전산풍동 개발 및 응용

넥스트폼 기술연구소
신 재 렬

2017. 9. 22

NEXTfoam
open source CFD consulting

목 차

Ⅰ. 개요 및 현황

1. 개발 필요성 3
2. 업계 현황 5

Ⅱ. 개발 내용 및 결과

1. 개발 목표 8
2. 개발 성과 9
3. 건축기준과 비교 11
4. 적용 사례 22

Ⅰ. 개요 및 현황

1. 개발 필요성
2. 업계 현황

개발 필요성

- 풍동실험 대상 및 기준(KBC2009)

풍동실험 대상

풍진동 고려 건축물
(세장비 3.5이상)

특수한 지붕골조 및 외장재

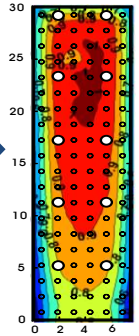
골바람 효과

인접효과 고려 건축물
(건축물 폭 10배 이내)

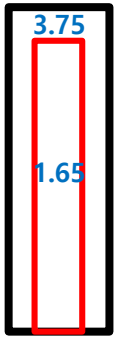
특수한 형상의 건축물
(기준적용이 어려운 형상)

적용기준(KBC2009)

풍동실험



풍압분포



기준화
(KBC2009)

- 정형 구조물 국한
- 비정형에 적용 불가

문제점

풍압 모형

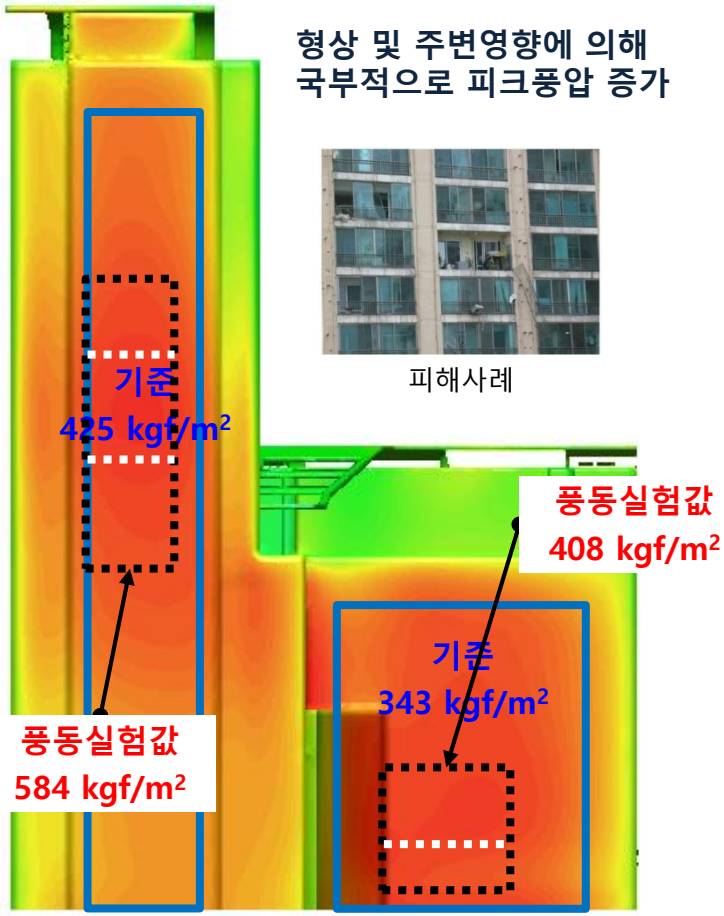
풍압공 한계

- 비정형에 적용 가능
- 풍압공 한계 (256개)
- 오차를 동반

- 1:400 경우
- 풍압공 최소 5mm
- 1:1 경우 2m 해당함

개발 필요성

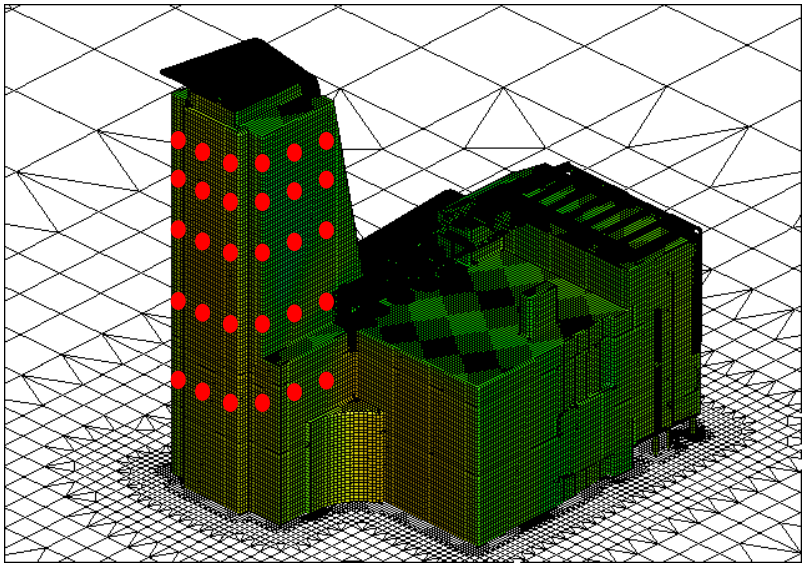
- 합리적인 설계
  CFD 활용



형상 및 주변영향에 의해
국부적으로 피크풍압 증가

피해사례

- **정교한 풍압 해석 가능**
  - 격자수 >> 풍압공수
  - 격자수에 따른 해석시간 증가 → HPC 활용으로 극복
- **상용 CFD 프로그램 활용**
  - 고비용, 건축전문가의 사용 어려움



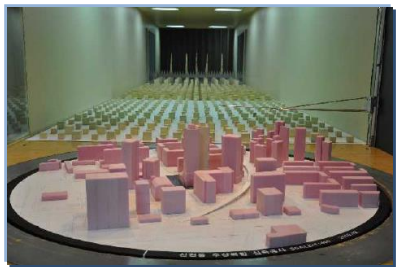
해석격자

업계 현황

- 풍압계측 및 방법 – 방법론적 분류

풍동실험

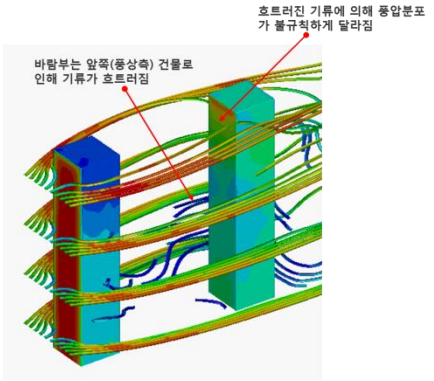
- **풍압 계측값**
- 풍동규모에 따른 **모형규모 제한**
  - 1:200 ~ 1:400의 모형 사용
- **제한된 데이터** 획득
  - 동시측정 풍압공 수 제한
- **고비용**
  - 풍동설비 및 모형
- **장시간** 소요
  - 모형제작에서 계측/분석
  - 풍압 및 풍력 (36개 풍향)
  - 풍환경 (24개 풍향)



- **풍동실험의 보완**
  - **기준에서 제시하지 못하는 형상에 대한 대안**
  - **풍동실험의 검증**
  - **기류가시화를 통한 풍하중 이해도 증진**
- **풍동실험의 수행여부 평가**

CFD (전산유체역학)

- **풍압 해석값 (근사값)**
- **모형규모 제한이 없음**
  - 실물형상도 가능
- **다양한 데이터** 획득
  - 주변기류 가시화, 온도, 압력측정 수에 제한이 없음
- **저비용**
  - 풍동실험 대비 저비용 (상용 CFD 프로그램/하드웨어)
- **단시간** 소요
  - 대규모 하드웨어 (HPC) 사용시
  - 풍압 36개 풍향 1주일



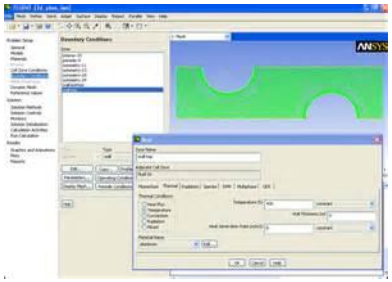
업계 현황

- 풍압계측 및 방법 – CFD 프로그램

일반상용프로그램

- **Fluent, Star-CCM+, CFX**
- **범용 다물리학 프로그램**
  - 유체, 열, 전자기장, 입자
- **사용법이 복잡**
  - 전문적인 지식이 요구
- **GUI 제공**
  - 사용 편의성
- **고비용**
  - 라이선스 및 유지보수
- **코드 접근성 어려움**
  - 사용자 함수 접근

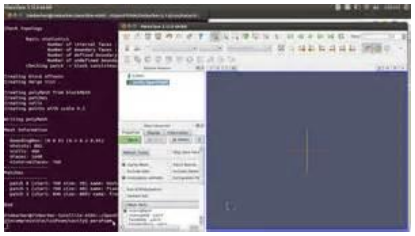
- 구매비용 1억/사용자
- 유지보수 17 ~ 20 %
(LG 화학 5억, 삼성중공업 10억)



오픈소스 CFD 프로그램

- **OpenFOAM, Astro**
- **범용 다물리학 프로그램**
  - 유체, 열, 전자기장, 입자
- **사용법이 복잡**
  - 전문적인 지식이 요구
- **GUI 미제공**
  - 전문가만 사용가능
- **저비용**
  - 라이선스 없음, 공공성
- **코드 접근성 용이**
  - 진보된 해석기법 도입가능

- 풍압해석 전용 특화



- **정확하고, 쉽고, 저렴한 전용 프로그램 요구**
  - 건축전문가가 사용할 수 있는 GUI로 편의성 제공
  - 일반상용 프로그램 대비 저렴한 비용
  - 일반상용 프로그램과 동등 수준의 정확성

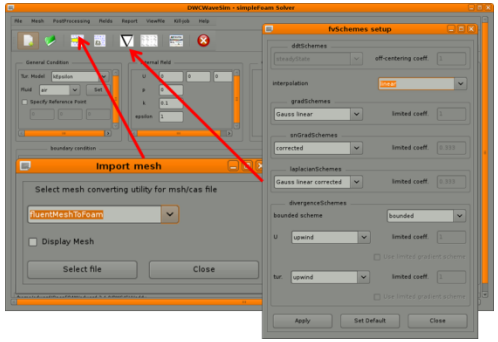
“본 과제의 성격과 부합됨”

Ⅱ. 개발 내용 및 결과

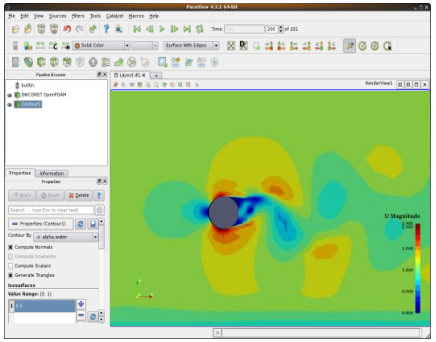
1. 개발 목표
2. 개발 성과
3. 성능 검증
4. 적용 사례

개발 목표

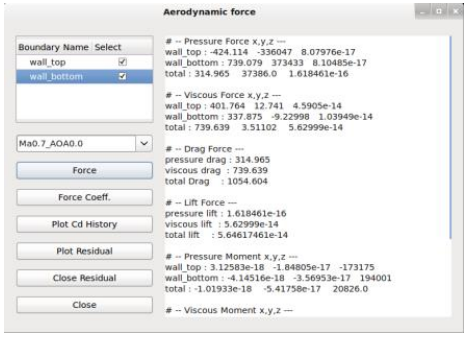
- 최종 개발목표



사용자 환경



전/후처리

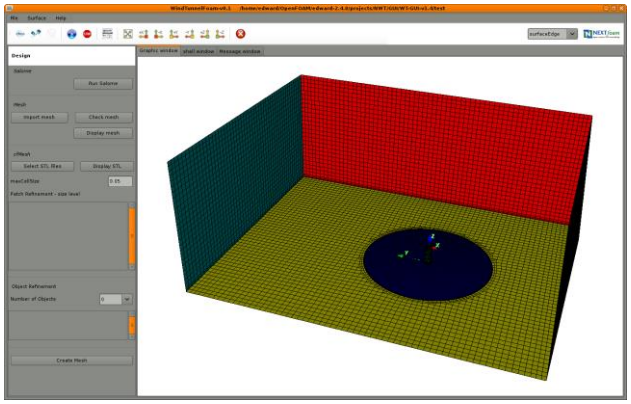


결과양식

- **오픈소스를 활용한 건축물 풍압 해석 코드 개발**
- **노풍도에 따른 유입풍 난류 특성 보완**
- **건축물 및 지형용 전처리 도구 개발 (자동격자생성)**
- **실무용 그래픽 사용자 환경 개발**
- **풍동실험 유무 평가를 위한 고성능 해석 시스템 구축 (실물: 30분, 모형: 18초 계측)**

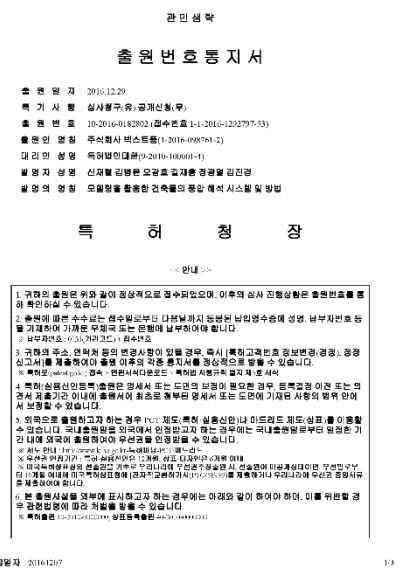
개발 성과

- WindTunnelFoam v0.1 개발
  - 운영체재: Linux
  - 소프트웨어: OpenFOAM-2.4.0
  - GUI 제작 도구: python, vte, vtk



벽면외압계수

- 특허출원
  - 출원명: “모델링을 활용한 건축물의 풍압 해석 시스템 및 방법”
  - 출원번호: 10-2016-0182802 출원일자: 2016년 12월 29일



관 리 번 호

출 원 번 호 통 지 서

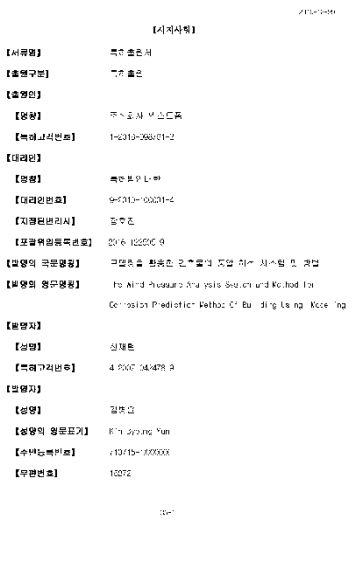
출 원 일 자 2016.12.29
특 기 사 항 심사청구(유) 공개신청(무)
출 원 번 호 10-2016-0182802 (접수번호 1-1-2016-1292797-53)
출 원 인 명 칭 주식회사 넥스트폼(1-2016-098761-2)
대 리 인 성 명 특허법인대륜(9-2010-100601-1)
발 명 자 성 명 신재철 김병문 오광호 김재홍 정광열 김진경
발 명 의 명 칭 모델링을 활용한 건축물의 풍압 해석 시스템 및 방법

특 허 청 장

<< 안 내 >>

1. 귀하의 출원은 위와 같이 정상적으로 접수되었으며, 이후의 심사 진행상황은 출원번호를 통해 확인하실 수 있습니다.
2. 출원에 따른 수수료는 접수일로부터 다음날까지 등록된 납입영수증에 성명, 납부자번호 등을 기재하여 가까운 우체국 또는 은행에 납부하여야 합니다.
※ 납부자번호: 6자리(고정), 1 관수번호
3. 귀하의 주소, 연락처 등의 변경사항이 있을 경우, 즉시 [특허고객번호 정보변경(경정), 정정신고서]를 제출하여야 출원 이후의 각종 통지서를 정상적으로 받을 수 있습니다.
※ 특허로(patent.go.kr) 접속 > 민원서식다운로드 > 특허법 시행규칙 별지 제1호 서식
4. 특허(실용신안등록)출원은 명세서 또는 도면의 보정이 필요한 경우, 등록결정 이전 또는 의견서 제출기간 이내에 출원서에 최초로 첨부된 명세서 또는 도면에 기재된 사항의 범위 안에서 보정할 수 있습니다.
5. 외국으로 출원하고자 하는 경우 PCT 제도(특허·실용신안)나 마드리드 제도(상표)를 이용할 수 있습니다. 국내출원발명을 외국에서 인정받고자 하는 경우에는 국내출원일로부터 일정한 기간 내에 외국어 출원하여야 우선권을 인정받을 수 있습니다.
※ 자세한 안내 http://www.kipo.go.kr/kpo/HtmlApp?c=1011&...
※ 유사분야 관련기관 : 특허 심판원(042-481-5722), 상표 디자인과 (042-481-5744)
※ 미국특허청에 출원 변호사를 선임하고자 하는 경우 우리나라에 주소를 두고 있는 변호사 중에서 선임하여야 합니다. 또한 우리나라에 주소를 두고 있는 변호사 중에서 선임하고자 하는 경우에는 대한변리사회(http://www.kpaa.or.kr)에 등록된 변호사 중에서 선임하시기 바랍니다.
6. 본 출원사실을 외부에 표시하고자 하는 경우에는 아래와 같이 하여야 하며, 이를 위반할 경우 관련법령에 따라 처벌을 받을 수 있습니다.
※ 특허출원 1020160182802 발명의명칭 모델링을 활용한 건축물의 풍압 해석 시스템 및 방법

발급일자 : 2016/12/07 1/1

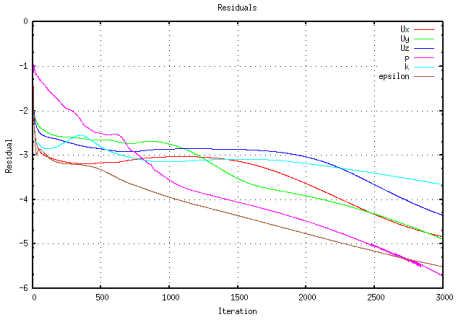


【서지사항】

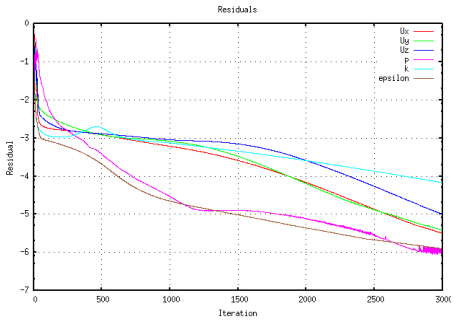
【서류명】 특허출원서
【출원구분】 특허출원
【출원인】
【성명】 주식회사 넥스트폼
【특허고객번호】 1-2016-098761-2
【대리인】
【성명】 특허법인 대륜
【대리인번호】 9-2010-100601-1
【지정된변리사】 정우진
【포괄위임등록번호】 2016-102206-9
【발명의 국문명칭】 모델링을 활용한 건축물의 풍압 해석 시스템 및 방법
【발명의 영문명칭】 Building Wind Pressure Analysis System and Method for Calculation Prediction Method Of Building Using Modeling
【발명자】
【성명】 신재철
【특허고객번호】 4-2007-041478-8
【발명자】
【성명】 김병문
【성명의 영문표기】 KIM, Byung Yun
【주민등록번호】 610715-1******
【우편번호】 12072

개발 성과

- 기술개발 성과
  - OpenFOAM의 비압축성 솔버 개량
    - simpleFoam, pimpleFoam의 기존 알고리즘 수정을 통한 수렴성 개선
      - 기존 Pressure correction 알고리즘의 순서:
        - » flux correction --> pressure relax --> velocity correction
      - 개선 Pressure correction 알고리즘의 순선:
        - » flux correction --> velocity correction --> pressure relax



기존 알고리즘 수렴성



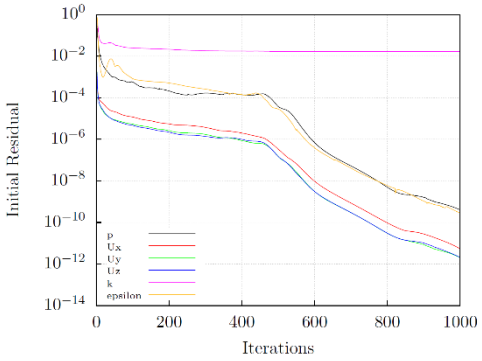
개선 알고리즘 수렴성

  - OpenFOAM의 난류모델 개량
    - Standard k-ε 난류모델
      - k-ε 난류모델 방정식의 생성항을 도함수꼴을 이용해서 Standard k-ε 난류모델의 수렴안정성 개선

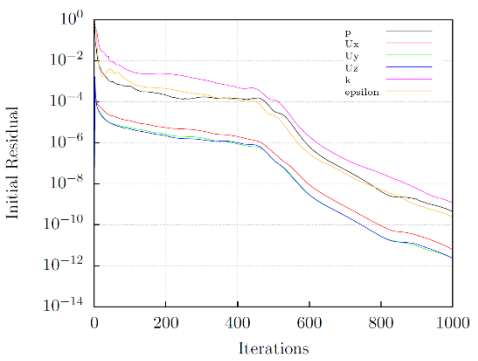
$$S_\varepsilon = C_{1\varepsilon} G_k \frac{\varepsilon}{k} - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k}$$

$$S_u = \frac{1}{2} C_{1\varepsilon} G_k \sqrt{\frac{C_\mu \varepsilon^*}{\nu_t}} + \frac{1}{2} C_{2\varepsilon} \rho \sqrt{\frac{C_\mu \varepsilon^{*3}}{\nu_t}}$$

$$S_p = -\frac{1}{2} C_{1\varepsilon} G_k \sqrt{\frac{C_\mu}{\nu_t \varepsilon^*}} + \frac{3}{2} C_{2\varepsilon} \rho \sqrt{\frac{C_\mu \varepsilon^*}{\nu_t}}$$



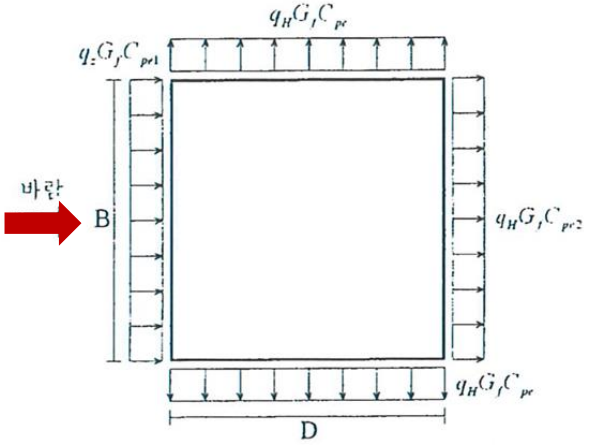
기존 기법 수렴성



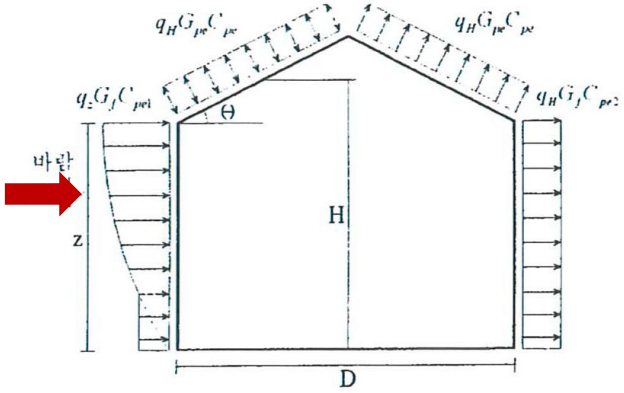
개선 기법 수렴성

건축기준과 비교

- 건축구조기준 제3장 설계하중 0305 풍하중 0305.7.1. 외압계수 0305.7.1.1
  - 사각형 평면을 가진 밀폐형 건축물에 대한 주골조설계용 외압계수



평면



단면

벽면 외압계수 C_{pe}

구분	D/B	C_{pe}	적용속도압
풍상벽	모든 값	0.8	q_z
풍하벽	0~1	-0.5	q_H
	2	-0.3	
	≥4	-0.2	
측벽	모든 값	-0.7	q_H

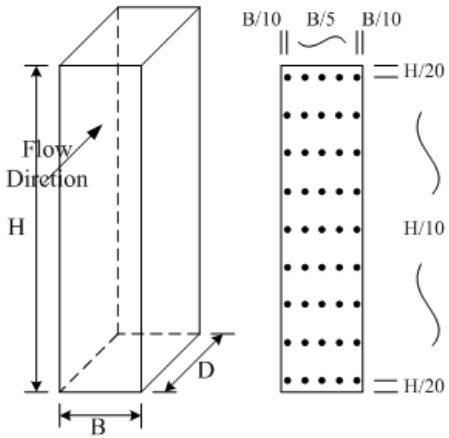
q_z: 지표면에서 높이 z에 대한 설계속도압, N/m^2
q_H: 지붕면 평균높이 H에 대한 설계속도압, N/m^2

평가지표 절차

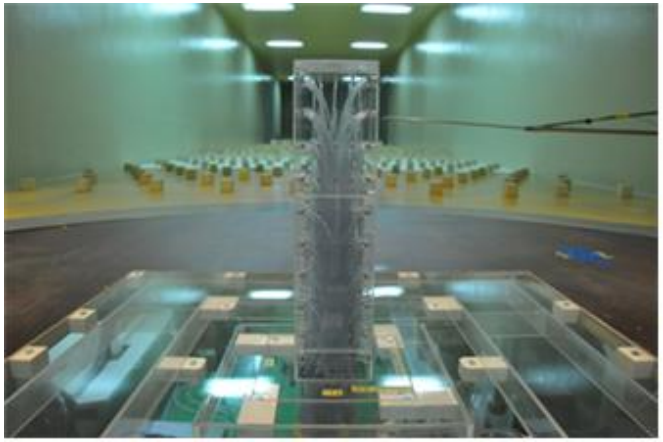
평가내용	시간해석
벽면외압계수	정상상태
해석시간	정상상태
피크외압계수	시간이력(비정상)

건축기준과 비교

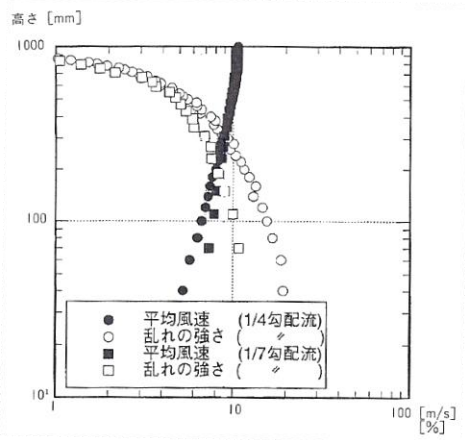
- 해석대상
  - H. Ko, N. Hiroshi, S. Eiji, “A New Effel Type Boundary Layer Wind Tunnel,” mitsui const. institute report, No. 18, pp. 183-194, in Japanese



실험 형상 크기 및 압력 측정공



실험 준비 중 실험 형상 (대우건설)



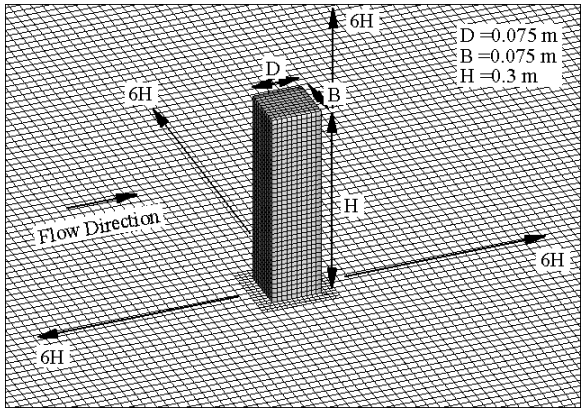
노풍도에 따른 풍속 및 난류형상

- Bluff size: B×D×H=75×75×300 mm
- Measurement point: total 200 points
- Sampling rate: 500Hz
- Measuring time: 40.96sec (4,096/cycle, 5 cycles)

- Roughness coefficient: α=0.25 (B), 0.14 (C)
- Mean Wind Pressure Coefficient
- RMS Wind Pressure Coefficient

건축기준과 비교

- 해석격자 및 경계조건



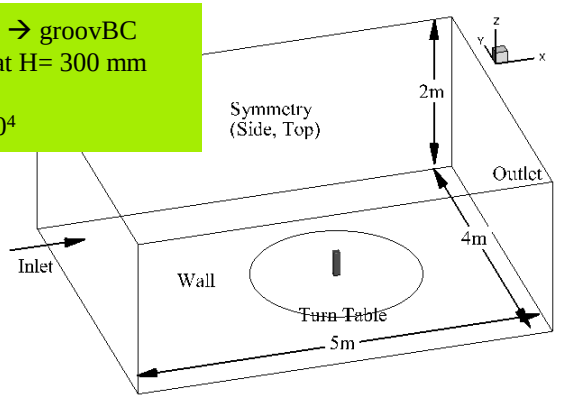
형상 및 격자계

격자수준	Δ [m]	표면격자수	
성긴	0.01	7	*D*=0.075 m
중간	0.005	15	
조밀	0.0025	30	

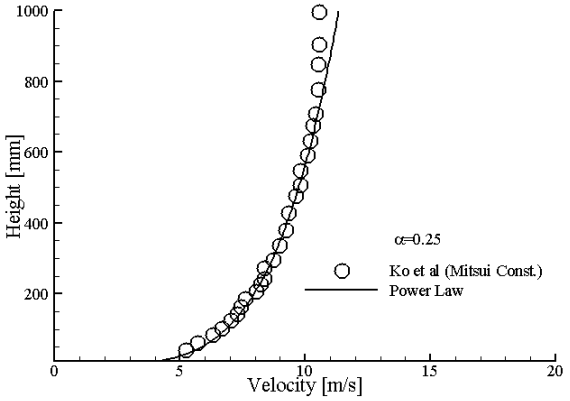
경계조건

경계면	U	p	k	ε
Inlet	groovBC	zeroGradient	groovBC	fixedValue
Outlet	pressurenletOutletVelocity	totalPressure	inletOutlet	inletOutlet
Wall	fixedValue	zeroGradient	kqRwallFunction	epsilonWallFunction

- Inlet: power law → groovBC
  Velocity: 9 m/s at H= 300 mm
  α=0.25 (B)
- Re. No.: 4.6×10^4



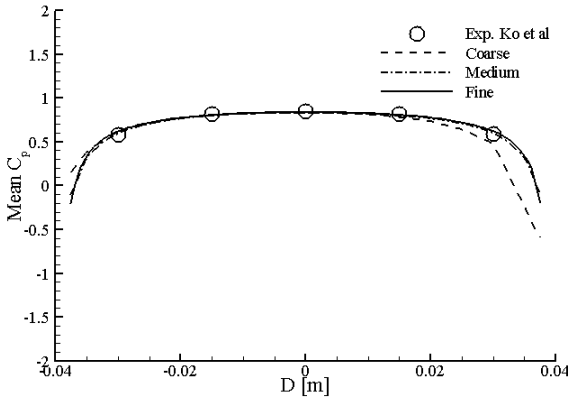
해석영역 및 경계조건



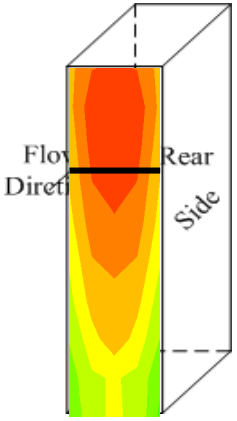
유입풍속 형상

건축기준과 비교

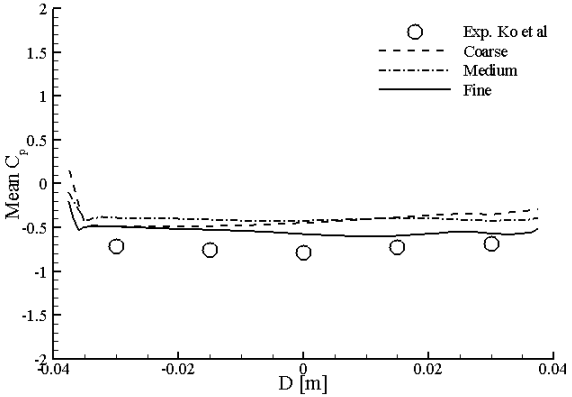
- 벽면외압계수 평가



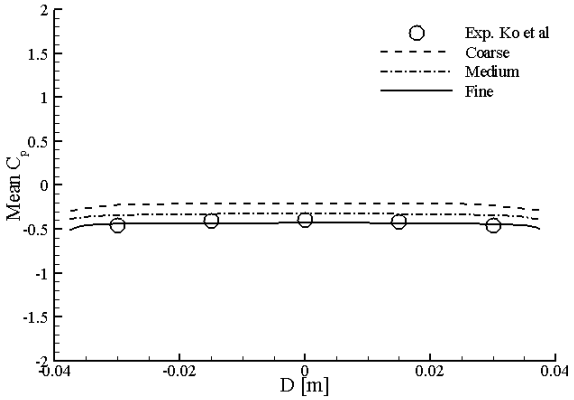
풍상벽



평가위치



측벽



풍하벽

격자 의존성

구분	풍상벽		풍하벽		측벽		비고
	값	상대오차 %	값	상대오차 %	값	상대오차 %	
KBC2009	0.8	-	-0.5	-	-0.7	-	평균풍압 풍상측기준 풍압중심 0.225m (2/3지점)
성긴격자	0.759	5	-0.552	-4	-0.723	-3	
중간격자	0.772	3	-0.524	-5	-0.748	-7	
조밀격자	0.774	3	-0.553	-11	-0.674	4	

건축기준과 비교

- 기준과 상용프로그램과의 비교

도입된 고성능 장비 사양

구분	하드웨어사양	운영체제 및 프로그램
CPU	Intel Xeon E5-2630 v3 2.4 GHz, 16 Core	Centos 6.6 OpenFOAM-2.4.0 Fluent 13 (라이센스는 대우건설)
Memory	32Gb	
HDD	100Gb	
Network	Gigabit 1GHz	

도입된 고성능 장비 (1대, 기존 장비에 연결)

- 해석기법

해석에 사용된 해석기법

구분	전산풍동	Fluent 13
운동량	2차 정확도 linear Upwind	2차 정확도 upwind
압력	2차 정확도 linear	2차 정확도 linear
난류	1차 정확도 upwind	1차 정확도 upwind

– 비압축성 Navier-Stokes 방정식
– 2방정식 표준 k-ε 난류 방정식

건축기준과 비교

- 기준과 상용프로그램과의 비교

벽면외압계수 비교 (풍동실험: 대우건설 / 미쯔이건설)

구분	건축법기준	풍동실험		전산풍동		Fluent 13	
	값	값	상대 오차 %	값	상대 오차 %	값	상대 오차 %
풍상벽	0.8	0.79/0/77	1 ~ 4	0.772	3	0.705	12
풍하벽	-0.5	-0.46/-0.42	-6 ~ -10	-0.524	-5	-0.195	60
측벽	-0.7	-0.77/-0.74	-8 ~ -16	-0.748	-7	-0.727	-4

• 해석에는 격자 의존성 평가에 사용된 중간격자 적용

- 해석시간 비교

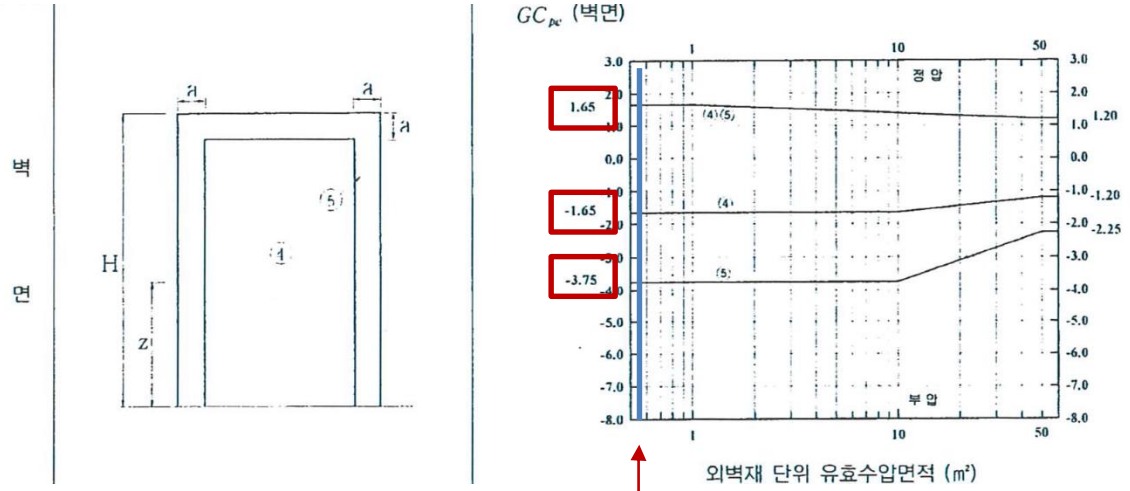
해석시간 비교

평가회수	전산풍동 (sec)	Fluent 13 (sec)
1	1069	1198
2	1083	1156
3	1083	1162
평균	1078	1172

- 대략 10% 빠른 해석 성능을 보여줌

건축기준과 비교

- 피크 외압계수 비교
  - 건축구조기준 제3장 설계하중 0305 풍하중 0305.7.1. 외압계수 0305.8.1.1
    - 지붕면 평균높이 높이 20m 이상인 건축물에는 지붕면의 평균높이가 높이 20m 이상인 건축물의 외장재설계용 피크외압계수는 표 0305.8.1.에 따른다.



밀폐형 건축물의 벽면 피크외압계수 <표 0305.8.1.>

- 벽면에 정압으로 작용하는 경우
  ④, ⑤구역: $1.65 - 0.265logA$
- 벽면에 부압으로 작용하는 경우
  ④구역: $-2.294 + 0.644logA$
  ⑤구역: $-5.88 + 2.132logA$
- 단위유효수압면적: $1 < A \leq 10\ m^2$

- 사용된 모형의 유효수압면적
  - D=B=0.075 m, H=0.3 m
  - A=0.0225 m^2
  - 최대 정압계수: 1.65
  - 최대 부압계수: -3.75

건축기준과 비교

- 피크 외압계수 비교
  - 해석기법
    - 비압축성 Navier-Stokes 방정식
    - LES (Large Eddy Simulation) 모델

• 사용된 격자는 벽면외압계수 조밀격자 사용

해석에 사용된 해석기법

구분	전산풍동	Fluent 13
운동량	2차 정확도 linear Upwind	2차 정확도 upwind
압력	2차 정확도 linear	2차 정확도 linear
난류	1차 정확도 upwind	1차 정확도 upwind

  - 해석시간 결정 (실험 및 모사)
    - 모형진동수, n_{model}
      - 100 일 경우 실험 가능
    - 모형축소비율, B_{full}/B_{model}
      - 1/400
    - 속도축소비율, V_{model}/V_{full}
      - 4/1
    - 시간축소비율, $\frac{T_{model}}{T_{full}} = \frac{B_{model} \times V_{full}}{B_{full} \times V_{model}}$
      - 실재 10분 평균 (기상대 관측기준)
      - T_{model}=6 sec

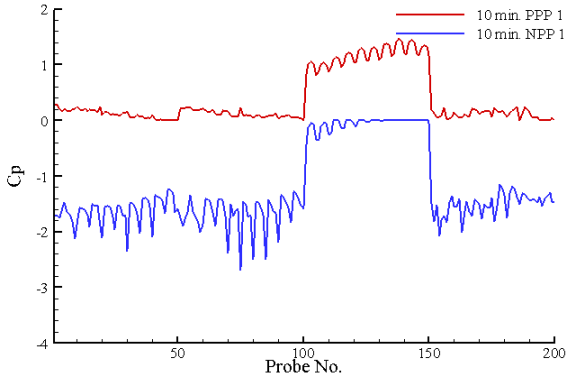
실재와 모형 관측시간

사용 구분	관측시간	
	실재시간	모형시간
주골조	10 min	6 sec
외장재	0.5 ~ 1 sec	0.005 ~ 0.01 sec

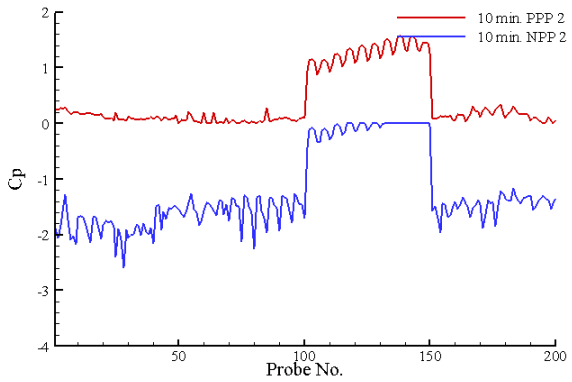
• 외장재의 경우 거스트와 같은 순간풍속에 영향을 받는 구조물의 경우 0.5~1초에 발생하는 최대풍압을 적용

건축기준과 비교

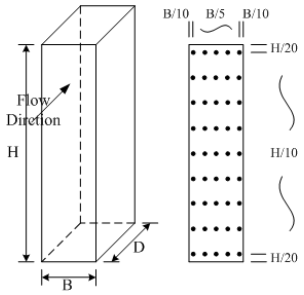
- 피크 외압계수 비교



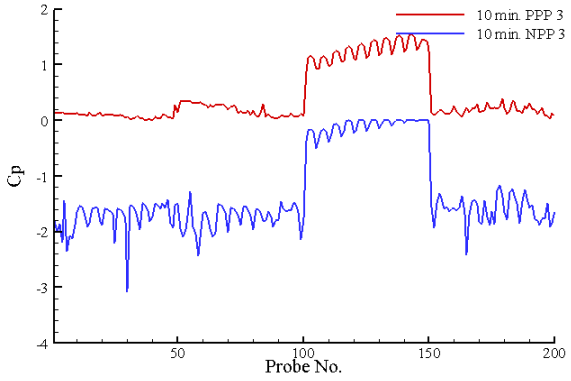
피크외압계수, 1번째 10분



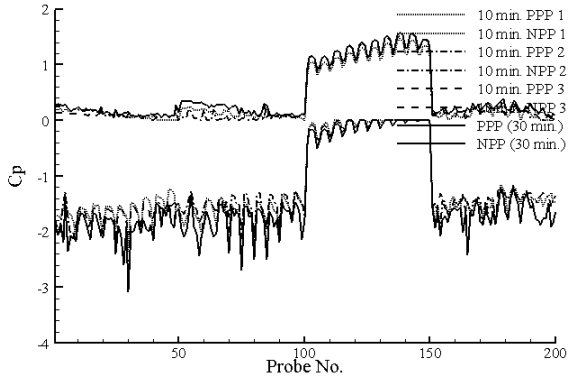
피크외압계수, 2번째 10분



계측점



피크외압계수, 3번째 10분



피크외압계수, 전체 30분

- 피크 정압: 1.57
- 피크 부압: -3.07

건축기준과 비교

- 피크 외압계수 비교

해석에 사용된 해석기법

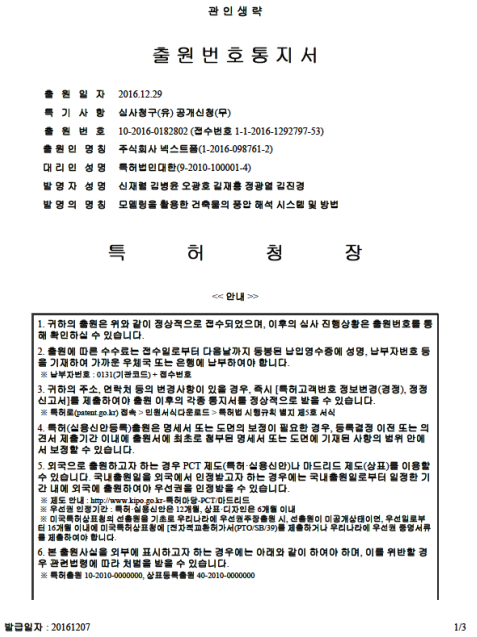
구분	건축법기준	전산풍동	상대오차 %
피크정압	1.65	1.57	5
피크부압	-3.75	-3.07	-18

– 10분씩(모형 6초) 해석결과로부터 최대 정압계수 및 부압계수
  - 정압계수: 1.57
  - 부압계수:-3.07
  - 건축법기준 피크정압계수(1.65), 피크부압계수(-3.75)

건축기준과 비교

- 개발결과 성능평가 요약

주요 성능지표	단위	최종 개발목표	세계최고수준 (보유국/보유기업)	가중치
해석시간	초	100%	상용프로그램	10%
벽면외압계수	-	10% 이하	대한민국/건축구조기준	40%
피크외압계수	-	10% 이하	대한민국/건축구조기준	30%



관 인 생 략

출 원 번 호 통 지 서

출 원 일 자 2016.12.29
특 기 사 항 심사청구(유) 공개신청(무)
출 원 번 호 10-2016-0182802 (접수번호 1-1-2016-1292797-53)
출원인 명칭 주식회사 넥스트폼(1-2016-098761-2)
대 리 인 성 명 특허법인대한(9-2010-100001-4)
발 명 자 성 명 신재혁 김병윤 오광호 김재홍 정광열 김진경
발 명 의 명 칭 모멀링을 활용한 건축물의 풍압 해석 시스템 및 방법

특 허 청 장

<< 안내 >>

1. 귀하의 출원은 위와 같이 정상적으로 접수되었으며, 이후의 심사 진행상황은 출원번호를 통해 확인하실 수 있습니다.
2. 출원에 따른 수수료는 접수일로부터 다음날까지 등록된 납입영수증에 성명, 납부자번호 등을 기재하여 가까운 우체국 또는 은행에 납부하여야 합니다.
※ 납부자번호 : 0131(기관코드) + 접수번호
3. 귀하의 주소, 연락처 등의 변경사항이 있을 경우, 즉시 [특허고객번호 정보변경(경정), 정정신고서]를 제출하여야 출원 이후의 각종 통지서를 정상적으로 받을 수 있습니다.
※ 특허로(patent.go.kr) 접속 > 민원서식다운로드 > 특허법 시행규칙 별지 제1호 서식
4. 특허(실용신안등록)출원은 명세서 또는 도면의 보정이 필요한 경우, 등록결정 이전 또는 의견서 제출기간 이내에 출원서에 최초로 첨부된 명세서 또는 도면에 기재된 사항의 범위 안에서 보정할 수 있습니다.
5. 외국으로 출원하고자 하는 경우 PCT 제도(특허·실용신안)나 마드리드 제도(상표)를 이용할 수 있습니다. 국내출원일을 외국에서 인정받고자 하는 경우에는 국내출원일로부터 일정한 기간 내에 외국에 출원하여야 우선권을 인정받을 수 있습니다.
※ 제도 안내 : http://www.kipo.go.kr/특허마당-PCT/마드리드
※ 우선권 인정기간 : 특허·실용신안은 12개월, 상표·디자인은 6개월 이내
※ 미국특허상표청의 선출원을 기초로 우리나라에 우선권주장출원 시, 선출원이 미공개상태이면, 우선일로부터 16개월 이내에 미국특허상표청에 [전자적교환하기서(PTO/SB/39)]를 제출하거나 우리나라에 우선권 증명서류를 제출하여야 합니다.
6. 본 출원사실을 외부에 표시하고자 하는 경우에는 아래와 같이 하여야 하며, 이를 위반할 경우 관련법령에 따라 처벌을 받을 수 있습니다.
※ 특허출원 10-2010-0000000, 상표등록출원 40-2010-0000000

발급일자 : 20161207 1/3

해석시간

평가회수	전산풍동 (sec)	Fluent 13 (sec)
1	1069	1198
2	1083	1156
3	1083	1162
평균	1078	1172

벽면외압계수

구분	풍상벽		풍하벽		측벽	
	값	상대오차 %	값	상대오차 %	값	상대오차 %
KBC2009	0.8	-	-0.5	-	-0.7	-
중간격자	0.772	3	-0.524	-5	-0.748	-7

피크외압계수

구분	건축법기준	전산풍동	상대오차 %
피크정압	1.65	1.57	5
피크부압	-3.75	-3.07	-18

적용 사례

전산지도를 활용한 풍환경 분석 프로그램 개발

- 개발기간
  - 2017년5월~12월
- 개발내용
  - 교량 건설지역 풍환경 해석 프로그램
- 개발비용
  - 20,000천원

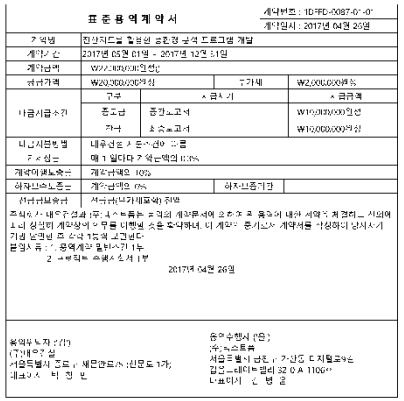


표 준 용 역 계 약 서

계약번호 : 1D1PD-0087-07-0

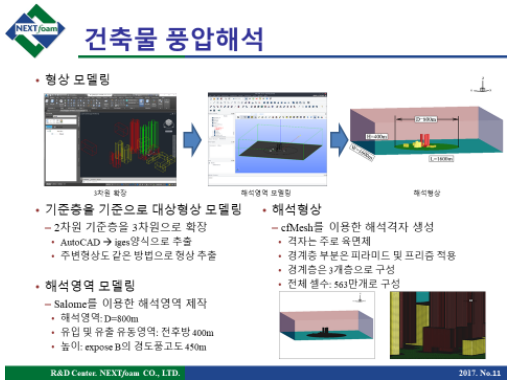
계약일시 : 2017년 04월 26일

계약명	전산지도를 활용한 풍환경 분석 프로그램 개발		
계약기간	2017년 05월 01일 ~ 2017년 12월 31일		
계약방법	수의계약(단일견적)		
계약가격	₩20,000,000(부가세 포함)	부가세	₩2,000,000(부가세)
대금지급방법	구분	지급시기	지급금액
	중도금	중간보고서 제출	₩10,000,000(일천만원)
	잔금	최종보고서 제출	₩10,000,000(일천만원)
대금지급방법	대부업법에 따른 최고 이자율 매1일당 0.04%		
계약이행보증금	계약금액의 10%		
하자보수보증금	계약금액의 0%	하자보증기간	
선급금지급유무	선급금(계약체결일에 한함)		

주식회사 [illegible]과 [illegible]은 [illegible]의 계약문서에 표현된 제 조항에 따라 계약서 체결하고 서로에 오너 성실히 계약상의 [illegible]를 이행할 것을 확약하며, 이 계약의 증거로서 계약서를 작성하여 당사자가 기명날인한 후 각각 1통씩 보관한다.

2017년 04월 26일

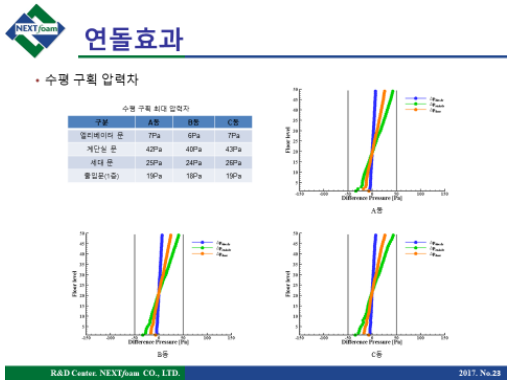
청주북문로 주상복합 연돌해석 용역



건축물 풍압해석

- 형상 모델링
- 기준층을 기준으로 대상형상 모델링
  - 2차원 기준층을 3차원으로 확장
  - AutoCAD → iges양식으로 추출
  - 주변형상도 같은 방법으로 형상 추출
- 해석영역 모델링
  - Salome를 이용한 해석영역 제작
  - 해석영역: D=800m
  - 유입 및 유출 유동영역: 전후방 400m
  - 높이: expose B의 경도풍고도 450m
- 해석형상
  - cfMesh를 이용한 해석격자 생성
  - 격자는 주로 육면체
  - 경계층 부분은 피라미드 및 프리즘 적용
  - 경계층은 3개층으로 구성
  - 전체 셀수: 563만개로 구성

R&D Center. NEXTfoam CO., LTD. 2017. No.11

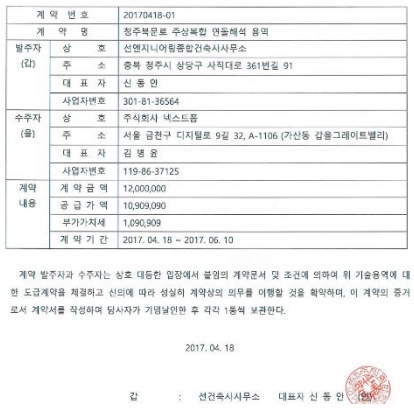


연돌효과

- 수평 구획 압력차

구분	A동	B동	C동
엘리베이터 문	7Pa	6Pa	7Pa
계단실 문	43Pa	40Pa	43Pa
세대 문	25Pa	24Pa	26Pa
출입문(1층)	19Pa	18Pa	19Pa

R&D Center. NEXTfoam CO., LTD. 2017. No.28



용역 계약서

계약번호		20170418-01
계약명		청주북문로 주상복합 연돌해석 용역
발주자 (갑)	상호	선엔지니어링종합건축사사무소
	주소	충북 청주시 상당구 사직대로 361번길 91
	대표자	신 동 안
	사업자번호	301-81-36564
수주자 (을)	상호	주식회사 넥스트폼
	주소	서울 금천구 디지털로 9길 32, A-1106 (가산동 갑을그레이트밸리)
	대표자	김 병 용
	사업자번호	119-86-37125
계약내용	계약금액	12,000,000
	공급가액	10,909,090
	부가가치세	1,090,909
	계약기간	2017. 04. 18 ~ 2017. 06. 10

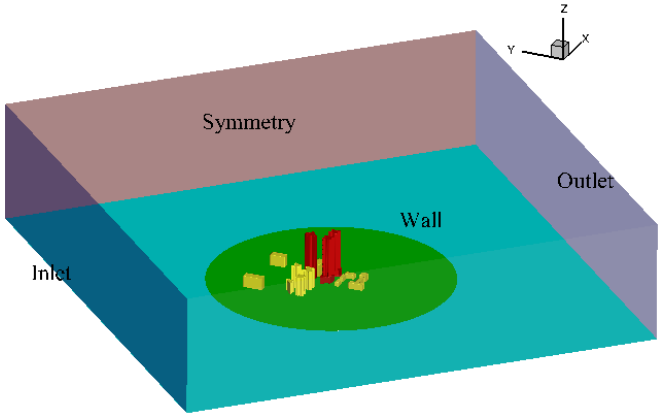
계약 발주자과 수주자는 상호 대등한 입장에서 붙임의 계약문서 및 조건에 의하여 위 기술용역에 대한 도급계약을 체결하고 신의에 따라 성실히 계약상의 의무를 이행할 것을 확약하며, 이 계약의 증거로서 계약서를 작성하여 당사자가 기명날인한 후 각각 1통씩 보관한다.

2017. 04. 18

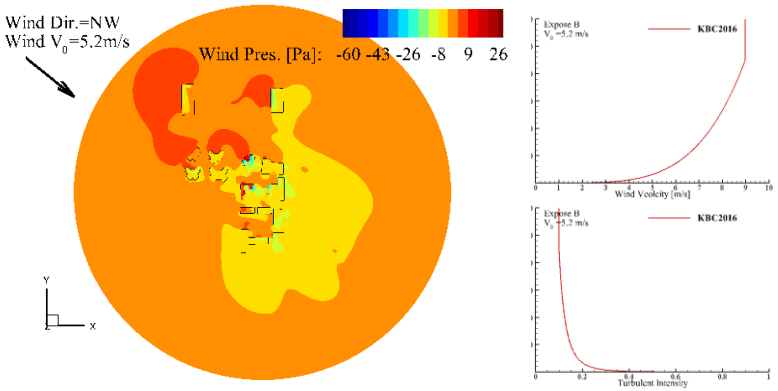
갑 : 선건축사사무소 대표자 신 동 안

건축물 풍압해석

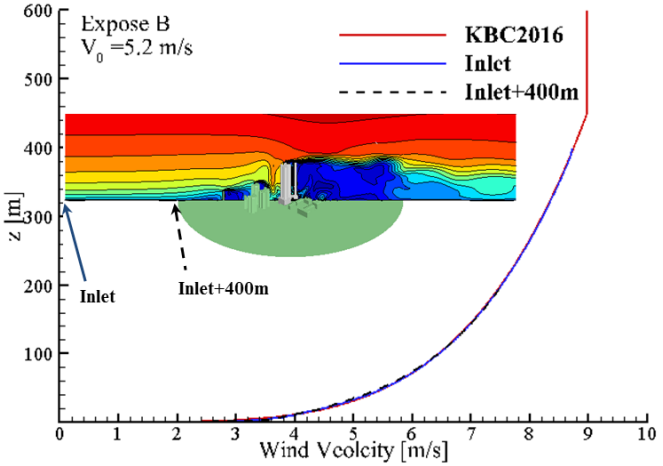
- 계산 및 경계조건
  - 계산영역: 1600m×1600m×450m
    - 건물최고 높이: 158.56m
  - 경계조건
    - 건물 및 지면: 단열부착조건
    - 유입 기류: 기류속도 및 형상
    - 상층부: 대칭조건
    - 기류형상: 노풍도 B, 5.2m/s
    - 주풍향: 북서풍



경계조건



풍향 및 유입풍속/난류형상

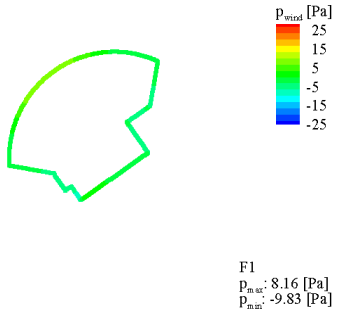


접근거리에 따른 풍속형상

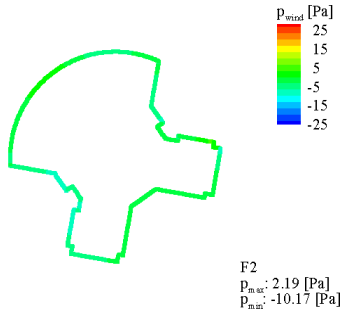
건축물 풍압해석

- A동 층별 최대 및 최소 풍압

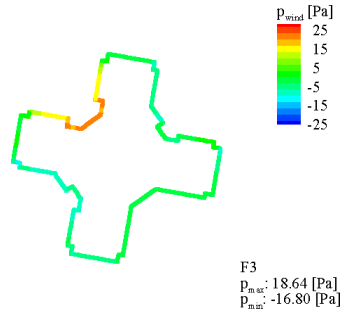
저층부



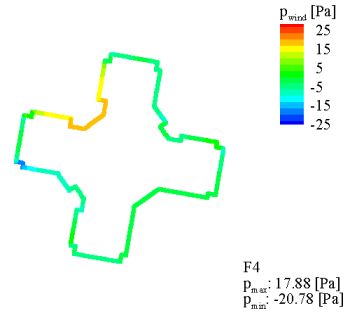
F1
p_{max}: 8.16 [Pa]
p_{min}: -9.83 [Pa]



F2
p_{max}: 2.19 [Pa]
p_{min}: -10.17 [Pa]

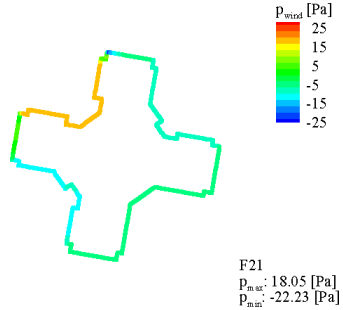


F3
p_{max}: 18.64 [Pa]
p_{min}: -16.80 [Pa]

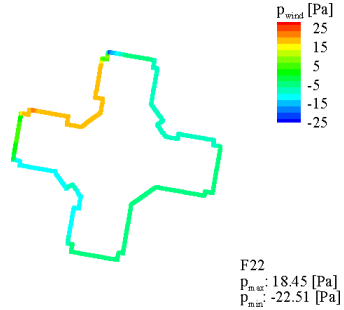


F4
p_{max}: 17.88 [Pa]
p_{min}: -20.78 [Pa]

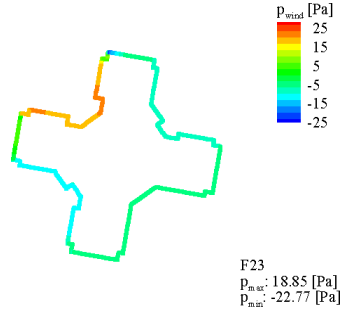
중층부



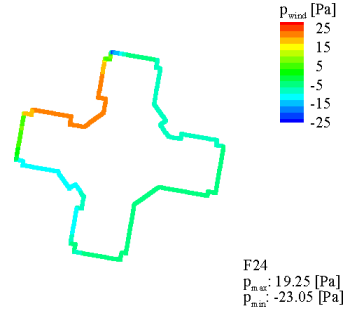
F21
p_{max}: 18.05 [Pa]
p_{min}: -22.23 [Pa]



F22
p_{max}: 18.45 [Pa]
p_{min}: -22.51 [Pa]

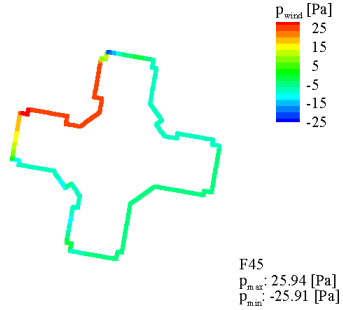


F23
p_{max}: 18.85 [Pa]
p_{min}: -22.77 [Pa]

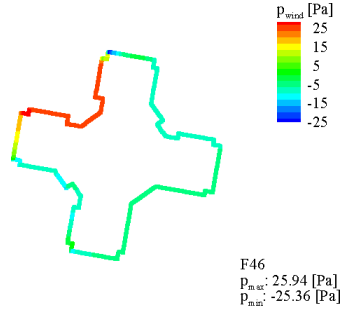


F24
p_{max}: 19.25 [Pa]
p_{min}: -23.05 [Pa]

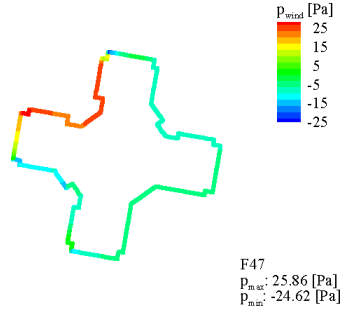
고층부



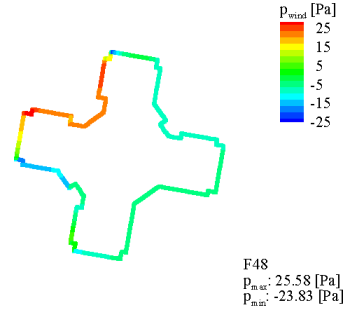
F45
p_{max}: 25.94 [Pa]
p_{min}: -25.91 [Pa]



F46
p_{max}: 25.94 [Pa]
p_{min}: -25.36 [Pa]



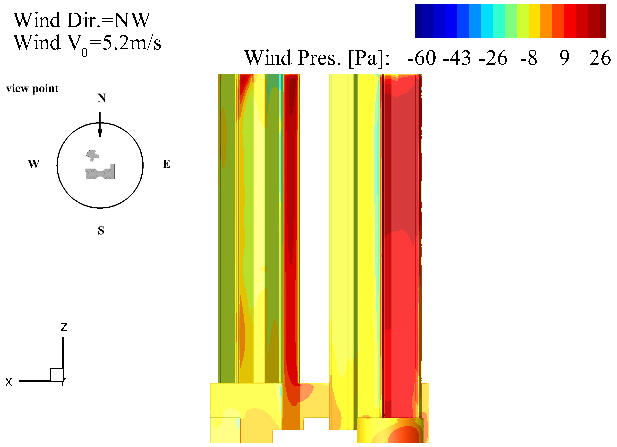
F47
p_{max}: 25.86 [Pa]
p_{min}: -24.62 [Pa]



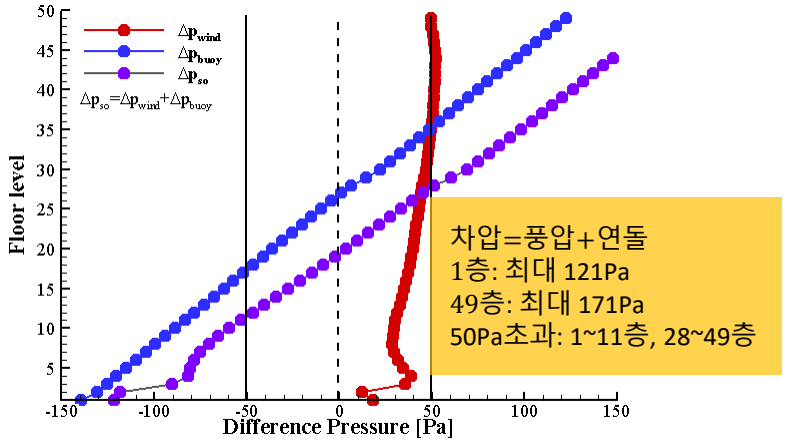
F48
p_{max}: 25.58 [Pa]
p_{min}: -23.83 [Pa]

연돌효과

- 풍압을 고려한 압력차

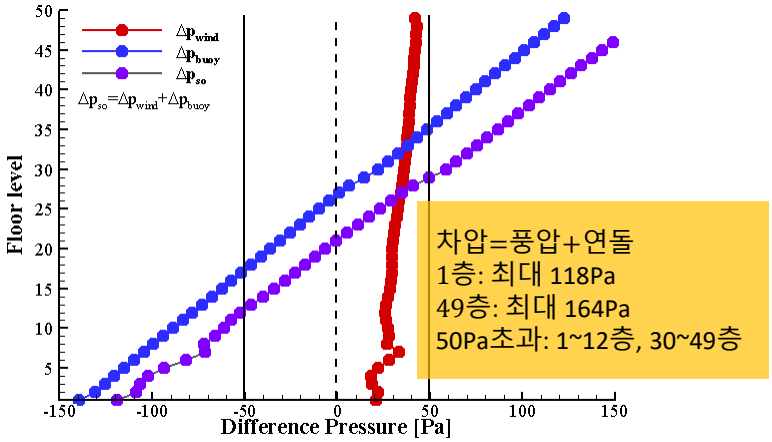


풍압분포 정면



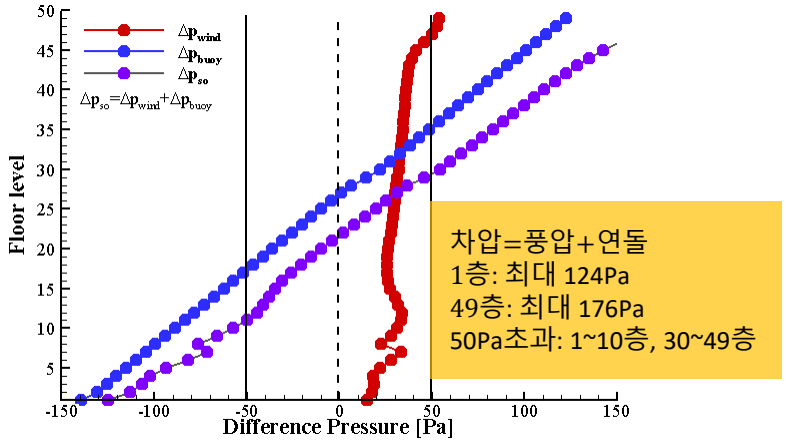
차압=풍압+연돌
1층: 최대 121Pa
49층: 최대 171Pa
50Pa초과: 1~11층, 28~49층

A동



차압=풍압+연돌
1층: 최대 118Pa
49층: 최대 164Pa
50Pa초과: 1~12층, 30~49층

B동



차압=풍압+연돌
1층: 최대 124Pa
49층: 최대 176Pa
50Pa초과: 1~10층, 30~49층

C동

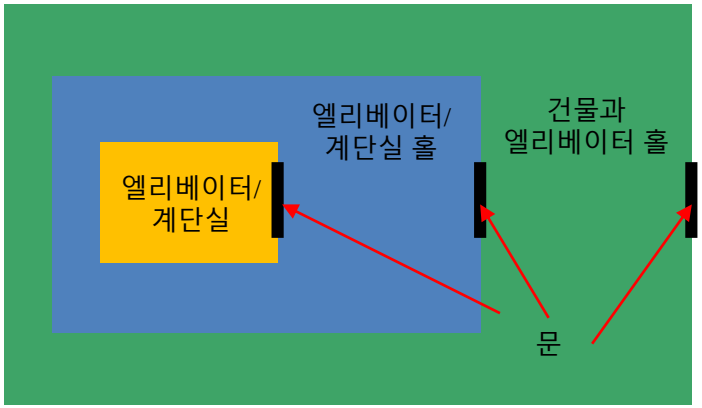
연돌효과

- 수평 구획 압력차

1층 출입문 구획

적용된 누기면적

적용 대상	누기면적 [m²]
1층 외부벽	닫힘: 0.0873, 열림: 2.04
1층을 제외한 외부벽	닫힘: 0.0502
계단실과 건물(계단실 문)	닫힘: 0.0251, 열림: 0.975
건물과 엘리베이터 홀(방풍/로비문)	닫힘: 0.039, 열림: 2.04
엘리베이터 홀(엘리베이터 문)	닫힘: 0.149, 열림: 0.743



단순화 구획

$$\Delta p_{si} = \Delta p_{so}\left(\frac{A_e}{A_{si}}\right)^2$$

$$A_e = \left[\sum_{j=1}^{n} A_j^{-2}\right]^{-\frac{1}{2}}$$

A_e: 유효누기면적
A_{si}: shaft와 빌딩공간 사이의 누기면적
A_{io}: 빌딩공간과 외부사이의 누기면적
Δp_{si}: shaft로부터 빌딩공간 사이의 압력차
Δp_{so}: shaft로부터 외부공간 사이의 압력차

압력분담율

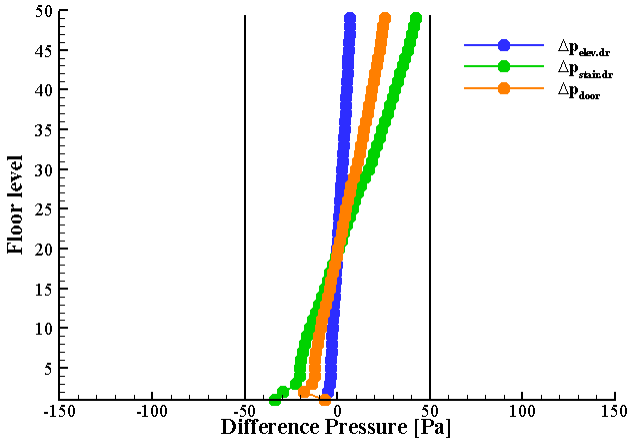
Klote, J. H. "A General Routine For Analysis of Stack Effect," NIST Report, NISTIR-4588, 1991.
Klote, J. H. "Considerations of Stack Effect in Building Fires," NIST Report, NISTIR-4035, 1989.

연돌효과

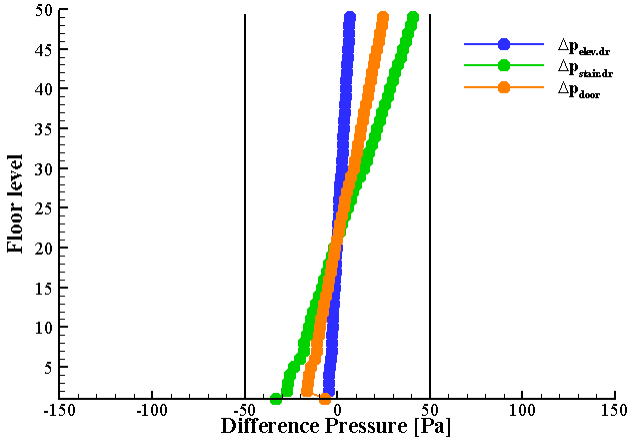
- 수평 구획 압력차

수평 구획 최대 압력차

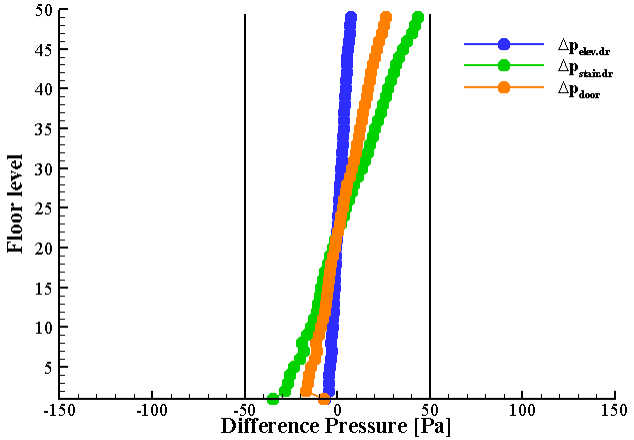
구분	A동	B동	C동
엘리베이터 문	7Pa	6Pa	7Pa
계단실 문	42Pa	40Pa	43Pa
세대 문	25Pa	24Pa	26Pa
출입문(1층)	19Pa	18Pa	19Pa



A동



B동



C동

Thank you for your attention