

# 자연환기용 공장창호의 빗물유입 저감대책에 관한 실험적 연구

박승욱\* · 김태형, 하현철<sup>1</sup> · 허영빈

창원대학교 환경공학과, <sup>1</sup>(주)벤텍

## Experimental study on reduction in rain water penetration through industrial windows used for natural ventilation

Cheng Xu Piao<sup>†</sup> · Tae Hyeung Kim · <sup>1</sup>Hyun Chul Ha · Rong Bin Xu

*Department of Environmental Engineering Changwon National University,  
<sup>1</sup>Ventech Corp*

Windows are widely used for natural ventilation of the various buildings. Especially high level windows as a part of industrial ventilation systems, play a crucial role in natural ventilation. Compared to mechanical ventilation system, natural ventilation has the advantage of lower installation and operating costs. In general, high level windows for industrial buildings have three types; louver type, 45° open type and 90° open type. Based on previous studies, it was found that the louver type and 45° open type are very effective in reducing rainwater penetration, but they did not have enough ventilation efficiencies. Preliminary tests were performed with the various types of windows. It was found that a 90° open double layer type window was the best among those which tested in our preliminary tests. Simulated rain was used to estimate the

amount of rain penetrated through windows and to observe the paths of rain penetration. Various 90° open windows were tested to find the windows with minimum rain penetration and maximum ventilation efficiency.

**Key Words:** Natural ventilation, Industrial ventilation, High windows, Ventilation effect, Rainwater penetration, Reduce factors, Reduce levels

접수일: 2010년 8월 6일, 채택일: 2010년 9월 14일

† 교신저자: 박승욱( 경남 창원시 사림동 창원대학교 환경공학과, 641-773,

Tel : 055-213-3745, Fax : 055-287-8288, E-mail : chengxu718@hanmail.net)

## I. 서론

창호는 건축물의 가장 기본적인 구성요소의 하나로서 환기, 채광, 보온, 미관 등 종합성능을 보유하고 있는데, 그 중에서 창호의 환기특성은 건축물의 매우 중요한 인자로서 지금까지 그에 대한 연구는 아주 활발하게 진행되어 왔다. 또한 산업발전을 동반한 신기술 도입과 신소재의 개발 등을 통하여 많은 새롭고 다양한 형태와 재질의 창호가 각종 건축물에 사용되고 있다.

기존의 연구문헌들을 살펴보면, 창호의 구조형태와 제조소재에 따른 기밀성 연구(조병선, 1992), 기밀도 보정을 통한 컴퓨터시뮬레이션 방식의 형태변경에 따른 창호의 환기특성에 관한 연구(천명진, 2006), 컴퓨터시뮬레이션을 통한 창호의 개방각 변화에 따른 환기특성에 관한 연구(Po-Cheng Chou, 2008), 초고층 공동주택의 환기창 성능분석(조진규, 2009) 등 많은 창호에 관한 연구결과들을 찾아볼 수 있다. 하지만 창호에 관한 연구영역은 주로 공공주택과 공공시설에 국한되며 연구방향은 대부분 환기특성, 기밀성, 제조소재 등에 대한 연구에 치중되어 있고, 공장건물의 창호에 관한 연구와 창호의 빗물유입특성에 관한 연구문헌들은 상대적으로 적은 상황이다. 따라서 공장창호를 연구대상으로 선정하여 환기특성과 빗물유입특성에 관한 연구를 병행함으로써 그 상관관계를 문헌화 할 필요성이 있다.

산업환기는 전체환기와 국소배기로 구분되고, 전체환기는 또한 동력을 사용한 강제환기와 풍력, 부력 등을 이용한 자연환기로 구분되는데, 자연환기는 희석환기 혹은 온열제어환기라고도 한다. 산업용 자연환기 시스템은 일반적으로 모니터, 고·저창호, 출입문 등으로 구성되어 있는데, 그 중에서 고창은 자연환기의 중요한 요소의 하나로서 기타 환기요소들과 유기적으로 결합되어 공장건물의 자연환기 시스템을 구성하고 있다.

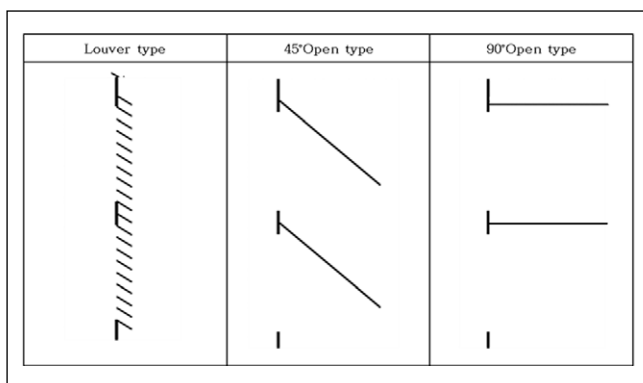


Fig.1. Schematic diagram of industrial major window types

기계환기에 비해 자연환기는 설치비용과 운영비용이 절감되는 장점을 보유하고 있고 소음이 거의 발생되지 않기 때문에 공장내부의 오염원이 분산되어 있고 국소배기 장치를 설치하기 힘든 중·대형 작업장에서는 자연환기를 선호하는 경향이 있다. 한국 남부와 같이 외부기온이 비교적 온화하여 전체적인 난방시설을 설치할 필요가 없는 지역의 산업체에서는 계절의 변화에 관계없이 고창을 상시개방형 형태를 많이 취하고 있는데 동절기에도 예외가 아니다.

공장의 자연환기는 외부기류에 의한 압력차이와 내부기류의 온도차이로 인하여 발생한다. 즉 산업체의 자연환기 시설의 하나인 고창을 통하여 비교적 많은 신선한 공기가 유입되거나 희석된 오염물질(열공기 포함)이 유출되는데 일반적으로 풍상방향에서 유입되어 풍하 방향으로 유출된다. 기존의 연구결과(Per Heiselberg, 2001; U. Larsson, 2002; Jong-Hoon Kang, 2008)를 살펴보면 기타 환기요소가 변하지 않는 조건 하에서 창호형태의 변화는 공장내부의 기류흐름과 환기효과에 상당한 영향을 주게 된다.

현재 산업체에서 비교적 많이 사용하는 형태는 루버형과 45° 개방형 그리고 90° 개방형이다(Fig. 1). 그 중에서 90° 개방형은 기타 형태에 비해 작업장 내부의 기류흐름이 내부환기에 적합할 뿐만 아니라 환기효율도 훨씬 높다(김태형 등, 2010). 즉 창호의 개방각도의 증가는 환기효율의 향상을 유도하게 된다. 하지만 여기에서 유의하여야 할 점은 창호의 개방각에 따른 빗물유입이다. 일반적인 경험으로 볼 때 창호 개방각이 클수록 빗물유입 가능성도 높아지는데, 외기풍속이 낮을 때 즉 미풍조건에서는 창호의 개방각도가 빗물유입에 큰 영향을 주지 않지만, 외기풍속이 높을 때 즉 강우조건에서 강풍이 몰아칠 때에는 창호의 개방각도가 빗물유입에 상당히 큰 영향을 주게 된다(Tae Hyeung Kim, 2008).

빗물유입이 제품품질에 직접적인 영향을 주는 작업장에서는 창호를 통한 환기효과도 중요하지만 또한 창호를 통한 빗물유입 방지효과도 중요하다. 특히 상시개방형 형태의 창호를 설치한 산업체에서는 창호형태가 상대적으로 고정되어있기 때문에 설계 및 시공 시 상술한 두 가지 인자를 동시에 고려해야 한다

본 연구는 상시개방형 창호를 기본모델로 선정하여 창호 형태에 따른 빗물유입특성을 파악하고 상응한 빗물유입 저감대책을 고안하여 실험적인 방법으로 비교분석함으로써 환기효과도 우수하면서 빗물유입도 적은 최적의 상시개방형 창호의 개발을 목적으로 진행하였다.

연구초점을 상시개방형 창호의 환기효율 증가와 빗물유입 저감의 모순점을 해결하는데 두었는데 연구순서는

첫째: 기존의 창호환기 연구결과를 바탕으로 상대적으로 환기효과가 제일 좋은 90° 개방형 창호를 주 연구대상으로

선정하여

둘째: 레이저 빔을 활용한 고속촬영 방식으로 창호의 빗물 유입경로를 파악하였고

셋째: 창호에서의 빗물유입 저감인자의 형태변경에 따른 빗물유입량을 측정하여 비교분석을 진행함으로써

종국적으로 환기량 확보와 빗물유입 방지의 이중 목표의 실현을 시도하여 구조적 구성이 합리하고 공기동력적 효율이 최적이면서 빗물유입이 제일 적은 신개념창호의 개발과 보급에 의미를 부여하고 있다.

## II. 연구방법

레이저를 보조광원으로 한 고속촬영 방식을 통하여 표준형(2단 90° 개방형) 창호에서의 빗물 유입경로를 관찰하고 분석하며 동시에 그 영향인자들을 찾아내었다. 따라서 상응한 인자들의 조건변화에 따른 빗물유입량을 측정하고 비교

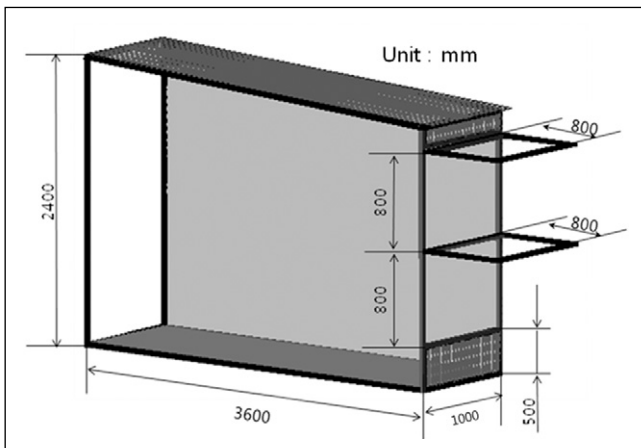


Fig.2. Standard model of building and window for experiments



Fig.3. Photo of experimental setup for rain penetration of windows

분석하는 방식으로 현실적으로 적용이 가능한 창호의 빗물 유입 저감대책을 수립하는 방법을 채용하였다.

### 1. 실험모형과 창호의 제작

실험용으로 건물모형과 창호모형을 제작하였는데 건물모형 옆면과 창호의 표면은 아크릴을 부착하여 건물내부와 창호표면에서의 빗물의 거동을 관찰하거나 촬영할 수 있게 하였다(Fig. 2). 창호의 각도는 조절이 가능하게 제작되었으며 창호의 규격은 한국산업체에서 현재 사용되고 있는 창호규격을 참조하여 전형적인 창호규격의 최소치(개구면 높이 800mm, 2단)로 제작되었다. 건물모형의 길이는 3600mm로 제작함으로써 건물내부에서의 기류의 안정화를 도모하였다. 건물내부기류를 안정화 시키는 것은 향후 진행될 빗물 실험에서 유입된 빗물이 불안정한 내부기류의 영향으로 모형건물 내부에서 흘날려 실험결과의 오차를 초래하는 것을 최대한 막기 위해서였다.

### 2. 인공강우와 인공외기 시스템

비바람이 몰아치는 외부조건에서의 빗물유입을 파악하기 위하여 인공강우와 인공외기 시스템을 인위적으로 구성하였다(Fig. 3, Fig. 4). 우리는 열악한 외부조건하에서의 특성을 이해하기 위하여 인공강우량을 50mm/h로 설정하였고 외기 풍속을 8m/s로 선정하였는데 이는 한국 남부의 우기의 전형적인 최대풍속(태풍 제외)이다.

인공외기는 3대의 축류송풍기(DWV-20, 250m<sup>3</sup>/min, 750W, MJ AIR TECH)를 창호 전단의 3m 거리에 수직으로 설치하여 동시 가동하여 생성시켰는데 열선풍속계(AVM430A)를 이용하여 창호의 상, 하 입구의 중부에서 각각 4개의 점을 선정하여 풍속을 측정한 후 산출된 평균치를 외기풍속이라고 가정

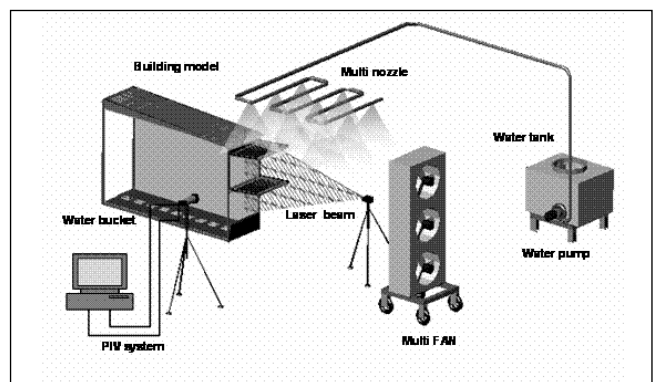


Fig.4. Schematic diagram of experimental set-up for the measurement of rain penetration intensity and observation

하였다. 송풍기에 설치된 인버터를 이용하여 송풍기의 회전수를 변화시키면서 위의 산출된 입구풍속 평균치가 8m/s에 접근하게끔 설정하였다.

인공강우 장비는 내경이 25mm, 길이가 1000mm인 플라스틱 파이프를 400mm 간격으로 5개를 병행 설치하여 Fig. 3처럼 연결한 후 파이프 중하부에 300mm 간격으로 각각 3개의 구경이 2mm인 분사노즐을 장착하였다. 이러한 파이프들은 창호의 전단상부에 1m 높이에 위치하고 있어 분사노즐에서 생성된 인공빗물이 창호의 전단상부에서 분사되게 하였다. 인공강우 시스템은 원심펌프(PW-600M, 40L/min, 600w HANIL PUMP)를 사용하였다. 물 공급라인에 설치된 밸브의 조절을 통하여 유량을 5L/min으로 조정하였는데 이는 빗물의 확산면적을 6m<sup>2</sup>로 확산하였을 때 강우량을 50mm/h로 설정한 결과가 된다. 이는 비교적 높은 강우량이라고 할 수 있는데 열악한 외부조건에서의 특성을 연구하기 위함이다.

### 3. Particle Image Velocimetry(PIV) 시스템

PIV 시스템은 고속촬영 방식을 통하여 이동하는 입자의 크기와 이동경로 그리고 속도 등을 파악하는 기능을 보유하고 있다. 본 연구에서는 상술한 PIV 시스템의 특성을 이용하여

여 1) 인공강우 장치에서 형성된 빗물입자를 고속촬영 방식으로 순간 포착하여 빗물입자의 크기를 추정함으로써(Fig. 5) 인공빗물 입자의 크기가 자연빗물 입자의 크기(0.5~6mm)에 접근할 때까지 인공강우 장치의 분사노즐의 구경과 형태 그리고 분사압력을 조정하였다. 2) 레이저광원을 보조수단으로 하여 창호에서의 빗물입자의 거동을 고속 촬영함으로써 빗물의 유입경로를 파악하였다(Fig. 7).

### 4. 측량설비와 실험과정

빗물유입량을 정확히 측정하기 위하여 모형내부에 비닐 재질로 제작된 10개의 빗물통(Water bucket)을 설치하여(길이\*넓이\*높이=200\*100\*40, 152g) 빗물의 유입량을 측정하였다(Fig. 4). 통사이의 간격은 350mm이고 실험 전, 후에 그 무게를 측정하여 유입량으로 환산하였다. 유입량 단위는 mm/hr 이고 식(1)로 환산하였다. 식(1)에서 R는 유입량이고 M는 유입된 빗물의 총 무게이며 W, S, H는 각각 물의 비중, 측정통 입구면적, 측정시간이다.

$$R = \frac{M}{W \times S \times H} \quad (1)$$

빗물유입량 측정은 전자저울(MW-200, 최대 200g, 최소

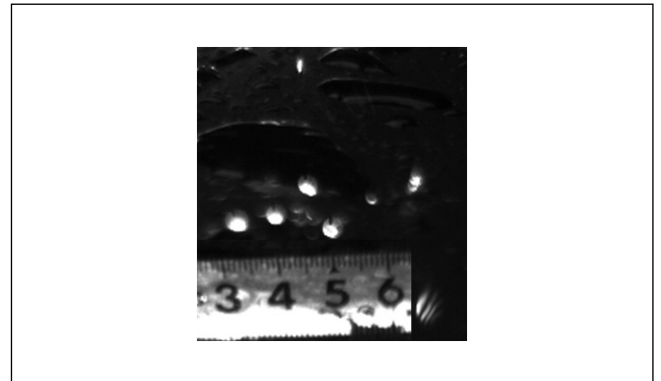
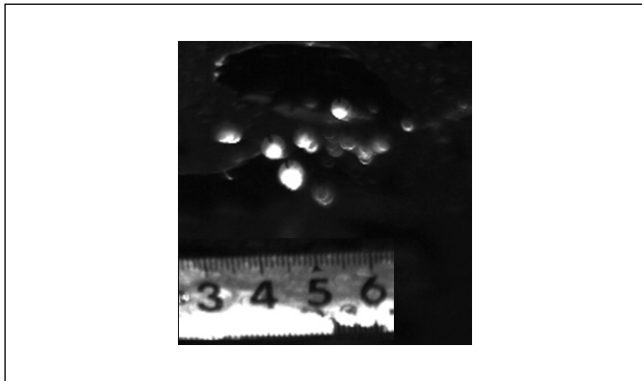


Fig.5. Measurement of rain sizes with use PIV system and laser beam

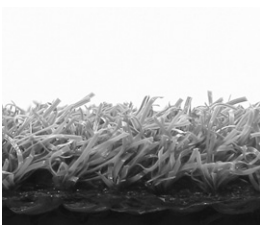

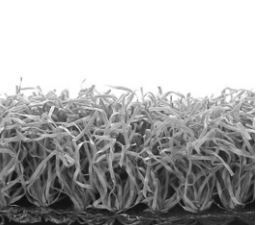


M-1	M-2	M-3	M-4	M-5
				
(PP)	(Nylon)	(Nylon)	(PE+Nylon)	(PE)

Fig.5. Measurement of rain sizes with use PIV system and laser beam

0.01g)로 하였다. 빗물의 채취시간은 3분으로 설정하였는데 인공강우시스템과 인공외기시스템을 3분 동안 가동한 후 시스템의 작동을 멈추고 빗물유입량을 측정하였다. 매번 같은 실험을 3번 반복하여 유입된 빗물량의 평균치를 계산하였다.

## 5. 기타 재료

빗물이 창호표면과 충돌하면서 튀기는 현상을 감소시키기 위하여 빗물을 연착륙시킬 필요가 있으며, 이를 위해 창호의 하단상부에 완충재를 부착하는 방안을 고안하였는데 사용 가능한 완충재의 품목은 매우 많다. 본 연구에서는 여러 가지 완충재들을 나열하여 그것들의 성능, 가격, 수명 그리고 시공의 편이정도 등을 종합적으로 분석하여 완충재질을 선정하였다.

종합분석 비교결과 인공잔디를 본 연구의 완충재로 선정하였는데, 이는 현재 시중에서 판매되는 인공잔디는 완충효과를 보유하고 있을 뿐만 아니라 대량생산되고 있어 가격이 비교적 저렴하고 사용수명이 길며 설치가 용이한 등의 장점을 보유하고 있다고 판정되었기 때문이다. 본 연구에는 모두 다섯 가지 인공잔디(한국의 모 매트제조사)를 사용하여 비교 실험을 진행하였는데 단면도의 모양과 재질 그리고 두께는 Fig. 6에 표시되어 있다.

## III. 결과 및 토론

### 1. 빗물유입경로의 파악 및 빗물유입 저감대책의 고안

빗물의 유입량을 감소시키려면 우선 빗물의 유입경로를 파악하여야 한다. 비바람이 몰아치는 외부조건에서 육안으로 빗물유입 경로를 파악하기란 어렵다. 때문에 레이저 빔을 보조광원으로 한 PIV시스템을 이용하여 고속촬영을 진행한 후 컴퓨터 분석을 통하여 빗물의 이동경로를 파악하였다. Fig. 7은 빗물의 이동경로의 파악을 위한 고속촬영 사진이다.

고속촬영결과를 분석하여 보면 비록 빗물의 유입경로는 매우 복잡하게 느껴지지만 그래도 그 중에서 일부 규칙을 발견할 수 있었다. 외기풍속이 8m/s 조건하에서 빗물유입의 경로(Fig. 8)는 주로 세가지로 함축할 수 있다.

경로 1) 창호입구에 인접한 작은 빗방울은 외기의 영향으로 직접 모형건물 내부로 날려 들어감.

경로 2) 창호상단에서 집중되어 낙하한 빗물은 외기의 영향으로 하단표면과 비스듬히 충돌하면서 수많은 작은 물방울로 깨져 튀기는데 그 중에서 일부 물방울은 외기의 힘을



Fig.7. Image of rainwater penetration paths

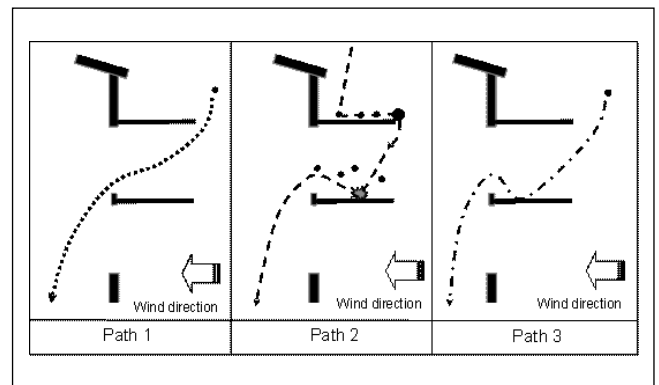


Fig.8. Schematic diagram of rainwater penetration paths

빌어 모형건물 내부로 날려 들어감.

경로 3) 창호와 비교적 멀리 떨어져 있는 소형빗방울은 직접 날려 들어가지 못하고 하단 면과 비스듬히 충돌한 후 내부로 튀겨들어감.

상술한 세가지 경로외도 기타 경로로도 유입되지만 이는 상술한 세가지 경로의 복합적인 결과라고 판정되어 상세한 설명을 하지 않는다.

상술한 빗물유입 경로를 파악한 결과에 근거하여 우리는 네 가지 빗물유입 저감방법을 고안해 보았다.

첫째는 경험에 근거하여 창호의 개방각도를 변경하여 빗물의 유입량을 줄이는 방법.

둘째는 창호의 상단을 연장하여 빗방울의 비행거리를 연장함으로써 빗물이 건물모형 내부까지 날려가지 못하고 벽체와 충돌하거나 중도에 낙하하게 하는 방법.

셋째는 빗물받이를 설치하여 창호표면에 집중된 빗물이 하단과 충돌하지 않고 빗물받이에 모이게 한 후 이송해가는 방법.

넷째는 인공잔디 등의 재료들을 완충재로 선정하여 빗물을 창호표면에 연착륙시켜 튀기는 현상을 감소시키는 방법.

이 네 가지 방법은 예비실험을 거쳐 창호의 빗물유입량을 저감할 수 있다고 판정되어 실험적인 방법으로 저감효과를 검증해보려고 한다. 여기에서 또 한가지 유의해야 할 사항은 상술한 인자들의 변경결과는 환기량 확보를 전제로 하면서 또한 현실에 부합되어야 한다는 것이다. 만일 인자들의 변경이 환기량을 현저히 저하시키거나 제조원가가 과도하게 높아지거나 시공이 어려워지는 등의 문제점이 존재한다면 본 연구는 현실적인 의미를 상실할 것이다.

## 2. 창호각도에 따른 빗물유입 정도의 측정

일반적인 경험에 의하면 산업용창호는 빗물유입과 개방각도와 밀접한 관계가 있다고 인정한다. 창호의 개방각도와 빗물의 유입량은 비례하지만 여태껏 그들 사이의 상관성을 정량 분석한 결과는 없다. 많은 사람들은 감각과 경험에 의존하여 창호의 각도를 조절한다. 그러나 산업용 창호의 개방각도는 상대적으로 고정되어 있어 자유롭게 조절할 수 없다. 때문에 산업용창호의 처음 설정각도는 매우 중요한 인자로서 이는 환기량과 빗물유입량에 직접적인 영향을 주기 때문이다.

Fig. 9의 결과를 살펴보면 8m/sec의 외기조건하에서 빗물유입량은 창호각도가 작아지면서 신속하게 저하된다. 창호각도가 30° 까지 작아질 때 빗물은 유입되지 않는다. 산업체에서 많이 사용되고 있는 45° 개방형 창호의 빗물유입량은 0.1mm/hr이고 90° 개방형 창호의 빗물유입량은 4mm/hr로서 45° 개방형은 90° 개방형에 비해 97.3%의 빗물유입 저감효과가 있다.

이상의 결과를 미루어 볼 때 창호의 각도, 즉 창호의 개방각도를 줄이는 것은 빗물유입량을 줄이는 중요한 인자로서 매우 쉽게 빗물유입저감 목적을 실현할 수 있다. 하지만 창

호의 각도변경을 통하여 빗물유입량을 매우 쉽게 조절할 수 있지만 창호의 개방각도가 작아지면 환기량도 따라서 감소될 뿐만 아니라 건물내부의 기류패턴도 변화되어 오염물질의 배출에 역효과를 초래할 수 있다.

## 3. 창호의 연장에 따른 빗물유입량의 변화

창호의 넓이를 연장하면 빗물의 비행거리를 증가시키기 때문에 원래 건물 내부로 날려 들어 올 수 있는 빗물이 중도에서 낙하하게 되어 빗물의 유입량을 저감할 수 있다. 본 연구에서는 90° 개방형 창호에서 실험적인 방법으로 창호의 연장거리와 빗물유입량 사이의 상관관계를 찾아보고자 한다.

여기에서 주의하여야 할 점은 창호의 구조와 강도 등의 요소를 고려하여야 하기 때문에 창호의 연장길이는 한계가 있다. 만일 연장길이가 너무 길면 창호의 생산과 설치가 힘들어 질 뿐만 아니라 사용수명도 짧아진다. 때문에 창호의 연장길이는 적정해야 한다.

Fig. 10의 실험결과를 살펴보면, 창호를 연장하였을 때 빗물유입량은 신속히 저감된다. 하지만 상, 하단의 연장방식에 따라 빗물유입량 저감효과는 큰 차이가 난다. 상단을 25% 연장한 조건에서는(Case 3, Case 4) 하단의 연장이 빗물유입에 큰 영향을 준다. 빗물유입저감율은 16.4%에서 46%로 급격히 증가하는데 이는 상단을 25%만 연장하였을 때(Case 3) 빗물유입 차단효과는 창호 개구면 상부에만 국한되어 있고 창호 개구면 하부에는 영향을 미치지 못하기 때문이지만 상단과 하단을 모두 25% 연장하였을 때(Case 4) 빗물유입 차단효과는 상, 하부에 골고루 미치기 때문이다.

상단을 50%까지 연장하였을 때 빗물유입량은 4mm/hr에서 1.06mm/hr로 저감되어 저감율은 73.3%에 이른다. 하지만 창호하단을 연장하였을 때 그 영향은 미비하다. Case 4와 Case 5

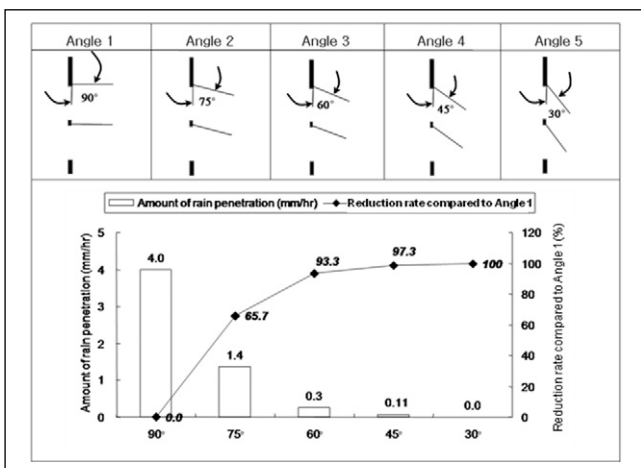


Fig. 9. Amount of rain penetration with different window angles

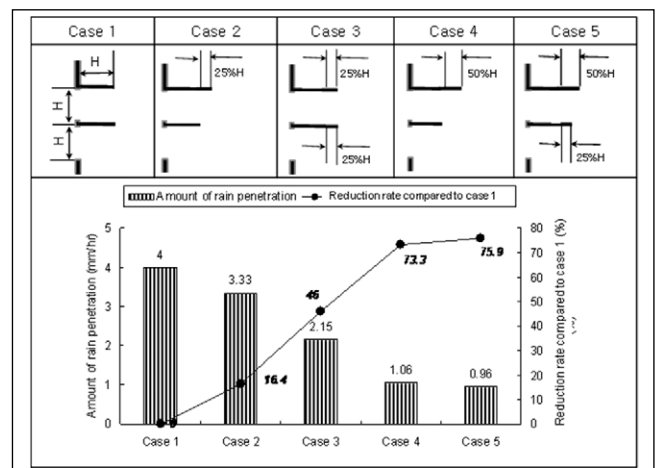


Fig. 10. Amount of rain penetration with different stretching length

를 비교하면 저감율은 각각 73.3%와 75.6%로서 매우 접근한다. 이는 상단을 50%까지 연장하면 그 차단효과는 이미 창호 개구면 상부뿐만 아니라 창호 개구면 하부까지 영향을 주기 때문에 하단의 연장은 별 효과를 보지 못한다.

이것으로 미루어 볼 때, 창호의 상단을 연장하였을 때 하단을 연장하는 것은 빗물유입 저감효과에 큰 영향을 주지 않기에 큰 의미가 없으며 오히려 하단창호의 무게 증가와 불필요한 재료소모를 불러오는 등 역효과가 있음을 알 수 있다. 따라서 Case 4의 구조는 상대적으로 간단하며 Case 5에 비해 빗물저감 효과가 크게 떨어지지 않기 때문에 본 연구에서는 Case 4를 후속 연구대상으로 선정하였다.

더 나아가서 만일 창호를 계속 연장하면 빗물유입량은 반드시 저감될 것이다. 하지만 창호의 무분별한 연장은 창호의 구조, 재질, 시공 등에서 문제점이 발생할 것이다. 때문에 본 연구는 창호의 연장을 50%한도 내에서 진행하고 나머지 유입부분은 기타 저감대책을 통하여 해결하려고 한다.

#### 4. 빗물받이의 추가에 따른 빗물유입량의 변화

창호표면에 집중된 빗물이 낙하하면서 하단상부와 충돌하여 부서져서 외기의 힘에 의해 작업장 내부로 날려 들어가는 등의 현상을 미연에 방지하기 위하여 창호에 빗물받이를 설치함으로써 창호표면에 모인 빗물을 유도해가는 방식을 채용하여 실험을 진행하였다. 빗물받이의 넓이는 창호의 넓이에 비례하게 된다.

그러나 여기에서 검토해야 할 것은 빗물받이의 설치 위치이다. 가능한 설치위치는 두 곳인데 하나는 창호의 전단 즉 끝부분이고 다른 하나는 창호의 후단 즉 벽체부분이다. 이 두 위치에 모두 빗물받이를 설치할 수 있다. 전자의 위치는 많은 구조적인 보강이 필요하고 시공 및 설치가 힘든 등의

단점이 있다. 하지만 후자의 위치는 상술한 문제점을 많이 해소할 수 있기에 후자를 연구대상으로 선정하였다.

본 연구에서 선정한 형태는 빗물이 역방향으로 흘러 빗물받이에 유입되려면 창호의 끝부분에 가이드 베인을 설치하여 빗물을 벽체 쪽으로 유도하던가 아니면 창호각도를 90° 이상으로 되도록 설치하여야 한다(Fig. 11- Case 9). 가이드 베인의 가능한 설치형태는 주로 세가지 인데, 첫째는 상향 45°이고 둘째는 수직 90°이며 셋째는 하향 45°이다(Fig. 11- Case 6, Case 7, Case 8). 실험결과를 살펴보면(Fig. 11), 상단을 50% 연장한 조건에서 가이드 베인 모양에 관계없이 빗물받이를 설치하였을 때 빗물유입 저감율은 93.3% 이상이며, 그 중에서 Case 8 즉 하향 45° 가이드 베인을 설치하였을 때 빗물유입 저감효과가 제일 우수하여 97.3%에 도달하였다. 이는 비록 가이드 베인 그 자체가 높은 것은 아니지만(10cm이하) 그래도 가이드 베인 일정한 양의 빗물이 모여 낙하하면서 외기를 타고 유입된다는 것을 설명한다. 하지만 그 중에서 하향 45°의 가이드 베인 형태는 상대적으로 기타 형태에 비해 모인 빗물량이 적기 때문에 저감효과가 제일 우수하다. 또한 Case 9는 비록 가이드 베인은 없지만 창호각도가 90° 이상이기 때문에 빗물유입이 쉬워져 Case 8보다 저감효과가 저하된다.

#### 5. 완충재에 따른 빗물유입량의 변화

앞에서 소개한 두 가지 방법 즉 창호상단을 연장하거나 빗물받이를 설치하여 빗물유입량을 크게 감소시킬 수 있지만 그래도 많은 소립자 빗물들이 창호하단 표면에 충돌하면서 건물내부로 유입된다. 때문에 본 연구에서는 창호하단 표면에 완충재를 장착하는 방법으로 빗물유입량을 저감시키려고 한다.

본 연구에서는 다섯 가지 인공잔디를 선정하여 실험에 사

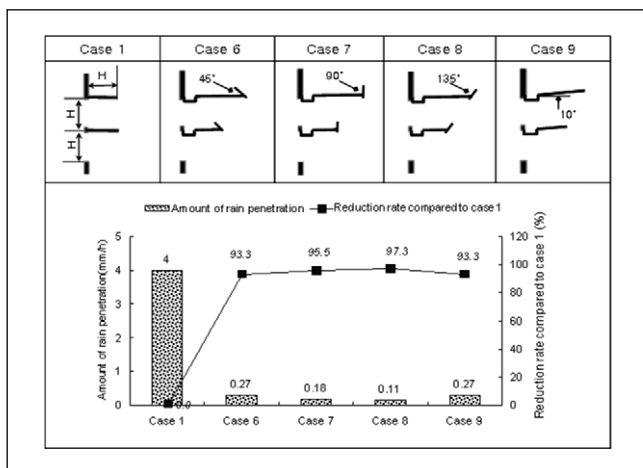


Fig. 11. Amount of rain penetration with different guide van

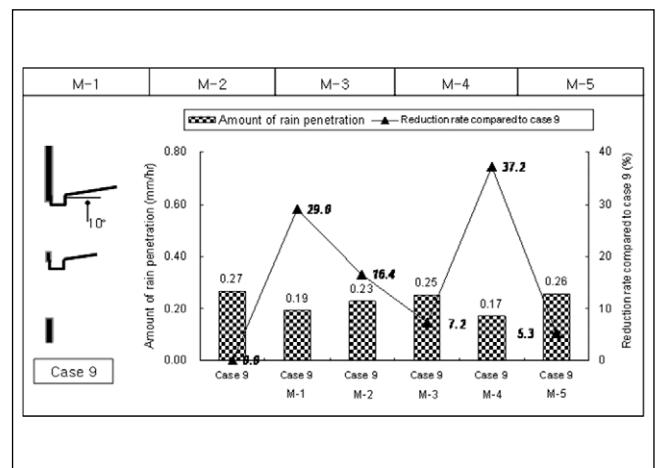


Fig. 12. Amount of rain penetration with different buffer materials

용하였다. 상세한 단면 형태와 재질의 구성은 Fig. 5에서 소개되었다. 다섯 가지 인공잔디의 빗물유입 저감효과를 비교하였을 때 (Fig. 12) 저감효과가 제일 좋은 것은 PE와 나일론의 복합재료인 M-4로서 저감효과는 37.2%였다. 기타재료는 저감효과가 낮았다.

그것은 단면구조에서 볼 때 복합재료는 빗물의 완충과 침투작용을 잘 수행할 수 있는 등의 특징이 있기 때문이라고 판단된다. 산업발전에 따라 장래에 많은 기타재료들이 신개념 창호의 완충재로 사용될 수 있을 것이며, 또한 지속적인 실험을 통하여 종합성능이 더욱 우수한 완충재를 찾아낼 수 있을 것이라 사료된다.

이상의 실험결과를 종합하여 보면, 완충재로 M-4를 사용하였을 때 빗물유입 저감율은 37.2%이므로 Case 6, Case 7, Case 8, Case 9의 Case 1대비 최종 저감율은 각각 95.8%, 97.2%, 98.3%, 95.8%가 된다. 즉 환기효과가 제일 우수한 90° 개방형 창호에서 상단을 50% 연장하고 빗물받이를 설치하며 하단상부에 완충재를 부착하였을 때 최고 98.3%의 빗물유입 저감효과가 있다는 것을 설명한다. 이는 창호의 환기량을 저감시키지 않으면서도 창호의 형태변경과 추가조치를 통하여 빗물유입량을 큰 폭으로 감소시킬 수 있다는 것을 설명한다.

## 6. 내부 길이방향 빗물유입량 분포

본 연구에서는 창호의 실험장치 내부에 배열된 빗물측정통들의 빗물유입량을 측정한 후 그래프화 하여 길이방향 빗물유입량 분포를 분석함으로써 매 변경인자들의 영향을 파악하였다.

예하면 Fig. 13과 같이 창호의 상단길이의 변화에 따른 내부의 빗물유입 분포도를 살펴보면 Case 1은 Case 2와 Case 3에 비해 전체적으로 빗물유입량이 많을 뿐만 아니라 Point 3

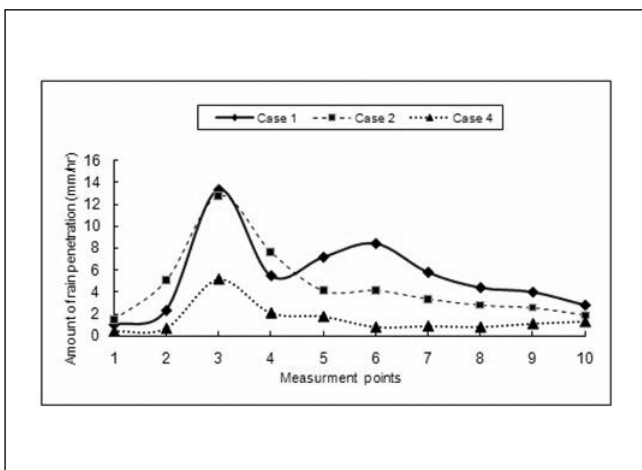


Fig. 13. Rain penetration distribution with different stretching length

과 Point 6에서의 빗물유입량이 특히 많다. 실험관찰을 통하여 Point 3은 주로 앞에서 서술한 유입경로 2(Path 2)와 유입경로 3(Path 3)에 의하여 발생되며 Point 6은 주로 유입경로 1(Path 1)로 발생된다고 판정되었다.

상단을 25% 연장하였을 때(Case 2)의 유입량 분포를 살펴보면 Point 3에서의 유입량은 큰 변화가 없지만 Point 6에서는 빗물유입량이 줄어들었는데 이는 Case 2의 조건변화는 유입경로 1에는 다소 영향을 주지만 유입경로 2와 유입경로 3에는 큰 영향을 주지 못함을 설명한다.

상단을 50% 연장하였을 때(Case 4)의 유입량 분포를 살펴보면 Point 3과 Point 6에서 모두 유입량이 상당한 폭으로 줄어 들었다. 이는 Case 4의 조건변화는 상술한 3가지 유입경로에 모두 영향을 준다는 것을 설명한다.

이상의 분석방법은 실험장치 내부의 거리에 따른 빗물유입량 분포를 그래프화 하여 창호의 형태변화에 따른 빗물유입특성을 정성적인 방식으로 설명할 수는 있지만 유입량 변화를 확실하게 정량적으로 비교, 분석하기에는 한계가 있다. 본 연구의 최종목적은 창호의 형태변경을 통하여 빗물유입량을 줄이려는데 있기 때문에 본 연구에서는 상술한 정성분석 방식을 정량분석 방식의 보조수단으로 사용하였을 뿐 연구초점은 내부에 유입된 빗물의 정량비교에 두고 진행하였다.

## IV. 결 론

산업체에서 많이 채용하고 있는 루버형과 45° 개방형 그리고 90° 개방형 세가지 형태의 고창에서 환기효과가 제일 좋은 90° 개방형을 연구대상으로 선정하여 빗물유입특성을 연구파악하고 빗물유입 저감대책을 고안하여 실험적인 방법으로 저감대책 영향인자들의 저감정도를 연구분석하였다.

90° 개방형에서 창호개방각도를 줄이거나 창호의 넓이를 연장하거나 빗물받이를 설치하거나 하단상부에 완충재를 부착하였을 때 모두 빗물유입 저감효과가 있었다.

1) 창호의 개방각도를 줄일 때 빗물유입량은 비교적 큰 폭으로 감소하였는데 창호의 개방각도를 90°에서 45°까지 줄였을 때 빗물유입량은 97.3% 감소하였고 30°에서는 빗물이 거의 유입되지 않았다.

2) 창호의 넓이를 연장하였을 때 유입되는 빗물의 비행거리가 길어지기에 빗물유입량은 저감되었는데 상단을 50% 연장하였을 때 저감율은 73.3%까지 도달하지만 상단을 연장하는 동시에 하단을 연장하는 것을 빗물유입량 저감에 큰 효과를 보지 못한다.

3) 창호에 빗물받이를 설치하려면 창호전단과 창호후단(벽체 쪽)에 모두 가능하지만 구조적인 측면 등을 염두에 두



## REFERENCES

- Tae Hyung Kim, Dong Ho Lee, and. Characteristics of rain penetration through a gravity ventilator used for natural ventilation. *Ann. Occup. Hyg.*, Vol. 52, No. 1, PP. 35-44, 2008
- U. Larsson, B. Mashfegh. Experimental investigation of downdraught from well-insulated windows. *Building and Environment* 37 (2002) 1073 - 1082
- Per Heiselberg, Kjeld Svidt, Peter V. Njelsen. Characteristics of airflow from open windows. *Building and Environment* 36 (2001) 859 - 869
- Po-Cheng Chou, Che-Ming Chiang. Natural Ventilation Efficiency in a Bedroom with a Central-Pivoting Window. *Indoor Built Environ* 2008;17;2:164 - 172
- Jong-Hoon Kang, Sang-Joon Lee. Improvement of natural ventilation in a large factory building using a louver ventilator. *Building and Environment* 43 (2008) 2132 - 2141
- 조병선, 한천구, 반호영. 미서기 창호의 기밀성에 관한 실험 연구. *대한건축학회 논문집 제8권 제3호(통권41호)* 1992
- 조진균, 홍민호 등. 자연환기 계획을 위한 국내 초고층 공동주택 커튼월의 창호유형 사례분석 및 환기창 성능분석에 관한 연구. *대한건축학회 논문집 제25권 제4호(통권 246호)* 2009
- 천명진, 공동주택에 적용한 자연 환기 창호(vent-window)시스템의 환기가능성에 관한 연구. *연세대학교 석사논문* 2006

면 창호후단에 설치하는 것이 바람직하다. 창호상단을 50% 연장한 조건에서 빗물받이를 설치하였을 때 창호전단의 가이드 베인의 유무와 형태에 관계없이 빗물유입 저감율은 93.3% 이상이며 그 중에서 하향 45° 가이드 베인 형태는 저감효과가 제일 우수하여 저감율이 97.3%에 이른다.

4) 빗물이 창호의 하단상부와 충돌하면서 튀겨 들어가는 현상을 최대한 막기 위하여 하단상부에 완충재를 부착하였는데 완충재는 다섯 종류의 인공잔디를 선정하여 빗물유입 저감효과를 비교한 결과 PE와 나일론의 복합재질로 만들어진 M-4의 저감효과가 제일 우수하여 저감율이 37.2%에 이르렀다.

총적으로 창호의 환기량을 유지하면서 빗물유입량을 줄이려는 목적으로 창호상단을 연장하고(구조적인 특성을 고려하여 50%까지 연장) 창호후단에 빗물받이를 설치하며 창호하단상부에 완충재를 부착하였을 때 빗물유입 저감율은 95.8% 이상이며 최대 저감율은 98.3%까지 이르러 창호의 개방각도를 90°에서 45°로 변경하였을 때와 동일한 효과를 보였다.

## V. 향후 연구과제

일부 산업체에서는 작업공정의 수요로 별레, 이물질의 유입과 빗물의 유입을 막기 위하여 창호에 일정한 규격의 망사를 설치하여 사용하는 경우가 있다. 하지만 이러한 방식은 환기효율을 큰 폭으로 감소시킬 뿐만 아니라 강풍을 동반한 비바람이 몰아칠 때 여전히 소량의 빗물이 유입되는 현상이 존재한다. 현장의 작업여건상 부득이 창호에 망사를 설치하는 경우에 망사설치의 방식에 따른 연구는 아직까지 미비한 상황이다. 때문에 이 부분에 대한 연구는 향후 연구과제로 남아있다.