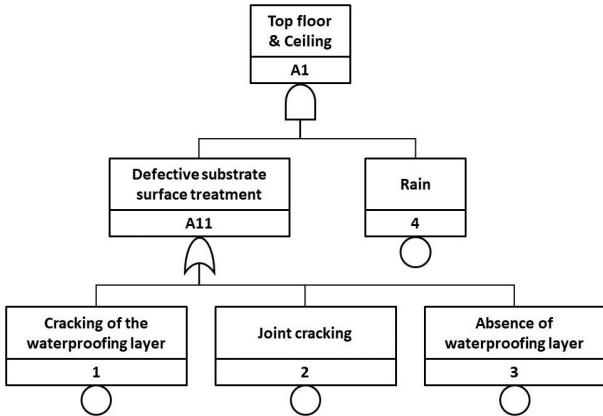


Fig. 6. Top floor&Ceiling Leakage Fault Tree Analysis

3.3 벽체 누수 FT도

벽체에서 발생한 누수 하자는 이음부 균열, 외기 영향에 의한 열화 및 동결, 양생 중 균열 발생 등 콘크리트 구조체의 균열이 이루어진 경우 우천시 벽체 콘크리트를 통해 누수가 발생하여 AND gate 형태의 트리로 나타났다. 이후 콘크리트 구조체 균열의 원인은 앞서 말한 바와 같이 이음부 균열, 외기 영향에 의한 열화 및 동결, 양생 중 균열 발생 3가지 원인이 대표적으로 나타났으며 이는 OR gate의 관계로 연결되었다. 벽체 누수의 기본 사상(cut set)은 이음부 균열, 외기 영향에 의한 열화 및 동결, 양생 중 균열 발생, 우천 4개의 사고요인으로 추출하였다. 따라서, 벽체 누수의 FT 도는 다음 <Fig. 7>과 같이 A21과 4의 AND gate와 2, 5, 6의 OR gate로 구성된 트리를 이룬다.

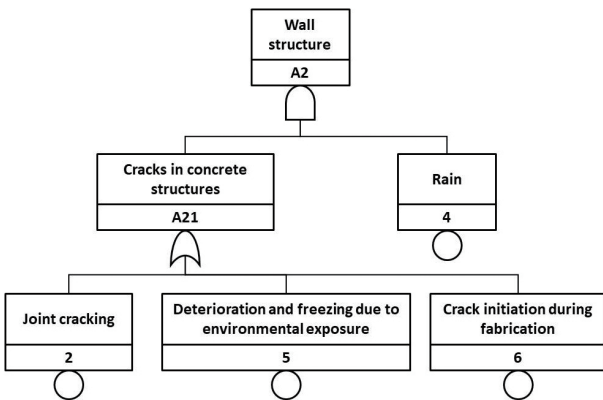


Fig. 7. Wall structure Leakage Fault Tree Analysis

3.4 창호 누수 FT도

창호에서 발생한 누수 하자는 창호 실란트의 손상으로 균열 틈이 생겨 우천 시 실내로 빗물이 유입되는 누수 현상이 발생한다. 이 때문에 창호 실란트의 손상과 우천을 AND gate의 관계로 확인하였으며, 이 창호 실란트의 손상은 창호 프레임 변형 및 처짐, 실란트 품질 불량(수밀성 및 내구성 부족), 조인트의 마감 불량, 외기 영향에 의한 열화, 동결 피해 4개의 사고요인을 주요 원인으로 확인하였다. 때문에 창호 실란트 손상을 유발하는 4개의 사고요인은 OR gate의 관계로 연결되었다. 창호 누수의 기본 사상(cut set)은 창호 프레임 변형 및 처짐, 실란트 품질 불량, 조인트의 마감 불량, 외기 영향에 의한 열화 및 동결 4개의 사고요인으로 추출하였다. 따라서 창호 누수의 FT 도는 다음 <Fig. 8>과 같이 A31과 4의 AND gate와 5, 7, 8, 9의 OR gate로 구성된 트리를 이룬다.

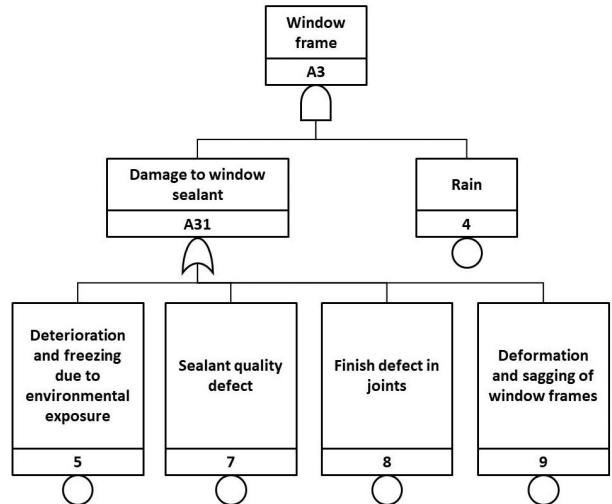


Fig. 8. Window frame Leakage Fault Tree Analysis

3.5 배관 누수 FT도

배관에서 발생하는 누수 하자는 날씨의 조건 없이 단순 배관부 주위 방수 보강 상태 불량, 노후로 인한 배관의 탈락 및 균열, 배수구 접합부 방수 보강 미실시 이 3가지 원인이 대표적으로 나타났으며 이는 OR gate의 관계로 연결되었으며 배관 누수의 기본 사상(cut set)은 앞서 말한 바와 같이 배관부 주위 방수 보강 상태 불량, 노후로 인한 배관의 탈락 및 균열, 배수구 접합부 방수 보강 미실시 3개의 사고요인으로 추출하였다. 따라서 배관 누수의 FT 도는 다음 <Fig. 9>과 같이 10, 11, 12인 3개의 사고요인과 OR gate로 구성된 트리를 이룬다.

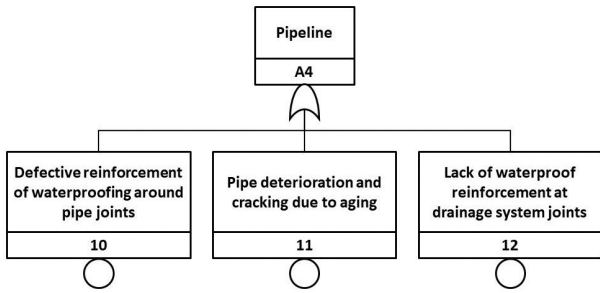


Fig. 9. Pipeline Leakage Fault Tree Analysis

3.6 누수 하자의 전체 FT도

전체적인 누수 하자의 FT 도는 다음 (Fig. 10)과 같은 트리를 이루며 해당 내용은 다음 (Table 7)과 같이 교육 시설 누수 하자 사고요인의 기본 사상(cut set)은 총 12개로 추출하였으며, 발생 위치별로 옥상층(천정), 벽체, 배관, 창호로 나누었다. 교육 시설에서 누수 하자가 가장 많이 발생하는 옥상층(천정)에서 발생하는 누수 원인은 방수층 균열, 이음부 균열, 방수층 미시공 3가지 원인으로 인한 바탕면 처리 불량에 주요 원인으로 파악하였다.

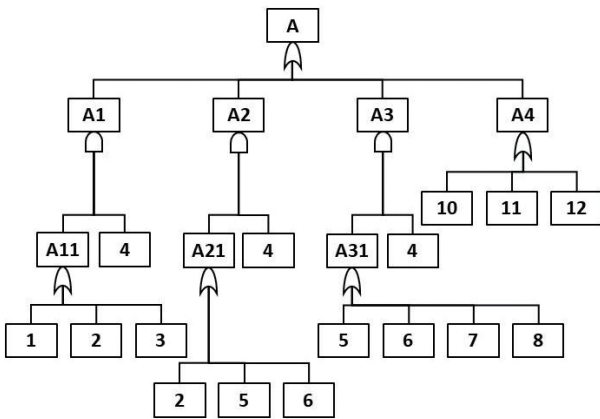


Fig. 10. Leakage Defect Fault Tree Analysis

Table 7. Contents by Cut Set in Leakage Defect Analysis

Cut set	Cause of Defect
1	Cracking of the waterproofing layer
2	Joint cracking
3	Absence of waterproofing layer
4	Rain
5	Deterioration and freezing due to environmental exposure
6	Crack initiation during fabrication
7	Sealant quality defect
8	Finish defect in joints
9	Deformation and sagging of window frames
10	Defective reinforcement of waterproofing around pipe joints
11	Pipe deterioration and cracking due to aging
12	Lack of waterproof reinforcement at drainage system joints

4. 결론

본 연구는 교육 시설 누수 하자 예방을 위한 기초자료 마련을 목적으로 수행되었으며 다음과 같은 결과를 도출하였다.

- 1) 교육 시설에 2019~2021년 3년간 전국 교육지원청에 정보공개로 접수된 하자 및 유지보수 관련 데이터 중 누수 하자가 전체 1,010건 중 473건으로 46.8%를 차지하였으며, 누수 하자 473건 중 옥상층(천정) 234건, 벽체 95건, 배관 56건, 창호 45 순으로 나타나 옥상층(천정)에서 발생하는 누수 하자가 전체 접수 건수 중 49.5%를 차지하고 있는 것으로 교육 시설 주요 누수 하자 원인으로 분석하였다.
- 2) 하자 접수 내용 및 원인분석 내용을 토대로 누수 하자의 Fault Tree를 구성하였다. 이는 12개의 기본 사상(cut set)으로 구성되었다. 이를 통해 위치별 발생하는 누수 하자의 대표적인 원인들을 시각적으로 도해하여 사전적 예방을 위한 기초자료로 사용할 수 있다.
- 3) 전체 FT 도를 분석한 결과 옥상층(천정), 벽체, 창호에서 발생하는 누수 하자는 우천 시 발생하는 하자로 OR gate의 관계로 연결되어 누수가 발생하는 것으로 나타났다. 배관 누수는 우천의 유무와 관계없이 급·배수관에서 누수가 발생하며 급·배수관의 재료 및 상태로 인해 누수가 발생하는 것으로 확인하였다.
- 4) Fault Tree 분석을 통해 교육 시설 주요 누수 하자 원인인 옥상층(천정) 누수는 바탕면 처리 불량과 우천의 조건이 동시에 충족되었을 때 발생하며 바탕면 처리 불량의 주요 원인으로서는 방수층의 균열, 이음부 균열, 방수층 미시공 3가지의 원인으로 파악하였다.

본 연구에서는 2019~2021년 3년간 정보공개로 접수된 하자 현황을 바탕으로 작성하였기에 교육시설 누수 하자의 특성을 모두 반영하는데 한계점이 있었다. 차후 데이터 수집 및 연구를 통해 추가적인 기본 사상(cut set) 발생이 가능하고 이 같은 경우 (Fig. 10)의 트리에서 추가할 수 있다. 이를 통해 추후 발생하는 데이터를 축적하여 교육 시설 누수 하자의 위치별 발생원인을 분석하여 설계단계 및 시공단계에서 실효성 높은 업무 개선 및 하자 예방 방안 마련을 통해 사전적 예방에 기여할 것으로 판단된다. 이외에도 품질 문제와 밀접한 하자 관리 부분에 있어 하자 발생률 감소 및 하자 관리 프로세스 구축에 기여할 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 2022년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임. (NRF-2022R1F1A1069875)

References

- Allied Market Research. (2020). 3D Concrete Printing Market by Printing Type (Gantry system and Robotic arm), Technique (Extrusion-based and Powder-based), and End-use Sector (Residential, Commercial, and Infrastructure): Global Opportunity Analysis and Industry Forecast, 2020 - 2027
- Charstech. (2003). Safety: FTA (Fault Tree Analysis), (http://www.charstech.com/support/technical_view.php?data_no=107&page=1&mode=new&keyword=%B0%E1%C7%D4&search=&list_mode=search) (2023.08.10.)
- Choi, I.H., Lee, J.H., Bang, J.S., and Kim, H.R. (2011). "A Study on Construction Management Measures for Reducing Leakage in Underground Parking Lots of Multi-unit Housing." *Proceedings of the Architectural Institute of Korea Conference - Planning and Structure*, 31(2), pp. 323-324.
- Jeon, T.W. (1990). "Utilization Approach of FTA Technique for Disaster Case Studies." *Journal of the Institute of Power Resources*, 12(2), pp. 1-12.
- Kim, N.S. (2021). A Study on Case Analysis of Building Leakage Defects and Key Management Measures. PhD Thesis. Hanyang University.
- Kim, S.S., Kim, J.H., and Lee, D.H. (2022). "Establishment of Defect Management Process for Improving Construction of Urban-style Residential Buildings with Water Leakage Defects." *Construction Management: Journal of the Korean Institute of Construction Engineering and Management*, 23(5), pp. 61-66.

- Lee, J.H., Ahn, M.S., and Ryu, C.H. (2004). "A Study on the Analysis of Blasting Accidents Using FTA Technique." *Journal of Explosives & Blasting*, 22(1), pp. 45-56.
- Lim, N.H., Bae, H.W., and Seong, I.H. (2012). "Analysis of Maritime Fall Accidents Using the Fault Tree Analysis Technique." *Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation*, 12(2), pp. 17-24.
- Nam, K.S. (2007). Risk Analysis and Management Measures of Construction Site Hazards. PhD Thesis. Hanyang University.

요약 : 최근 건설 산업에서는 스마트 기술을 통해 건축물의 품질 향상과 안전확보에 노력하고 있지만, 여전히 누수 하자는 증가하는 추세이다. 특히 교육 시설에서는 노후화로 인한 하자 발생이 주요 문제로 부각되고 있습니다. 본 연구는 FTA 기법을 사용하여 교육시설 누수 하자 발생의 원인을 분석하고, 이를 바탕으로 예방 대책을 제시하고자 한다. 국내 문헌 조사를 통해 FTA 기법을 설명하고, 2019~2021년 교육지원청 데이터를 분석하여 주요 하자를 식별합니다. 교육시설 누수 하자의 FT 도를 구성한 결과 12개의 기본 사상이 추출되었습니다. 이후, FTA 분석을 통해 누수 원인을 자세히 파악하고 주요 하자 원인을 도출하였다. 그 결과, 교육시설 하자 접수 건 중 누수 하자가 46.8%를 차지하며, 옥상층(천정) 누수가 가장 많았으며, FTA 분석 결과 옥상층(천정) 누수의 주요 원인으로는 바탕면 처리 불량으로 나타나며 이는 방수층 균열, 이음부 균열, 방수층 미시공 등에 기인하는 것을 확인하였습니다. 이 연구의 핵심 성과는 교육시설 누수 하자 예방을 위한 기초적인 자료를 마련하고, FTA 기법을 통해 누수 원인을 분석하여 사전 예방 대책을 도출하는 데 있습니다. 이러한 결과를 토대로 더욱 효과적인 교육시설 관리와 누수 예방에 기여할 것으로 기대된다.

키워드 : FTA, 교육시설, 누수 하자, 하자 예방