



자연재해 종별 학교시설물의 피해유형분석 및 개선방안 - 2014년 ~ 2016년간의 피해정보를 중심으로 -

*The Damage Types Analysis and Improvement Plan of School Facilities by Various Kinds Natural Disaster
- Focused on Damage information from 2014 to 2016 -*

정상필* · 이호용** · 김진욱***

Sang-Pil Jung* · Ho-Yong Lee** · Jin-Wook Kim***

* Main author, Dept. of Architectural, Seoul National University of Science & Technology., South Korea (citta@seoultech.ac.kr)

** Coauthor, Dept. of Architectural, Seoul National University of Science & Technology., South Korea (hoyong1128@seoultech.ac.kr)

*** Corresponding author, Dept. of Architecture, Seoul National University of Science & Technology., South Korea (Jinwook@seoultech.ac.kr)

ABSTRACT

Purpose: It is impossible to defend against natural disasters artificially, but they can be prevented or minimized in advance, by mapping out preventive measures, such as design and management, methods and construction of facilities, which consider the size of external force. School facilities have been constructed in large quantities to accommodate the rapidly increasing number of students after the 1952 implementation of compulsory education. For this reason, it is unavoidable that the ongoing deterioration of buildings is connected to natural disasters, which lead to considerable damage. However, it is not easy to improve facilities, since most of school damage data regarding the scale and degree of damage are not disclosed and there is a shortage of data to analyse. **Method:** This study made an investigation of Types for damage from natural disasters, such as wind damage, flood damage, snow damage, lighting damage, and areas vulnerable to natural disasters, based on the school facilities of 17 cities and provinces all over the country for 3 years from 2014 to 2016, and classified major damaged facilities according to the names of school buildings. **Result:** Improvement plans for reducing damage of major areas and particular facilities from natural disasters were suggested for different types of disasters.

KEYWORD

자연재해
취약지역
피해원인
학교안전
재난발생 현황

Natural disaster
Vulnerable area
Damage cause
School Safety
Current status of disasters

ACCEPTANCE INFO

Received Jun 3, 2019
Final revision received Jul 10, 2019
Accepted Jul 15, 2019

© 2019 KIEAE Journal

1. 서론

1.1. 연구의 목적 및 필요성

최근 지구온난화 및 해수면 상승 등 기후변화에 따른 이상기상 현상에 따른 자연재해가 빈번하게 발생하고 있으며, 온대 지방인 우리나라는 사계절이 뚜렷하고 삼면이 바다로 둘러싸여 있어 대륙성 기후와 해양성 기후가 복합적으로 나타난다. 특히 여름과 겨울의 연중 기온 차가 커서 여름철에는 장마에 따른 집중호우와 겨울철에는 폭설 및 대설 등의 자연재해로 인하여 인간의 생활에 미치는 영향이 매우 크다.

우리나라의 건축물 중 학교시설은 1952년 의무교육이 실행된 후 학생 수가 급격히 늘어나 이를 수용하기 위해 대량 건축되다 보니 현재에 와서 건축물의 노후화는 자연재해와 연계되어 피해로 이어질 수밖에 없을 것이다. 지난 2012년 ~ 2014년 3년간 학교시설의 자연재난 발생 현황을 살펴보면 총 3,213건으로 복구비로 445억 2천만 원의 복구비가 지급되었다. 그중 2014년도 화재 발생 208건은 2013년도 259건에 비해 19.6%가 감소하였으나 최근에는 낙뢰 피해 증가로 인해 학교시설 피해가 증가하고 있는 것으로 나타났다[1].

학교시설을 이용하는 학생들은 성장기 미성숙한 학생들의 학습을 위한 장소로서 학생들의 하루 일부를 학교에서 생활하고 장시간 생활하는 장소이다. 이러한 학교시설의 안전을 위해 학교와 정부는 전문가 등을 통해 주기적인 안전진단 [재난 및 안전관리 기본법 제 22조] 등 활발하게 피해예방을 위해 시설 점검을 하고 있으나, 지난 2014년 2월 발생한 경주 마우나오션리조트 체육관 붕괴사건과 같은 대규모 피해가 아니고서는 피해 원인과 규모 등은 학교 간에조차 공개되지 않거나 원인 역시 내부적으로만 공유되어 자연재해에 대한 피해규모 및 원인 등을 분석할 수 있는 기초자료가 부족한 탓에 시설의 개선은 좀처럼 이루어지지 못하고 있다. 자연재해는 인위적으로 방어할 수는 없겠지만, 어느 정도 시설의 설계, 관리, 구축 등 예방 조치를 통해 재해를 막거나 최소화 할 수 있을 것이다.

본 연구는 2014년 ~ 2016년 최근 3년간의 대한민국 전국의 학교 시설에서 일어나는 자연재해 피해의 증가에 있어서 내적요인에 초점을 두고 다양한 자연재해 중 ‘풍해’, ‘수해’, ‘설해’, ‘낙뢰’의 4가지로 인해 피해가 발생된 지역을 파악하고 해당 지역의 피해원인을 조사하여 학교시설에서의 자연재해 피해원인 그리고 피해유형을 분석하고자 한다.

1.2. 연구의 범위 및 방법

본 연구는 '교육시설재난공제회'의 공제 가입 중인 전국 17개의 시, 도의 2014년 ~ 2016년 3년간의 초, 중, 고등학교를 기준으로 학교시설에서 발생한 각종 자연재난의 피해를 분석범위로 한다.

연구 방법으로 먼저 선행연구를 통해 학교시설과 자연재해를 정의하고, 학교시설의 특성을 정리하여 다양한 자연재난 중 조사 대상의 재난의 분석범위를 설정하였으며, 다음 교육시설재난공제회에서 제공되는 800여개의 각종 학교시설의 재난 발생 현황을 2014년 ~ 2016년 최근 3개 연도를 기준으로 피해가 가장 많은 지역을 조사하고 분석하였다. 다음 피해가 일어난 지역의 해당 학교에서 발생한 피해 시설물을 조사하여 외적 피해와 내적 피해 정도를 구분하고 피해 정도를 종합하였다. 다음 이러한 피해가 일어난 원인을 찾기 위하여 조사범위에 설정된 3개년의 기상청의 자료를 찾아 분석된 피해 지역과 기상청의 통계자료를 일치시켜 피해 원인 및 유형을 분석하였으며, 이를 통해 조사된 주요 피해 지역 및 피해시설물을 예방할 수 있는 설계개선방안을 제시하였다. 설계 제시안은 건축물 설계 및 공사 감리 자격을 갖춘 기술자로 서울시 강남구 도곡동 소재의 H 건축사 사무소, 그리고 서울시 종로구의 A 건축사 사무소를 통해 건축사 2인과 함께 공동연구를 진행하였으며, 본 연구에서 조사된 피해 유형에 대하여 6번의 전문가 회의를 거쳐 피해 예방설계안을 도출하였다(Table 1.). 구체적 전문가 회의 내용을 살펴보면, 본 연구가 학교시설의 피해정보를 중심으로 하는 만큼, 먼저 3회의 회의에서는 법규검토, 그리고 학교시설의 취약부위 및 유지관리 등의 검토 회의를 진행하였으며, 설계시 고려사항등 개선방안에 대한 선행 조사와 분석회의를 진행하였다. 다음 다시 3회의 회의를 통해 설계안을 제시하였으며, 이러한 설계안에 대한 문제점과 실제 설계시 적용방안을 도출하였다.

Table 1. Meeting Agendas

| | | Date | Place | Meeting Agendas |
|----------|---|-------------|---|---|
| Analysis | 1 | 2017. 10.27 | Education facility disaster association | Review and analysis of the (disaster-related) Control Law on school facility damage by disasters, construction, civil engineering, facilities, etc. |
| | 2 | 2017. 11.29 | Education facility disaster association | Analysis of damage information depending on vulnerable parts of school facilities and maintenance problems |
| | 3 | 2017. 12.13 | Education facility disaster association | Review and analysis of design planning components, including considerations for disaster preventive design and layout plans |
| Design | 4 | 2018. 01.05 | Seoul-Tech | Suggestion of school facility disaster preventive design plans and collection of opinions from experts |
| | 5 | 2018. 01.11 | Seoul-Tech | Application of modified school facility disaster preventive design plans and collection of opinions from experts |
| | 6 | 2018. 01.23 | Seoul-Tech | Suggestion of school facility disaster preventive design plans |

본 연구에서 활용된 학교시설의 자연재해 발생 시점 및 피해 원인 등의 자료는 당시 교육시설재난 공제회의 현장 출장 복명서 및 피해 사진을 통하여 재해 현황을 분석하였다.¹⁾

2. 용어의 정의 및 재난 분석범위

2.1. 학교시설의 정의

학교시설이란, 초, 중, 고등학교 및 대학교육을 위한 물리적 환경으로써 학교부지, 교사, 보통 교실, 특별교실, 관리실, 실험 실습실 등의 교육기본시설과 체육관, 강당, 급식실, 전산실 등의 지원시설 및 부속시설을 말한다[2].

학교안전법 시행령에 따른 시설 안전관리기준을 살펴보면 크게 1. 건축물, 2. 전기시설, 3. 설비시설, 4. 소방시설, 5. 가스시설, 6. 실험실습시설로 구분되어 있다.

1. 건축물의 경우 건축물 주변, 교실 바닥, 벽, 문, 창호, 계단, 화장실 등 학교건물을 통합하여 지칭하고 있으며, 2. 전기시설의 경우 수변전설비, 분전반, 전기배선, 조명설비, 전열설비 등 전기적 부분을 통합하여 지칭하고 있다. 3. 설비시설의 경우 냉난방설비, 환기시설, 급배수설비 등 위생 및 환경 설비를 통합하고 있으며, 4. 소방설비의 경우 화재탐지설비, 옥내소화전설비, 피난설비 등 화재에 대한 설비를 통합하고 있다. 5. 가스시설의 경우 액화석유가스 저장설비, 배관 및 가스기기 등을 통합하고 있으며, 6. 실험 실습시설의 경우 실험 실습 비품 및 약품보관설비 등을 포함하고 있다.

2.2. 학교시설의 재난 분석범위 설정

위에서 살펴본 학교시설의 정의와 학교안전법 시행령에 따른 시설안전관리기준을 중심으로 본 연구에서 활용될 피해시설의 범위를 아래와 같이 설정하였다.

건축물은 크게 내부, 내부설비/외부, 외부설비로 구분할 수 있을 것이다. 그중 내부에서는 바닥, 벽, 천장 기본적인 구조물과 내부 설비는 내부의 재산적 피해를 고려하여 방충시설, 전기시설 등 기자재가 포함되도록 하였다. 그리고 외부의 경우 건물의 벽과 외부 유리창, 옥상 및 지붕으로 구분하였으며, 외부의 설비는 학교 특성상 실외기 외에 특별한 설비시설이 없는 관계로 하나의 단락으로 구분하여 통합적 외부설비로 구분하였다.

학교 건물 외부의 경우 크게 포장과 기타시설로 구분하였다. 포장의 경우 보행로 및 인조잔디 그리고 토사유입 및 유실, 지반침하 등으로 구분하였으며, 기타시설의 경우 배수로, 국기봉, 차양막, 담장(옹벽, 펜스)등으로 구분하였다.

또한 이러한 학교시설의 피해가 집중된 피해 장소를 분석하기 위하여 발생한 학교건물별로 구분하였으며 각 학교건물의 명칭은 교사동, 본관, 별관, 체육관, 급식소, 운동장 등 전국 학교시설의 기본적인 건축물을 포함하였다. 특히 체육시설의 경우 초, 중, 고등학교를 분석해 보면 보통 실외 체육시설이 실내 체육시설의 수보다 월등히 많으며 실외 체육시설에서 많은 시설 수를 가지고 있는 체육시설은 소형운동장, 배구장, 농구장(실외), 멀리뛰기장, 철봉 및 평행봉장이 있고, 실내 체육시설의 경우 체육 강당과 탁구장, 배구장 정도이다 [3]. 이처럼 지역별로 체육시설 공간을 다르게 사용되는 점을 고려하여 분석범위를 설정하였다.

2.3. 자연재난 및 재해의 정의

〈재난 및 안전관리 기본법〉에서는 국민의 생명, 신체 및 재산과 국가에 피해를 주거나 줄 수 있는 것에서 '재난'이라는 용어를 사용하고

있으며 태풍, 홍수, 호우, 폭풍, 해일, 폭설, 가뭄, 지진, 황사, 적조 등 그 밖에 이에 준하는 자연현상으로 인하여 발생하는 재해, 또는 이와 유사한 사고로 대통령이 정하는 규모 이상의 피해를 말하고 있다.

〈자연재해대책법〉에서는 태풍·홍수·호우·강풍·풍랑·해일·조수(潮水)·대설·가뭄·지진(지진해일)·황사 그 밖에 이에 준하는 자연현상으로 인하여 발생하는 재해를 말하며, 행정자치부의 자연대책법(법률 제6735호) 제2조에 의하면 ‘자연재해란 태풍, 홍수, 호우, 강풍, 풍랑, 해일, 대설, 낙뢰, 가뭄, 지진, 황사 등 그 밖에 이에 준하는 자연현상으로 인하여 발생하는 재해’라고 정의되어 있다.

자연재해와 관련해서는 ‘재해’, 인위 재난과 관련해서는 ‘재난’이라는 용어를 사용하고 있다고 볼 수 있다. 다른 한편으로는 재난의 결과를 재해로 표현하기도 한다[4].

본 연구는 불가항력적 결과물의 측면에서 일어나는 자연적인 ‘재해’를 기준으로 피해 현황 및 양상을 조사하였다.

2.4. 자연재해의 분석범위 설정

본 연구에서는 태풍, 홍수, 호우, 강풍, 대설 등을 자연에 의한 재해로 구분하여 학교시설이라는 건축 시설의 내적 요인에 초점을 두고 건축 시설 및 주변 시설에 물리적으로 직접적 피해를 주는 요인으로 태풍, 강풍, 풍랑을 바람에 의한 피해로 ‘풍해’, 집중 호우에 의한 피해로는 ‘수해’, 대설에 의한 피해로는 ‘설해’, 낙뢰에 의한 피해로는 ‘낙해’를 기준으로 연구를 진행하였다.

3. 지역별 재해발생 현황

3.1. 지역별 ‘풍해’ 재난 발생 현황

전국의 지난 3년간 학교시설의 ‘풍해’로 인한 재난 발생 현황을 살펴보면 전남이 48건으로 가장 많았으며 경북이 39건, 경남이 28건 순으로 나타났다. 연도별 발생 건수를 살펴보면, 2014년도에 43건, 2015년도에 74건, 2016년도에 141건으로 가장 많은 것으로 나타났다(Table 2.).

Table 2. Current status of ‘Wind’ damages

| Area | 2014 | 2015 | 2016 | Total |
|-----------|------|------|------|-------|
| Seoul | 0 | 2 | 5 | 7 |
| Busan | 2 | 5 | 0 | 7 |
| Daegu | 0 | 2 | 1 | 3 |
| Incheon | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Gwangju | 1 | 1 | 3 | 5 |
| Daejeon | 0 | 3 | 5 | 8 |
| Ulsan | 2 | 13 | 6 | 21 |
| Gyeonggi | 0 | 1 | 5 | 6 |
| Gangwon | 0 | 1 | 13 | 14 |
| Chungbuk | 4 | 1 | 15 | 20 |
| Chungnam | 6 | 9 | 7 | 22 |
| Jeonbuk | 5 | 3 | 12 | 20 |
| Jeonnam | 12 | 14 | 22 | 48 |
| Gyeongbuk | 4 | 8 | 27 | 39 |
| Gyeongnam | 5 | 10 | 13 | 28 |
| Jeju | 2 | 1 | 7 | 10 |
| Sejong | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Total | 43 | 74 | 141 | 258 |

3.2. 지역별 ‘수해’ 재난 발생 현황

전국의 3년간 학교시설의 ‘수해’로 인한 재난 발생 현황을 살펴보면 부산이 23건으로 가장 많았으며, 전남이 19건, 경남이 13건 순으로 나타났다.

전국의 연도별 발생 건수를 살펴보면, 2014년도에 42건으로 가장 많았으며, 2015년도에 18건, 2016년도에 436건으로 나타났다(Table 3.).

Table 3. Current status of ‘Flood’ damages

| Area | 2014 | 2015 | 2016 | Total |
|-----------|------|------|------|-------|
| Seoul | 0 | 2 | 0 | 2 |
| Busan | 20 | 2 | 1 | 23 |
| Daegu | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Incheon | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Gwangju | 1 | 1 | 4 | 6 |
| Daejeon | 0 | 0 | 1 | 1 |
| Ulsan | 0 | 2 | 0 | 2 |
| Gyeonggi | 0 | 4 | 0 | 4 |
| Gangwon | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Chungbuk | 1 | 0 | 5 | 6 |
| Chungnam | 3 | 1 | 5 | 9 |
| Jeonbuk | 0 | 0 | 4 | 4 |
| Jeonnam | 8 | 3 | 8 | 19 |
| Gyeongbuk | 0 | 2 | 3 | 5 |
| Gyeongnam | 9 | 0 | 4 | 13 |
| Jeju | 0 | 1 | 0 | 1 |
| Sejong | 0 | 0 | 1 | 1 |
| Total | 42 | 18 | 36 | 96 |

3.3. 지역별 ‘설해’ 재난 발생 현황

전국의 3년간 학교시설의 ‘설해’로 인한 재난 발생 현황을 살펴보면 충남과 경북이 각 10건으로 가장 많았으며, 전북이 6건 순으로 나타났다.

전국의 연도별 발생건수를 살펴보면, 2014년도에 26건으로 가장 많았으며, 2015년도에 9건, 2016년도에 1건으로 나타났다(Table 4.).

Table 4. Current status of ‘Snow’ damages

| Area | 2014 | 2015 | 2016 | Total |
|-----------|------|------|------|-------|
| Seoul | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Busan | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Daegu | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Incheon | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Gwangju | 0 | 0 | 1 | 1 |
| Daejeon | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Ulsan | 4 | 0 | 0 | 4 |
| Gyeonggi | 0 | 2 | 0 | 2 |
| Gangwon | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Chungbuk | 0 | 1 | 0 | 1 |
| Chungnam | 9 | 1 | 0 | 10 |
| Jeonbuk | 3 | 3 | 0 | 6 |
| Jeonnam | 0 | 1 | 0 | 1 |
| Gyeongbuk | 10 | 0 | 0 | 10 |
| Gyeongnam | 0 | 1 | 0 | 1 |
| Jeju | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Sejong | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Total | 26 | 9 | 1 | 36 |

3.4. 지역별 '낙뢰' 재난 발생 현황

전국의 3년간 학교시설의 '낙뢰'로 인한 재난 발생 현황을 살펴보면 경북이 15건으로 가장 많았으며, 충남이 13건, 경기가 8건 순으로 나타났다.

전국의 연도별 발생건수를 살펴보면, 2014년도에 15건, 2015년도에 28건, 2016년도에 20건으로 가장 많은 것으로 나타났다(Table 5.).

Table 5. Current status of 'Flood' damages

| Area | 2014 | 2015 | 2016 | Total |
|-----------|------|------|------|-------|
| Seoul | 0 | 2 | 0 | 2 |
| Busan | 1 | 4 | 0 | 5 |
| Daegu | 0 | 6 | 1 | 7 |
| Incheon | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Gwangju | 2 | 0 | 3 | 5 |
| Daejeon | 3 | 0 | 0 | 3 |
| Ulsan | 0 | 0 | 1 | 1 |
| Gyeonggi | 0 | 8 | 0 | 8 |
| Gangwon | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Chungbuk | 1 | 0 | 0 | 1 |
| Chungnam | 6 | 2 | 5 | 13 |
| Jeonbuk | 1 | 0 | 0 | 1 |
| Jeonnam | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Gyeongbuk | 1 | 6 | 8 | 15 |
| Gyeongnam | 0 | 0 | 2 | 2 |
| Jeju | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Sejong | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Total | 15 | 28 | 20 | 63 |

3.5. 3년간의 피해유형 통계

지난 3년간의 연도별 피해 유형을 종합해보면(Table 6.), 풍해의 경우 2014년 43건 중 12건은 전남에서 그해 전체의 28%를 보였으며, 2015년 74건 중 전남에서 14건으로 그해 전체의 19%를 나타냈다. 2016년 141건 중 27건이 전남에서 발생되어 그해 전체의 19%로 발생한 것을 확인하였다.

수해의 경우, 2014년 42건 중 20건은 부산에서 그해 전체의 48%, 2015년 18건 중 경기도에서 4건으로 그해 전체의 22%를 나타냈다. 2016년 36건 중 8건이 전남에서 발생되어 그해 전체의 22%로 발생한 것을 확인하였다. 그해 전체의 48%, 2015년 18건 중 경기도에서 4건으로 그해 전체의 22%를 나타냈다. 2016년 36건 중 8건이 전남에서 발생하여 그해 전체의 22%로 발생한 것을 확인하였다.

설해의 경우, 2014년 26건 중 10건은 전남에서 그해 전체의 38%를 보였으며, 2015년 9건 중 전북에서 3건으로 그해 전체의 33%를 나타냈다. 2016년은 1건으로 건이 광주에서 발생한 것을 확인할 수 있었다.

낙뢰의 경우, 2014년 15건 중 6건은 충남에서 그해 전체의 40%를 보였으며, 2015년 28건 중 경기도에서 8건으로 그해 전체의 29%를 나타냈다. 2016년 20건 중 8건이 경북에서 발생한 그해 전체의 40%로 발생한 것을 확인하였다.

2014년 ~ 2016년 3년간의 학교시설 재난 발생 현황을 종합적으로 살펴보면 풍해는 258건으로 그중 48건은 전체의 19%가 전남에서 발생된 것을 확인하였으며, 수해의 경우 96건 중 전남에서 19건으로 전체의 19%가 발생했으며, 설해의 경우 36건 중 충남과 경북에서 각 10건씩 전체의 28%씩 발생되었다. 마지막으로 낙뢰의 경우 63건 중 경북에서 15건으로 전체의 24%가 발생되었다.

Table 6. Regions where disasters frequently occurred according to types over the last three years from 2014 to 2016

| Area | 2014 | | | | 2015 | | | | 2016 | | | | 3Year Total | | | | | | | | | |
|-----------|------|-------|------|-----------|------|-------|------|-----------|------|-------|------|-----------|-------------|----|-------|----|------|----|-----------|----|--|--|
| | Wind | Flood | Snow | Lightning | Wind | Flood | Snow | Lightning | Wind | Flood | Snow | Lightning | Wind | % | Flood | % | Snow | % | Lightning | % | | |
| Seoul | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 2 | 0 | 2 | 5 | 0 | 0 | 0 | 7 | 3 | 2 | 2 | 0 | 0 | 2 | 3 | | |
| Busan | 2 | 20 | 0 | 1 | 5 | 2 | 0 | 4 | 0 | 1 | 0 | 0 | 7 | 3 | 23 | 24 | 0 | 0 | 5 | 8 | | |
| Daegu | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 6 | 1 | 0 | 0 | 1 | 3 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7 | 11 | | |
| Incheon | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| Gwangju | 1 | 1 | 0 | 2 | 1 | 1 | 0 | 0 | 3 | 4 | 1 | 3 | 5 | 2 | 6 | 6 | 1 | 3 | 5 | 8 | | |
| Daejeon | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 | 0 | 0 | 0 | 5 | 1 | 0 | 0 | 8 | 3 | 1 | 1 | 0 | 0 | 3 | 5 | | |
| Ulsan | 2 | 0 | 4 | 0 | 13 | 2 | 0 | 0 | 6 | 0 | 0 | 1 | 21 | 8 | 2 | 2 | 4 | 11 | 1 | 2 | | |
| Gyeonggi | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 4 | 2 | 8 | 5 | 0 | 0 | 0 | 6 | 2 | 4 | 4 | 2 | 6 | 8 | 13 | | |
| Gangwon | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 13 | 0 | 0 | 0 | 14 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| Chungbuk | 4 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 15 | 5 | 0 | 0 | 20 | 8 | 6 | 6 | 1 | 3 | 1 | 2 | | |
| Chungnam | 6 | 3 | 9 | 6 | 9 | 1 | 1 | 2 | 7 | 5 | 0 | 5 | 22 | 9 | 9 | 9 | 10 | 28 | 13 | 21 | | |
| Jeonbuk | 5 | 0 | 3 | 1 | 3 | 0 | 3 | 0 | 12 | 4 | 0 | 0 | 20 | 8 | 4 | 4 | 6 | 17 | 1 | 2 | | |
| Jeonnam | 12 | 8 | 0 | 0 | 14 | 3 | 1 | 0 | 22 | 8 | 0 | 0 | 48 | 19 | 19 | 20 | 1 | 3 | 0 | 0 | | |
| Gyeongbuk | 4 | 0 | 10 | 1 | 8 | 2 | 0 | 6 | 27 | 3 | 0 | 8 | 39 | 15 | 5 | 5 | 10 | 28 | 15 | 24 | | |
| Gyeongnam | 5 | 9 | 0 | 0 | 10 | 0 | 1 | 0 | 13 | 4 | 0 | 2 | 28 | 11 | 13 | 14 | 1 | 3 | 2 | 3 | | |
| Jeju | 2 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 7 | 0 | 0 | 0 | 10 | 4 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| Sejong | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| Sum | 43 | 42 | 26 | 15 | 74 | 18 | 9 | 28 | 141 | 36 | 1 | 20 | 258 | | 96 | | 36 | | 63 | | | |
| Total | 126 | | | | 129 | | | | 198 | | | | 258 | | 96 | | 36 | | 63 | | | |

4. 재난발생 피해 지역 분석

4.1. 풍해의 피해지역

지난 3년간 학교시설의 재난 발생 현황을 살펴보면(Table 7.), ‘풍해’의 경우, 2014년 43건 중 12건이 발생한 전남지역의 경우 고흥에서 4건이 가장 많았으며, 2015년 74건 중 14건이 발생한 피해 역시 전남지역의 경우 영광에서 3건으로 가장 많이 나타났다. 2016년 141건 중 27건이 발생한 경북의 경우 포항에서 10건으로 가장 많은 것으로 조사됐다.

Table 7. Regions where disasters caused by wind disasters over the last three years

| Wind Damage | | | | | |
|----------------|----------|-------------------|----------|---------------|-----------|
| 2014 | | 2015 | | 2016 | |
| Jeonnam | | Jeonnam | | Gyeongbuk | |
| - | - | Ywangyang | 1 | Yeongdeok | 3 |
| Yeongam | 1 | Mokpo | 1 | Gyeongju | 4 |
| Goheung | 4 | Shinan | 1 | Pohang | 10 |
| haenam | 1 | Yeosu | 2 | Gumi | 2 |
| Wando | 2 | Wando | 1 | Gyeongsan | 3 |
| Gangjin | 1 | Gurye | 2 | Gimcheon | 1 |
| Yeosu | 2 | Naju | 1 | Uiseong | 1 |
| Yeonggwang | 1 | Gangjin | 1 | Uljin | 1 |
| - | - | Yeonggwang | 3 | Goryeong | 1 |
| - | - | Gokseong | 1 | Yeongju | 1 |
| Total | | | | | |
| 12 | | 14 | | 27 | |

4.2. 수해의 피해지역

‘수해’의 경우, 2014년 42건 중 20건이 발생한 부산지역의 경우 북구와 기장에서 각 4건씩 가장 많았으며, 2015년 18건 중 4건이 발생한 경기도지역의 경우 화성에서 2건, 전남지역의 영광에서 2건으로 가장 많이 나타났다. 2016년 36건 중 8건이 발생한 전남의 경우 광양에서 4건으로 가장 많은 것으로 조사됐다(Table 8.).

Table 8. Regions flood disasters caused by flood disasters over the last three years

| Flood Damage | | | | | |
|--------------|----------|-------------------|----------|------------------|----------|
| 2014 | | 2015 | | 2016 | |
| Busan | | Gyeonggi | | Jeonnam | |
| Sasang | 2 | Goyang | 1 | Sinan | 2 |
| Gangseo | 1 | Gapyeong | 1 | Mokpo | 1 |
| Geumjeong | 1 | Hwaseong | 2 | Suncheon | 1 |
| Bukgu | 4 | Jeonnam | | Gwangyang | 4 |
| Suyeong | 2 | Yeosu | 1 | - | - |
| Gijang | 4 | Yeonggwang | 2 | - | - |
| Dongnae | 3 | - | - | - | - |
| Haeun | 3 | - | - | - | - |
| Total | | | | | |
| 20 | | 7 | | 8 | |

4.3. 설해의 피해지역

‘설해’의 경우, 2014년 26건 중 10건이 발생한 경북지역의 경우 경주에서 6건으로 가장 많았으며, 2015년 9건 중 3건은 전북지역의 완주, 전주, 군산에서 각 1건씩 발생했다. 2016년은 1건으로 광주의 서구에서 발생한 것으로 조사됐다(Table 9.).

Table 9. Regions where disasters caused by snow disasters over the last three years

| Snow Damage | | | | | |
|-----------------|----------|---------|---|---------|---|
| 2014 | | 2015 | | 2016 | |
| Gyeongbuk | | Jeonbuk | | Gwangju | |
| Pohang | 3 | Wanju | 1 | Seo-gu | 1 |
| Gyeongju | 6 | Jeonju | 1 | - | - |
| Uljin | 1 | Gunsan | 1 | - | - |
| Total | | | | | |
| 10 | | 3 | | 1 | |

4.4. 낙뢰의 피해지역

‘낙뢰’의 경우, 2014년 15건 중 6건이 발생한 충남지역의 경우 천안과 당진에서 각 2건씩 가장 많았으며, 2015년 28건 중 8건은 경기도지역의 시흥과 김포에서 각 2건씩 발생했다. 2016년은 20건으로 경북의 경주, 영천, 김천에서 각 2건씩 발생한 것으로 조사됐다(Table 10.).

Table 10. Regions where disasters caused by lightning disasters over the last three years

| Lightning Damage | | | | | |
|------------------|----------|----------------|----------|-------------------|----------|
| 2014 | | 2015 | | 2016 | |
| Chungnam | | Gyeonggi | | Gyeongbuk | |
| Cheonan | 2 | Siheung | 2 | Gyeongju | 2 |
| Nonsan | 1 | Goyang | 1 | Yeongcheon | 2 |
| Dangjin | 2 | Bucheon | 1 | Chilgok | 1 |
| Asan | 1 | Seongnam | 1 | Uiseong | 1 |
| - | - | Ansan | 1 | Gimcheon | 2 |
| - | - | Gimpo | 2 | - | - |
| Total | | | | | |
| 6 | | 8 | | 8 | |

5. 재난발생 피해 시설물 현황

5.1. ‘풍해’에 의한 재난발생 피해 시설물

풍해에 의한 재난 발생 피해 시설물은 건물 옥상(지붕)이 누수로 인한 피해가 발생하거나 건물 출입문 천정의 스펀드렐(Spandrels) 마감재가 일부 탈락하는 등의 사고가 26건으로 가장 많았으며, 그 중 교사 동에서 8건, 체육관(다목적 강당 등)에서 7건으로 가장 많은 것으로 조사됐다.

또한, 전반적인 피해가 많이 발생한 곳은 전체 64건의 건축물 피해 현황 중 교사 동에서 15건, 본관에서 13건, 그리고 체육관(다목적 강당 등)과 학교 내 운동장 등에서 각 11건으로 피해 현황이 조사됐다(Table 11.).

Table 11. Patterns of 'wind damage' according to educational facilities over the last three years

| Division | Teacher building | Main building | Annex building | Auditorium | School cafeteria | Dormitory | Play-ground | Total |
|-------------------------------|------------------|---------------|----------------|------------|------------------|-----------|-------------|-------|
| School building | | | | | | | | |
| Inside | | | | | | | | |
| Wall | | | | 1 | | | | 1 |
| Ceiling | | 1 | | 1 | | 1 | | 3 |
| Internal equipment | | | | | | | | |
| Equipment facilities | | 1 | | | | | | 1 |
| Outside | | | | | | | | |
| Wall of building | 3 | 3 | 1 | 1 | 1 | | | 9 |
| Glass Window | | | | | | 2 | 2 | 0 |
| Building house | 8 | 2 | 1 | 7 | 3 | 2 | 3 | 26 |
| External equipment | | | | | | | | |
| Equipment facilities | 2 | 2 | | | | 1 | | 5 |
| Exterior of a school building | | | | | | | | |
| Other facility | | | | | | | | |
| Drainage channel | | 1 | | | | | | 1 |
| Awnings | 1 | 1 | | 1 | | | 2 | 5 |
| Flag pole | | | | | | | 1 | 1 |
| bicycle shed | | | | | | | 2 | 2 |
| Fence | 1 | 2 | 1 | | | 1 | 3 | 8 |
| Total | 15 | 13 | 3 | 11 | 4 | 7 | 11 | 64 |

5.2. '수해'에 의한 재난발생 피해 시설물

수해에 의한 재난 발생 피해 시설물은 학교 건축물 내부 중 바닥 침수로 인한 피해가 전체 18건으로 가장 많이 발생하였으며, 전반적인 피해가 많이 발생한 곳은 전체 52건의 건축물 피해 현황 중 교사 동에서 19건으로 가장 많은 피해현황이 조사됐다(Table 12).

Table 12. Patterns of 'flood damage' according to educational facilities over the last three years

| Division | Teacher building | Main building | Annex building | Auditorium | School cafeteria | Dormitory | Play-ground | Total |
|----------------------|------------------|---------------|----------------|------------|------------------|-----------|-------------|-------|
| School building | | | | | | | | |
| Inside | | | | | | | | |
| Floor | 11 | 1 | 1 | 3 | 2 | | | 18 |
| Wall | | | | 2 | | | | 2 |
| Ceiling | | 1 | 1 | 1 | 1 | | | 4 |
| Internal equipment | | | | | | | | |
| Broadcasting system | 1 | | | | | | | 1 |
| Electrical equipment | 1 | | 1 | | | | | 2 |
| Outside | | | | | | | | |
| Wall of building | 2 | 1 | | 2 | | | | 5 |
| Building house | 2 | 3 | | | | | | 5 |

| Division | Teacher building | Main building | Annex building | Auditorium | School cafeteria | Dormitory | Play-ground | Total |
|-------------------------------|------------------|---------------|----------------|------------|------------------|-----------|-------------|-------|
| External equipment | | | | | | | | |
| Equipment facilities | 1 | | | | | | | 1 |
| Exterior of a school building | | | | | | | | |
| Pavement | | | | | | | | |
| Walking street | | | | | | | 2 | 2 |
| Artificial turf | | | | | | | 3 | 3 |
| Soil inflow | 1 | | | 1 | | | 1 | 3 |
| Other facility | | | | | | | | |
| Drainage channel | | | | 1 | | | 5 | 6 |
| Street lamp | | 1 | | | | | | 1 |
| Parking lot | 1 | | | | | | 1 | 2 |
| Fence | | 1 | | | | | 6 | 7 |
| Total | 19 | 6 | 3 | 10 | 3 | 0 | 11 | 52 |

5.3. '설해'에 의한 재난발생 피해 시설물

설해에 의한 재난 발생 피해 시설물은 건물 옥상이 적설된 눈으로 인해 붕괴하는 피해가 발생하는 등의 사고가 12건으로 가장 많았으며, 그 중 본관동과 체육관 및 다목적 강당에서 각 3건, 교사 동과 별관, 급식소로 모두 2건씩 피해가 발생한 것으로 조사됐다.

또한, 전반적인 피해가 많이 발생한 곳은 전체 24건의 건축물 피해 현황 중 체육관(다목적 강당 등)동에서 7건으로 피해 현황이 조사됐다(Table 13.).

Table 13. Patterns of 'snow damage' according to educational facilities over the last three years

| Division | Teacher building | Main building | Annex building | Auditorium | School cafeteria | Golf, Baseball field | Play-ground | Total |
|------------------|------------------|---------------|----------------|------------|------------------|----------------------|-------------|-------|
| School building | | | | | | | | |
| Inside | | | | | | | | |
| Floor | | | | 1 | | | | 1 |
| Ceiling | 1 | | | 1 | | | | 2 |
| Outside | | | | | | | | |
| Wall of building | | | | 2 | 1 | | | 3 |
| Building house | 2 | 3 | 2 | 3 | 2 | | | 12 |
| Other facility | | | | | | | | |
| Netting | | | | | | 2 | | 2 |
| Awnings | 1 | 2 | | | | | | 3 |
| Fence | | | | | | | 1 | 1 |
| Total | 4 | 5 | 2 | 7 | 3 | 2 | 1 | 24 |

5.4. '낙뢰'에 의한 재난발생 피해 시설물

낙뢰에 의한 재난 발생 피해 시설물은 학교 건축물의 내부 중 설비 시설로 인한 피해가 전체 21건으로 가장 많이 발생하였으며, 전반적인 피해가 많이 발생한 곳은 전체 51건의 건축물 피해 현황 중 본관에서 18건으로 가장 많은 피해가 발생했으며, 뒤를 이어 교사 동에서 16건으로 피해 현황이 조사됐다(Table 14.).

Table 14. Patterns of 'lighting damage' according to educational facilities over the last three years

| Division | Teacher building | Main building | Annex building | Auditorium | School cafeteria | Dormitory | Play-ground | Total |
|-------------------------------|------------------|---------------|----------------|------------|------------------|-----------|-------------|-------|
| School building | | | | | | | | |
| Internal equipment | | | | | | | | |
| Broadcasting system | 2 | 2 | 3 | | | | | 7 |
| Electrical equipment | 2 | 4 | 1 | 1 | 1 | | | 9 |
| Equipment facilities | 8 | 7 | 4 | 1 | | 1 | | 21 |
| Equipment | 2 | 4 | 2 | 1 | 1 | | | 10 |
| External equipment | | | | | | | | |
| equipment facilities | 2 | 1 | | | | | | 3 |
| Exterior of a school building | | | | | | | | |
| Other facility | | | | | | | | |
| Fence | | | | | | | 1 | 1 |
| Total | 16 | 18 | 10 | 3 | 2 | 1 | 1 | 51 |

6. 피해 유형 분석

6.1. 풍해

2014년 전남에서 가장 많이 발생한 전체 12건 중 2건은 5월 중순에, 6월과 7월에 각 1건씩, 그리고 12월에 1건이 발생했으며, 가장 많은 피해는 7건으로 8월 초에 집중되었다. 당시 8월 날씨를 조사해 본 결과 제12호 태풍 '나크리(NAKRI)'에 의해 발생한 것으로 나타났다. 피해 원인으로 발생했으며 주요 재난 피해 장소는 교사 등의 외벽과 지붕이 파손된 경우가 많았다.

2015년 역시, 전남에서 가장 많이 발생한 건수 14건 중 10건은 7월 초에 집중된 것으로 제9호 태풍 '찬홈(CHAN-HOM)'에 의한 피해 원인으로 발생했으며, 그 외 3건은 10월 초에 집중된 것으로 제21호 태풍 '두쥐안(DUJUAN)'에 의한 피해 원인으로 발생했다. 그 외 나머지 1건은 4월에 발생했으며 주요 재난 피해 장소는 교사 등과 본관 등에서 외벽 드라이버트의 탈락과 지붕이 파손된 경우가 많았다.

2016년 경북에서 가장 많이 발생한 건수 27건 중 4건은 1월 중순, 20건은 4월 중순, 2건은 5월 초, 나머지 1건은 10월에 집중된 것으로, 특별한 태풍의 영향보다는 강풍에 의한 피해로 발생했다. 특히 11건은 경북 포항에서 발생한 것으로 나타났으며 주요 재난 피해 장소로는 역시 교사 등과 체육관 및 다목적강당 외벽의 파손인 경우가 많았다. 또한, 체육관(다목적 강당 등)의 경우 조립식 지붕 처마의 경우 온도변화에 따른 철반의 수축팽창이 반복되어 그사이 떨어진 틈새로 강풍이 유입되어 훼손 또는 지붕 마감재가 일부 탈락하기도 하였다. 또한 이렇게 탈락한 마감재는 다른 장소로 날아가 2차 피해 발생의 원인이 되기도 하였다.

특히 주변의 지형적 특징이나 아파트가 주로 밀집된 곳에 위치한 경우, 건물 사이의 골바람이 강해져 마감재의 틈새로 강풍이 유입되어 파손되기도 하였다. 건물 특성상 캐노피 구조의 출입구를 통해 내부로 유입된 강풍은 실내의 천장을 파손하기도 하였다.

6.2. 수해

2014년 부산에서 가장 많이 발생한 건수 20건 중 19건은 8월 중순, 1건은 10월 말에 집중된 것으로 집중호우로 인하여 피해가 발생

했다. 당 해의 8월은 앞서 풍해의 피해 원인과 같이 제12호 태풍 '나크리(NAKRI)'에 의해 발생한 것으로 나타났으며 주요 재난 피해 장소는 주로 교사동 건물 1층의 바닥의 침수 저층 구조로 된 매점 및 체육관에서 피해가 발생했다.

2015년 경기도에서 가장 많이 발생한 건수 4건 중 모두 6월 중순 ~ 7월 말에 집중된 것으로 집중호우로 인하여 피해가 발생했다. 주요 재난 피해 장소는 교사동 등 옥상의 출입문으로 우수가 유입되어 계단실을 경유해 하층부(1, 2층)까지 침수 피해가 발생하는 피해 등이 있었다.

2016년 전남에서 가장 많이 발생한 건수 8건 중 1건은 5월, 3건은 7월, 4건은 10월에 발생한 것으로 연일 계속된 장마와 국지성 폭우를 동반한 강풍으로 특히 10월은 일본 오키나와 쪽에서 불어온 태풍 '차바(CHABA)'로 인하여 강풍과 수해에 따른 피해가 발생되었다. 주요 피해가 발생한 장소로는 지붕의 마감재나 처마 등의 탈락에 의해 누수가 되어 내부로 우수가 유입되는 피해가 발생했다.

주요 시설피해 발생 원인은 건물 옥상의 방수층이 노후화로 인해 낡아져 방수층이 파괴되거나 균열이 생겨 쏟아지는 우수가 유입되어 건물 내내까지 흘러 들어가는 경우가 많았다. 이렇게 흘러간 물은 천정은 물론 벽체까지 훼손되는 피해를 발생시켰으며 특히, 가건물로 지어진 운동장이나 창고의 경우 피해 발생 이후 2차 피해가 습기로 인해 발생하기도 하였다. 급식소의 경우 주로 1층에 위치되어 있거나 단의 높이가 낮아 집중호우 발생 시 대량의 물이 유입되어 침수 피해가 발생하기도 하였다.

6.3. 설해

2014년 경북에서 가장 많이 발생한 건수 10건은 모두 2월 초 ~ 중순에 집중된 것으로 그중 5건은 포항에서 발생했으며, 5건은 경주에서 발생하였다. 주로 대설로 인하여 피해가 발생했으며, 주요 재난 피해 장소는 체육관(다목적 강당 등)의 지붕이 적설된 눈이 축적되면서 붕괴하는 등의 피해가 발생했다.

2015년 전북에서 가장 많이 발생한 건수 3건은 모두 11월에 집중된 것으로 전북 전주에서 피해가 발생했다. 역시 주로 대설로 인하여 피해가 발생했으며, 재난 피해 장소는 눈의 무게를 이기지 못한 소나무 가지가 담장으로 쓰러지면서 피해를 주거나 골프 및 야구 연습장의 그물망에 눈이 적재되면서 무게를 이기지 못하여 철재 기둥이 무너지는 등의 피해가 있었다.

2016년 광주광역시에서 1건으로 1월에 집중된 눈에 의해 우천 도로의 차양막(가림막) 등이 파손되는 피해가 있었다. 주요 시설피해 발생 원인은 폭설로 인해 무게를 이기지 못한 지붕 처마가 파손되거나 지붕의 지지대가 휘어지는 등의 피해가 가장 많았다. 또한 건물 주변의 소나무가지 등에 눈이 적재됨에 따라 무게를 이기지 못하고 담장으로 쓰러지면서 2차 피해로 담장이 파손되기도 하였으며, 특히 건물의 외부 시설물중 폴리카보네이트로 제작된 연결통로의 지붕용마루가 붕괴되는 사례도 있었다. 또한, 다목적 강당 등 천정고가 높은 실내 구조를 필요로 하는 돔 형태의 실내 운동장의 경우 지붕의 특성상 적설된 눈에 의해 건물이 붕괴하거나 지붕의 빗물 빠짐 홈통이 파손되는 등 피해가 있었다.

6.4. 낙뢰

2014년 충남에서 가장 많이 발생한 건수 6건 중 3건은 7월 중순 집중되었으며, 2건은 6월 중순, 1건은 8월 초에 집중되어 피해가 발

생됐다. 주요 재난 피해 장소는 주로 교사동 및 본관의 최대 수요 전력 제어 장치의 전력 제어장치 등 설비 피해가 발생했다.

2015년 경기도에서 가장 많이 발생한 건수 8건 중 4월, 9월에 각 1건씩, 8월과 6월에 각 2건, 1건은 10월에 발생한 것으로 특별히 계절에 집중되어 발생한 것으로 보이지 않았다. 주요 재난 피해 장소는 주로 교사동의 방송실, 전기 및 기계실의 방송 장비 및 CCTV 등 설비 피해가 발생했다.

2016년 경북에서 8건 모두 7월 초 ~ 8월 초에 집중 발생한 것으로 제1호 태풍 '네파탁(NEPARTAK)'에 의해 발생한 것으로 주요 재난 피해 장소는 본관 또는 별관, 신관의 방송실, 전기 및 기계실의 방송 장비 및 소방 설비 등 설비 피해가 발생했다.

주요 시설피해 발생 원인은 낙뢰에 의한 피해인 만큼 외부 피뢰설비가 훼손되거나 옥상에 설치된 에어컨 실외기의 접지 설치가 미흡하여 낙뢰 발생 시 메인보드가 파손되는 등 외부 기기의 작동을 불가능하게 만드는 피해가 발생하였으며, 내부 설비의 경우 외부에서 유입된 과전류로 인해 제품이 파손되는 등의 피해가 많았다.

7. 학교시설물의 자연재난 예방설계 개선

7.1. 풍해의 예방설계

지난 3년간 조사된 풍해로 인한 시설물의 피해는 주로 외벽의 드라이비트 탈락과 지붕 파손이 많았던 만큼 다음과 같은 예방설계안을 제시한다.

1) 해안지역 및 대규모 개발지역의 강풍 위험이 높은 지역의 피해 예방

풍해피해가 가장 많았던 2014년 전남 고흥, 2015년 전남 영광, 2016년 경북 포항은 모두 바닷가에 인접한 지역이다. 따라서 지형적인 여건상 강풍에 의한 피해위험이 높은 대규모 개발지역(開闢地域)에서의 건축물 개발을 최소화하는 것은 물론, 방풍림(바람막이 숲)을 조성하여 강풍뿐만 아니라 자연적인 공기 순환 및 온도조절이 가능할 것이다. 또한, 마운딩(흙 둔덕) 형태의 공원, 녹지 및 공공공지 조성을 병행하여 바람길을 확보하도록 하며, 가로수 및 녹지조성에 있어 심근성수종을 식재하여 강풍에 견딜 수 있도록 하고 나무가 쓰러짐으로 인한 2차 피해를 최소화할 수 있을 것이다.

2) 드라이비트¹⁾(외벽단열마감공법, EIFS(Exterior Insulation Finishing System) 공법 설계

태풍 등과 같은 강한 바람은 외벽의 단열마감재의 벌어진 틈새로 인하여 강풍이 유입하여 외부 벽체 마감재의 손상이 가장 많다. 외벽 단열마감시스템은 대표적으로 '드라이비트(Dry vit)'공법에 대한 시공이 이루어지고 있으나 드라이비트 공법의 가장 큰 장점은 다른 시공법에 비하여 가격이 저렴하고 공사 기간을 크게 단축할 수 있다는 점에 지금까지 많이 사용되어 왔다. 그러나 드라이비트 공법이 폴리스티렌 폼을 단열재로 사용하다 보니 강한 비바람 등의 외부 충격에 상대적으로 취약하다는 점은 단점으로 알려져 있다[5].

흔히 외벽 단열 공사에서는 판상형의 단열재 부착 시 전용 접착제를 사용하여 시공하는 것이 일반적이지만 접착제의 양이 적을 경우 강한 바람에 의해 부착된 단열재는 탈거되거나 파손될 수 있다. 이러한

피해를 최소화하기 위해서는 단열재 탈락을 방지해주는 화스너(앵커: anchor or 화스너: Fasner)²⁾를 이용하여 벽면의 구조체와 단열재를 일체화시킴으로써 외단열 재의 탈거를 방지할 수 있다. 또한, 표면에 일반 메시(mesh)를 부착함으로써 균열방지는 물론, 마감재를 보강해 줄 수 있다. 이때, 부착되는 메시 위로 몰탈 접착제와 시멘트를 혼합하여 빈틈없이 부착한다(Fig. 1.).



Fig. 1. Mesh (Left) and Fasner (Right) Used When Installing Dry-bit

7.2. 수해의 예방설계

지난 3년간 조사된 수해로 인한 시설물의 피해는 주로 집중호우로 인해 옥상에 우수가 유입되어 계단실 등을 경유해 내부까지 침수가 발생하거나, 1층의 경우 단의 높이가 낮아 대량의 물이 유입되는 경우가 많았던 만큼 다음과 같은 예방설계안을 제시한다.

1) 옥상 파라 펫의 설치

옥상의 파라 펫(Parapet)은 추락 방지 및 방수층 보호, 장식 등의 목적으로 시공된다. 높이는 접근이 가능한 옥상의 경우 1,100mm 이상 설치하며, 접근이 곤란한 경우는 약 400mm 내외의 높이로 설치한다[6]. 이 경우 난간대를 제외한 하부의 방수층 '추켜올림'의 높이가 낮을 경우 집중 호우시 지붕 전체에 물이 차올라 누수로 이어지게 된다. 따라서 이러한 피해가 주로 발생하는 지역이라면 파라 펫의 높이를 옥상 바닥 면에서 최소 200mm 이상 설치한다. 이때, 하부 슬래브에는 100mm 이상의 방수 턱을 만들어 바닥의 끝부분에 수직으로 시공한다(Fig. 2.).

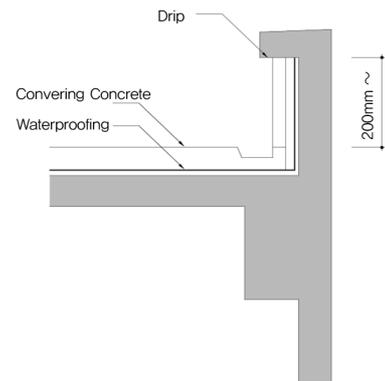


Fig. 2. Rooftop Waterproofing Line-up Height Design Plan

2) 저층 차수판의 설치

지반과 접하는 1층의 경우 바닥 높이에 관련한 규정을 찾아볼 수 없으므로, 집중 호우시 침수가 주로 발생하는 곳은 차수판(遮水板)을 설치하여 지면에 흐르는 빗물이 들어오지 못하도록 입구에 설치하여 침수 예방을 할 수 있다. 차수판 설치시는 서울시의 경우 지난 2009년부터 지하주택을 대상으로 차수판 설치 지원 사업을 실시하

1) 단열재, 접착제, 유리망섬유, 마감재의 4가지 요소로 이루어짐

2) 분리되어 있는 것을 잠그는 데 쓰이는 기구(볼트 및 너트, 너트 등)

여 그 효과를 입증한 바 있다[7].

7.3. 설해의 예방설계

지난 3년간 조사된 설해로 인한 시설물의 피해는 주로 대설로 인해 체육관(다목적 강당 등)의 샌드위치 패널이 붕괴하거나 적설 하중을 이기지 못한 나뭇가지나 담장이 쓰러지면서 생기는 피해가 많았던 만큼 다음과 같은 예방설계안을 제시한다.

1) 설계의 분리배치 설계

폭설에 취약한 가설건축물의 경우 눈의 하중을 견딜 수 있도록 설계하는 것은 기본일 것이며, 지붕이 연이어진 연동식보다 분리된 단동식으로 배치하는 것이 적설하중에 따른 붕괴피해를 일부 줄일 수 있다.

2) 스노우 펜스의 설치

폭설로 인한 피해가 주로 발생하는 지역의 경우 바람이 많은 산간 지역 및 급경사지 주변의 건물개발을 억제하고, 급경사지에 인접하여 개발된 지역의 경우 눈사태 및 산사태를 대비하여 스노우 펜스(Snow Fence)를 설치하여 피해를 줄일 수 있다. 바람이 많은 산간지역의 경우 내리던 눈이 멈췄다 하더라도 산에서 불어오는 눈이 다시 이동하여 적설 하중을 증가시키기도 하며, 주변 도로 역시 빙판으로 만드는 원인이기도 하다.

7.4. 낙뢰의 예방설계

지난 3년간 조사된 낙뢰로 인한 시설물의 피해는 주로 외부 피뢰설비가 훼손되거나 낙뢰로 인해 과전류가 유입되어 내부의 설비시설(방송실, 전기 및 기계실의 방송 장비 및 CCTV 등)에 피해가 많았던 만큼 다음과 같은 예방설계안을 제시한다.

1) 서지(Surge)보호를 위한 뇌뢰변압기 사용

현재 사용되는 전력통신설비의 낙뢰로 인한 취약부위를 크게 전자교환기 및 감시정보시스템에서 나타나고 있다. 감시카메라의 경우 높은 안테나 위에 설치되어 낙뢰 발생 시 대기전위의 상승으로 인한 STP 내선에 유도되는 유도뢰에 의한 STP 송수신기 및 카메라 손상으로 장애 원인이 분석된다. 또한, 통신실의 교환설비는 직격뢰에 의한 직접적인 피해는 없으나 유도뢰 및 간접뢰를 통하여 손상을 줄 수 있다. 이러한 피해를 줄이기 위해서는 낙뢰방지용 뇌뢰 변압기를 사용하여 교환기 자체를 강전 전원부와 분리하여 사용한다(Pack 2014)(Fig. 3.).

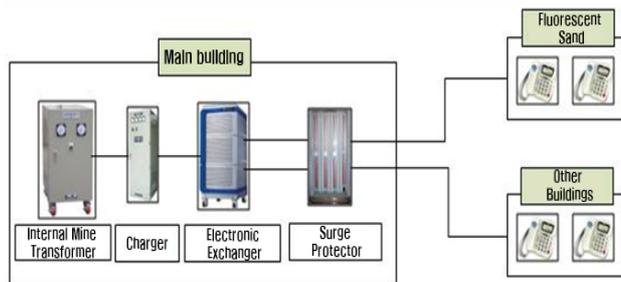


Fig. 3. Shield Transformer and Surge Protector Installation Diagram (2014. kiee)

8. 결론

3년간의 풍해로 인한 피해는 전라남도에서 19%, 수해로 인한 피해는 부산에서 24%, 설해의 경우 충청남도과 경상북도에서 28%씩, 그리고 낙뢰의 경우 경상북도에서 24%로 발생하였다. 3년간의 풍해 피해를 시설물별로 정리해 보면 학교 건축물의 외부 중 '건물의 옥상'에서 40.6%로 나타났으며, 그중 동별로는 '교사 동'에서 23.4%로 나타났다.

수해의 경우, 학교 건축물의 외부에서 유입된 우수로 인해 '내부 바닥'에서 피해가 29%로 나타났으며, 동별로는 '교사 동'에서 32.3%로 나타났다.

설해의 경우, 학교 건축물의 외부 중 '건물의 옥상'에서 19.4%로 나타났으며, 동별로는 '체육관(다목적 강당 등)'에서 29.2%로 나타났다.

낙뢰의 경우, 학교 건축물의 외부에서 유입된 과전류로 인해 내부 '설비시설'에서 41.2%로 나타났으며 동별로는 '본관 동'에서 35.3%로 나타났다.

이러한 자료를 종합하여, 다음과 같은 개선방안을 도출하였다.

첫째, 학교 건축물의 노후화에 의한 피해이다. 초등학교 시설물 10개 중 1개는 1970년 이전(45년 이상)에 설립되었고, 4개 중 1개는 1970 ~ 80년에 설립된 것으로 나타났다. 중학교의 경우에도 3개 중 1개 시설이 1980년 이전(35년 이상)에 설립된 것으로 나타나 학교 시설의 노후화의 비중이 높은 상황으로 조사됐다[8].

노후화된 학교 건축물은 반드시 자연재해로 인해서만 받게 되는 피해는 아닐 것이다. 옥상의 방수층 파괴로 인한 누수는 태풍이나 수해에 의해 발생하는 문제도 있지만 작은 양의 우수에도 발생할 수 있는 문제이기도 하다. 또한 이러한 방수층 파괴는 유지관리 측면에서도 충분히 예방할 수 있는 문제일수도 있다.

둘째, 재난 안전관리 진단의 부재이다. 최근 교육부는 '학교안전사고 예방 3개년(2016 ~ 2018) 기본계획'을 발표하며, 학교안전사고 예방 및 보상에 관한 법률 제4조에 따라 교육부는 [학교 안전 위험성 진단]을 각급 학교를 통해 실시하고 있다. 위험성 진단 프로세스는 재난과 학교 안전사고가 가진 속성으로 인해 각각의 위험성 진단 방법에 차이가 있었지만, 실제 현장의 체크리스트를 활용할 수 있는 '예비 점검'을 통해 '재난 위험성 진단' 등 잠재된 위험 요인들을 대상으로 '학교안전사고 위험성 진단'을 하는 것이다[9].

그러나 [학교안전 위험성 진단 매뉴얼]의 위험성 진단 서식을 살펴보면 "태풍의 경우(북태평양 남서부에서 발하는 열대성 저기압으로 해일, 수해, 풍해 등에 의한 심각한 경제적 손실과 인명피해를 유발)" 또는 "대설의 경우(강설이 집중적으로 발생하여 건물, 시설물의 붕괴, 교통의 마비와 혼잡 등으로 인명과 재산 피해를 유발)" 등 [10] 이와 같은 자연재해 예방을 위한 지속적 관리와 평가체계보다는 인간이 다소 예측하기 어려운 부분이 포함되어 있다.

셋째, 시설관리 예방의 미흡이다. 건물의 옥상 피해는 풍해에서는 물론 설해에서도 가장 많이 나타났었는데, 원인 중 하나로 앞서 말한 옥상 노후화에 따른 방수층 파괴뿐 아니라 옥상의 우수관이 막힘에 따른 역류의 문제도 있었다. 옥상의 우수관은 비로 인한 물을 배수하는 기본적인 시설이다. 그러나 계절의 변화에 따른 낙엽이나 먼지, 모

래 등이 우수관을 막는 주된 원인이 되면서 아래로 내려 보내져야 할 빗물이 역류됨에 고이게 되어 방수층 파괴시간을 보다 앞당기거나 파괴된 방수층 아래로 물이 투입되어 실내로까지 피해를 보게 만들기도 한다. 이러한 소소한 곳에서의 관리는 반드시 강한 태풍이나 폭우가 아니어도 일반적인 날씨 변화에 맞추어 확인할 수 있는 부분일 것이다.

넷째, 관리자의 관심 부재이다. 지난 2014년 2월 경상북도에서 발생한 10건 중 5건씩 포항과 경주에서 발생한 설해 피해의 경우 경주에서는 당시 대학생 4명이 사망하고 100여명이 매몰됐던 경주 마우나오션리조트 체육관 붕괴사고가 있었다. 가장 큰 원인으로 논의 하중을 견디지 못한 체육관 지붕이 무너져 내린 것으로 당시 체육관 지붕은 샌드위치 패널 구조로 이루어져 있었다[11]. 이 때문에 콘크리트 구조보다는 논의 하중에 약할 수밖에 없었을 것이다. 당시 지붕 위에 쌓인 눈을 어느 정도 치웠더라면 참사는 막을 수 있었을 것으로 보인다.

이처럼 예비 점검과 재난 발생에 따른 2차 피해방지 조치의 필요성은 중요한 부분이라 할 수 있을 것이다.

다섯째, 현행 법률적 문제이다. 낙뢰의 경우 근본적인 현행법률적 문제가 발견되기도 했다. 현행법은 건물 높이 20m로 6층 정도의 높이 이상의 건물에만 피뢰침 설치가 의무화되어 있다. 그러나 전국 초·중·고 건물 중 91.3%는 높이 20m 이하의 건물로 피뢰침 설치의 의무가 없는 것으로 조사됐다. 그러나 학교에서 낙뢰가 발생된 높이는 평균 1.85층 정도로 보통 2층 정도의 높이에서 가장 많이 발생되었다[12]. 또한, 낙뢰의 피해는 주로 교사동과 본관동에서 발생한 것을 확인할 수 있었는데 옥상에 설치된 피뢰설비를 통해 내부 최신 기계적 설비 장비로 과전류가 유입되면서 파손된 것이 많았다. 이러한 피해는 시대가 기계화되면서 더욱 더 많아지고 있는 추세로서 지난 2014년도 원인별 화재 현황을 살펴해보더라도 낙뢰로 인한 화재피해가 57%로 가장 많은 것으로 나타났다.

본 연구는 지난 2014년 ~ 2016, 3년간의 자연재해에 대한 피해조사 분석 연구로써 다양한 형태의 자연재해를 풍해, 수해, 설해, 낙뢰로 재난 중별구분을 하여 전국의 17개의 시, 도의 초, 중, 고등학교 중에서 '교육시설재난공제회'에 가입 중인 학교를 기준으로 자연재해 피해 원인을 유형별로 조사 분석하였다. 그 과정에서 3년간의 방대한 시설 피해 자료를 구분하였으며, 전국 피해 현황은 물론 세부 지역적 피해 정도와 당시 해당 월의 기상 자료를 바탕으로 발생 요인을 조사하였으며, 그 과정을 통해 조사된 주요 피해 지역 및 피해시설물을 예방할 수 있는 개선방안은 건축물 설계 자격을 갖춘 전문 기술자인 건축사를 통해 예방설계안을 제시하였다.

그러나 본 연구가 재난공제회에 가입된 학교 위주로 조사된 것이며, 가입범위 내의 국한된 설정에서 조사되었기에 실제 피해 정도 및 발생 범위 그리고 본 연구가 재난공제회에서 제공된 출장 복명서 위주로 분석된 만큼 피해 당시 현장 기록에 의한 현장감 또한 분명한 차이가 있을 것이다. 이러한 연구 한계가 극복되기 위한 피해시설물 조사방식과 출장 또는 현장 관리자의 현장을 통한 세심한 보고서와 이를 위한 관계 체크리스트 개발 등보다 깊은 연구가 진행되어야 할 것이다.

이 연구를 통해 향후 학교 안전을 위해 다양한 자연재해의 피해 정도와 예방을 위한 시설물 관리, 그리고 다년간의 피해조사가 이루어진 만큼 향후 데이터로서의 자연재해 예방으로 활용되기를 기대한다.

Acknowledgement

본 연구는 2019년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기본연구임(No.2018R1D1A1B07049227).

Reference

- [1] 교육시설재난공제회, 교육시설 재난사례집, 2015 // (Education facility disaster association, Education Facility Disaster Casebook, 2015)
- [2] 김태희, 엄건철, 공립학교 시설물 유지관리 체계 개선방안, 한국생태환경건축학회논문집, Vol.7 (3호), 2007, pp.81-88 // (T.H. Kim, G.C. Eom, A Study on the Maintenance System Improvement for Public Educational Buildings, Korea Institute of Ecological Architecture and Environment, Vol. 7 (3), 2007, pp.81-88)
- [3] 고재근, 스포츠산업, 경영: 지역별에 따른 체육시설 현황과 성과에 관한 연구, 한국체육학회지-인문사회과학, Vol.43 (1호), 2004, pp.335-347 // (J.G. Ko, A Study on The Current Status and performance of Sports Facility According to Geographical Region, Korean Journal of Physical Education, Vol. 43, No.1, 2004, pp.335-347)
- [4] 장태현, 한국 재난통합관리체제에 관한 연구, 인하대학교 석사학위논문, 2004 // (T.H. Jang, A Study of Korea's Integrated Disaster Management System, INHA UNIVERSITY, 2004)
- [5] 건설경제 홈페이지, 불에 약한 드라이비트 강풍에도 취약, http://m.cnews.co.kr/m_home/view.jsp?idxno=201508271125117630277#cb, 2015.08.28. // (Construction Economy Homepage, Vulnerable to Fire and Weak Dry-bit Wind.)
- [6] 이용원, 한유길, 김중, 연구원, 옥상 파라펫의 구조적 성능에 대한 실험적 연구, 한국콘크리트학회 학술대회 논문집, Vol. 2013 (5호), 2013, pp.405-406 // (Y.W. Lee, Y.G. Han, J. Kim, K.W. Yeun, An Experimental Study of the Structural Performance for the Roof Parapet, Korea Concrete Institute, Vol. 2013 (5), pp.405-406)
- [7] Future Eco 홈페이지, 소상공인 침수피해 차수판으로 막는다, <http://www.ecofuturenetwork.co.kr/news/articleView.html?idxno=7260>, 2012.02.16. // (Future Eco Homepage, Flood Damage to Small Businesses, and Block Them With Water Plate.)
- [8] 한국개발연구원, 교육환경시설 투자의 중요성과 개선방안, 2017 // (Korea development institute, The Significance of Investing in School Facilities and Measures for Reform, KDI FOCUS No.87, 2017)
- [9] 정상필, 김진욱, 학교안전사고 평가 시스템 개발 기초연구, 대한건축학회 학술발표대회 논문집, Vol. 38 (1호), 2018, pp.163-166 // (S.P. Jung, J.W. Kim, A Study on the Development of School Safety Accident Assessment System, Architectural Institute of Korea, Vol. 38 (1), 2018, pp.163-166)
- [10] 교육부, 학교안전 위험성진단 매뉴얼, 2016 // (MINISTRY OF EDUCATION, School Safety Risk Assessment Manual, 2016)
- [11] 아시아경제 홈페이지, 경주 마우나리조트 붕괴사고 “사고원인 알고보니”, <http://www.asiae.co.kr/news/view.htm?idxno=2014021813324103271>, 2014.02.15. // (Asian Economic Homepage, Gyeongju Mauna Resort Collapse Accident.)
- [12] YTN 홈페이지, 학교낙뢰 ‘캉캉’ 연평균 220여회 대비책 ‘구멍’, http://www.ytn.co.kr/_ln/0103_201607020454222633, 2016.01.02. // (YTN Homepage. School Lightning 'Boom, Boom' Averaging Over 220 Times a Year 'Hole'.)
- [13] 교육시설재난공제회, 학교시설 자연재난 예방 설계 가이드, 2018 // (Education facility disaster association, A School Facility Design Guide for Prevention of Natural Disasters, 2018)
- [14] 박수환, 전력통신설비 낙뢰 및 썬지보호 대책방안, 대한전기학회 학술대회 논문집, Vol. 2014 (7호), 2014, pp.444-445 // (S.H. Park, A Study on the protection the thunderbolt and surge of Electric Power Facilities, The Korean Institute of Electrical Engineers, Vol. 2014 (7), 2014, pp.444-445)
- [15] 장은숙, 효율적인 지역재해방재를 위한 방재정보 활용에 관한 연구, 강원발전연구원, 2008 // (E.S. Jang, A Study on the Utilization of Information for Disaster Prevention to Efficiently Prevent Regional Disasters, Research Institute for Gangwon, 2008)

1) 본 재난 발생 현황 자료는 '교육시설재난공제회'의 공제 가입 중인 학교를 중심으로 작성된 자료로서 실제 발생한 사고 건수와의 차이가 있을 수 있음을 공지한다.