

동남아시아 재난에 적합한 도심형 홍수임시차수시스템 개발

정인수^{1*}, 오은호²

¹한국건설기술연구원 건설정책연구소, ²(주)우노

Development of Flood Rapid Defense System(FRDS) suitable for Southeast Asian Disaster

In-Su Jung^{1*}, Eun-Ho Oh²

¹Department of Construction Policy Research, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology(KICT),
²uno

요약 방콕(태국) 등 동남아시아 도시 홍수의 경우 열악한 배수시설로 포장된 도로를 따라 광대한 도심지역이 저수위 홍수에 침수되고 있다. 모래가 부족한 도심지의 경우 모래주머니 등 기존 침수방지 방법은 유효하지 않으므로 인공적인 침수방어 구조물을 설치할 필요가 있다. 이와 관련하여 유럽 및 북미 일부 선진국을 중심으로 개발된 침수월류방어장비들은 고가에 복잡한 시공성을 가지고 있어 동남아시아 지역에 지면을 확대하기 어려운 상황이다. 따라서 저가 및 단순·고기능형 도심형 홍수임시차수시스템(FRDS)을 개발할 필요가 있다. 이에 본 연구에서는 FRDS의 개요 고찰, 국내외 개발 동향 분석, 개발 니즈 및 방향 제시 등을 통해 동남아시아에 적용할 수 있는 FRDS를 개발하였다. 개발한 시스템은 한국건설생활시험연구원 서산 옥외실증시험센터에서 누수율변형 시험 및 내충격성 시험에 관한 KS 성능평가를 실시하였으며, KS F 2639(누수율 변형 시험)과 KS F2236(내충격성 시험) 기준을 통과하였다. 본 연구결과는 홍수재난과 관련하여 동남아시아가 도시홍수에 적용할 뿐만 아니라, 국내 홍수빈발지역 및 주요시설 등에 활용할 수 있을 것으로 판단되며, 도시홍수와 관련하여 주요지자체 및 시설물 관리기관의 과학적·능동적 대응을 유도할 수 있을 것이다.

Abstract A large urban region in Bangkok, Thailand is often inundated due to shallow water floods along the paved roads that have poor drainage facilities, and that can cause urban flooding. Existing methods, including using sand bags are not effective to prevent flooding in urban areas where the amount of sand is not sufficient. Thus, it is necessary to install artificial flood defense structures. However flooding and overflow defense equipment, which was developed in some advanced nations in Europe and in the USA, is highly expensive and complex construction methods are needed, therefore they are not suitable to be used in Southeast Asia. Thus, it is necessary to develop a flood rapid defense system(FRDS), which is inexpensive and simple to build, but is also highly functional. Thus, this study developed an FRDS that can be applied to Southeast Asia through the careful study of FRDS overviews, an analysis on the development trends in Korea and overseas, and the proposal of development needs and directions of the region. For the system developed, Korean Standards(KS) performance evaluations on leakage ratio deformation tests and impact resistance tests were conducted at the Outdoor Demonstration Test Center(Seosan) in the Korea Conformity Laboratories(KCL) and the system satisfied the standards of KS F 2639(leakage and deformation test) and KS F 2236(impact resistance test). The present study results can not only be applied to urban floods in Southeast Asian nations to cope with flood-related disasters, but also be utilized in flood prone regions and for major facilities in Korea. They can also induce scientific and pro-active responses from major local governments and facility management organizations in relation to urban floods.

Keywords : Disaster, Flood, FRDS, Southeast Asia, Thailand

본 연구는 행정안전부 극한재난대응기반기술개발의 연구비 지원(2017-MOIS31-004)에 의해 수행되었습니다.

*Corresponding Author : In-Su Jung(Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology(KICT))

Tel: +82-31-910-0329 email: jis@kict.re.kr

Received July 24, 2018

Revised (1st August 22, 2018, 2nd September 11, 2018, 3rd September 21, 2018)

Accepted November 2, 2018

Published November 30, 2018

1. 서론

1.1 연구배경 및 목적

세계 각국은 이상기후성 집중호우로 몸살을 앓고 있다. 20세기에 들어서면서 전 세계의 총 강수량이 20% 증가했는데, 이 강수가 모든 지역에 고르게 내리는 것이 아니라 일부 지역에만 집중되면서 극심한 피해로 이어지고 있다. 집중호우로 인한 홍수가 발생하게 되면 특히 배수시설이 노후화되거나 미흡한 도시지역의 피해는 이루 말할 수 없이 크다. 전 세계적으로 홍수 발생 건수가 지속적으로 늘고 있는 상황에서, 홍수 대응 기술의 개발과 성장은 아주 중요한 가치를 지녔다[1].

2017년 5월, 태국 방콕에서 대홍수가 발생해 도심 지역 대부분이 침수되는 피해를 입었다. 태국은 배수시설이 열악해 도시 홍수가 발생할 경우 도로를 따라 광대한 도심지역이 침수되는데, 이 피해가 매년 반복되고 있다. 도시 홍수는 일반적으로 30~40cm 저수위 침수를 유발한다. 이때 배수시설이 미흡하면 장시간 침수된 상태로 남게 되어 큰 피해로 이어진다. 하천지역과 달리 모래가 부족한 도심지의 경우 모래주머니 등 기존 침수방지 방법은 유효하지 않으므로 인공적인 침수방어구조물을 설치할 필요가 있다[1].

태국뿐만 아니라 베트남 등 다른 동남아시아에서도 집중호우로 인한 홍수가 빈발하고 있으며, 선진국에서는 이러한 홍수에 대비해 도시/SOC 시설보호 및 긴급대응을 위해 홍수임시차수시스템(Flood Rapid Defense System, 이하 FRDS)을 사용하고 있다. 하지만 선진국의

시스템은 고가이며 흙제방 등에 적합한 썬기형 패널로 비교적 후진국이 준비한 동남아시아에 적용하기에는 적합하지 않다[2]. 따라서 본 연구에서는 동남아시아에 적용할 수 있는 FRDS를 개발하고자 한다.

1.2 연구방법 및 범위

본 연구는 다음과 같은 방법으로 수행하였다.

- FRDS 개요 고찰
- 국내외 개발 동향 분석
- 동향 분석을 통한 FRDS 개발 니즈-방향 제시
- FRDS 개발 및 실험

본 연구는 제방 등 흙바닥이 아닌 포장된 도로 등과 같은 도심지역의 홍수 상황에 적용하기 위하여 기존 썬기형이 아닌 발바닥형으로 제작하였다. 이는 배수시설이 열악한 태국 등 동남아시아 지역에 적용할 용도로 개발하였으며, 국내에서도 일부 사용이 가능할 수 있도록 하였다.

또한 태국 등 동남아시아 현지에는 홍수 제품인증에 대한 절차가 없어 국내 KS인증을 받은 후 그 결과를 바탕으로 태국 현지에서 홍수/재난 관련 정부부처, 공공기관의 적용성 승인을 받는 교차인증 절차로 대체하였다.

2. FRDS 현황

2.1 FRDS 기술 정의 및 개요

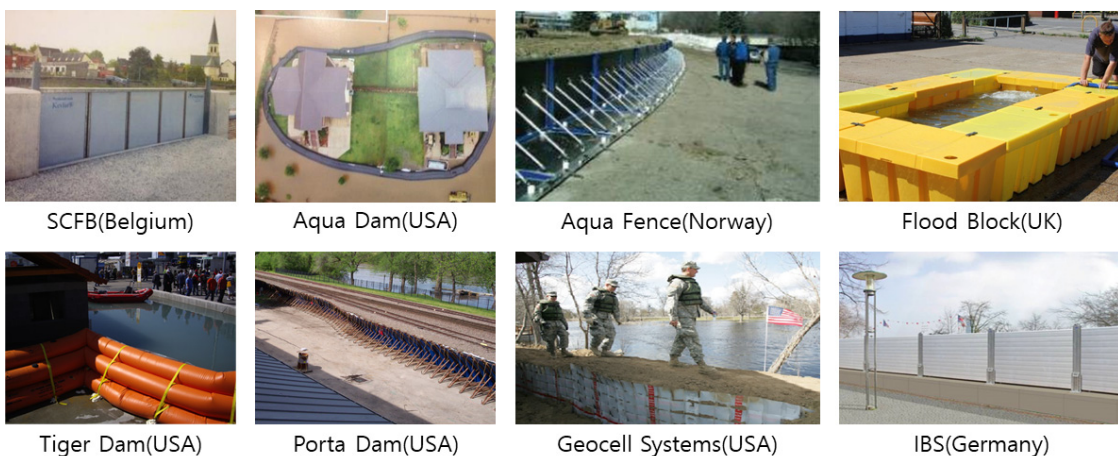


Fig. 1. Major world-wide FRDS

FRDS는 홍수임시차수시스템으로 도시 및 SOC 시설 보호 및 긴급대응을 위한 침수대응 장비로 개발되었으며, 점/선/면 시설물 월류/침수 방어, 파이핑 방지 월형댐 기능 구현, 가뭄대응 임시저류댐 기능 구현 등 다목적 용도로 사용이 가능한 시스템이다. 기존에 개발된 FRDS는 홍수 발생 시 1차 방어선인 제방과 2차 방어선인 제내지 유수지, 농지, 도로경계에 선형으로 구축하여 월류 또는 침수 방지 기능을 구현하며, 흙제방 등에 적합한 ‘췌기형’ 패널로 밑부분을 흙 속에 깊게 파묻는 방식이다.

2.2 국내·외 FRDS 기술 및 제품 동향

국내와 달리 미국, 영국, 벨기에 등 해외 주요국들은 다양한 홍수임시차수시스템 또는 제품을 개발하여 현업에 적용하고 있다[3].

홍수임시차수제품은 대형 홍수가 자주 발생하는 미국을 중심으로 튜브형과 패널형으로 개발·상용화되고 있으며, 타이거댐, 아쿠아댐, 포르타댐 등이 전세계적으로 활용되고 있는 제품들이다. 지진과 홍수 등 자연재해가 자주 발생하는 뉴질랜드도 패널형 홍수차단 제품이 활발하게 개발되고 있음을 알 수 있다(Fig. 1).

국내에는 미국의 포르타 댐(Porta Dam), 아쿠아 댐(Aqua Dam) 등과 같은 장비가 아닌 가변식 차수판이 주로 사용되고 있다[3].

2.3 동향분석 시사점

국외 주요국의 기술 동향을 분석한 결과, 지오셀공법(미국, 월류방지대책), 지오투브공법(미국, 붕괴제방 하천수 차단) 등 토목섬유 등과 같은 신소재를 활용한 공법들을 포함하여 다양한 제품들이 출시·적용되고 있는 것으로 파악된다. 이동형 홍수차단 제품의 원조격인 포르타댐(미국) 등 도심지 내 호텔, 저지대 지하실 등의 범람수 차단과 도심지 수재해 방지를 위한 제품이 개발되어 있다. 수해대책의 경우 기본장비인 모래포대 제작 플랜트가 개발되어 있으나, 40kg 정도로 무게가 큰 단점이 있다. 전반적으로 지하철 범람수 차단, 수문자동개폐 장치, 개인용 안전용구, 소형무인헬기 등 안전산업이 해외 주요국들에 생활화되고 있는 것을 알 수 있다.

따라서 국내 환경에 맞게 새로 제작해야 하는 제품도 있으나, 영국 The Flood Expo 2017에 출시된 홍수차단 제품들 중 국내에 직수입하여 사용할 수 있는 제품들도 상당히 많은 것으로 판단된다. Aggeres사의 SCFB는 라

이센스 도입 후 제작 또는 직접 수입을 통해 도로 및 천수구역 홍수차단에 사용이 가능하며, 제방 배수통문에 적용할 수 있는 제품 제작 및 특허출원도 가능할 것으로 판단된다. IBS Flood 플레이트 시스템의 경우 최근 중국에서 가격이 저렴한 유사제품이 출시되어 이를 직접 수입하여 보급하는 것이 바람직해 보인다. Flood Block과 Hydroguard는 영국제품의 기술적 우수성이 높으므로 수입가격이 적정할 경우 직접 수입 보급하는 것이 바람직해 보이며, 특히 토목시설물 보다 주거용 주택, 사무용 빌딩 등의 침수대비책으로 활발히 적용될 것으로 판단된다. 한편, A+A사의 방수용 wall spray는 누구나 쉽게 급속시공이 가능하고 반영구적으로 사용할 수 있으므로 민간 보급 및 활용이 우수할 것으로 판단된다. 이외 포터블 펌프키트와 던지는 형태의 로프 등도 좋은 아이템이 될 것으로 보이며, 응급키트 패키지로 국내 개발하여 보급할 경우 각 공공기관 및 일반 주거지 침수 시 응급처치용으로 사용 가능하다.

국내 제품의 경우 영구설치식 홍수차단 제품인 지주형 물막이판, 자동물막이도어, 교량/하수 차수판 등 위주로 제품이 판매되고 있는 실정이라서 임시설치 또는 급속설치가 가능한 제품의 개발 및 적용이 필요하다.

또한 콘크리트바닥 또는 포장도로를 따라 침수되는 도심지 홍수의 경우 기 개발된 FRDS 적용이 곤란하다. 따라서 도시내 홍수범람 메커니즘 및 홍수장비가 갖추어야 할 조건 등을 파악하여 포장도로면에 설치가 가능하고 신속한 이동설치를 위한 유닛화된 소형 패널로 개선하여 경량화 확보 및 상하좌우 무한확장도 가능하게 제작할 필요가 있다.

3. FRDS 개발 니즈 및 방향

홍수차단 제품은 홍수 발생 시 1차 방어선인 제방과 2차 방어선인 제내지 유수지, 농지, 도로경계부 분에 선형 FRDS를 구축, 흙제방·대지 및 아스팔트포장의 도로면의 월류/침수를 방어할 수 있어야 한다. 이를 통해 국내 자연재해의 70% 이상을 차지하며 대부분의 인명/재산 피해를 초래하는 홍수재해에 적극적/능동적인 대응이 가능해야 하며, 주관 및 공공기관 내 지반·구조·시설물 전문가의 노하우를 통해 현장 필요성 및 적용성이 높은 제품 및 시공방법을 도출할 수 있어야 한다. 그동안 파이

평 방지를 위한 월형댐 구축에 모래주머니만 사용되어 왔으나, 본 시스템 개발 및 적용을 통해 신속한 설치 및 대응이 가능해져야 하며, 강화 합성수지 신소재 및 스테인레스 등을 사용하여 해당 재료분야의 방재·안전산업으로의 진출도 가능해야 한다.

위 조건에 상응하는 홍수차단 제품 개발의 요구조건은 아래와 같다.

첫 번째 요구조건은 사회적 필요성 부합 여부이다. 재난대응의 4단계(장기대응/직전대응/재난발생시대응/사후복구) 중 국내 시설 관리기관 및 시 지자체의 대응력이 미흡한 재난발생 직전 및 재난발생 시 활용 가능한 시스템이 필요하다. 급속설치식 홍수임시차수시스템은 홍수 등 재난 발생 직전·중·직후 긴급하게 설치·전개가 가능하여 시기적절한 초동대응에 긴요하게 활용 가능하다. 재난 직전/발생 시 골든타임 내 적절하게 이루어지는 초동대응이 인명/재산 피해를 크게 감소시킨다. 또한, 점단위 시설물(민간기업, 특수시설물 등)의 입구/통로에 설치하는 고가의 영구설치식 차단막 시스템을 대체할 뿐만 아니라, 제방, 도로, 농장 등 개방된 대지와, 호텔, 학교, 하수처리장 등 시설물 주변의 넓은 구역(선/면단위)에 설치가 가능해야 하므로 연결 및 확장 사용이 가능한 급속설치식 홍수임시차수시스템이 필요하다.

두 번째 요구조건은 기술적, 가격적 우위 충족이다. 내구성/내후성/내충격성/가벼움/경쟁력이 매우 높은 PVC 재료 및 최첨단 기본/곡선/막구조 하이브리드 프레임 및 고압착 긴결방식의 차수벽 구조가 필요하다. 본 연구의 홍수임시차수시스템의 가격은 국내외 경쟁기술 또는 제품과 동일한 수준이거나 더 저렴해야 한다. 이를 위해 국내 유사제품 및 Porta-Dam, AquaFence 등 해외 제품의 제작/설치비용 등을 비교·분석하였다.

세 번째 요구조건은 다목적(Multi-purpose) 기능 구현이다. 국내외 개발 및 활용되는 차수장치, Pocket-Dam, Porta-Dam, AquaFence 등은 월류/침수 방어의 단일 목적만을 수행하나, 본 연구에서 추구하는 홍수임시차수시스템은 ① 기본/곡선 FRDS를 이용한 점/선/면 시설물 월류/침수 방어, ② 곡선 FRDS를 이용한 파이프 방지 월형댐 기능 구현, ③ 곡선 FRDS를 이용한 가물대응 임시저류댐 기능 구현 등 최소 3가지 이상의 기능을 다목적으로 구현이 필요하다.

마지막 요구조건은 평상 시 활용 및 유지관리 용이성 확보이다. 홍수재난의 특성은 간헐적으로 발생하는 것이

며, 매년 본 제품이 침수방어의 목적으로 사용되지 않을 수 있으므로 평상 시 물돌리기 또는 보수공사에 사용 가능해야 한다. 집중호우 및 태풍에 의한 내륙 침수 외에 해안가 파도 및 해일을 대비한 제품으로도 사용가능하도록 내구성과 강성이 확보되어야 한다. 장기간 사용을 위한 유지관리 및 보관성도 용이해야 한다(Fig. 2).

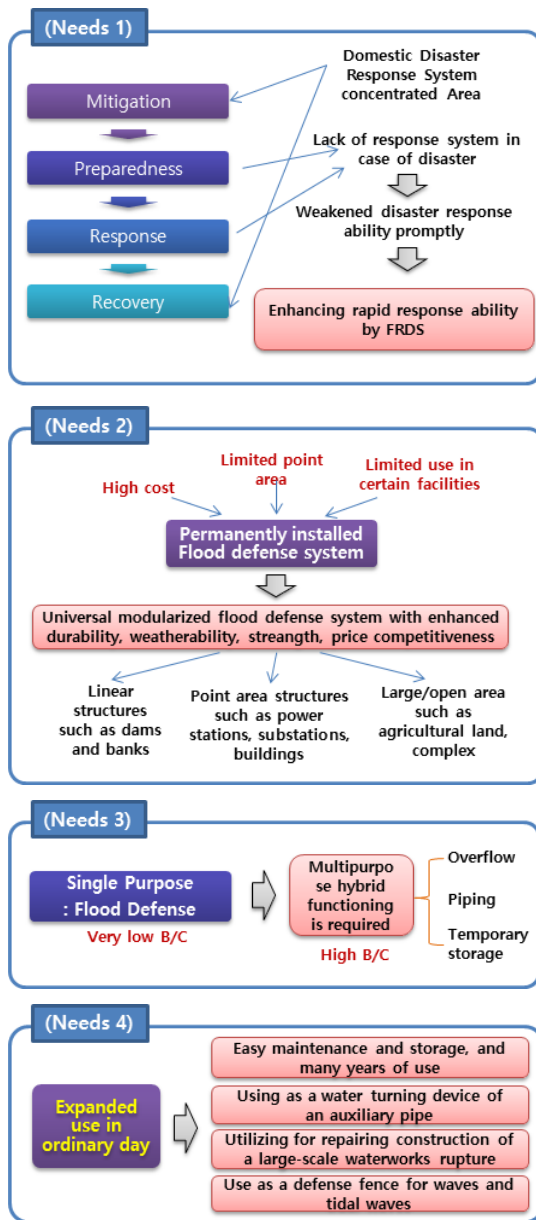


Fig. 2. Development needs of FRDS

4. FRDS 개발 및 시험

4.1 시제품 개발 방향 설정

국내외 홍수차단 제품의 분석결과, 국내에 비해 국외에서 Porta-Dam, AquaFence 등 급속설치식 제품들이 활발하게 사용되고 있음을 알 수 있었다. 본 연구 개발목표인 도심형 FRDS의 경우, 국외에서 활발히 시공되는 제품 중 도심지 적용에 적합한 AquaFence를 대상으로 개발 방향을 설정하였다. 아울러 개발될 FRDS는 태국의 도심지 적용에 적합하여야 하므로, 태국 도시 홍수에 적합하도록 아스팔트 및 콘크리트 포장도로면에 설치 가능해야 하며, 도시홍수의 저수위 특성에 맞도록 낮은 높이 침수방어에 적합하도록 소형 유닛패널 형태로 개발되어야 한다. 이러한 종합적인 요소를 고려하여 시제품 도면 개발 방향은 다음과 같이 정리할 수 있다.

- 시제품은 도시 아스팔트 및 콘크리트 도로에 설치되도록 바닥접촉면(발바닥형) 설계 필요
- 시제품은 영구설치식이 아닌 급속설치식 홍수차단 제품으로 설계하여 임시, 급속설치가 가능
- 시제품의 경량화, 소형화로 기제품과 차별화
- 상하좌우가 동일한 모듈방식을 채택하여 대상 시설물에 따른 적절한 대응 및 좌우상하 무한 확장이 가능해야함
- 설치 및 해체가 간편한 구조로 채택

4.2 시제품 설계 및 도면 제작

앞에서 분석한 내용을 기반으로 다음과 같이 시제품의 상세도면을 개발하였다. 시제품은 베이스, 패널 A, 패널 B, 버트리스 파이프, 플레이트, 시제품 연결용 수직/수평 프레임 A1 및 프레임 B1, 패널 D로 구성되어있다. 시제품은 베이스, 패널 A, 패널 B 모두 동일하게 400mm(가로)×400mm(세로) 크기로 제작하여 소형화 및 경량화에 중점을 두었다. 또한 시작금형에서 플라스틱을 사출하기 위해 차수판인 패널을 패널 A, 패널 B로 구분하여 각각 설계하였다. 버트리스 파이프는 패널과 베이스를 연결하여 지지하는 것으로 패널이 1단 설치, 2단 설치에 따라서 그 길이가 달라지므로 치수를 달리하여 설계하였다. 플레이트, 시제품 연결용 수직/수평 프레임 A1 및 프레임 B1, 패널 D는 시제품의 연결철물로 스테인리스로 설계하였다. 시제품 설계주요 핵심사항을 다음과 같이 정리하였다.

- 본 시제품은 자연재해 중 홍수를 대상으로 하여 설치지역은 도시지역으로 한정함
- 기 개발된 시제품 FRDS는 흙제방 등에 적합한 ‘쇄기형’ 패널로 밑부분을 흙 속에 깊게 파묻는 방식으로 포장도로면에 설치가 불가하여 도심지 홍수에 효과적 대응이 어렵기 때문에 시제품을 도로에 올려놓는 형태로 설계
- 시제품은 모듈방식을 채택하여 상황에 맞게 연결 가능하도록 설계
- 시제품은 설치방향을 고려하여 좌우로 방향 전환이 가능하도록 설계하였으며 이는 도심지 주요 대상시설물의 코너 형태에 따른 유동적 및 적극적 대응 가능한 설계

Fig. 3은 시제품의 기본인 베이스 설계도이다.

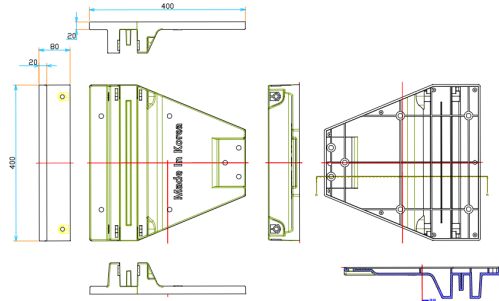


Fig. 3. Detailed drawing of BASE prototype

4.3 3D 모델 구축 및 사전 검토

앞서 개발한 시제품 2D 도면을 시제품 부품별로 3D 모델로 구축하였다. 본 작업은 프로이(RRO-ENGINEER) 프로그램을 사용하여 시제품의 부품별로 모델링한 것으로 작업은 시작금형에서 시제품을 사출하는 수준으로 모델링의 완성도를 높여 작업을 수행하였다. 모델링한 시제품 부품은 베이스, 패널 A, 패널 B, 버트리스 파이프, 플레이트, 시제품 연결용 수직/수평 프레임 A1 및 프레임 B1, 패널 D이다. 구축한 시제품의 3D 모델을 조립 순서를 감안하여 프로그램 상에서 사전 조립하였다. 시제품은 패널을 조립하는 높이에 따라 1단과 2단 설치로 구분되는데, 본 연구진에서 제시하는 시제품의 2단 조립 순서는 다음과 같다.

- ① 베이스 사이즈 및 볼트홀에 맞춰 바닥에 구멍 표시 (바닥 베이스 볼트홀 $\Phi 14.5$ 깊이 40-45mm)
- ② 바닥 볼트홀에 스트롱 앵커 설치
- ③ 바닥에 베이스와 동일한 크기 및 볼트홀을 가진 실리콘 바닥판(두께 5mm, 사이즈 및 볼트홀은 베이스와 동일)을 놓음
- ④ 실리콘 바닥과 스트롱 앵커홀을 맞춰 베이스를 놓고 앵커볼트로 베이스를 고정함
- ⑤ 1단 패널 삽입 및 베이스와 기본 패널 고정(하부 좌우 2개 볼팅 고정)
- ⑥ 1단 패널과 2단 패널 사이에 ‘ㄷ’자 모양의 수평 버팀대 삽입. 베이스에 설치된 패널 1단과 2단 한쪽 옆으로 ‘ㄷ’자 모양의 수직 버팀대 1개를 삽입 및 볼팅함
- ⑦ 2단 위치에 패널 볼팅 고정 및 반대 방향 수직버팀대 1개 설치/고정
- ⑧ 베이스 및 1단, 2단 패널 무한 설치/고정

모델링한 시제품 부품을 다음과 같이 가상공간에서 조립하였다. 우선 패널 A와 패널 B를 조립하여 한 개의 차수관을 만들고, 베이스에 조립한 패널을 끼워 결합시 발생하는 오차 및 결합상태를 검토하였다. 또한 볼트와 너트를 체결할 시 발생하는 여러 변수 등을 검토하였다. 다음으로 버트리스 파이프 및 플레이트의 결합상태, 수직수평 프레임 등을 조립하였다. 아래와 같이 모듈러시스템 기반 수재해 재난관리 시제품을 3D 모델링을 활용하여 가상공간에서 1단 및 2단으로 조립하였다. 시제품 1단 및 2단 조립순서는 본 연구에서 제시한 시제품 조립순서에 준하여 작업을 수행하였다. 설계요류를 검토한 결과 볼트홀 및 너트홀에서 약간의 유격이 발생하여 일부 설계치수를 조정하였으며, 베이스와 패널 등 주요부품은 제작시 발생하는 오차 등을 감안하여 재설계 작업을 반복하여 수행하였다. 그 결과 연구에서 원하는 수준의 1단과 2단 시제품의 결과물을 완성하였다. 시제품은 기제품과 달리 별도의 추가 부품 없이 패널과 베이스로 방향을 (+)90°와 (-)90°로 전환하여 보호하는 시설물에 따라 대처 가능하도록 설계하였다. Fig. 4는 방향 전환이 가능한 시제품을 3D 모델로 조립하여 검토한 것으로 설계의도를 적절히 반영한 것으로 판단된다.

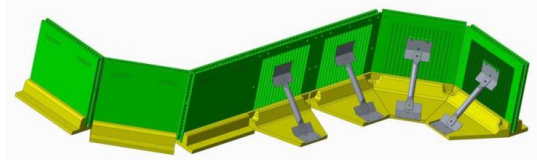


Fig. 4. Review the redirection of 3D-based modules

4.4 시제품 제작

홍수임시차수시스템 시제품을 제작하기 위하여 우선 간이사출 금형을 제작한 후, 이를 이용하여 홍수임시차수시스템 시제품을 사출하였다. 차수막 패널, 프레스금형 및 부속품, 시제품 연결부위의 규격은 Table 1, 2, 3과 같다.

Table 1. Specification of FRDS panel

Prototype	Specification
FRDS(BASE)	horizontal400×vertical400×height80mm
FRDS(PANEL A)	horizontal400×vertical400×height28mm
FRDS(PANEL B)	horizontal400×vertical400×height34mm

Table 2. Dimensions of press mold and accessories

Prototype	Specification
Buttress PIPE	1st stage PIPE : $\Phi 30(31.8) \times 293.69\text{mm}$, sus pipe, 1t 2rd PIPE : $\Phi 45(48.6) \times 868.5\text{mm}$, sus pipe, 1t
Press mold for plate processing	-
PLATE	PLATE 2 : 120×102mm, angle 135°, sus iron plate 2t PLATE 3 : 120×445mm, angle 135°, sus iron plate 2t
PANEL_D	389.6×389.6mm, PP plate 2t

Table 3. Composition & specification of press connection part

Prototype	Specification
Vertical/horizontal FRAME A1(Stainless)	Vertical 1st stage : 77×400mm, stainless, iron plate 2T Vertical 2nd stage : 77×800mm, stainless, iron plate 2T Horizontal : 77×319mm, stainless, iron plate 2T
Angle frame for prototype connection B1(Stainless)	Vertical 1st stage : 102×400mm, stainless, iron plate 2T Vertical 2nd stage : 102×800mm, stainless, iron plate 2T
Prototype PANEL Assembly	horizontal400×vertical400×height40mm
Prototype BASE & PANEL D Assembly	horizontal400×vertical400×height80mm (Maximum height when assembling base)

제작한 제품을 조립한 모습은 Fig. 5와 같다.



Fig. 5. Finished prototype

해외 제품의 경우 시공 속도는 대부분 영업비밀이라서 본 제품과 직접 비교가 어렵다는 한계가 있지만, 개발한 시제품은 1유닛 조립시 5분 가량 소요(1단, 2인 1조)되므로 3장에서 전술한 첫 번째 요구조건인 긴급설치 및 급속시공이 가능하다.

4.5 FRDS 실험 및 검증

홍수차단용 FRDS 시제품의 구조 안전성 및 성능 평가를 위해 한국산업표준 KS F 2236 및 KS F 2639에 준하여 누수율, 시제품의 변형 정도 등을 비교·분석하였다. 개발된 홍수차단용 FRDS 시제품은 차수제품으로써 요구되는 누수, 변형, 내충격성 등 구조 안전성 및 기본 성능 평가가 필요하다. 홍수차단용 FRDS 시제품 성능 평가는 Table 4에서 보듯이 수밀성(누수성)의 경우 KS F 2639에 따라, 내충격성의 경우 KS F 2236에 따라 실험을 수행하였다.

Table 4. FRDS prototype performance evaluation method

Test items	KS	Evaluation items
Water tightness (Leaking property)	KS F 2639	Leakage before and after installation(Leak rate)
Impact resistance	KS F 2236	Visual inspection, Strain

FRDS 시제품의 누수 성능을 평가하기 위해 한국산업표준 KS F 2639 『차수제품의 성능 평가방법(Evaluation method for performance of flood protection products)』에 명시된 누수 시험을 수행하였다. 이 표준에 포함된 누수 시험은 저지대 주택, 지하철 입구, 지하주차장 등 건축물과 연계되어 있는 일반적인 장소에서 사용되며, 콘크리트 기반 위에 설치되는 차수제품에 적용된다.

FRDS 시제품의 내충격성을 평가하기 위해 한국산업표준 KS F 2236 『문 세트의 모래주머니에 의한 내충격성 시험방법(Doorsets-Soft heavy body impact test)』에 명시된 내충격성시험을 수행하였다. 표준은 KS F 2297 ‘창호의 성능 시험방법 통칙(General rule for test method of windows and doors)’에서 규정하고 있는 시험 항목 중 내충격성을 확인하는 시험 방법이다.

Table 5. Specimen construction and installation

Item		Product Specifications
Specimen	Product type	PP, Polypropylene Plastic
	Panel	PP, Polypropylene Plastic
	Buttress	Stainless steel
	Packing material	Rubber, Silicone
	Designated maximum depth(mm)	378 (90% of FRDS height)
	Dimensions per FRDS	width(mm) Height(mm)
Installation	Fixed	Boiting
	Installation width(mm)	1,800
	Sealing length(mm)	2,640
	Allowable Leak Rate (40L/(m·h))	40

본 연구에서 제작한 시제품을 한국건설생활환경시험연구원 서산 옥외실증시험센터에서 KS 성능평가를 실시하였다. 누수 및 내충격성 시험에 사용한 시험편의 구성 및 설치를 Table 5로 정리하였다. 시험에 사용한 차수패널 본체 1식의 크기는 너비 400mm, 높이 400mm이며, 재질은 폴리프로필렌 플라스틱(Polypropylene)을 사용하였다. 차수패널은 수로의 안쪽 콘크리트 기둥 사이(너비 1,800mm)에 4개를 횡방향 일렬로 설치하였다. 패널은 바닥에 볼팅으로 고정하였으며, 차수패널과 콘크리트 기둥 또는 차수패널과 차수패널 사이의 틈은 고무와 실리콘으로 패킹하여 차수벽을 형성하여 전체 차수벽 너비 1,800mm, 전체 실링된 길이 2,640mm로 설치하였으며, 시험편은 재설치 없이 각 시험을 진행하였다(Fig. 6, 7).

KS 성능평가 개요는 아래와 같다.

- 기간 : 2017. 10. 25 ~ 10. 27(3일간)
- 장소 : 한국건설생활환경시험연구원 서산 옥외실증 시험센터
- 수행시험 : KS F 2639(누수율 변형 시험) 및 KS F2236(내충격성 시험)



Fig. 6. Before test specimen installation



Fig. 7. After test specimen installation

Table 6. Performance requirements in the KS F 2639 test

Item	Description
Structure	Flood defense products must be a sealed type that ensures water-tightness.
Specified maximum water depth	The specified maximum water depth of flood defense products is 300mm or deeper.
Leakage performance	The leakage rate of flood defense products should not exceed 40 L/(mh).
Note	[Note 1] Flood defense products should satisfy the leakage performance when performing hydrostatic head water leakage tests and static flow water leakage tests. [Note 2] The sealing length is calculated by summing the end parts on both sides that are immersed in water, and the width of the floor barrier panel.

본 시험에서 요구되는 성능은 차수제품의 구조, 지정 최대수심, 누수성능 등의 Table 6의 기준을 통과해야한다.

시험절차는 정수두 누수시험(지정최대수심의 1/3, 1시간)→정수두 누수시험(지정최대수심의 2/3, 1시간)→조류누수시험(1시간)의 순서로 진행되며 총 2회에 걸쳐 시험을 실시하였다. 2회에 걸친 정수두 누수시험이 모두 끝나면 48시간 동안 정수두 누수 시험(지정최대수심의 3/3, 48시간)을 실시하였다. 이때 시험편의 준비 및 설치는 기준에 따라 설치하였다.

KS F 2236 시험은 모래주머니를 이용한 차수제품의 내충격성을 시험하는 방법으로 KS F 2297 창호의 성능 시험 방법의 통칙 규격을 인용한다. 본 시험은 지름 약 350mm, 무게 약 30kg의 모래를 채운 공 모양의 가죽 주머니를 시험체에 충격을 가해 시험체에 변형 및 손상을 검사한다.

한국산업표준 KS F 2639에 따른 FRDS 시제품의 누수 성능 평가는 지정최대수심 1/3, 2/3, 3/3 시험과 조류 누수 시험을 수행하였다. 정수두 누수 시험은 물이 흐르지 않고 일정한 수위를 유지하면서 즉, 정지되어 있는 상태에서의 누수 시험으로써, 본 FRDS의 평균 누수율은 지정최대수심(378mm) 1/3의 경우 1.61L/(m·h), 지정최대수심 2/3의 경우 3.22L/(m·h), 지정최대수심 3/3의 경우 5.93L/(m·h) 등으로 각각 계측되어, 한국산업표준 KS F 2639에서 제시하고 있는 허용 누수율 40L/(m·h)을 충족하고 있다.

조류 누수 시험은 물이 일정한 수위와 유속을 유지하면서 흐르고 있는 상태에서의 누수 시험으로써 수위는 평균 296.53mm~301.90mm, 유속은 1.0m/s를 유지하였으며, 평균 누수율은 3.68L/(m·h)로 계측되었다. 이와 같이 조류 누수 시험도 한국산업표준 KS F 2639에서 제시하고 있는 허용 누수율 40L/(m·h)을 만족하고 있어 안정적인 수밀성을 확보하는 것으로 분석된다.

한편, KS F 2639는 실험 당시 허용하고 있는 차수제품 실링의 길이를 제한하여 제시하고 있다. 예를 들어, 차수제품의 나비가 1,800mm이고 지정최대수심이 360mm일 경우는 Table 7과 같이 2040~2520mm의 길이가 실링 허용범위로 제시되고 있다.

시제품의 잔류 변형 및 손상정도를 파악하는 KS F 2239 내충격 시험 평가결과와 비교하여, 0.17m 높이에서 모래주머니 낙하 실험결과 ‘이상없음’ 결과를 받았으므로 내충격성 기준을 통과하였다(Fig. 8)[5].

Table 7. Example of calculating the sealed length[4]

Test		Width ①	Height immersed in water②	Sealed length ①+②×2
Water leakage test	Designated maximum depth 1/3	1800	120	2040
	Designated maximum depth 2/3	1800	240	2280
	Designated maximum depth 3/3	1800	360	2520
Leak test		1800	300	2400



Fig. 8. Test to evaluate impact resistance

FRDS 시제품의 내충격 성능 평가 결과로 차수패널 본체의 경우 낙하 높이 0.17m의 모래주머니 타격에 의한 갈라짐 및 벗겨짐의 현상은 없었으며, 시험 종료 후 잔류변형은 발생하지 않았다. 차수 패널 사이 연결부의 경우에도 충격에 의한 변형 및 부품으로서 기능을 상실하는 등의 파손은 발생하지 않았다. 이러한 결과를 종합하여 볼 때 본 연구의 FRDS 시제품은 한국산업표준 KS F 2236에 의해 내충격 성능 또한 만족하는 있음을 알 수 있다.

결론적으로 FRDS의 누수율 변형 시험 및 내충격성 결과 Table 8과 같이 모두 KS 규격을 통과하였다.

Table 8. Test result of FRDS KS F 2639 & 2236

Test	Result
KS F 2639(Water tightness (Leaking property))	Passed
KS F2236(Impact resistance)	Passed

현재 국내 KS 규격으로 제시된 홍수차수성능 및 내충격성 시험 키트의 경우 40cm 이하 높이로 발생하는 도시홍수에 대한 영국 BS표준을 준용하여 개발된 것으로, 현재 2단, 3단 높이 제품테스트가 불가능하였다.

6. 결 론

방콕(태국) 등 동남아시아 도시 홍수의 경우 열악한 배수시설로 포장된 도로를 따라 광대한 도심지역이 저수위 홍수에 침수되고 있다. 인공적인 침수방어구조물을 설치할 필요가 있지만 선진국에서 개발된 침수·월류방어 장비들은 고가에 복잡한 시공성을 가지고 있어 동남아시아 지역에 적용하기 어렵다. 이에 본 연구에서는 저가 및 단순·고기능형 도심형 홍수임시차수시스템(FRDS)을 개발하였으며 주요 내용은 다음과 같다.

도심형 홍수임시차수시스템을 기존 ‘썰기형’에서 포장도로에 적합한 ‘발바닥형’ 패널로 개선하였으며, 모듈 방식을 채택하여 홍수상황에 맞게 상하좌우로 무한 확장 연결이 가능하도록 하였다. 개발된 시스템은 3개의 FRDS를 사용하여 (+)90° 방향과 (-)90° 방향으로 전환이 가능하여 도심지 주요 대상시설물의 형태에 따른 유동적·적극적 대응이 가능하도록 설계하였다.

도심형 홍수임시차수시스템 개발을 위해 시작금형을 제작하고 플라스틱 원료 및 스테인리스를 이용하여 시제품 및 부속품을 제작하였다. 시작금형은 본 금형에 앞서 시장조사 및 구매자 반응을 살펴보기 위한 샘플 제작용으로, 보통 금형상태에 따라 수 백 개에서 수 천 개를 찍어 낼 수 있으나 상용화를 위한 본 금형으로 사용하기 불가능한 재료와 구조적 특성을 가지고 있다.

한국건설생활환경시험연구원 서산 옥외실증시험센터에서 누수율변형 시험 및 내충격성 시험에 관한 KS 성능평가를 실시하였으며, KS F 2639(누수율 변형 시험)과 KS F2236(내충격성 시험) 기준을 통과하였다.

본 연구결과는 홍수채난과 관련하여 동남아국가 도시홍수에 적용할 뿐만 아니라, 국내 홍수빈발지역 및 주요 시설 등에 활용할 수 있을 것으로 판단되며, 도시홍수와 관련하여 주요지자체 및 시설물 관리기관의 과학적·능동적 대응을 유도할 수 있을 것이다. 특히, 홍수예측시스템 등 ICT 기반 운영체계도 포함하고 있는 FRDS는 넓은 오픈 공간뿐만 아니라 건물 및 시설물 입구에 설치되는

고정식 홍수차단 제품을 대신할 수 있으며, 연결 및 확장성으로 인해 점·선·면 홍수대응에 모두 활용 가능하다. 이러한 저가 및 고기능성으로 동남아 시장 개척과 더불어 기존의 유럽 및 북미 지역 진출까지 용이할 것으로 판단된다.

References

- [1] I. S. Jung, "Science and Technology to Protect Living Environment from Flood : Technology Transfer & Commercialization for Exporting City-type Flood Rapid Defense System", *KICT Zine*, pp. 20-23, 2018.
- [2] I. S. Jung, S. Y. Park, E. H. Oh, "Needs Analysis for Development of City-type Flood Rapid Defense System", *Proceedings of 2017 KICEM Annual Conference*, Vol.16, pp.129-130, Nov., 2017.
- [3] Korea Institute of Construction & Building Technology, "Technology Transfer & Commercialization for Exporting City-type Flood Rapid Defense System", 2017.
- [4] Korean Agency for Technology and Standards, "Evaluation method for performance of flood protection products : KS F 2639", 2017.
- [5] Korean Agency for Technology and Standards, "Doorsets—Soft heavy body impact test : KS F 2236", 2014.

오 은 호(Eun-Ho Oh)

[정회원]



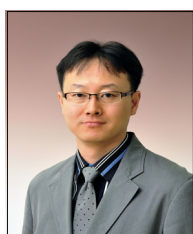
- 1998년 2월 : 아주대학교 건축공학과(공학석사)
- 2008년 5월 : Purdue University 건설관리(공학석사)
- 2010년 8월 : Purdue University 건설관리(공학박사)
- 1998년 1월 ~ 2015년 5월 : 한국건설기술연구원 수석연구원
- 2015년 6월 ~ 현재 : ㈜우노 대표이사

<관심분야>

건설관리, 시설물 유지관리, 시설물 위험평가 및 재난관리

정 인 수(In-Su Jung)

[정회원]



- 2000년 2월 : 인천대학교 일반대학원 건축공학과 (공학석사)
- 2008년 2월 : 인천대학교 일반대학원 건축공학과 (공학박사)
- 2000년 4월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 수석연구원
- 2009년 9월 ~ 2015년 3월 : 인천대학교 건축공학과 겸임교수

<관심분야>

건설사업관리, 건설정보화, 재난안전관리, 북한건설지원