

15TBIP
-C0758
44-02

수직통로 내 공기의 급기 및 배기를 통한 고층건물에서의 연돌효과 저감설비 개발 최종보고서

2016

국토교통부

국토교통과학기술진흥원

수직통로 내 공기의 급기 및 배기를 통한 고층건물에서의 연돌효과 저감설비 개발

R&D Report

보안 과제(), 일반 과제(○) / 공개(○), 비공개()
국토교통기술사업화지원 최종보고서

R&D / 15TBIP-
C075844-02

수직통로 내 공기의 급기 및 배기를 통한 고층건물에서의 연돌효과 저감설비 개발 최종보고서

2016. 7. .

주관연구기관 / (주) 동 해 기 연
협동연구기관 / 한국건설기술연구원

국 토 교 통 부
국토교통과학기술진흥원

제출문

국토교통부장관 귀하

‘수직통로 내 공기의 급기 및 배기를 통한 고층건물에서의 연돌효과 저감설비 개발’(연구개발 기간 : 2014. 6. ~ 2016. 6.) 과제의 최종보고서를 제출합니다.

2016. 7. .

주관연구기관명: (주) 동해기연 손 민 (인)

협동연구기관명: 한국건설기술연구원 이 태 식 (인)

주관연구기관책임자: 이 재 엽
협동연구기관책임자: 김 정 엽

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제38조에 따라 최종보고서 열람에 동의합니다.

보고서 요약서

과제 고유 번호	15TBIP-C07 5844-02	해당 단계 연구 기간	2015. 6 - 2016. 6	단계구분	(2차년도)/ (2차년도)
연구사업명	중사업명	국토교통기술사업화 지원사업			
	세부사업명				
연구과제명	대과제명	수직통로 내 공기의 급기 및 배기를 통한 고층건물에서의 연돌효과 저감설비 개발			
	세부과제명	연돌효과 분석기술 확립 및 Test Bed 성능평가			
연구책임자	이 재 업	해당단계 참여 연구원 수	총: 9명 내부: 8명 외부: 1명	해당단계 연구개발비	정부:182,000천원 기업:122,000천원 정부 외: 0천원 계:304,000천원
		총 연구기 간 참여 연구원 수	총: 10명 내부: 8명 외부: 2명	총 연구개발 비	정부:364,000천원 기업:244,000천원 정부 외: 0천원 계:608,000천원
연구기관명 및 소속 부서명	동해기연 (주) 기술연구소			참여기업명	
국제공동연구	상대국명:			상대국 연구기관명:	
위탁연구	연구기관명: (주)웍스			연구책임자: 권혁	
본 연구에서는 고층건물의 에너지와 거주환경 개선을 위한 적극적 방안(Active method)의 연돌효과 저감 기술로서, 고층건물 수직통로의 저층부에서 공기를 급기하고 고층부에서 배기하여서 수직통로에 공기의 흐름을 생성시킴으로써 연돌효과의 영향을 축소하거나 상쇄시키는 기술에 대한 사업화를 추진하였다. 그 일환으로서 송풍기·덕트·제어기·급배기구 등 핵심요소에 대한 설계와 연돌효과 저감설비의 설계도서 및 설계기준을 제시하였고, 네트워크 기반 및 CFD 상세 수치해석 기술을 적용하여 핵심인자 및 건물 특성에 따른 연돌효과와 저감성능을 분석하였다. 연돌효과 저감장치 시제품에 대해서 1차년도에서는 10층 규모의 적용을 위해서 100 CMM 급의 시제품 설계 및 제작하였으며, 핵심설비인 연돌효과 저감설비용 PLUG FAN의 성능실험 장치를 개발하여 PLUG FAN의 시험을 수행하였다. 2차년도에서는 30층 규모의 적용을 위해서 250 CMM 급의 시제품을 개발하였다. 한편 연돌효과 저감장치의 시제품을 개발하고 10층과 27층 규모의 실규모 건축물에 대해서 시제품을 적용하고 연돌효과 저감장치의 성능을 평가하였다. 실제 환경에서의 연돌효과 저감장치에 대한 성능평가 결과 수치해석에서 예측한 연돌효과 저감성능이 실제로 발휘되는 것을 확인하였으며, 실험과 해석결과가 잘 일치하고 있어서 향후 연돌효과 저감장치의 설계,시공에 대한 실용화가 촉진될 것으로 판단된다.				보고서 면수	

국 문 요 약 문

연구의 목적 및 내용

고층건물에서는 동절기에 실내와 실외의 온도차로 인해서 계단이나 승강기 통로와 같은 수직통로를 통해 공기가 상승하는 연돌효과가 발생한다. 이와같이 연돌효과로 인해서 유동이 발생하고 구획실간 압력차가 형성되면, 고층건물의 거주환경과 에너지 및 방재 측면에서 악영향이 발생하게 된다. 일례로 연돌효과로 인해 고층건물의 난방 에너지가 5~10 % 손실되는 것으로 평가되고 있다.

따라서 고층건물에서의 에너지와 환경 성능의 개선을 위해서는 연돌효과에 대한 제어기술 개발과 저감방안 도출이 매우 필요하다. 본 연구에서 개발하고자 하는 기술은 고층건물의 에너지와 거주환경 개선을 위한 적극적 방안(Active method)의 연돌효과 저감 기술로서, 고층건물 수직통로의 저층부에서 공기를 급기하고 고층부에서 배기하여서 수직통로에 공기의 흐름을 생성시킴으로써 연돌효과의 영향을 축소하거나 상쇄시키는 기술이다.

본 연구에서는 연돌효과 저감장치의 개발 및 상용화를 위해서 다음과 같이 연구방향을 제시하였다.

- 수직통로내 공기의 급기와 배기를 통한 고층건물에서의 연돌효과 저감설비 상용화 제품 개발 및 30층 규모 Test Bed 성능평가
 - 연돌효과 해석기술 정립 및 연돌효과 저감성능 분석
 - 연돌효과 저감 설계기술 및 평가기법 확립
 - 연돌효과 저감설비의 시제품 개발 및 실규모 성능평가
 - 30 Pa급 저감성능의 연돌효과 저감설비 상용화 제품 개발
 - 30층 규모의 고층건물에서 Test Bed 적용 및 성능평가

연구개발성과	기관	동해기연(주)	한국건설기술연구원
	연구 분야	연돌효과 저감설비 시제품 개발 및 상용화	연돌효과 분석기술 개발 및 Test Bed 성능평가
	1차 년도	[시제품 개발] ■ 설계기술 개발 - 송풍기 · 덕트 · 제어기 · 급배기구 등 핵심요소에 대한 설계 - 연돌효과 저감설비의 설계도서 및 설계기준 제시 ■ 시제품 제작 - 10층 규모의 시제품 설계 및 제작 - 실규모 성능 평가	[분석기술 확립] ■ 수치해석 기술 개발 - 네트워크 기반 및 CFD 상세 수치해석 기술 적용 - 핵심인자 및 건물 특성에 따른 연돌효과와 저감성능 분석 ■ 실험 및 성능측정 방안 정립 - 실규모 실험방안 제시 - 절대압력 및 상대압력 분석에 의한 성능측정 기술 개발
		[연돌효과 저감설비의 시제품 제작 및 연돌효과 분석기술 확립]	
	2차 년도	[상용화 제품] ■ 제어기 설계 및 제작 - 연돌효과 제어 로직 정립 - 실내외 온도차 측정에 따른 동적 연돌효과 제어 프로그램 개발 - 지능형 연돌효과 제어기 제작 ■ 상용화 제품 제작 - 계단용 제품 제작 - 승강기 수직통로용 제품 제작 - 제품 카다로그 및 설명서 작성	[Test Bed 성능평가] ■ Test Bed 적용 - 30층 규모의 고층건물 Test Bed 선정 - 연돌효과 저감설비의 Test Bed 적용 설계 및 설치 ■ Test Bed 운영 및 평가 - 동절기 Test Bed 운영 - 연돌효과 저감성능 평가 - 공사 및 운전 시방서 작성
		[연돌효과 저감설비의 상용화 제품 제작 및 Test Bed 성능평가]	

	연구목표	연구성과	
		계획	실적
	연돌효과 분석기술 확립	· 네트워크 기반 및 CFD 상세 수치해석 기술 적용 · 핵심인자 및 건물 특성에 따른 연돌효과와 저감성능 분석	· 핵심인자 및 건물특성에 따른 연돌효과 저감성능 수치해석 · CFD 적용 상세 수치해석 수행 및 압력차/누설풍량 분석 · 현장실험과 동일한 조건에서의 연돌효과 저감성능 해석 및 실험결과와 비교분석
	연돌효과 저감설비 설계기술 개발	· 송풍기, 덕트, 제어기, 급배기구 등 핵심요소에 대한 설계 · 연돌효과 저감설비의 설계도서 및 설계기준 제시	· 핵심요소에 대한 설계도서 작성 · PLC 동적제어 로직 제시 · 연돌효과 저감설비 설계 DB 구축
	연돌효과 저감설비 시제품 제작	· 시제품 설계 및 제작	· 10층 규모 (100 CMM, 20 Pa급) 및 30층 (250 CMM, 30 Pa급) 시제품 설계 및 제작 · 연돌효과 저감설비용 PLUG FAN 개발 · PLUG FAN의 성능실험장치 제작
	연돌효과 저감설비 실규모 성능평가	· 실규모 실험방안 제시 · 절대압력 및 상대압력 분석에 의한 성능측정 기술 개발 · 실규모 성능평가	· 실규모 조건에서의 연돌효과 저감성능 측정방안 도출 · 10층 규모 및 30층 규모 건물에서의 연돌효과 저감 측정실험 수행방안 제시 · 실제건물에 대한 연돌효과 저감설비 성능평가
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	[제품] ○ 순환형 연돌효과 저감 설비 - 수직통로내 공기의 급기 및 배기 기능을 가지는 송풍 및 덕트 설비 ○ 동적 연돌효과 저감 제어기 - 건물높이와 실내외 온도를 고려하는 동적 연돌효과 저감 프로그램 및 제어기		

[시스템]

- 고층건물과 연돌효과 발생 특성을 고려한 종합적 연돌효과 대응 시스템
 - 수동적 제어방안(기밀도 향상, 방풍실 설치, 수직통로 분절)과 능동적 제어방안(실내 구획실에서의 급기와 배기, 수직통로내 기류 형성)의 종합적 연돌효과 대응 시스템 정립

[컨설팅]

- 고층건물 연돌효과 분석 및 저감방안 컨설팅
 - 연돌효과 이론과 네트워크·CFD 수치해석 기법에 의한 연돌효과 분석
 - 고층건물 특성에 따른 능동적·수동적 연돌효과 저감방안 컨설팅
- LEED등의 친환경 인증 및 에너지 성능 획득 분야 컨설팅

[기술적 기대성과]

- 고층건물의 실내기류와 압력장 형성에 큰 영향을 미치는 연돌효과에 대해서 신개념과 선도적인 연구개발 능력 향상에 기여함.
- 국내에서는 관련 분야의 연구가 2000년대 학계를 중심으로 수동적 접근의 제한된 범위에서 이루어 졌으며, 본 연구에서는 연돌현상에 대한 다양한 접근 및 통합적 기술의 개발이 기대됨.
- 고층건물 건설에서 점차 핵심적인 분야로 인식되고 있는 연돌효과의 제어 및 저감기술에 대해서 기술력의 향상이 이루어짐.
- 연돌효과의 제어 및 저감기술에 대해서 수동적 및 능동적 접근 방안이 도출되며, 이를 통해 연돌효과에 대한 종합적이고 효과적인 기술의 확립이 기대됨.

[사회·경제적 기대성과]

- 동절기 고층건물에서 연돌효과로 인한 난방 에너지 손실이 5~10 % 정도 발생하고 있는 현실에서 본 연구를 통해서 건축물에서의 상당한 에너지 절감 효과가 기대됨.
- 국내에서도 LEED 등의 친환경 건축물 인증에 대한 관심이 높아지고 있으며, 이를 위해서 고층건물에서의 연돌효과 검토가 중요한 인자로 부상하고 있음. 이러한 국제적인 친환경 건축물의 인증에서 연돌효과 컨설팅 분야의 국내 경쟁력 향상에 기여함.
- 고층건물이 지속적으로 증가하고 있는 상황으로서, 고층건물의 설계와 관리에서 새로운 유망한 분야로 부각되고 있는 연돌효과 분석과 제어의 엔지니어링 사업에서 일자리 창출이 기대됨.
- 고층건물에 거주하는 국민이 증가하면서 환경과 안전 측면에서 개선의 요구가 커지고 있는 상황에서 적합하고 타당한 대책 마련에 기여함.
- 고층건물에서의 쾌적한 실내 거주환경 조성으로 국민의 삶의 질 향상에 기

	여함. [활용방안] ○ 고층건물 연돌효과 관련 개발 기술의 확보 - 본 연구를 통해 고층건물의 연돌효과 관련 핵심기술이 개발되고 제품의 실용화가 추진되면, 고층건물 연돌효과 저감설비 개발의 기술력을 국내 자체적으로 확보하게 되어 향후 시장 개방에 대비한 경쟁력 강화가 기대되며 국외 수출도 예상됨. ○ 고층건물의 환경 및 화재안전 성능 향상 - 능동적 개념의 수직통로내 급기와 배기를 통한 연돌효과 저감설비의 개발과 실용화를 통해서 복잡해지고 다양해지는 고층건물의 쾌적환경 및 화재안전 성능을 확보할 수 있음. ○ 고층건물의 에너지 및 유지관리비 저감 - 고층건물에서 연돌효과로 인한 문제점이 상당부분 해소될 수 있고 에너지와 유지관리비의 절감이 기대됨.				
핵심어 (5개 이내)	연돌효과	고층건물	저감기술	수직통로	압력차

〈 SUMMARY 〉

Purpose & Contents	Rising of air through the vertical shaft such as stair or elevator due to the difference between indoor and outdoor in winter which is dubbed, chimney effect, occurs in high rise building. Air flow and pressure difference between compartments caused by chimney effect result in negative effect on living environment, energy and life safety system. For instance, chimney effect is estimated to cause energy loss by 5~10% in high rise building. Thus chimney effect control and reduction technology is a must to improve the energy and environmental performance in high rise building. The technology to be developed in this study is active method to reduce chimney effect for improving energy efficiency and living environment, which is designed to supply the air at lower level of the shaft and discharge it at higher level in high rise building so as to generate the air flow in the shaft that reduces or offsets the chimney effect. The study is aimed at developing and commercializing the chimney effect reduction device as follows. ○ Development of chimney effect reduction device designed to supply and discharge the air in the shaft of high rise building for commercialization and evaluation of the performance of a 30-story test bed. - Establishment of chimney effect analysis technology and analysis of chimney effect reduction performance - Development of chimney effect reduction design technology and evaluation technique - Development of chimney effect reduction device and a full-scale test - Development of 30 Pa chimney effect reduction device for commercialization - Application of test bed to a 30-story high rise building and performance evaluation
-----------------------------------	--

Results		Dong Hae Engineering	KICT
	Area	Developing and commercialization of chimney effect reduction device	Development of chimney effect analysis technology and evaluation of test bed performance
	Year 1	[Test product] ■ Development of design technology - Design of core parts such as fan, duct, controller and air supplier - Design document and standard of chimney effect reduction device ■ Manufacture of test bed - Design & manufacture of a 10-story test bed - A full-scale performance evaluation	[Analysis technology] ■ Development of numerical analysis technique - Application of network base and CFD detail numerical analysis technique - Analysis of chimney effect and reduction performance depending on core factor and building characteristics. ■ Establishment of test & performance measurement measure - Proposal of a full-scale test - Development of performance measurement technique by analysis of absolute pressure and relative pressure
		[Manufacture of chimney effect reduction device and development of chimney effect analysis technology]	
	Year 2	[Commercialized product] ■ Design & manufacture of controller - Chimney effect control logic - Dynamic chimney effect control program depending on measurement of indoor & outdoor temperature difference - Intelligent chimney effect controller ■ Manufacture of the product for commercialization - Product for stairs - Product for elevator shaft - Catalogue & brochure	[Test Bed performance evaluation] ■ Application of Test Bed - A 30-story building Test Bed - Design & installation of chimney effect reduction device based on test bed ■ Operation & evaluation of Test Bed - Operation of test bed in winter - Chimney effect reduction performance - Construction & operation specification
		[Manufacture of chimney effect reduction device for commercialization and test bed performance evaluation]	

Goal	R&D accomplishment	
	Planned	Accomplished
Chimney effect analysis technique	• Application of network-based and CFD detail numerical analysis technology • Analysis of chimney effect and reduction performance depending on core factor and building characteristics	• Chimney effect reduction performance numerical analysis depending on core factors and building characteristics • CFD-based detail numerical analysis and pressure difference/ leakage air volume analysis • Analysis of chimney effect reduction performance under same condition as field test and comparison with test result
Chimney effect reduction system design technology	• Design of core parts such as fan, duct, controller and air supplier • Design document and standard of chimney effect reduction device	• Preparation of design document for core elements • Proposal of PLC dynamic control logic • Chimney effect reduction device design DB
Chimney effect reduction system test product	• Design & manufacture of test product	• Design and manufacture of a 10-story (100 CMM, 20 Pa) and a 30-story (250 CMM, 30 Pa) test bed • Development of chimney effect reduction device PLUG FAN • Fabrication of PLUG FAN performance test device
A full-scale test of performance of chimney effect reduction system	• Proposal of a full-scale test method • Development of performance measurement technique by analysis of absolute pressure and relative pressure • A full-scale performance evaluation	• Chimney effect reduction performance measurement under a full-scale test condition • Proposal of chimney effect reduction measuring test in a 10-story and 30-story building • Chimney effect reduction device performance evaluation in real building

Expected Contribution	[Product] ○ A circular chimney effect reduction system - Fan and duct with air supply and discharge function in shaft ○ Dynamic chimney effect reduction controller - Dynamic chimney effect reduction program and controller considering building height and indoor & outdoor temperature [System] ○ Comprehensive chimney effect response system considering high rise building and characteristic of chimney effect - Comprehensive chimney effect response system comprising of Passive control (airtightness improvement, wind-break chamber, shaft isolation) and active control (air supply and discharge in compartment, air flow in shaft) [Consulting] ○ Analysis of high rise building and reduction measure - Analysis of chimney effect based on chimney effect theory and network · CFD numerical analysis - Active & passive chimney effect reduction measure considering the characteristics of high rise building ○ Environment friendly certification including LEED and energy efficiency [Technical accomplishment expected] ○ Commitment to new concept and leading R&D effort for chimney effect that affects air flow and pressure field in high rise building. ○ The study has been underway domestically in 2000s within the limited range in passive approach and various approaches and integrated technologies to chimney effect are expected in this study. ○ Technical improvement in chimney effect control and reduction technology which has been considered the core factor in high rise building has been made. ○ Active and passive approach to chimney effect control and reduction technology are identified which is expected to lead to developing comprehensive and efficient technology.
-------------------------------------	---

[Social & economic accomplishment expected]

- Energy loss resulting from chimney effect in winter is estimated at 5~10 % and the study is expected to save the building energy considerably.
- Interest in Eco friendly certification such as LEED has been on the rise domestically and the study on chimney effect in high rise building is considered the critical factor and thus the study is expected to make commitment to enhancing national competitiveness in chimney effect.
- Amid increasing high rise building, job creation in the area of chimney effect analysis and control engineering which has been emerged in high rise building design and management is expected
- Amid increasing people living in high rise building, demand for improving environment and safety sector is on the rise and the study is expected to provide optimal solution.
- Commitment to improving living quality in high rise building by providing comfortable indoor environment

[Use]

- Technology development with regard to chimney effect in high rise building
 - Core technology relating to chimney effect developed and commercialized in this study would lead to localizing the necessary technology which will enhance the international competitiveness in the overseas market.
- Improvement of environment and fire safety in high rise building
 - Development of chimney effect reduction measures using active air supply and discharge in shaft so as to ensure comfortable environment and fire safety are secured in complex and diverse high rise building.
- Reduction of energy and maintenance cost in high rise building
 - Reduction of the problem with chimney effect in high rise building as well as energy and maintenance cost.

Keywords

chimney
effect

high rise
building

reduction
technology

shaft

pressure
difference

< 국 문 목 차 >

제 1 장	연구개발과제 개요	3
1.	연구의 필요성	3
2.	연구목표	22
3.	연구내용 및 범위	25
제 2 장	국내외 기술 개발 현황	6
1.	연구개발 실적	6
2.	관련 기술 및 산업 동향	11
3.	특허 동향	15
4.	기존 연구개발 동향	19
제 3 장	연구 수행 내용 및 성과	26
제 1 절	연돌효과 저감설비 시제품 개발	28
1.	시제품 설계 및 제작	28
2.	PLUG FAN 성능측정 시험장치 설계 및 제작	53
2.1	개요	53
2.2	설계	56
2.3	구성	58
3.	PLUG FAN 개발	67
3.1	분석	67
3.1.1	임펠러	67
3.2	풍량	69
3.3	정압	71
3.4	CFD 검토	72
3.5	VANELESS DIFFUSER	76
3.5.1	분석결과	76
3.6	성능시험	80
3.6.1	DH PLUG FAN 630 시제품	80
3.6.2	테스트	82

3.6.3 테스트 결과	93
3.6.4 공인인증기관 시험결과(KTC, 한국기계전기전자시험연구원)	95
 제 2 절 실제건물 대상 성능 평가	97
1. 10층 규모의 실제건물 대상 성능 평가	97
1.1 현장실험	97
1.2 현장실험 조건에 따른 수치해석	102
2. 27층 규모의 실제건물 대상 성능평가	105
2.1 현장실험 방법	105
2.2 현장실험 결과	107
2.3 수치해석 방법	110
2.4 수치해석 결과	112
 제 3 절 설계자료 작성 및 수치해석 적용	115
1. 핵심인자 및 건물특성에 따른 설계자료 작성	115
1.1 작성 개요	115
1.2 수치해석 결과	115
1.3 상세 수치해석 기술 적용	123
 제 4 장 연구성과 달성 및 관련 분야 기여도	129
 제 5 장 연구개발성과의 활용계획	137
 제 6 장 연구개발과제의 대표적 연구실적	154
 제 7 장 참고문헌	156

< Table of Contents >

Chapter 1 Study summary	3
1. Need of the study	3
2. Goal of the study	22
3. Scope and the contents of the study	
Chapter 2 Domestic & foreign technology development	6
1. Accomplishment	6
2. Related technology and industrial tendency	11
3. Patents	15
4. Existing studies	19
Chapter 3 Study summary and accomplishment	26
Article 1 Test product for reducing chimney effect	28
1. Design and fabrication of test product	28
2. Design & fabrication of PLUG FAN performance test device	53
2.1 Summary	53
2.2 Design	56
2.3 Configuration	58
3. PLUG FAN development	67
3.1 Analysis	67
3.1.1 Impeller	67
3.2 Wind volume	69
3.3 Static pressure	71
3.4 CFD review	72
3.5 VANELESS DIFFUSER	76
3.5.1 Analysis result	76
3.6 Performance test	80
3.6.1 DH PLUG FAN 630 test bed	80
3.6.2 Test	82

3.6.3 Test result	93
3.6.4 Test result from the public certification agency (KTC)	95
Article 2 Performance evaluation of real building	97
1. Performance evaluation of a 10-story building	97
1.1 Field test	97
1.2 Numerical analysis depending on field test condition	102
2. Performance evaluation of a 27-story building	105
2.1 Field test method	105
2.2 Field test result	107
2.3 Numerical analysis method	110
2.4 Numerical analysis result	112
Article 3 Preparation of design document and application of numerical analysis	115
1. Preparation of design data depending on core elements and building characteristics	115
1.1 Summary	115
1.2 Numerical analysis result	115
1.3 Application of detail numerical analysis technology	123
Chapter 4 Accomplishment and commitment	129
Chapter 5 Use of accomplishment	137
Chapter 6 Representative accomplishment	154
Chapter 7 Bibliography	156

〈 그림 목 차 〉

[그림 1-1] 고층건물에서의 연돌효과 개요	3
[그림 1-2] 국내 고층건물의 연도별 건축 현황	4
[그림 1-3] 연돌효과로 인해 발생하는 문제점	5
[그림 1-4] 수동적 연돌효과 제어 방안	5
[그림 1-5] 연돌효과 현장측정 실험	6
[그림 1-6] CASE에 따른 압력차 변화 경향	7
[그림 1-7] 연돌효과 저감방안 아이디어	8
[그림 1-8] 공기의 급기와 배기를 이용하는 연돌효과 저감장치	8
[그림 1-9] 수치해석 모델	9
[그림 1-10] 수치해석 결과	10
[그림 1-11] 연돌효과 현장 측정	12
[그림 1-12] 연돌효과 수치 시뮬레이션	12
[그림 1-13] 건물 기밀도 및 압력차 측정	12
[그림 1-14] 연돌효과 제어분야 기술 동향	13
[그림 1-15] 연돌효과 분석 엔지니어링	13
[그림 1-16] LEED 인증 추진 건축물	14
[그림 2-1] TwinCity사 PLUG FAN EPFN 245 MODEL	32
[그림 2-2] Fläkt Woods사의 PLUG FAN GPPM-1-00-063	32
[그림 2-3] TwinCity사의 EPFN 245 MODEL 1차 테스트 결과	33
[그림 2-4] DH PLUG FAN 630 Series 예상 성능곡선	34
[그림 2-5] DH PLUG FAN 630 Series LAYOUT	34
[그림 2-6] 연돌효과 저감설비 기류순환시스템 동적제어방식 계통도	39
[그림 2-7] DFC P.C.B (Programmable Circuit Board)	40
[그림 2-8] 연돌효과 저감설비 LOGIC DIAGRAM	41
[그림 2-9] LOGIC DIAGRAM 및 DFC 회로도	42
[그림 2-10] DFC PANEL 및 센서 설치 상세도	43
[그림 2-11] 원형 덕트형 풍동시험장치	45
[그림 2-12] 송풍 정체실 타입 풍동시험장치	46
[그림 2-13] 흡입 정체실 타입 풍동시험장치	47
[그림 2-14] 송풍 정체실 사이즈	48
[그림 2-15] 흡입 정체실 사이즈	49
[그림 2-16] KS B 6311 흡입정체실 풍동시험장치	52
[그림 2-17] KS B 6311 피토판 및 벽면 압력 탭	53
[그림 2-18] 흡입정체실 레이아웃	54

[그림 2-19] 흡입정체실의 비율표	54
[그림 2-20] 풍동 시험장치 노즐 레이아웃	55
[그림 2-21] 흡입 정체실 사이즈	55
[그림 2-22] KS B 6311 흡입정체실 풍동시험장치	56
[그림 2-23] KS B 6311 피토관 및 벽면 압력 탭	57
[그림 2-24] 흡입정체실 레이아웃	58
[그림 2-25] 흡입정체실의 비율표	59
[그림 2-26] 풍동 시험장치 노즐 레이아웃	59
[그림 2-27] 미국 TwinCity사 블레이드 단면(좌), 국내 에어포일 블레이드 단면(우)	67
[그림 2-28] 미국 TwinCity사 임펠러 및 블레이드 형상(β_2)	68
[그림 2-29] 미국 TwinCity사 블레이드의 속도 삼각형	69
[그림 2-30] 유동 영역 및 경계 조건	72
[그림 2-31] 유동 영역 격자 형상	73
[그림 2-32] Total Pressure Contour	74
[그림 2-33] Radial Velocity Contour	74
[그림 2-34] Streamline	75
[그림 2-35] VANELESS DIFFUSER를 통한 유체 흐름	76
[그림 2-36] 흡입정체실 타입 풍동시험장치	80
[그림 2-37] DH PLUG FAN 630 Series 성능곡선	81
[그림 2-38] CASE 01 - 블레이드 각도 변화에 따른 테스트 결과	83
[그림 2-39] CASE 02 - 블레이드 각도 변화에 따른 테스트 결과(소음기 부착)	85
[그림 2-40] CASE 02 - 소음기 부착 형상	86
[그림 2-41] CASE 03 - 블레이드 각도 변화에 따른 테스트 결과 (소음기 및 바닥 컷오프 부착)	88
[그림 2-42] CASE 03 - 바닥 컷오프	88
[그림 2-43] CASE 04 - 블레이드 각도 변화에 따른 테스트 결과 (소음기 및 토출 가이드 부착)	90
[그림 2-44] CASE 04 - 토출 가이드	91
[그림 2-45] 블레이드 각도 4°에서의 테스트 결과	93
[그림 2-46] KTC 시험 결과 비교	95
[그림 2-47] 실험대상 건물 전경 및 내부구조	97-98
[그림 2-48] 연돌효과 저감방안 현장실험 개요도	98
[그림 2-49] 연돌효과 저감장치 현장실험 진행	99
[그림 2-50] 실내온도와 실외온도 측정값	101
[그림 2-51] 송풍량과 압력차 측정값	101
[그림 2-52] 송풍량에 따른 압력차의 변화	102
[그림 2-53] 수치해석 전처리 구성도	103
[그림 2-54] 수치해석 결과 (송풍량 100 CMM)	103-104

[그림 2-55] 현장실험과 수치해석 결과 비교	104
[그림 2-56] I 빌딩의 전경 및 내부구조	105
[그림 2-57] 연돌효과 저감방안의 현장실험 개요	106
[그림 2-58] 실험설비 사진	106-107
[그림 2-59] 실내온도와 실외온도의 측정값	107
[그림 2-60] 송풍기의 송풍량과 21층 위의 옥상에서 계단실과 실외의 압력차	108
[그림 2-61] 옥상에서의 압력차에 대한 평균값	109
[그림 2-62] 21층 계단실과 복도의 압력차와 21층 계단실과 부속실의 압력차의 변화 ..	109
[그림 2-63] 21층 압력차에 대한 평균값	110
[그림 2-64] 건축물 계단의 해석모델	111
[그림 2-65] 해석모델의 중앙단면에서의 압력분포	113
[그림 2-66] 실험과 수치해석 비교	114
[그림 2-67] 10층 조건에 대한 설계 데이터	118
[그림 2-68] 20층 조건에 대한 설계 데이터	121
[그림 2-69] 30층 조건에 대한 설계 데이터	123
[그림 2-70] 건축물 층수별 설계 데이터 범위	123
[그림 2-71] 상세 수치해석 모델	124
[그림 2-72] 중앙단면에서의 압력분포	126
[그림 2-73] 유출입 풍량에 따른 계단에서의 압력 변화	127
[그림 2-74] 출입문 틈새의 누설풍량	127

〈 표 목 차 〉

[표 1-1] 실험수행 조건	6
[표 2-1] 연돌효과 저감설비 기류 순환 송풍기 조건	29
[표 2-2] PLUG FAN 예상 사양표	29
[표 2-3] 3사 FAN DATA	30
[표 2-4] 3사 FAN 성능 곡선	31
[표 2-5] 연돌효과 저감시스템 제어반 제원	44
[표 2-6] 차압 일정 제어 (Singlizer 운전)	50
[표 2-7] 차압 + 풍량 제어 (Multilizer 운전)	51
[표 2-8] 정체실 타입별 사이즈 및 시험 능력	55
[표 2-9] 성능시험 사양	56
[표 2-10] 속도삼각형 및 수식에 의한 속도 비교	70
[표 2-11] 개발 주요 인자	77
[표 2-12] PLUG FAN 사양표	78
[표 2-13] β_2 의 변경에 따른 유량의 변화량 비교표	78
[표 2-14] 효율을 증가시키기 위한 추가 부속품	79
[표 2-15] DH PLUG FAN 630 Series 테스트 결과	81
[표 2-16] 경우의 수에 따른 시험 조건	82
[표 2-17] KTC 시험 결과표	96
[표 2-18] PLUG FAN 목표 사양표	96
[표 2-19] 주요 설계변수 및 범위	115
[표 2-20](a) 10층, 내부온도 10℃의 경우	116
[표 2-20](b) 10층, 내부온도 15℃의 경우	116
[표 2-20](c) 10층, 내부온도 20℃의 경우	117
[표 2-20](d) 10층, 내부온도 25℃의 경우	117
[표 2-21](a) 20층, 내부온도 10℃의 경우	119
[표 2-21](b) 20층, 내부온도 15℃의 경우	119
[표 2-21](c) 20층, 내부온도 20℃의 경우	120
[표 2-21](d) 20층, 내부온도 25℃의 경우	120
[표 2-22](a) 30층, 내부온도 10℃의 경우	121
[표 2-22](b) 30층, 내부온도 15℃의 경우	122
[표 2-22](c) 30층, 내부온도 20℃의 경우	122
[표 2-22](d) 30층, 내부온도 25℃의 경우	122

제 1 장

연구개발과제의 개요

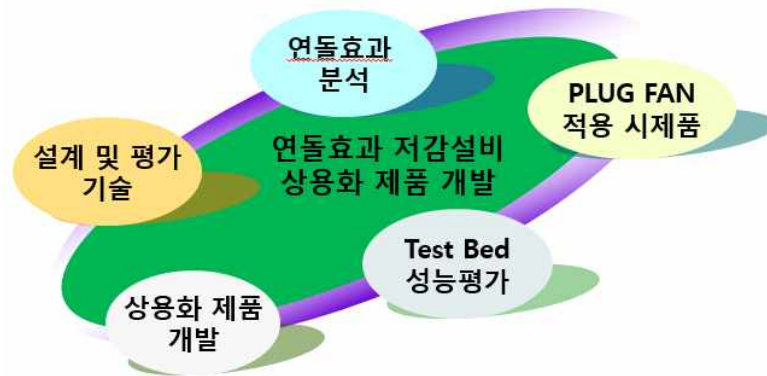
제1절

연구개발 목적

1. 연구목표

1.1 최종목표

최종목표
수직통로내 공기의 급기와 배기를 통한 고층 건물에서의 연돌효과 저감설비 상용화 제품 개발 및 30층 규모 Test Bed 성능평가
○ 연돌효과 해석기술 정립 및 연돌효과 저감성능 분석 ○ 연돌효과 저감 설계기술 및 평가기법 확립 ○ 연돌효과 저감설비의 시제품 개발 및 실규모 성능평가 ○ 30 Pa급 저감성능의 연돌효과 저감설비 상용화 제품 개발 ○ 30층 규모의 고층건물에서 Test Bed 적용 및 성능평가



1.2 정량적 성과목표 및 성과지표

성과목표	성과지표		측정 방법	최종 목표치	가중치 (0~1)	목표치 설정 근거
시제품 및 상용화 제품 개발	1-1	시제품 제작	제품	2건	0.06	계단 및 승강기 적용 시제품
	1-2	연돌효과 저감	저감량 측정	30 Pa	0.05	30층, -10℃에서 연돌효과 50% 저감
	1-3	대상 건물 층수	제품	30 층	0.04	적용 목표 건물
	1-4	송풍량	송풍량 측정	250 CMM	0.04	수치적 계산
	1-5	카다로그 및 설명서	카다로그	1건	0.04	상용화 과정
	1-6	지능형 제어기	제어기 제품	PCB 제품	0.04	동적 제어 성능
	1-7	신기술(NET)	확보여부	1건	0.06	신규성 및 진보성 확보
	1-8	지적재산권	확보여부	국내특허 1건 국제특허 1건	0.05	지적권리 확보
	1-9	논문게재	게재여부	SCI급 1편 국내학술지 1편	0.05	학술적 검토
Test Bed 적용 및 성능평가	2-1	Test Bed 적용	적용여부	30층 규모	0.05	고층빌딩 적용
	2-2	연돌효과 저감 성능 시험	시험여부	1건	0.03	저감 성능평가
	2-3	동적 제어 성능 시험	시험여부	1건	0.03	제어 성능평가
	2-4	환기, 연기제어 설비와 통합 시험	시험여부	1건	0.03	통합 성능평가
	2-5	공사 및 운전 시방서	시방서	1건	0.05	상용화 과정
	2-6	논문게재	게재여부	SCI급 1편	0.04	학술적 검토
해석 및 설계기술 개발	3-1	통합해석	해석서	2건	0.05	해석기술 개발
	3-2	해석정도	오차율	10%	0.04	수치해석 정확성
	3-3	설계도서	도서	1건	0.04	상용화 과정
	3-4	지적재산권	확보여부	국내특허 1건	0.04	지적권리 확보
	3-5	논문게재	게재여부	국내학술지 1편	0.04	학술적 검토
성능평가 기법 확립	4-1	실규모 성능평가	평가내용	1건	0.05	실규모 적용
	4-2	측정정도	정확도	10 Pa급	0.04	성능평가 정확성
	4-3	논문게재	게재여부	국내학술지 1편	0.04	학술적 검토

1.3 연차별 연구목표

기관	동해기연(주)	한국건설기술연구원
연구 분야	연돌효과 저감설비 시제품 개발 및 상용화	연돌효과 분석기술 개발 및 Test Bed 성능평가
1차 년도	[시제품 개발] ■ 설계기술 개발 - 송풍기 · 덕트 · 제어기 · 급배기구 등 핵심요소에 대한 설계 - 연돌효과 저감설비의 설계도서 및 설계기준 제시 ■ 시제품 제작 - 10층 규모의 시제품 설계 및 제작 - 실규모 성능 평가	[분석기술 확립] ■ 수치해석 기술 개발 - 네트워크 기반 및 CFD 상세 수치해석 기술 적용 - 핵심인자 및 건물 특성에 따른 연돌효과와 저감성능 분석 ■ 실험 및 성능측정 방안 정립 - 실규모 실험방안 제시 - 절대압력 및 상대압력 분석에 의한 성능측정 기술 개발
	[연돌효과 저감설비의 시제품 제작 및 연돌효과 분석기술 확립]	
2차 년도	[상용화 제품] ■ 제어기 설계 및 제작 - 연돌효과 제어 로직 정립 - 실내외 온도차 측정에 따른 동적 연돌효과 제어 프로그램 개발 - 지능형 연돌효과 제어기 제작 ■ 상용화 제품 제작 - 계단용 제품 제작 - 승강기 수직통로용 제품 제작 - 제품 카다로그 및 설명서 작성	[Test Bed 성능평가] ■ Test Bed 적용 - 30층 규모의 고층건물 Test Bed 선정 - 연돌효과 저감설비의 Test Bed 적용 설계 및 설치 ■ Test Bed 운영 및 평가 - 동절기 Test Bed 운영 - 연돌효과 저감성능 평가 - 공사 및 운전 시방서 작성
	[연돌효과 저감설비의 상용화 제품 제작 및 Test Bed 성능평가]	

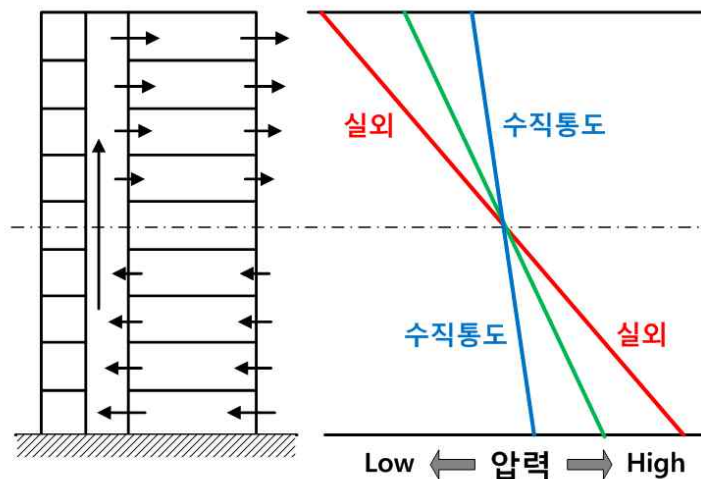
2. 연구내용 및 범위

연구목표	연구성과	
	계획	실적
연돌효과 분석기술 확립	· 네트워크 기반 및 CFD 상세 수치해석 기술 적용 · 핵심인자 및 건물 특성에 따른 연돌효과와 저감성능 분석	· 핵심인자 및 건물특성에 따른 연돌효과 저감성능 수치해석 · CFD 적용 상세 수치해석 수행 및 압력차/누설풍량 분석 · 현장실험과 동일한 조건에서의 연돌효과 저감성능 해석 및 실험결과와 비교분석
연돌효과 저감설비 설계기술 개발	· 송풍기, 덕트, 제어기, 급배기구 등 핵심요소에 대한 설계 · 연돌효과 저감설비의 설계도서 및 설계기준 제시	· 핵심요소에 대한 설계도서 작성 · PLC 동적제어 로직 제시 · 연돌효과 저감설비 설계 DB 구축
연돌효과 저감설비 시제품 제작	· 시제품 설계 및 제작	· 10층 규모 (100 CMM, 20 Pa급) 및 30층 (250 CMM, 30 Pa급) 시제품 설계 및 제작 · 연돌효과 저감설비용 PLUG FAN 개발 · PLUG FAN의 성능실험장치 제작
연돌효과 저감설비 실규모 성능평가	· 실규모 실험방안 제시 · 절대압력 및 상대압력 분석에 의한 성능측정 기술 개발 · 실규모 성능평가	· 실규모 조건에서의 연돌효과 저감성능 측정방안 도출 · 10층 규모 및 30층 규모 건물에서의 연돌효과 저감 측정실험 수행방안 제시 · 실제건물에 대한 연돌효과 저감설비 성능평가

제2절

연구의 필요성

고층건물에서는 동절기에 실내와 실외의 온도차로 인해서 계단이나 승강기 통로와 같은 수직통로를 통해 공기가 상승하는 연돌효과가 발생한다. 연돌효과로 인하여 [그림 1-1]과 같이 고층건물의 하부층에서는 외부공기가 실내로 침입하고 상부층에서는 실내공기가 외부로 유출됨. 또한 각 층에서는 실외와 실내 사이 및 실내의 구획실간에 압력차가 발생하게 된다.



[그림 1-1] 고층건물에서의 연돌효과 개요

이와 같이 연돌효과로 인해서 유동이 발생하고 구획실간 압력차가 형성되면, 고층건물의 거주환경과 에너지 및 방재 측면에서 악영향이 발생하게 된다. 일례로 연돌효과로 인해 고층건물의 난방 에너지가 5~10 % 손실되는 것으로 평가되고 있다. 따라서 고층건물에서의 에너지와 환경 성능의 개선을 위해서는 연돌효과에 대한 제어기술 개발과 저감방안 도출이 매우 필요하다.

국내외에서 도시가 고도화·집적화되면서 건축물의 고층화, 대형화 및 복합화가 급격히 진행됨에 따라 고층건물이 증가하고 있다. 국내에서도 이러한 추세가 반영되고 있으며, [그림 1-2]와 같이 과거 5년간 매년 800~1,000 동의 고층건물이 건설되고 있어 고층건물의 에너지·환경·방재 분야의 성능 확보를 위한 대책이 절실히 요구되고 있다.



[그림 1-2] 국내 고층건물의 연도별 건축 현황

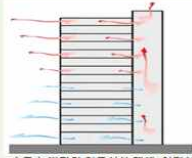
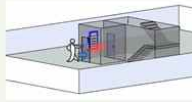
고층건물에서 연돌효과로 인해 발생하는 문제점을 정리하면 [그림 1-3]과 같다. 그림에서와 같이 고층건물의 에너지와 거주환경 및 방재 측면에서 연돌효과가 큰 영향을 미치고 있다. 에너지 측면에서는 동절기 실외공기의 유입과 실내공기의 유출로 난방 에너지가 손실되며, 누기로 인한 결로발생 및 보수·관리비의 증가에 영향을 미친다.

한편 거주환경 측면에서는 출입문의 개폐가 곤란하거나 승강기의 오작동이 발생할 수 있으며, 고층부에서 화장실과 주방의 배기가 어려울 수 있음. 또한 피난문이나 승강기문의 틈새로 고주파의 소음이 발생하여 심야시간대에 심각한 문제를 야기한다. 또한 방재 측면에서는 화재 발생시 연기의 수직확산을 배가시키고, 제연구역을 파괴할 수 있다. 그리고 피난계단의 급기가 압 연기제어 설비를 가동할 경우 부속실과 계단간 압력차를 높여서 재실자가 피난문을 개방하지 못할 수 있다.

최근 들어 송도 국제업무단지(IBD)와 같이 LEED 등의 친환경 건축물 인증의 획득에 대한 필요성과 고층건물의 쾌적성·안전성·경제성 향상을 위한 노력이 커지면서 연돌효과 제어기술의 개발과 적용에 관심이 부각되고 있다. 그러나 현재 적용되고 있는 관련 기술은 주로 공기의 흐름을 억제하기 위한 외벽 기밀도 향상과 실내 압력차의 분산을 위한 방풍실·이중문의 설치 등 수동적인 연돌효과 제어방안으로 국한되고 있다.

이와 같이 부분적인 연돌효과 대책으로는 문제에 대한 개선의 효율과 영향도가 제한적일 수 있으며, 역으로 건축물의 다른 지역에서 연돌효과가 증대되기도 한다. 또한 환기 및 냉난방 시스템과의 상충으로 인하여 각기 성능저하의 원인이 되기도 한다.

한편 연돌효과와 주된 발생위치가 승강기의 수직통로이며, 이러한 연유로 인해 국내에서는 승강기 컨설팅 업체에서 연돌효과 제어 분야의 사업을 전개하고 있다. 현재 개별사업 위주의 연돌효과 시뮬레이션과 건축설계에 대한 자문을 수행하고 있는 수준으로서 종합적이고 체계적인 접근이 필요하다.

분야	문제점	개요도
에너지	- 실외공기 유입, 실내공기 유출에 따른 난방 에너지 손실 → 5 ~ 10 %의 난방 에너지 - 누기로 인한 결로 발생 - 하자보수 및 건물 관리비 증가	 초고층 빌딩의 연돌현상 대책, 여명석, 2008.03
거주환경	- 출입문 개폐 곤란, 승강기 오작동 - 고층의 화장실 및 주방배기 곤란 - 출입문 틈새의 고주파 소음 발생 - 강한 실내기류 속도로 인한 불쾌감	 문 열면 찬바람이, SBS 뉴스, 2012.11
방재	- 화재시 연기의 수직확산 - 피난계단의 급기가압 연기제어 설비가동시 피난문 개폐 곤란 - 제연구역 파괴	

〔그림 1-3〕 연돌효과로 인해 발생하는 문제점



(a) 방풍실



(b) 이중문

〔그림 1-4〕 수동적 연돌효과 제어 방안

제 2 장

국내외 기술 개발 현황

1. 연구개발 실적

연돌효과가 크게 발생하는 동절기에 [그림 1-5]와 같이 31층의 고층건물을 대상으로 계단(Stair)의 저층에서 고층까지 일정간격으로 압력센서를 설치하였으며, 저층인 3층과 고층인 30층은 계단과 연결된 부속실(Lobby), 거실 (Accommodation)에서도 압력을 동시에 계측하였다.



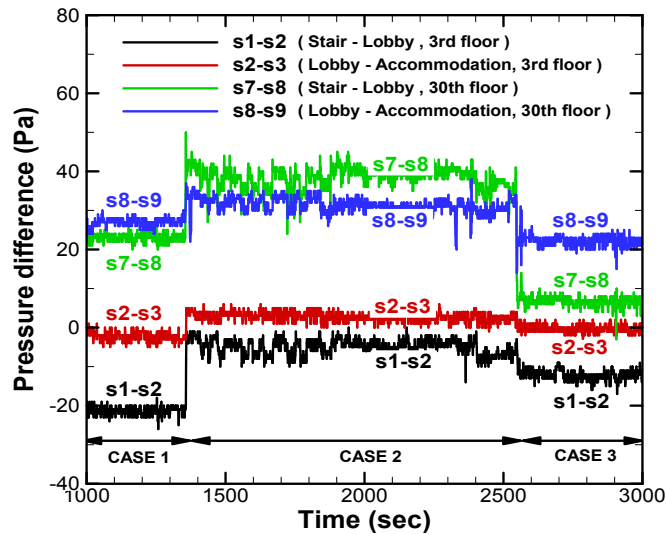
[그림 1-5] 연돌효과 현장측정 실험

실험조건은 [표 1-1]과 같이 전 층의 계단과 부속실의 문을 닫은 상태(CASE 1), 1층의 계단과 부속실의 문을 개방한 상태(CASE 2) 및 1층과 31층의 계단과 부속실의 문을 개방한 상태(CASE 3)에서 각 측정위치의 압력변화를 계측하였다. 실험 시 외부온도는 약 7℃, 실내온도는 약 23℃로 유지되었다.

[표 1-1] 실험수행 조건

CASE	계단과 부속실의 출입문을 개방한 층	계단과 부속실의 출입문을 닫은 층
CASE 1	-	모든 층
CASE 2	1층 (최하층)	1층 이외의 모든 층
CASE 3	1층, 31층 (최하층, 최상층)	1층과 31층 이외의 모든 층

[그림 1-6]은 CASE 1, CASE 2 및 CASE 3으로 실험조건이 변하면서 3층과 30층의 계단과 부속실, 부속실과 거실 간 압력차의 변동치를 나타내고 있다.



[그림 1-6] CASE에 따른 압력차 변화 경향

이를 정리하여 보면 다음과 같다. 즉, (1) CASE 1 (모든층의 출입문이 닫혀 있을 때) : 연돌효과의 영향으로 3층의 부속실-계단 압력차가 21 Pa, 30층에서는 부속실-계단 압력차가 23 Pa 생성, (2) CASE 2 (1층의 출입문만 열려 있을 때) : CASE 1에 비해 3층의 부속실-계단 압력차는 21 Pa → 4 Pa 로 감소하나, 30층에서는 부속실-계단 압력차가 23 Pa → 38 Pa로 증가, (3) CASE 3 (1층과 31층의 출입문이 열려 있을 때) : CASE 1에 비해 3층의 부속실-계단 압력차는 21 Pa → 12 Pa 로 감소하고, 30층에서도 부속실-계단 압력차가 23 Pa → 7 Pa로 감소한다.

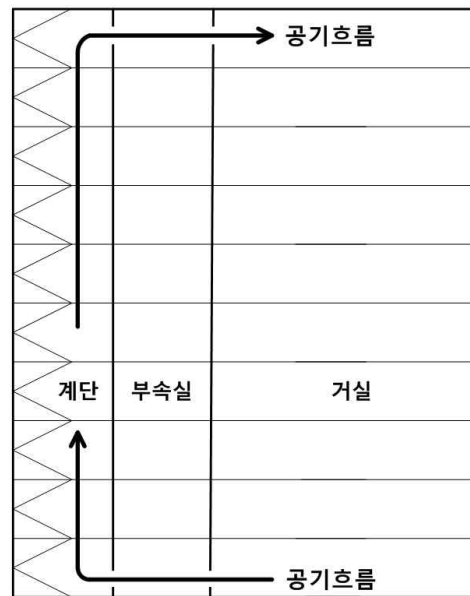
압력차 \ CASE	CASE 1	CASE 2	CASE 3
부속실 - 계단 (압력차)	21 Pa	4 Pa	12 Pa
압력차 경향			

3층(저층)에서의 압력차 경향

압력차 \ CASE	CASE 1	CASE 2	CASE 3
부속실 - 계단 (압력차)	23 Pa	38 Pa	7 Pa
압력차 경향			

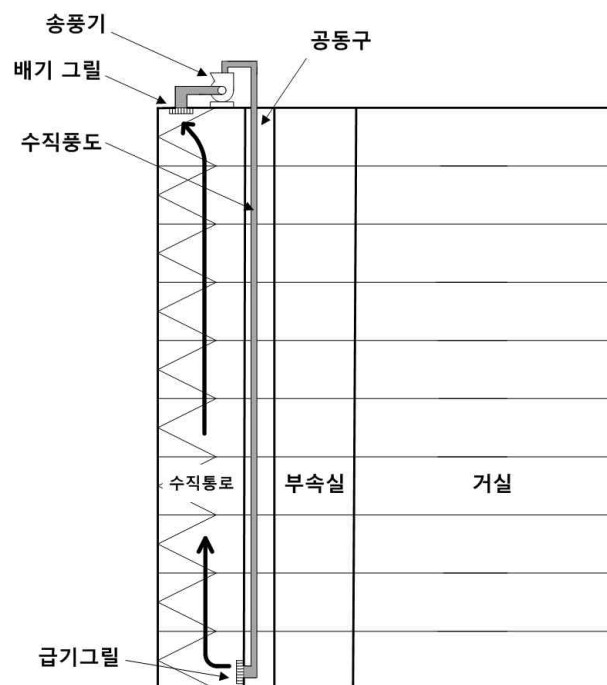
30층(고층)에서의 압력차 경향

실험결과로부터 [그림 1-7]와 같이 계단의 저층부에서 계단으로 공기가 급기되고 고층부에서 계단의 외부로 공기가 배기되도록 공기의 흐름을 생성시켜 준다면 고층 건물의 계단에서의 연돌효과가 저감될 것으로 예측할 수 있음.



[그림 1-7] 연돌효과 저감방안 아이디어

연구에서는 고층건물에서 계단과 같은 수직통로의 저층부에서 고층부로 공기의 흐름을 생성 시키면 연돌효과가 감소된다는 현장실험의 결과를 공학적으로 적용하기 위하여 [그림 1-8]과 같은 방안을 고안하였다.

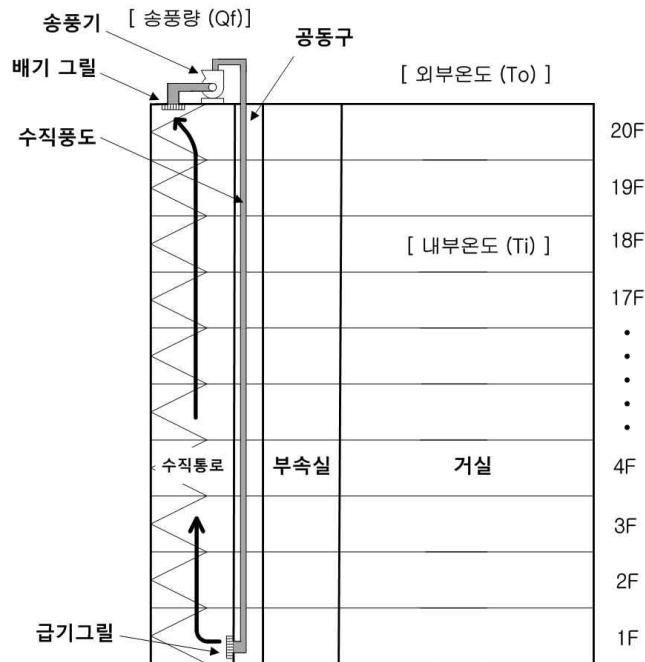


[그림 1-8] 공기의 급기와 배기를 이용하는 연돌효과 저감장치

즉, 송풍기, 수직풍도, 배기그릴 및 급기그릴로 구성되어 계단, 엘리베이터 샤프트와 같은 수직통로의 저층부로 공기를 공급하고 고층부의 공기를 배기시키는 순환형 연돌효과 저감장치를 고안하였다. 순환형 연돌효과 저감장치에서는 계단과 엘리베이터 샤프트 등의 수직통로 고층부에 설치되는 배기그릴, 수직통로의 저층부에 설치되는 급기그릴, 옥상 또는 지하층의 기계실에 설치되는 연돌효과 저감용 송풍기 및 고층부와 저층부를 연결하는 연돌효과 저감용 수직풍도로 구성된다.

겨울철과 같이 연돌효과가 발생하는 시기에 송풍기를 가동하고 댐퍼를 열어서 “고층부의 배기그릴 → 덕트 → 송풍기 → 수직풍도 → 급기그릴 → 수직통로 → 배기그릴”의 유로로 공기가 순환되도록 함으로써 고층건물에서 발생하는 연돌효과를 저감하도록 한다.

연구에서는 네트워크 모델의 수치해석기법을 사용하여 순환형 연돌효과 저감방안에 대한 해석을 수행하였다. 이를 위한 연구대상의 모델 건물은 [그림 1-9]과 같이 지상 20층의 건물로서 계단과 송풍기, 수직덕트를 포함하도록 하였다. 해석프로그램은 미국 NIST에서 개발한 CONTAMW Ver. 3.1를 사용하였다.

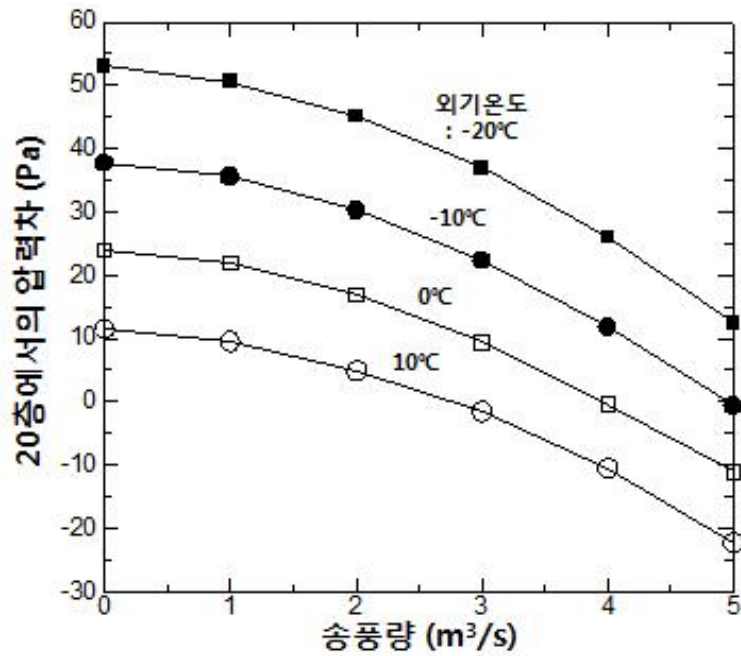


[그림 1-9] 수치해석 모델

해석을 위한 온도조건으로는 실내온도, t_i 를 20 °C로 설정하고 실외온도, t_o 를 -20 °C(253 K), -10 °C(263 K), 0 °C(273 K), 10 °C(283 K)로 하여 실내외 온도차를 변하게 하였다. 각각의 실내외 온도차에 대하여 순환형 연돌효과 저감방안의 송풍기 풍량, Q_f 를 0.0 m³/s에서 5.0 m³/s 까지 달리해가며 20층 계단에서 생성되는 압력을 도출하였다.

[그림 1-10]은 수치해석의 결과로서 실외온도와 송풍기 풍량에 따른 20층 계단에서의 계단과 실외 압력차, ΔP_{20F} 의 산출값을 보여주고 있다. 그림에서와 같이 ΔP_{20F} 는 실내외 온도차가 적을수록 감소하며 송풍기 또한 풍량이 증가할수록 낮아짐. 즉 실내외 온도가 적을수록 건물

내 작용하는 연돌효과가 줄어들며 순환형 연돌효과 저감방안의 송풍기 풍량이 증가할수록 연돌효과에 대한 저감능력이 커지는 것을 알 수 있다.



[그림 1-10] 수치해석 결과

상기의 해석결과로부터 순환형 연돌효과 저감방안의 연돌효과 저감효과를 정량적으로 예측할 수 있으며, 실내온도와 실외온도 및 송풍기 풍량 등을 이용하여 다음식과 같이 표현할 수 있음. 여기서 ΔP_{st} 는 연돌효과에 의해 발생하는 압력차다.

$$\Delta P_{st} = \Delta P_{st} - C_1 Q_f^2 (T_i - T_o) / T_o \quad (1.1)$$

2. 관련 기술 및 산업 동향

선진외국에서는 고층건물의 건축이 늘어나면서 건물의 에너지·환경·화재안전 측면에서 큰 영향을 미치는 연돌효과에 대해서 많은 연구를 수행하였으며, 초기에는 캐나다와 영국 및 미국이 주축이 되어 기술을 개발하였다. 그 중 Tamura는 Wilson과 함께 1967년에 캐나다 몬트리올의 44층 상업용 건물의 연돌효과를 측정 발표한 이래 NRCC 소속 연구원으로 이 분야에서 ASHRAE Transaction을 통해 수많은 선구적 업적을 남겼다.

Tamura는 1976년에는 17층 호텔의 구획된 승강기 승강장의 가압실험으로 승강기의 피난 이용 가능성을 점검하였으며 흑한기의 심한 연돌효과가 고층건물에 상당한 부담을 줄 것이라는 것을 예측하였다. 또한 계단실 유동의 마찰손실을 조사하여 마찰손실을 이용한 연돌효과 해소 가능성을 제시하였다.

Lovatt 등은 1967년에 Tamura 등이 측정하였던 44층 건물을 27년 후 리모델링한 상태에서 다시 측정하고 동절기 연돌효과에 의해 피난문과 승강기 도어의 개폐에 심각한 장애가 있을 수 있음을 발표하였다. Mowrer 등은 건물 내의 연돌효과, 바람의 영향, 연소 가스의 부력 및 팽창, 기계적 환기 시스템, 승강기 피스톤 효과 등 여러가지 구동력을 비교하여 검토하였다. 한편 Harmathy는 건물의 연돌효과에 의한 연기전파 모델을 단순화하여 연구하고 계단 하부 단일급기방식으로 연기전파를 막을 수 있음을 언급하였다.

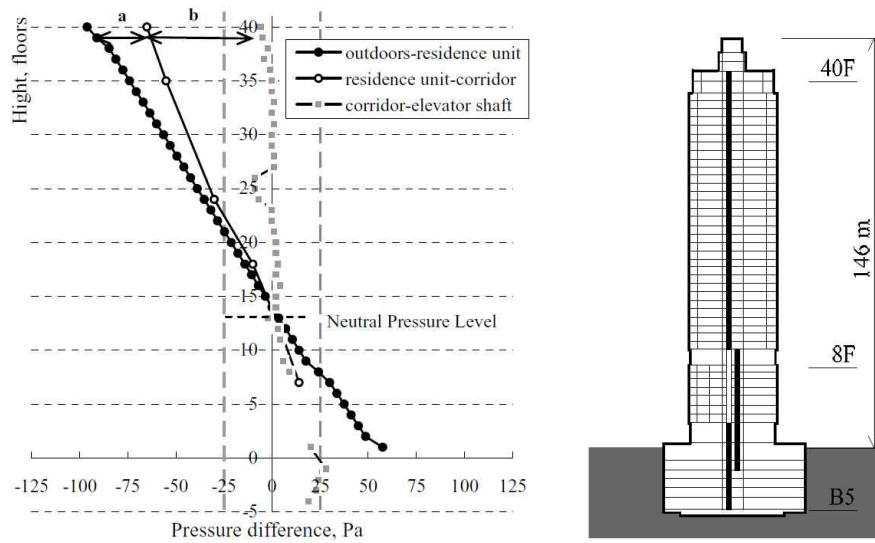
Zhang 등은 소규모 모형 수직 샤프트에 발생하는 연돌효과에 대한 시뮬레이션과 시험결과를 비교하여 시뮬레이션 결과가 온도측면에서는 과소 예측되고, 유속측면에서는 과다 예측된다는 결론을 제시하였다. Lstiburek는 고층건물에서 층간 구획을 철저히 함으로써 연돌효과에 의한 기류를 줄여 환기성능을 높일 수 있다고 언급하였다.

국내에서도 연돌효과에 대한 활발한 연구가 진행되고 있음. 조재훈 등은 현장실험을 통해 업무시설로 사용되고 있는 지상 40층의 건물을 대상으로 연돌효과에 의한 압력변화를 측정·분석하였으며 연돌효과로 인한 문제점 및 이의 보완조치를 검토하였다.

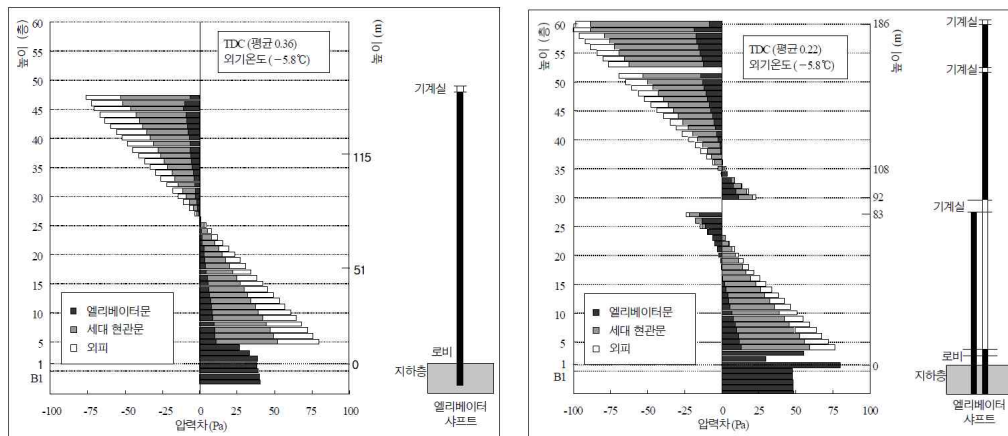
양인호 등과 조재훈은 고층건물에서의 연돌효과에 영향을 미치는 건축적 인자들을 선정하고 네트워크 모델의 시뮬레이션을 수행하여 인자들의 영향을 정량적으로 평가하였다. 한편 이광호 등은 주거용 고층건물이 증가하면서 주거형의 건축·설비적 특성을 가지는 국내 건물을 대상으로 연돌효과에 의한 영향을 실제 측정과 시뮬레이션을 통해 규명하였다.

유정연 등은 초고층 건물의 설비 시스템과 냉난방 부하에 영향을 미치는 인자로서 연돌효과의 특성을 검토하였으며, 연돌효과의 산정에 중요한 요소인 건물의 기밀도를 현장에서 측정하였고 이를 기반으로 수치적 분석을 수행하였다.

김정엽은 31층 규모 건물에서의 현장실험을 통해 연돌효과가 커지는 동절기에 급기가압 제어시스템을 가동하면 계단실에서는 연돌효과와 함께 부속실에서의 누기현상이 합쳐지면서 계단실과 부속실간 차압이 증가하고 이로 인해 화재발생 시 피난을 하는 재실자가 피난문을 개방하는 데 문제가 발생할 수 있음을 제시하였다.



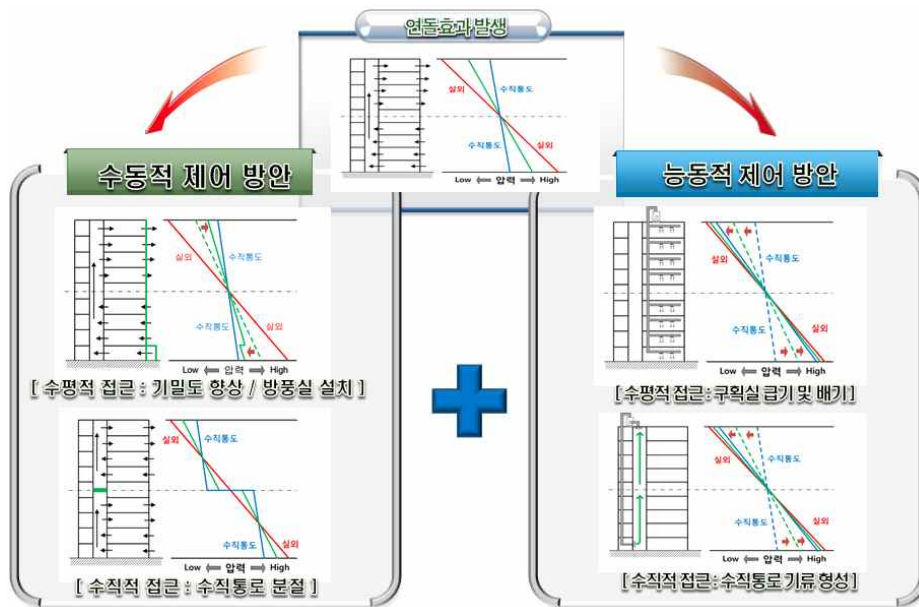
[그림 1-11] 연돌효과 현장 측정



[그림 1-12] 연돌효과 수치 시뮬레이션

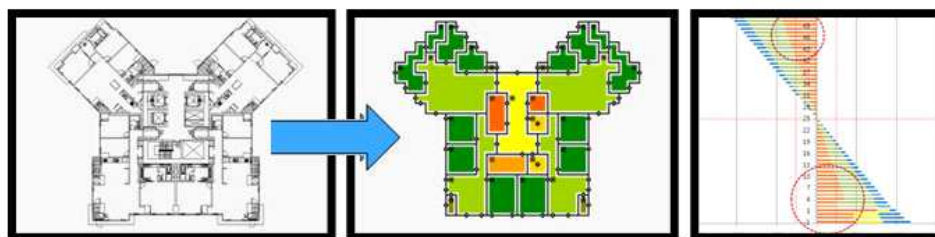


[그림 1-13] 건물 기밀도 및 압력차 측정



[그림 1-14] 연돌효과 제어분야 기술 동향

현재 고층건물이 계획되어 건설되는 과정에서 연돌효과에 대한 검토가 이루어지고 있으며 이에 대한 엔지니어링 사업이 형성되어 있다. 고층건물의 설계도를 바탕으로 연돌효과에 의한 압력분포를 계산하고 기준치 이상으로 압력차가 발생하는 지역에는 이를 저감하기 위한 대책이 강구되고 있다.



[그림 1-15] 연돌효과 분석 엔지니어링

LEED 등의 국제적 친환경 건축물 성능인증 기준에서는 연돌효과에 의한 건물의 환경과 에너지 특성을 심도있게 분석하고 있으며, 연돌효과의 제어기법에 대한 채택여부 및 그 효과에 대해서 중요도를 두고 있다.

최근 국내에서도 송도 국제업무단지에 들어서는 고층건물을 중심으로 LEED 인증의 획득절차를 진행하고 있으며, 연돌효과에 대한 분석과 저감방안이 전문적으로 수행되고 있다.



[그림 1-16] LEED 인증 추진 건축물

특히 고층건물에서 연돌효과의 영향이 가장 큰 것으로 평가되는 승강기 설비에서는 승강기 수직통로에서의 연돌효과를 분석하고 이를 줄이기 위한 시도가 활발히 이루어지고 있다. 고속 승강기의 경우 승강기의 이동으로 상당한 피스톤 효과가 발생하게 되는데 이러한 피스톤 효과에 더해서 연돌효과가 나타나면 승강기 설비의 운영과 건물 환경에 큰 악영향이 발생하므로 이에 대한 대처가 이루어져야 한다.

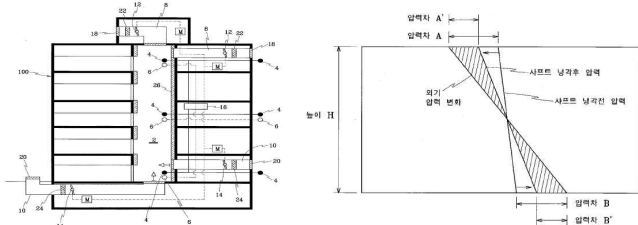
그러나 현재 승강기에서의 연돌효과에 대한 분석은 개별 프로젝트 위주의 연돌효과 시뮬레이션과 방풍문 추가 등의 건축설계 자문 등으로 국한되어 있으며, 종합적이고 체계적인 접근이 수행되어야 한다.

연돌효과와 밀접한 관련이 있는 건물의 기밀성능 분야에 있어서 고기밀과 고단열의 출입문에 대한 시장이 크게 확장되고 있으며 이러한 추세는 연돌효과의 분석과 제어 분야 시장에도 영향을 미치고 있다.

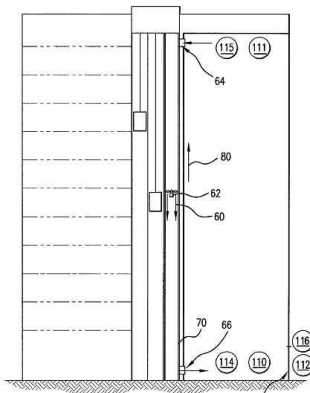
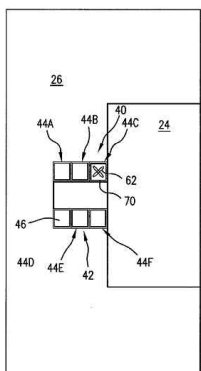
3. 특허 동향

관련특허 1			차이점
특허명	특허구분	특허내용	
엘리베이터 차압 저감장치	국내특허	승강기 수직통로 벽을 관통하는 통풍구를 설치하고 승강기 수직통로와 외부의 압력차를 감지하여 압력차가 발생하면 통풍구에 설치한 슬릿을 개방하여 외부에서 승강기 수직통로로 유동이 형성되도록 함으로써 연돌효과를 저감하도록 하는 기술에 관한 특허임	
관련 도식			본 제안기술은 수직통로 내 연돌효과의 정량적 제어기능을 갖는 순환형 장치에 관한 것으로서 연돌효과에 영향을 미치는 인자들을 고려하여 동적으로 연돌효과를 제어하며 수직통로 내 순환형 유로를 구성하여 유동공기를 순환시키는 점에 있어서 유사특허와 구분됨.

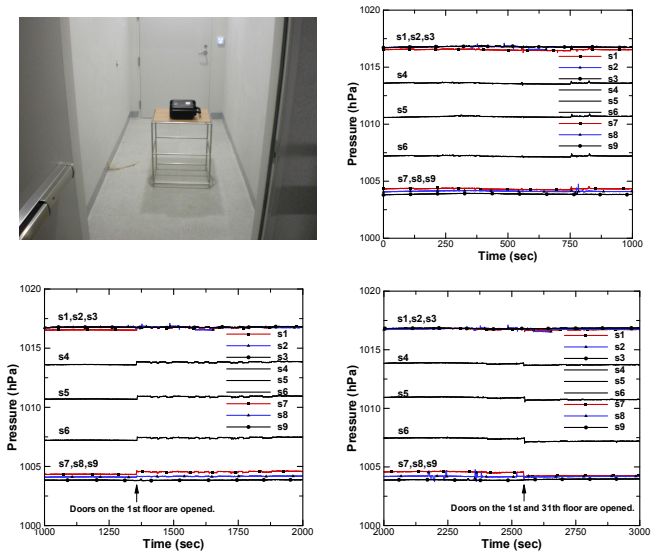
관련특허 2			차이점
특허명	특허구분	특허내용	
적정 티디 시범을 이용한 고층건물의 연돌효과 문제점 저감 방법	국내특허	건물의 외벽 및 내부구획에 있어서의 적정 누기면적비율을 설정하고 이를 통해 작용압력의 평면적 분배율을 조정함으로써 연돌효과의 문제점을 해결하는 기술임.	
관련 도식			유사특허에서는 건물 내 외벽과 구획실 벽면에서 누기량의 조절을 통해서 연돌효과로 인해 발생하는 압력차를 분산시키는 기술인데 반해서 본 제안기술은 고층건물의 수직통로 내에 순환유동을 발생시켜서 연돌효과를 제어하는 능동적인 연돌효과 저감기술이라는 점에서 유사특허와 구분됨.
전체 Stack pressure (SP)의 나머지는 외벽이 부담하도록 함 [외벽이 부담하는 $\Delta P_w = SP - (\Delta P_1 + \Delta P_2 + \Delta P_3)$ 단, ΔP_2는 복수가능] 공통부 코어 $\Delta P_1 = 25 \text{ Pa}$ (엘리베이터 도어 전후저압) $\Delta P_2 = 50 \text{ Pa}$ (새터도어 전후저압) 주거구역 설치 시 각 구역(도어)당 분당 전후저압 $\Delta P_3 = 50 \text{ Pa}$ 상프트 공통부 새터 방역센서 누기면적 조절장치 공압제어장치 (동압 제어설치 가능)			

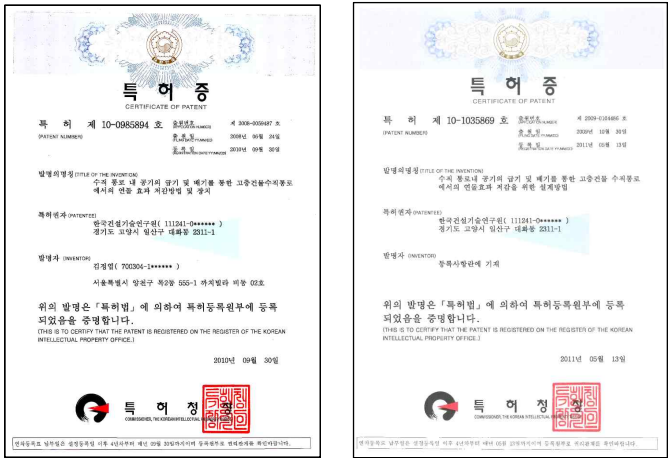
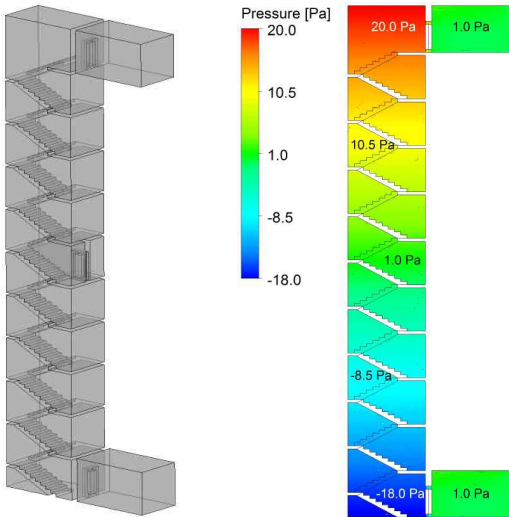
관련특허 3			차이점
특허명	특허구분	특허내용	
건물의 샤프트 냉각장치 및 방법	국내특허	건물의 샤프트(수직통로)에서 발생하는 연돌효과는 건물의 내외부 온도차로 기인하기 때문에 이러한 온도차를 줄여서 연돌효과를 저감하는 방안으로서, 샤프트에 외기를 공급하는 덕트와 댐퍼를 설치하고 샤프트 내부의 압력분포에 따라서 외기량을 조절해가며 샤프트에 공급하여 샤프트를 냉각하는 기술임.	유사특허에서는 샤프트에 외기를 공급하고 배출함으로서 샤프트의 공기 온도를 하강시키고 연돌효과를 감소시키는 기술이며 이때 내부의 공조가 된 공기가 배출됨으로서 에너지 손실이 발생할 수 있음. 반면에 본 제안기술은 고층건물의 수직통로 내에 순환유동을 발생시켜서 연돌효과를 제어하는 저감기술이라는 점에서 유사특허와 구분됨.
관련 도식			
			

관련특허 4			차이점
특허명	특허구분	특허내용	
회전문을 이용한 정량적 연돌효과 문제점 저감방법	국내특허	고층건물의 연돌효과에 의해 발생하는 압력차의 불균형분배 및 건물 내부 공기유동량 증가에 대한 정량적 완화 및 저감을 위한 회전문의 기밀성능과 설치위치의 결정방법에 대한 기술임. 연돌효과가 발생하는 건물에서 외피와 내부구획의 기밀성능을 측정한 후 압력차와 공기유동량의 목표치를 충족시키기 위해 회전문의 사용한 추가구획을 실시하고 회전문의 기밀도를 결정하는 데 기술의 내용이 있음.	
유사특허에서는 회전문을 사용하여 내부구획을 추가함으로써 연돌효과를 추가함으로써 연돌효과를 저감하는 수동적 제어방안에 관한 것인데 반하여 본 제안기술은 능동적 개념의 연돌효과 저감방안으로서 송풍시스템을 이용하여 기류를 형성시키고 동적으로 연돌효과를 제어한다는 점에서 유사특허와 구분됨.			
관련 도식			
계측, 지, 제작성을 실시공구, 계측 (계측은 설계단계, 공사) 연결 연속적으로 수, 연속적으로 연속적으로 연속적으로 연결 연속적으로 연속적으로 연속			

관련특허 5			차이점
특허명	특허구분	특허내용	
Stack Effect Mitigation	국제특허 (미국)	고층건물의 아트리움에서 발생하는 연돌효과를 저감하기 위해서 승강기 수직통로 근방에 연돌효과 저감용 수직통로를 만들로 내부에 송풍기를 설치하여 연돌효과 저감용 수직통로내에 유동을 형성함으로써 고층건물의 아트리움에서의 연돌효과를 제어하는 기술임. 아트리움 상부에서 연돌효과 저감용 수직통로로 공기의 유입구를 설치하고 하부에 내부공기가 아트리움으로 유출되는 출구를 설치함.	
관련 도식			
 			유사특허에서는 연돌효과 저감의 대상이 아트리움으로서 아트리움의 공기를 상부에서 흡입하여 하부로 배출하는 설비를 설치함으로써 아트리움 안에서의 연돌효과를 저감하고자 하는데 반하여 본 제안 기술은 계단이나 승강기 수직통로에서의 연돌효과 저감을 위한 설비이며 계단과 승강기 수직통로 내 공기를 순환하기 위한 설비를 제시한다는 점에서 유사특허와 구분됨.

4. 기존 연구개발 동향

개발과정	일 자	주요 진행내용	개발주체
연돌효과의 현황 및 문제점 파악	2009 - 2010	- 연돌효과가 크게 발생하는 겨울철에 국내 31층 규모의 고층건물에서 연돌효과의 형성특성과 문제점 파악에 대한 현장실험을 실시함. - 연돌효과에 의해 건물내 형성되는 압력장을 측정하고, 계단과 부속실의 출입문 개폐여부에 따른 특성을 파악함.   [연돌효과 측정 및 결과]	한국건설 기술 연구원
신개념 연돌효과 설계방안 도출	2011 - 2012	- 평상시 고층건물에서 연돌효과를 저감시키기 위해 계단, 엘리베이터 샤프트와 같은 수직통로의 저층부에서 공기를 급기하고 고층부에서 공기를 배기시키는 순환형 연돌효과 저감방안을 제시함. - 순환형 연돌효과 저감장치의 작동에 의해 저감되어 형성되는 최상층 계단에서의 압력을 실내온도, 실외 온도, 송풍기 풍량 및 계수를 이용하여 정량적으로 구하는 방안을 제시함.	한국건설 기술 연구원

개발과정	일 자	주요 진행내용	개발주체
신개념 연돌효과 설계방안 도출	2011 - 2012	 [신개념 설계방안 관련 특허증]	한국건설 기술 연구원
연돌효과 저감기술에 대한 수치적 성능 평가	2012 - 2013	- 고층건물에서 연돌효과를 저감시킬 수 있는 방안에 대해서 네트워크 모델을 사용한 수치해석을 수행하여 건물 전체 공간을 대상으로 상세한 성능평가를 수행함. 3차원 수치해석적 방법을 이용하여 연돌효과 저감방안이 실제로 고층건물에 효과적으로 작동을 하는지에 대한 검토와 실내외 온도차, 건물 높이, 송풍기 풍량 등 설계인자를 고려하여 정량적으로 어느정도 연돌효과의 저감이 이루어지는지에 대한 연구를 수행하였음.  [CFD를 이용한 상세 연돌효과 수치해석]	한국건설 기술 연구원

개발과정	일 자	주요 진행내용				개발주체
개발기술의 학술적 검토 및 논문게재	2009 - 2013	No.	논문명	게재지(권/호) (등록국가)	게재일 (등록일)	한국건설 기술 연구원
		1	연돌효과가 급기가압 제연시스템에 미치는 영향에 대한 현장실험	한국화재소방학회 논문지(22/3)	2009년	
		2	고층건물 피난계단에서의 연돌효과 저감방안 연구	한국화재소방학회 논문지(25/5)	2011년	
		3	Study on Stack Effect of Stairwell by Numerical Model of Leakage Flow through Gap of Door	Open Journal of Fluid Dynamics (3/4)	2013년	
기술 상용화 지원사업 추진	2013	2013 KICT Tech-Biz Fair (KICT 사업화 유망기술 설명회)에 참여함. - 국토교통과학기술진흥원의 “국토교통 기술사업화 R&D 기술수요 조사”에 당해 기술을 제안함.				동해기연 / 한국건설 기술 연구원
공동기술 개발 협약	2014	동해기연(주)와 한국건설기술연구원 간에 고층건물에서의 연돌효과 저감기술에 대한 기술실시계약 체결을 진행 중에 있으며, 향후 시제품 개발과 실용화를 위한 공동기술 개발을 추진할 예정임.				동해기연 / 한국건설 기술 연구원

제 3 장

연구개발 수행내용 및 성과

제1절

연돌효과 저감설비 시제품 개발

1. 시제품 설계 및 제작

1.1 개요

고층건물에서는 동절기에 실내와 실외의 온도차로 인해서 계단이나 승강기 통로와 같은 수직통로를 통해 공기가 상승하는 연돌효과가 발생한다. 연돌효과로 인하여 같이 고층건물의 하부층에서는 외부공기가 실내로 침입하고, 상부층에서는 실내공기가 외부로 유출되는 현상이 발생하게 된다. 또한 각 층에서는 실외와 실내 사이 및 실내의 구획실 간에 압력차가 발생하게 된다.

이와 같이 연돌효과로 인해서 유동이 발생하고 구획실간 압력차가 형성되면, 고층건물의 거주환경과 에너지 및 방재 측면에서 악영향이 발생하게 된다. 일례로 연돌효과로 인해 고층건물의 난방 에너지가 5~10 % 손실되는 것으로 평가되고 있다. 연돌효과 저감설비는 초고층 빌딩의 수직통로 내 연돌효과의 정량적 제어기능을 갖는 순환형 장치에 관한 것으로서 연돌효과에 영향을 미치는 인자들을 고려하여 동적으로 연돌효과를 제어하며 수직통로 내 순환형 유로를 구성하여 유동공기를 순환시키는 설비이다. 고층 건물 내 연돌효과에 의한 에너지 손실을 최소화하기 위해 건물 상층부에 기류 순환 시스템을 도입하여 상층부의 공기를 하층부로 공기통로(계단, 엘리베이터, 수직공기통로 등)를 통해 강제 이송하도록 하고, 특히 그 압력차를 따라 송풍기 모터를 인버터를 통해 효율적으로 제어한다.

1.1.2 구성

순환형 연돌효과 저감시스템은 FAN, 인버터, 제어시스템, 덕트로 이뤄진다.

(1) PLUG FAN

건물 상층부에 설치되는 FAN으로 [표 2-1]과 같은 조건을 만족해야 한다. 이러한 장점을 갖고 있는 FAN으로 PLUG FAN을 선정하고자 한다.

[표 2-1] 연돌효과 저감설비 기류 순환 송풍기 조건

1	에너지 효율이 높아야 한다.
2	상층부에 설치되기 때문에 소음 및 진동이 적어야 한다.
3	설치공간이 좁기 때문에 가급적 사이즈가 작아야 한다.

기류 순환 FAN은 30층 건물을 기준으로 약 150~200 CMM의 풍량이 소요될 것으로 예상된다. 그리고 30층일 경우 덕트의 사이즈를 고려하여 대략 35~40 mmAq의 정압이 걸릴 것으로 예상할 수 있다. 따라서 표 2-2와 같이 PLUG FAN의 사양을 정할 수 있다.

[표 2-2] PLUG FAN 예상 사양표

FAN TYPE	:	PLUG FAN
FAN SIZE	:	Impeller Size 630 mm
유 량	:	200 CMM
정 압	:	40 mmAq
동 력	:	3.7 kW급

PLUG FAN은 국내 시장보다 외국 시장에서 더욱 널리 사용되는 모델로 상기의 장점이 있지만 가격이 비싸서 국내시장에서는 널리 사용되지 않고 있다. 그래서 FAN을 개발하기에 앞서 우선 외국 고효율 제품에 대한 검토를 해야할 것이다.

가. 타사 제품 비교

PLUG FAN을 제작하는 외국 업체에는 대표적으로 3곳이 있다. 미국의 TwinCity, 핀란드의 Fläkt Woods, 독일의 Ziehl-Abegg의 3곳의 PLUG FAN에 대해서 비교 검토를 하여 [표 2-3] 및 [표 2-4]와 같이 정리하였다.

가) 사양 및 효율

[표 2-3] 3사 FAN DATA

TwinCity

Fan Performance

m³/min

Operating SP (mm.wg).

Standard SP (mm.wg).

RPM

Tip Speed (m/sec).

Oper. BHP (kW)

Standard BHP (kW)

Outlet area (m²)

Outlet Velocity (m/sec).

Temperature (°C)

Altitude (m)

Density (kg/m³)

Max RPM for Class

Static Efficiency.

Mechanical Efficiency.

200

40

40

1175

38.3

1.92

1.92

N/A

N/A

21

0

1.201

1715

67.73

67.73

Fläkt Woods

Fan code

Motor code

Overall efficiency

Efficiency grade

FC101

%

N

GPPM-1-00-063-11-0

APPM-16-0550-30-02

66,3

71,9

Power input

Ped

kW

Air flow Qv

m³/s

Pressure

psf

Speed

r/min

5,189

3,549

769

1550

Ziehl-Abegg

타입

ER63C-ZIK.GL.CR

article 번호

114680/A01 | Portfolio STD-WW

기술 데이터

모터

ECblue

주전원

3~ 400V 60Hz

최고 주위온도 제한치 (t_a)

°C

50

효율 η_{rated}

%

66,1

효율 η_{actual} | η_{target}

%

70,5 | 62

ErP-클래스

2015 | EC통합제어

grille | influence

아니오 | 아니오

팬 데이터

팬 속도 (n) | max (n_{max})

1/min

- | 1320

주파수 (f₅₀) | (f_{max})

Hz

60 | 60

치수 (w x h x d)

mm

760 x 813 x 670

제품 중량 (m_{pr})

kg

64,6

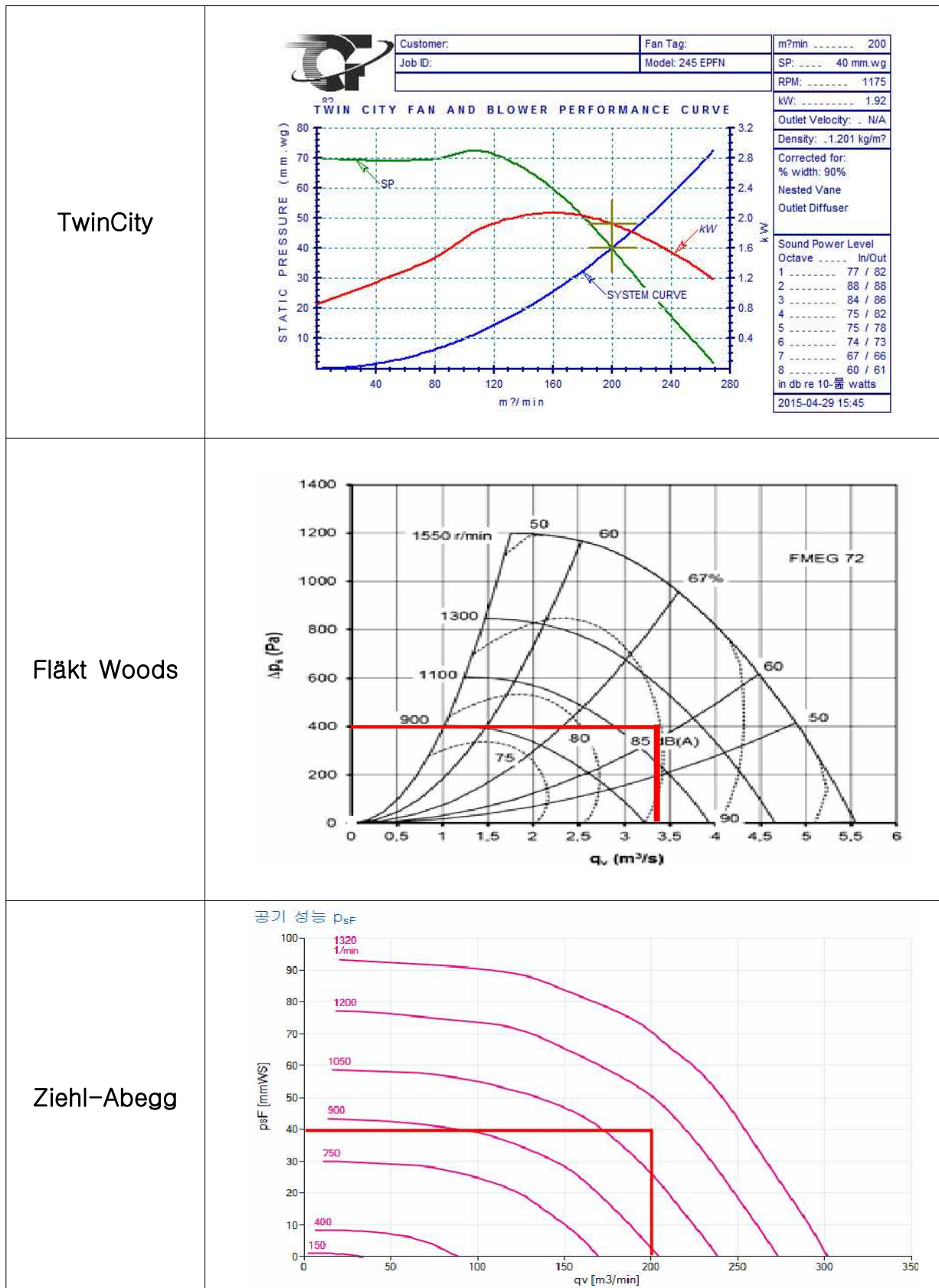
k-factor nozzle 압력 (k)

-

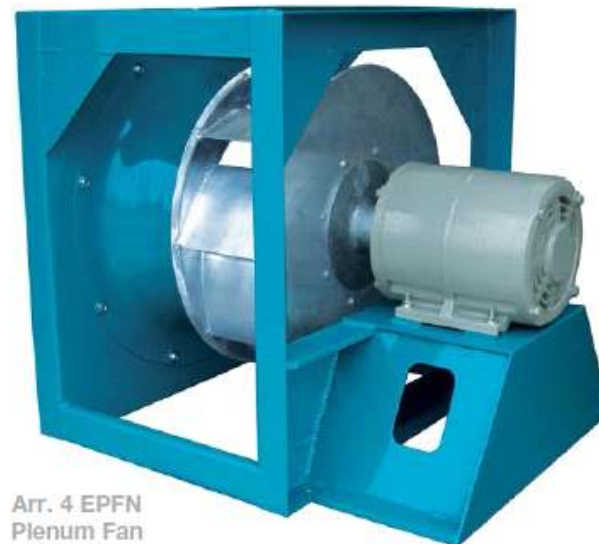
381

PF:PF_{0,05} Aco:114680; Stot:→0 %

[표 2-4] 3사 FAN 성능 곡선



3개 사의 FAN 자료를 분석해 본 결과 효율은 TwinCity사가 67.73%로 효율이 가장 높았고, Fläkt Woods와 Ziehl-Abegg은 약 66% 대로 거의 비슷하였다. 따라서 성능면에서 가장 높은 TwingCity사의 제품, 그리고 서로 비슷하지만 가격적으로 약간 우위에 있는 Fläkt Woods사의 제품을 벤치마킹 제품으로 선정하였다.

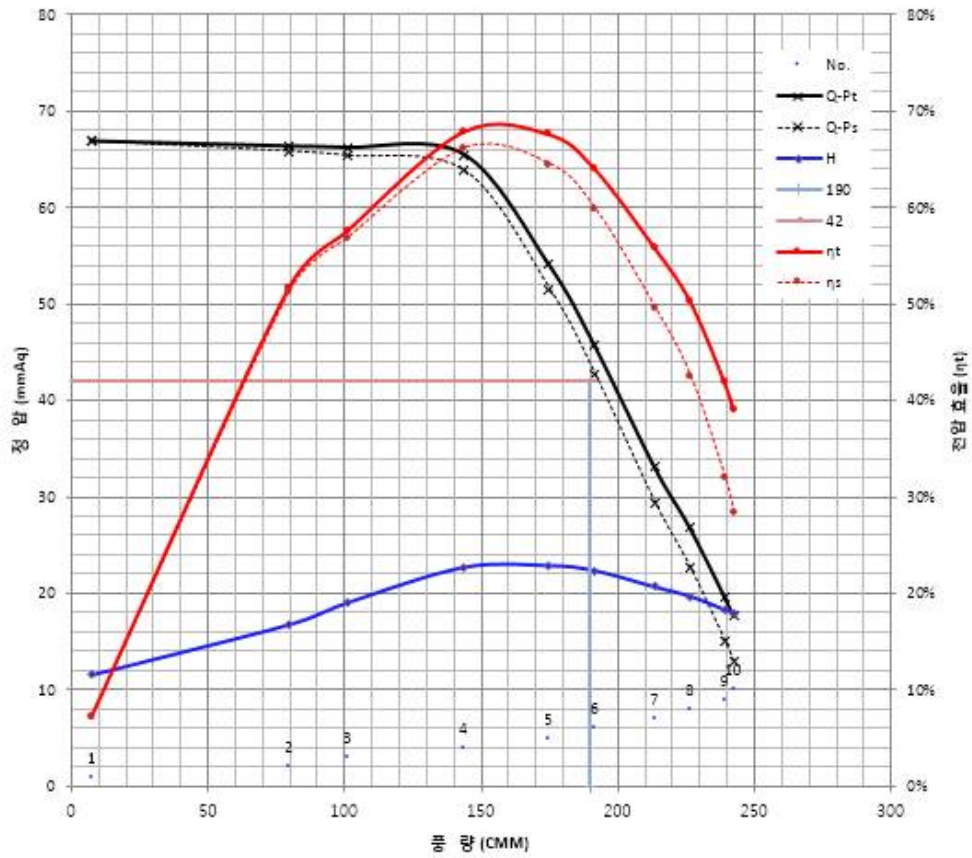


[그림 2-1] TwinCity사 PLUG FAN EPFN 245 MODEL



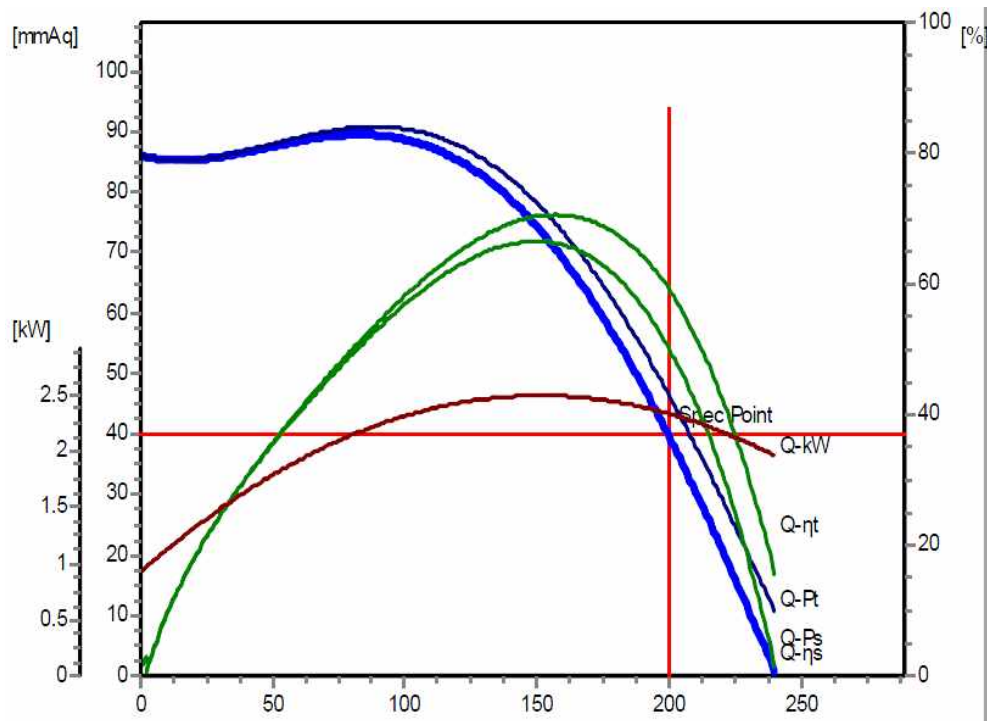
[그림 2-2] Fläkt Woods사의 PLUG FAN GPPM-1-00-063

상기 제품 중에서 TwinCity사의 모델에 대하여 흡입정체실 타입의 풍동시험장치(KS B 6311 규정)를 통해 [그림 2-3]과 같이 성능을 검증하였고, 성능을 분석한 결과 약 61% 정도의 효율을 보이고 있다. 상기 자료와 약 6% 정도의 차이를 보이고 있는데 이는 풍동시험장치의 보완이 요구되는 사항으로 재측정할 예정이다.

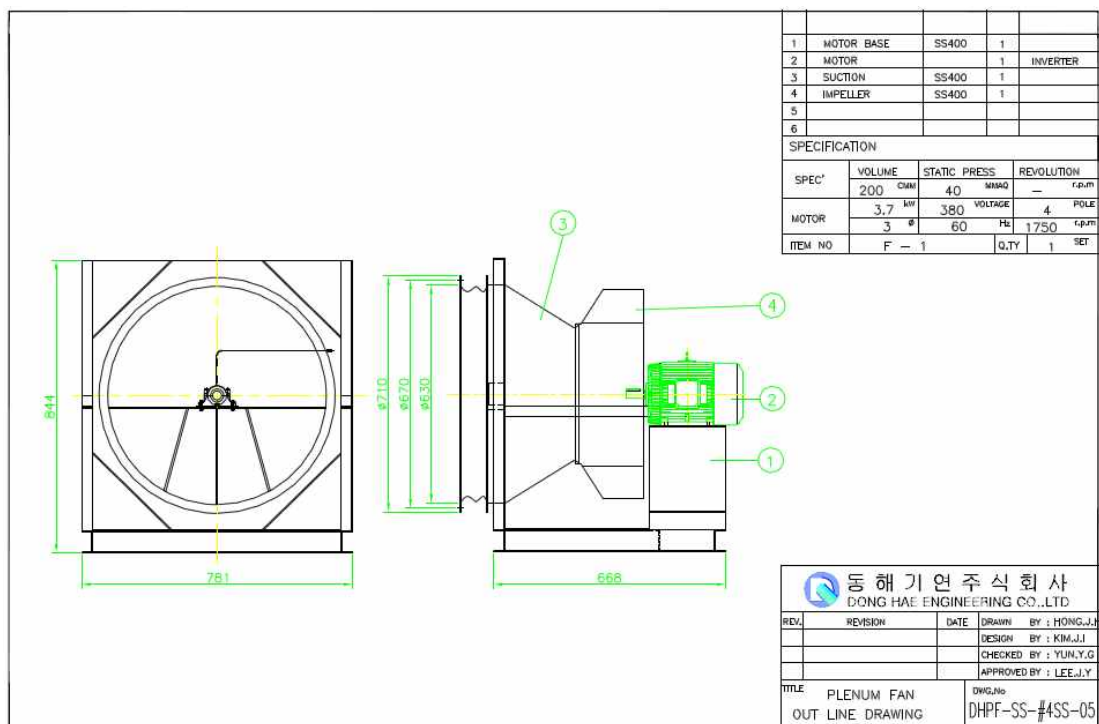


[그림 2-3] TwinCity사의 EPFN 245 MODEL 1차 테스트 결과

또한 본사에서 제작할 수 있는 Air Foil FAN 날개를 이용한 PLUG FAN의 성능을 예상하여 [그림 2-4]와 같이 나타내었다. 이때의 효율은 약 58%로 미국의 TwinCity와 10% 정도의 차이를 보이고 있다. 따라서 FAN 입구 부분의 SUCTION BELL MOUTH를 좀 더 연장하여 유입 풍량을 증대시키고, IMPELLER의 무게를 최소화한다면 충분히 외산 장비의 효율을 갖출 수 있으리라 생각된다.



[그림 2-4] DH PLUG FAN 630 Series 예상 성능곡선



[그림 2-5] DH PLUG FAN 630 Series LAYOUT

(2) 동적제어 시스템

건물의 상층부와 하층부 간의 압력차를 측정하여 일정 압력차 이상이 되면 연돌 효과가 나타나므로 이를 줄이기 위해 기류순환 송풍기를 운전하여야 한다. 하지만 압력차의 양에 따라 풍량을 제어한다면 훨씬 효율적으로 운전할 수 있고, 그에 따른 에너지도 절약할 수 있을 것이다.

연돌효과를 검증할 때 이론 수식은 아래 수식으로 검토하였다.

A-1. 표준대기압 : $101326\text{Pa}(\text{N}/\text{m}^2) = 760\text{mmHg} = 10.332\text{mmAq} = 1.0332\text{kgf}/\text{cm}^2$
A-2. 연돌 효과에 의한 부압 = P = 중성대로 부터 높이 * 공기 온도차에 따른 비중차이

$$P(\text{mm Aq}) = 0.00467 * \Delta h(\text{m}) * \Delta t(^{\circ}\text{C})$$

$$P(\text{Pa}) = 0.00467 * g(9.80665\text{m}/\text{s}^2) * \Delta h(\text{m}) * \Delta t(^{\circ}\text{C})$$
EXP) G = 표준중력가속도 $9.80665\text{m}/\text{s}^2$,

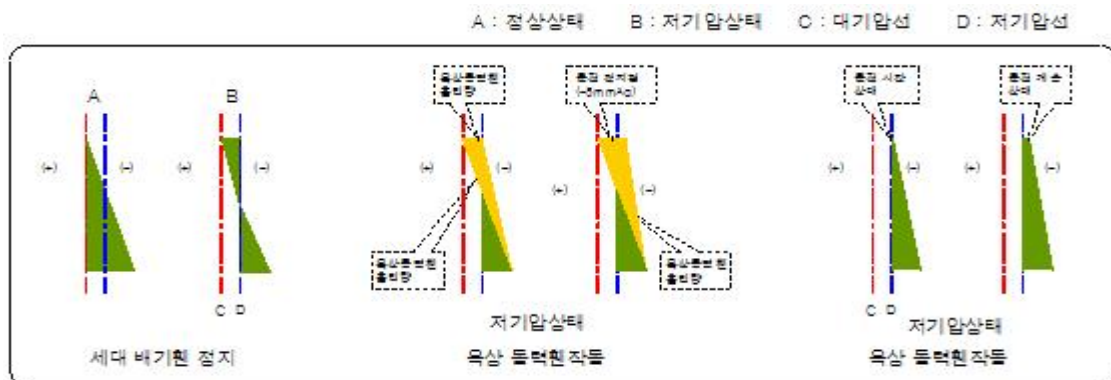
$$\Delta h = \text{중성대로부터 수직 높이}(\text{m}) \quad \Delta t = \text{공기 온도차이} (^{\circ}\text{C})$$
A-3. 기준 층층고: $3.15\text{m} * 26\text{개층} = 81.9\text{m}$, 겨울 온도차 20°C (실내 20°C , 실외 0°C)
일 때 최하층의 연돌 효과에 따른 음압 (-)

$$P(\text{mm Aq}) = 0.00467 * 81.9 * 20 = -7.6\text{mmAq} = -75\text{Pa}$$

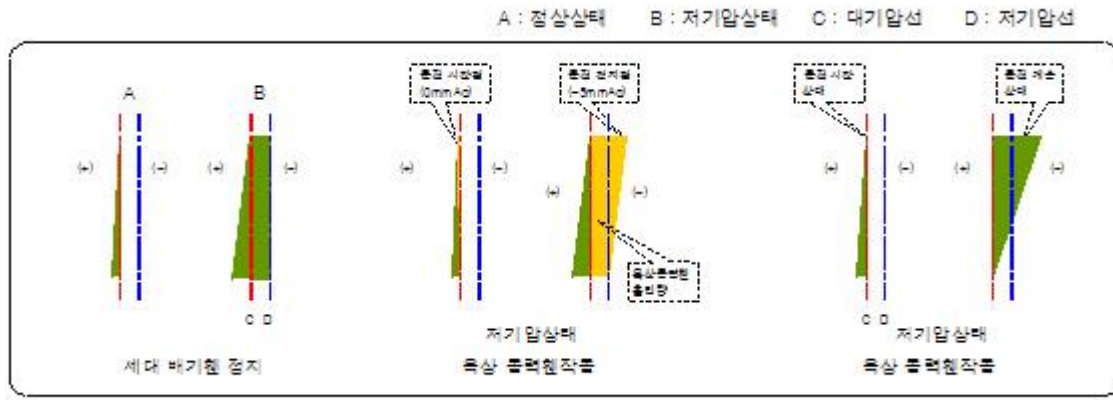
또한 중성대(Neutral Plane)를 검토할 때 중성대는 덕트 내 온도 상승에 의해 상부로 고온 기체가 상승해 덕트 내부에 압력차가 발생하는데 대체적으로 상부는 압력이 높아지고 하부는 압력이 낮아진다. 따라서 그 사이 어느 지점에 덕트 내부와 실내의 정압이 같아지는 경계면('0'포인트)이 형성되는데 그 면을 중성대라고 한다. 그러므로 중성대의 위쪽은 덕트 내 압력이 실내보다 높아 실내로 기체가 외부로 유입되고 중성대 아래쪽에는 반대로 실내 공기가 덕트로 유입된다.

이를 동절기와 하절기의 압력분포를 검토하면 다음과 같다.

- 겨울철 입상 AD 정압 분포도(연돌 효과)



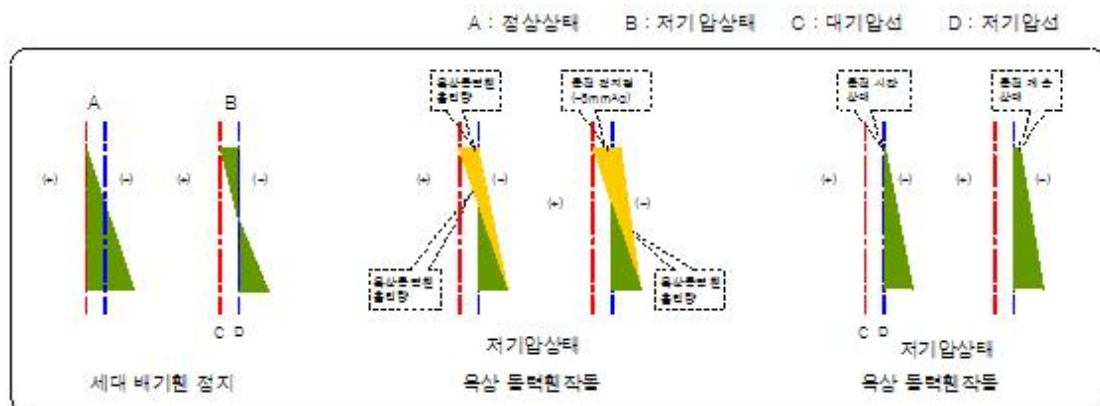
- 여름철 입상 AD 정압 분포도(연돌 효과)



입상 통로에서 정압 유지형 제어팬을 설치하는 경우에 입상 연돌효과가 어느 정도 제어가 가능하다고 판단된다. 겨울철에 많이 발생되는 연도내의 공기 온도차에 따른 부력 효과는 상대적으로 더 많이 기대할 수 있지만, 동일 풍압대 내에 배기구가 위치한 경우 토출구 면적이 적은 경우 압력손실이 클 경우에 속해 바람의 영향으로 배기가 원활하게 될 수 없어 강제 배기용 동력 팬을 설치하여 배기하고 이를 저층부 유입부로서 재순환시키는 재순환 장치를 검토하여야 한다.

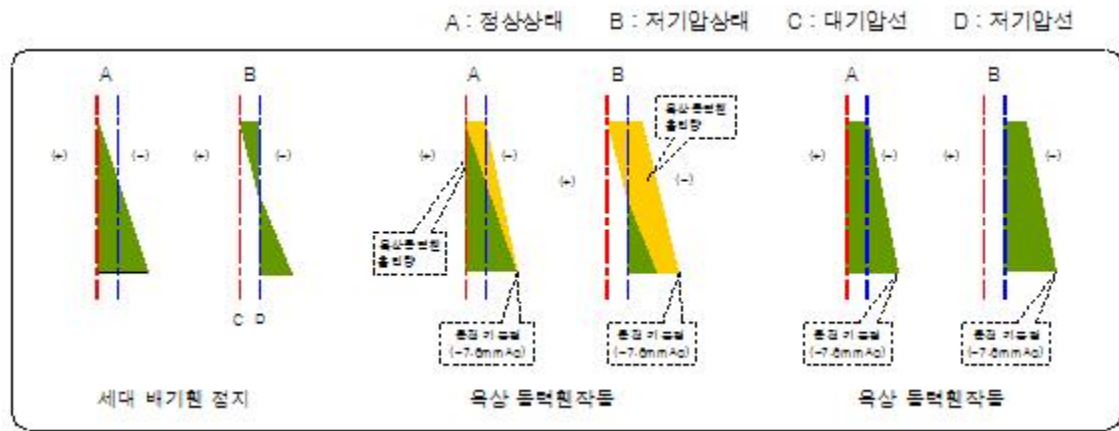
이를 해결하기 위해 압력제어의 센서위치를 상,하위치 별로 다음과 같이 검토한다.

- 상층부의 압력센서 제어시



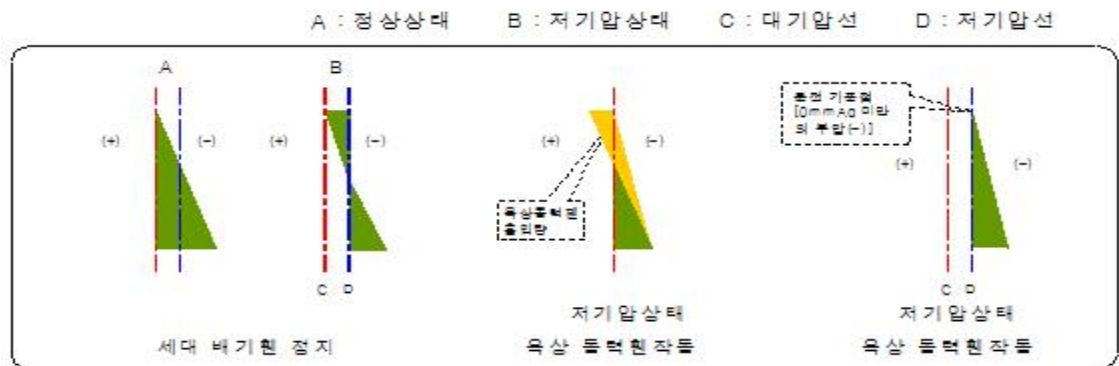
상기 그림과 같이 상층부에 차압 센서 1EA를 설치하여 압력이 양압(+)인 경우에 팬이 작동하기 시작 하여 음압(-0.5mmAq)이 되면 팬은 정지하는 원리로서, 팬 및 정압 센서의 유지보수를 한 곳(옥상층) 에서 간단히 할 수 있는 장점이 있다. 흡입측 센서가 팬에 가까운 이유로 빈번한 기동정지에 대처하는 운전제어가 중요하므로 빈번한 제어에 따른 하자 발생 빈도가 높다고 판단된다. 반면 각 라인별로 소음 절감을 위한 별도 소음기부착 등 높은 시공비가 단점이다. 그리고 제어범위가 상대적으로 적다.

- 하층부 AD내부 정압 센서부착시



상기 그림과 같이 하층부에 차압센서 1EA를 설치하여 입상라인내 배기 팬을 가동하지 않을 경우(유입율=0%)에도 운전 기준점인 음압(-0.5 mmAq, 5PA)을 유지하기 위하여 상층부 동력팬은 최소량으로 운전을 유지한다. 상대적인 팬 동력비 증가가 단점이지만 안정된 제어의 장점이 있다. 또한 라인의 유동량을 기준으로 장비의 운전지점이 결정됨으로 저소음 운전이 가능하다. 반면 제어범위는 많으나 제어 폭 결정이 어렵고 소모 운전비용이 다소 많다.

- 상,하층부 입상라인 내부 정압 센서 부착시



상,하층부에 2EA의 압력센서를 설치하여 압력이 옥외 대기압보다 내부압력이 규정 제어범위보다 양압(+)인 경우에 팬이 작동하기시작하여 최상층 및 최하층부 모두 설정압력이 되면 팬은 최소 운전하는 운전 기준점 (0.5~2 mmAq미만의 압력) 제어로써, 연돌효과 및 역 연돌 효과에 의해 실내 또는 전실 내부에서 발생하는 압력 변화 등의 상황별 대처가 최적으로 가능하여, 상대적으로 적은 동력비로도 최적의 운전을 할 수 있다. 연도내에 공기의 유입이 없을 경우(유입율=0%)에도 운전 기준점인 0.5~2 mmAq 미만의 압력을 유지하기 위하여 동력 팬은 최소량으로 운전되므로, 흡입측 센서가 팬에 가까운 이유로 발생하는 정압 감지량 기복을 줄일 수 있어서 안정된 운전이 가능하다. 또한 라인의 유동량을 기준으로 장비의 운전지점이 결정됨으로 저소음 운전이 가능하고 최적화 설계가 가능하다.

상기에서 검토한 사항을 종합적으로 검토하면 다음과 같이 분석할 수 있다.

- 저풍압 대에서나 외기풍속이 강한 경우에는 가정 적절한 동력 팬 제어 방법은 입상 AD내 측 최상층 및 최하층부에 센서 제어 방식이 가장 적절한 제어 방식이 되는 것으로 판단해 외

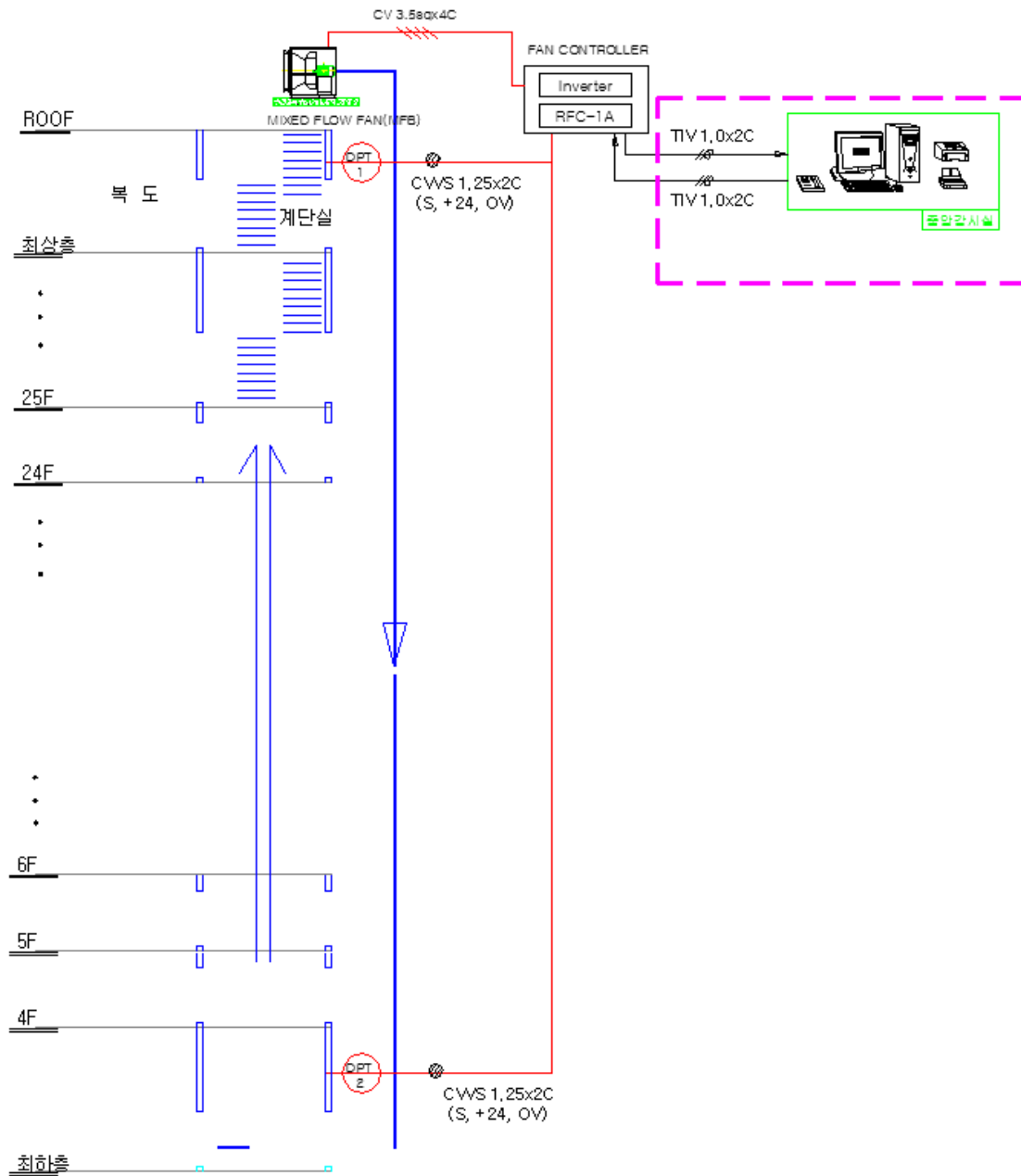
측 대기압부에 정압센서를 부착하고, 입상 연도 내측 최상층 및 최하층부와 외부 대기압과의 차이를 측정하여, 최상층부 또는 최하층부압력이 옥외 대기압보다 양압(+)인 경우에 웬이 작동하기 시작하여 0.5~2mmAq미만의 적정 압력이 되면 웬은 최소 운전하는 경우로 선정한다.

- 이 경우 최상층 및 최하층부는 모두 선정압력을 유지하여, 연돌 효과 및 역 연돌 효과에 의해 연도내부에서 발생하는 압력 변화 등의 상황별 대처가 최적으로 가능하여, 상대적으로 적은 동력비로도 최적의 운전을 할 수 있다.

- 동력 웬의 안정된 제어를 위해서 입상부의 각층별 유입 공기량을 최소화 할수 있도록 댐퍼가 부착되어야 하며, 각 층별로 유입풍량의 균형을 유지하기 위해서는 정 풍량 댐퍼가 부착되면 가장 이상 적인 환경을 유지할 수가 있다.

- 또한 저소음을 유지키 위해 소음 절감을 위한 소음기를 부착하면 가장 이상적인 연돌 효과 방지책으로 판단된다.

따라서 상·하층부의 차압센서와 PLC 기능을 하는 DFC(DH FAN CONTOLLER), 인버터, EC CONTROL등으로 구성된 시스템을 [그림 2-6]과 같이 구성하였다.



[그림 2-6] 연돌효과 저감설비 기류순환시스템 동적제어방식 계통도

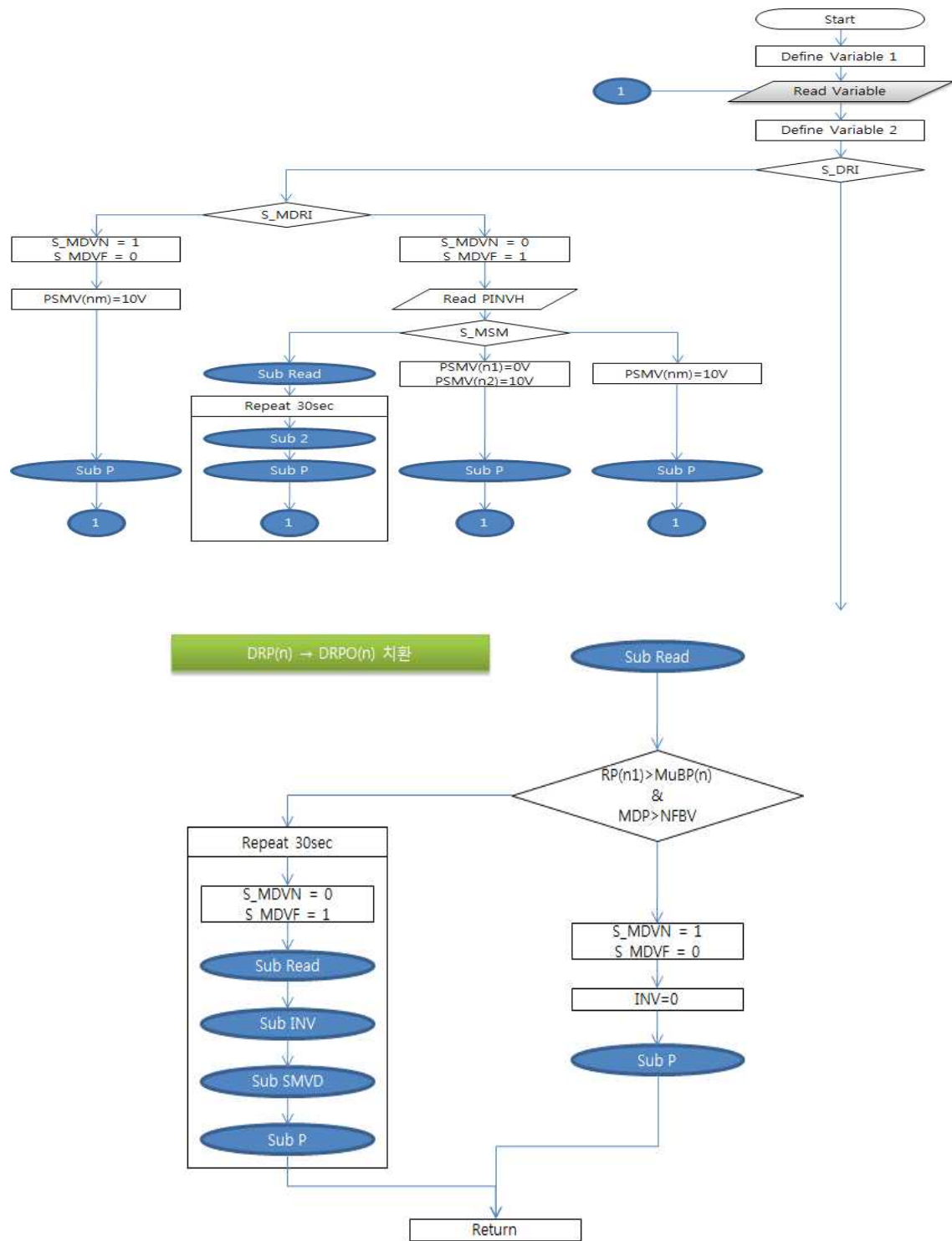
동적제어 시스템의 주요 구성품은 상층부 및 하층부에 설치되는 차압센서가 있고, [그림 2-7]과 같이 차압센서의 신호를 받아 인버터에 신호를 보내주는 DFC(DongHae FAN Controller)¹⁾ 와 MUX(Multiplexer)²⁾가 있다. DFC는 DongHae FAN Controller의 약자로 본 시스템의 컨트롤러 총칭이다. 실제 압력의 계산, FAN Hz의 계산, SMVD의 계산등이 모두 이 기판에서 이루어진다. 한편 MUX는 일반적으로 다중화기, Multiplexer라 하며, 다수의 개별적으로 독립된 신호를 동시에 송수신 할 수 있는 장치를 말한다. 본 연구에서 적용한 정보 전달기능에서는 정보 전달 포트를 정의하는 개념으로는 개발 시스템에서 압력 센서값을 입력 받아 신호를 조합하여 DFC로 송수신하는 장치를 말하며, 최초로 입력되는 곳(일반적으로 하부)의 MUX를 MUX, 두번째 지점(상수)의 MUX를 DeMUX로 지정한다



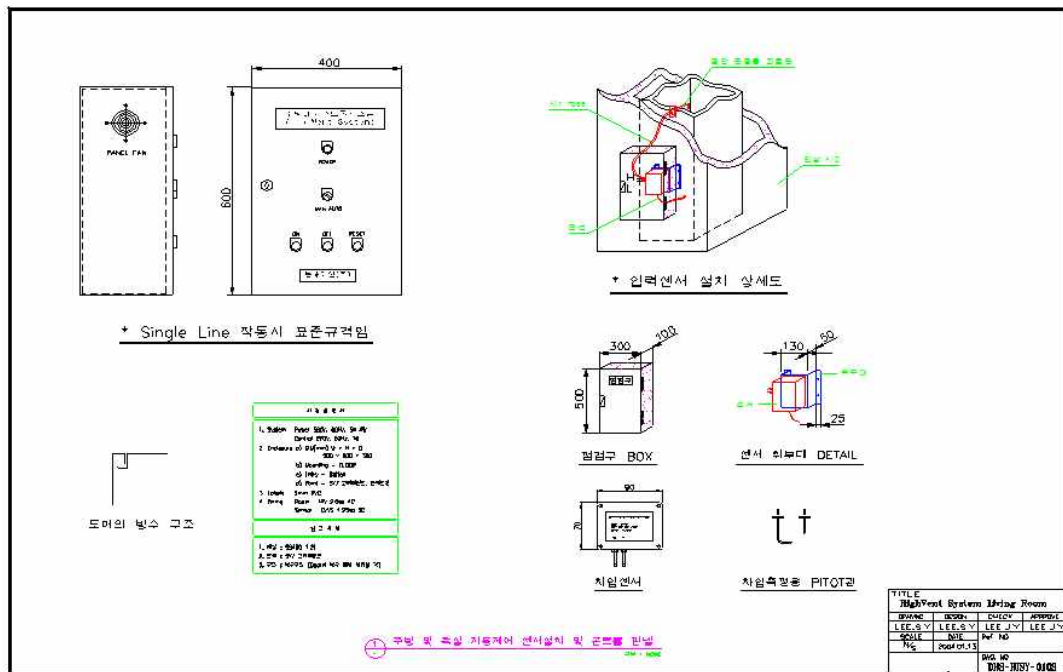
[그림 2-7] DFC P.C.B (Programmable Circuit Board)

DFC는 4 ~ 20 mA의 신호를 DC로 바꾸어 주는 기능이 있고, 이를 MOTOR INVERTER로 보내어 효율적으로 FAN을 구동시킬 수 있다. 그리고 Programming 까지 되어 있어 차압에 따라 모터 RPM을 조절할 수 있게끔 제작되었다.

-
- 1) DFC란 DongHae FAN Controller의 약자로 본 시스템의 입상배기 시스템의 총칭이다. 입상배기 시스템의 핵심 기판이며, 실제 압력의 계산, FAN Hz의 계산, SMVD의 계산등이 모두 이 기판에서 이루어진다.
- 2) MUX는 일반적으로 다중화기, Multiplexer라 하며, 다수의 개별적으로 독립된 신호를 동시에 송수신 할 수 있는 장치를 말한다. 본 연구에서 적용한 정보 전달기능에서는 정보 전달 포트를 정의하는 개념으로는 입상배기의 멀티라인에서 압력 센서값을 입력 받아 신호를 조합하여 DFC로 송수신하는 장치를 말하며, 최초로 입력되는 곳(일반적으로 하부)의 MUX를 MUX, 두번째 지점(상수)의 MUX를 DeMUX로 지정한다.



[그림 2-8] 연돌효과 저감설비 LOGIC DIAGRAM



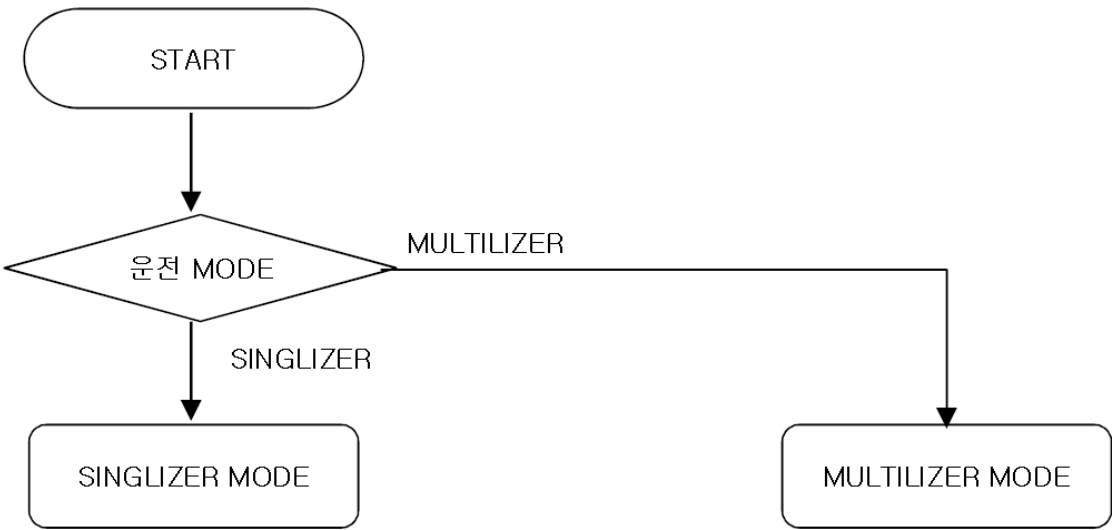
[그림 2-10] DFC PANEL 및 센서 설치 상세도

그리고 연돌효과 저감시스템 제어반의 체원으로는 [표 2-5]과 같다.

[표 2-5] 연동효과 저감시스템 제어반 제원

항목	규격 및 사양	규정
전원	단상 220V 60Hz	
소비 전력	20W 이하	
입력	아날로그 : 8CH	
	차압 센서 신호 : 4~20mA*2CH	저층부, 고층부 2개소 압력 센서값 입력
	압력센서 (고층) : 4~20mA	고층부 차압(-50~+50mmAq)을 입력
	압력센서 (저층) : 4~20mA	저층부 차압(-50~+50mmAq)을 입력
	SMVD 신호 : 2~10VDC * 6CH	정량댐퍼의 개도 신호 2~10VDC*6CH 입력
	디지털 : 2 POINT (Dry Contact)	
	인버터 FAULT	인버터 이상 신호 점점 출력 IN
	인버터 RUN	인버터 운전 신호 점점 출력 IN
출력	인버터 기동 신호 RELAY * 1	원격 통신에서 지령한 운전 명령을 점점으로 출력
	인버터 운전 주파수 0~10VDC*1	원격 통신에서 지령한 운전 운전 주파수값 출력
통신 Port	RS-485 방식	Modbus 통신
세팅	통신선으로 연결하여 파라미터 세팅	원격에서 통신 Port를 이용하여 PC(NoteBook)으로 설정
		1. 파라미터 세팅
		1-1. 압력센서 입력 Range 설정 (0~100)
		1-2. 정량댐퍼 개도신호 가중치 설정 (0~100)
		1-3. 정량댐퍼 입력 채널 사용 설정 (0~6)
		1-4. 풍압설정 (High-Low) / 덕트와 외기의 차압 설정
		2. 모니터링
		2-1. 압력센서값
		2-2. 정량댐퍼 개도율 (풍량), 사용 댐퍼 상태
		2-3. 고(저)층부 풍압 (입상덕트와 외기 압력 비교)
		2-4. 운전 상태 (운전, 정지, 이상, 통신이상, 운전 속도 %)
		3. 원격 운전
		3-1. 원격 운전 (기동명령, 정지명령, 차압 설정)

운전방식은 다음의 [그림 2-11]과 같이 이루어진다.



[그림 2-11] 모드별 제어 방식

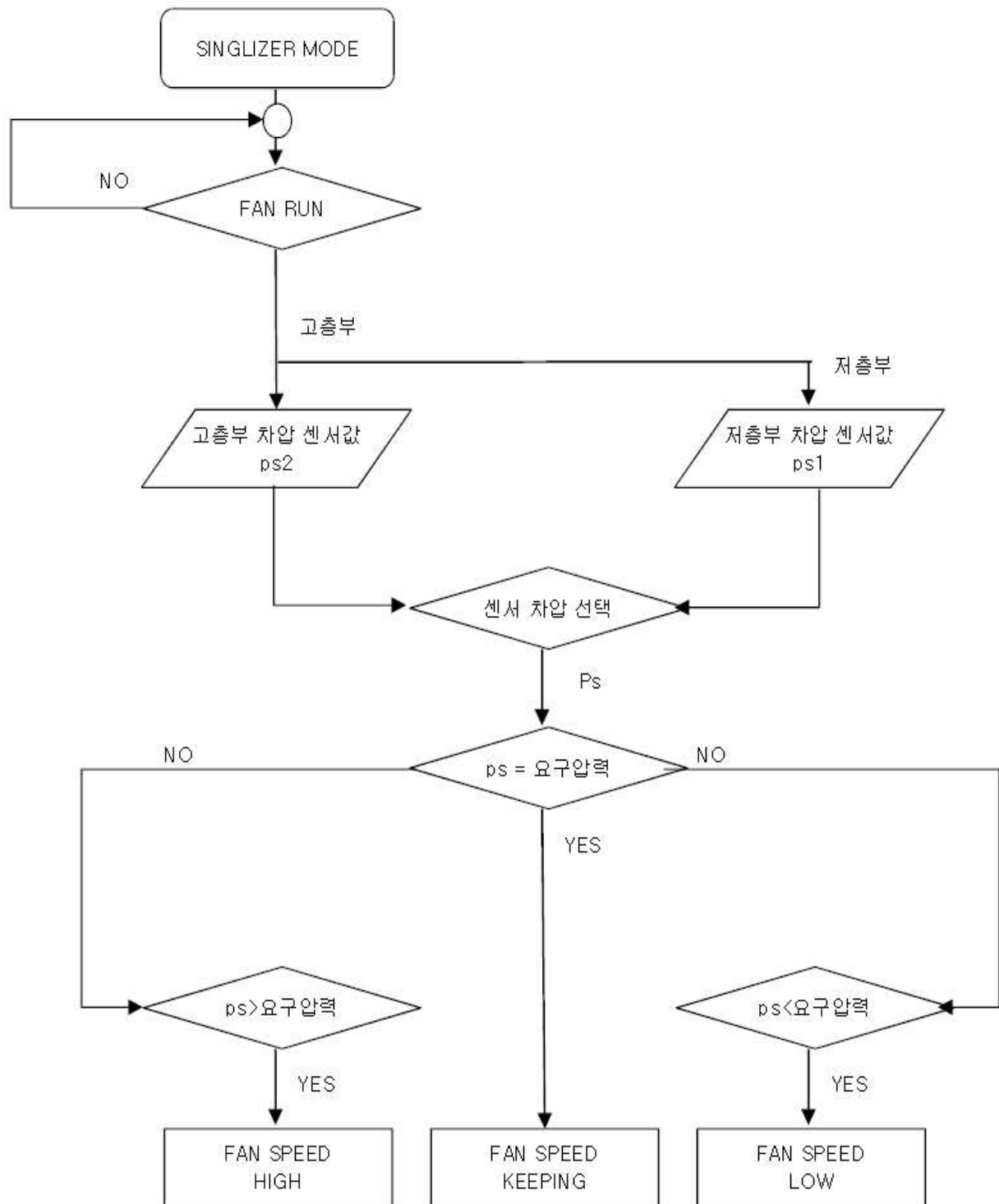
a. SINGLIZER 운전 모드

1개의 덕트 구조로 형성된 것으로서 외기와 덕트 내부의 차압을 비교 분석하여 외기와 일정한 차압을 유지하도록 하는 운전 모드

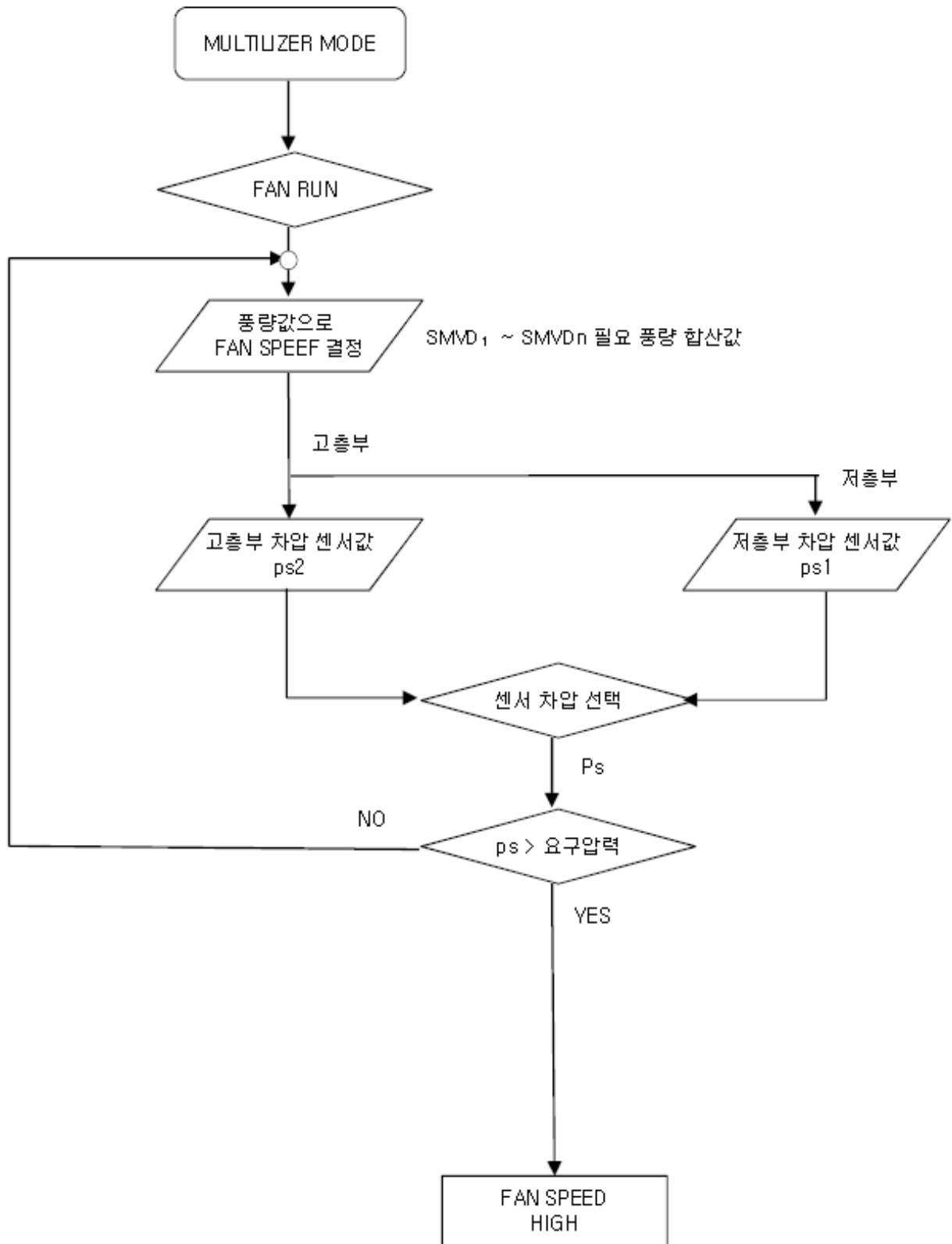
b. MULTILIZER 운전 모드

여러 개(n개)의 덕트 구조로 형성된 것으로서 각 덕트는 일정한 풍량을 보낼 수 있도록 사전에 세팅된 값으로 풍량을 보내도록 하고 각 덕트의 풍량을 요구하는 조건에 적합하도록 팬의 풍량을 제어하는 운전 모드

다음 그림 SINGLIZER MODE와 Miltilizer mode의 운전 모드의 Diagram을 나타내었다.

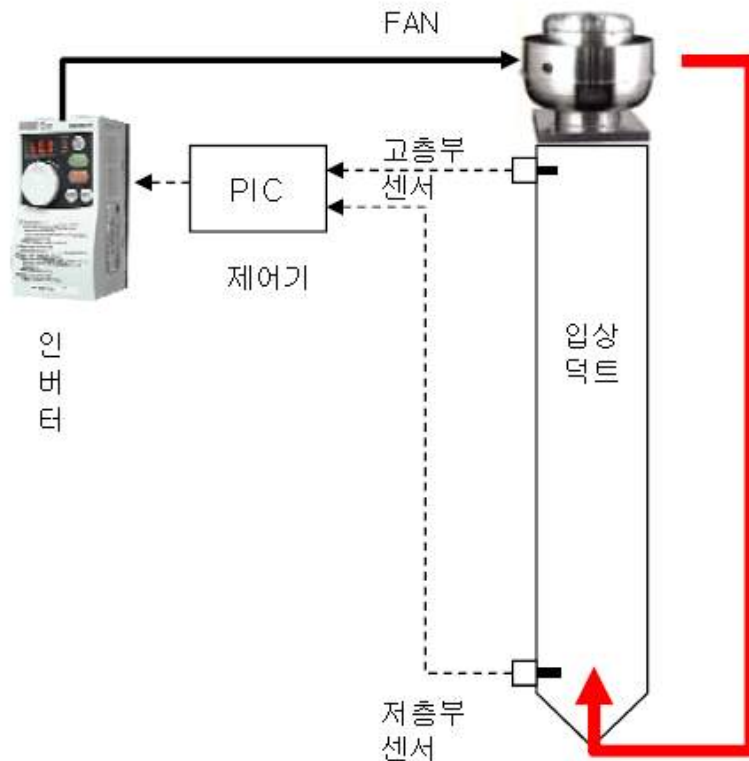


[그림 2-12] SINGLIZER MODE Diagram



[그림 2-13] MULTILIZER Diagram

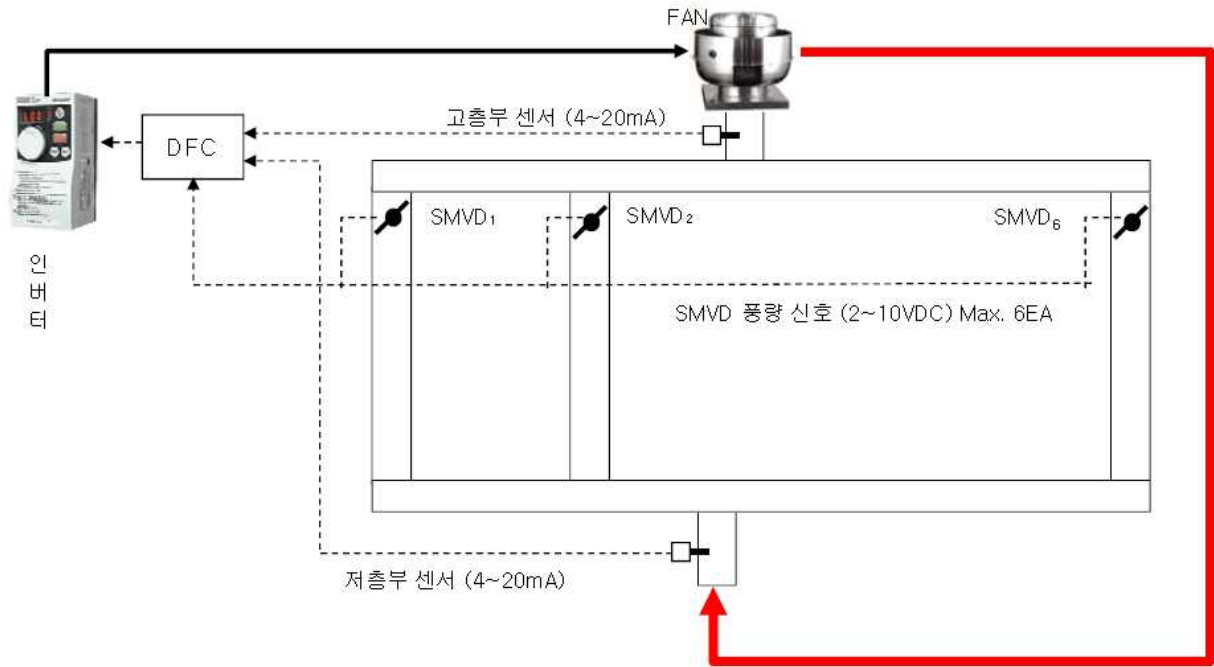
차압 & 풍량 제어 컨트롤러 (DFC : Donghae Fan Controller) Control PCB는 Singlizer 입상덕트 운전 방식을 기본으로 하며 Multilizer 운전이 가능하도록 한다. 다음 그림은 Singlizer 제어 방식의 개념을 나타내었다.



[그림 2-14] Singlizer 제어 개념도

- 1) 입상 덕트는 일반적으로 저층부 압력이 + 수 mmAq로 나타나고
- 2) 고층부 압력은 0 ~ - 수 mmAq로 나타난다.
- 3) 공기의 흐름을 원활하게 하기 위하여 고층부와 저층부는 적절한 차압을 유지하도록 풍량을 공급한다.
- 4) 이때 고층부에 있는 압력 센서가 입상덕트와 외기의 압력과 비교하여 압력의 차이가 적절하도록 팬에 의하여 강제적으로 풍량을 공급한다.
- 5) Singlizer 기능으로 운전하는 경우에는 SMVD에 의한 풍량 신호를 사용하지 않고 단독 운전하는 것으로 한다.
- 6) 이때 입상덕트 내의 압력과 실외기(대기압)의 압력차이를 검측하여 압력의 차이가 설정한 압력보다 크면 풍량을 증가시키고, 적으면 풍량을 감소시키는 운전을 한다.
- 7) 외기 압력과 비교할 센서는 고층부와 저층부 중에서 선택할 수 있다.

다음 그림은 Multilizer 제어 방식의 개념을 나타내었다.



[그림 2-15] Multilizer 제어 개념도

- 1) 여러 개의 입상 덕트가 존재하는 구역의 경우에는 단독 차압 운전하기 어렵기 때문에 차압 유지 운전과 풍량 제어를 병행하여 운전한다.
- 2) 기본적인 운전 방식은 Singlizer와 동일하지만 여러 개의 입상 덕트 Zone이 존재하기 때문에 단순히 일정 위치의 차압에 의하여 운전하게 되면 각 입상 덕트의 풍량이 제대로 운전되지 않게 된다.
- 3) 이를 위하여 고층부 또는 저층부 덕트 내의 압력과 외기 압력이 적절한 차압을 유지한 상태에서 각 입상 덕트에 필요한 풍량을 공급하기 위하여 정풍량 제어를 하도록 한다.
- 4) 이 때 필요 충분 조건은 고층(저층)부 차압 일정한 값 이상 유지와 각 입상 덕트 Zone에서 요구되는 풍량 값의 합산한 풍량으로 공급하는 조건으로 운전된다.

DFC의 기능으로 [표 2-6]과 [표 2-7]에 각각 Singlizer와 Multilizer의 운전을 나타내었고 [그림 2-16]에 PCB 보드 및 DFC 배치도를 나타내었다.

[표 2-6] 차압 일정 제어 (Singlizer 운전)

제어 기능	내 용	제어내용
센서값	고층부 차압 또는 저층부 차압	4~20mA 입력 신호(차압)에 대한 Range 표시 Range 값은 -50.0 ~ + 50.0 4mA : -50~-5 mmAq (센서 범위) 20mA : +5~+50 mmAq (센서 범위)
목표값	입상 덕트 내의 목표 압력값 고층부와 저층부 중 하나를 선택함	-10 ~ 0 mmAq 를 목표로 함 목표값의 범위는 센서 설정 범위 내에서 한다. 외기(대기압)와 비교하여 입상 덕트 내의 압력의 차이를 설정하는 것임
출력신호	팬 제어 인버터 주파수 목표값	차압에 따라서 출력 신호를 제어하는 기능 0~10VDC
출력 제어	출력 신호 (0~10VDC) 제어	목표값 > 센서값, 출력값 증가 목표값 < 센서값, 출력값 감소 목표값 = 센서값, 현재 출력값 유지 제어값 변화에 대한 응답 시간 및 출력 Ramp Time 은 최적의 제어를 할 수 있도록 조정이 가능하도록 한다.

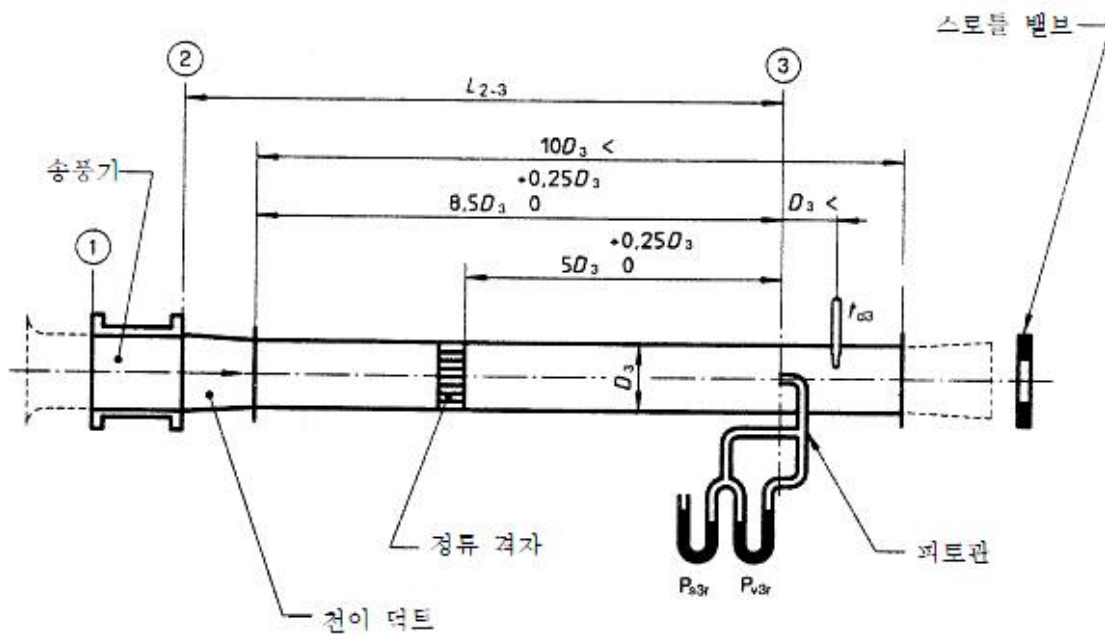
[표 2-7] 차압 + 풍량 제어 (Multilizer 운전)

제어 기능	내 용	제어내용
센서값	고층부 차압 또는 저층부 차압	4~20mA 입력 신호(차압)에 대한 Range 표시 Range 값은 -50.0 ~ + 50.0 4mA : -50~-5 mmAq (센서 범위) 20mA : +5~+50 mmAq (센서 범위)
목표값	입상 덕트 내의 목표 압력값 고층부와 저층부 중 하나를 선택함	-10 ~ 0 mmAq 를 목표로 함 목표값의 범위는 센서 설정 범위 내에서 한다. 외기(대기압)와 비교하여 입상 덕트 내의 압력의 차이 를 설정하는 것임
출력신호	팬 제어 인버터 주파수 목표값	차압에 따라서 출력 신호를 제어하는 기능 0~10VDC
SMVD 설정	Max. 6개 SMVD 입력 신호 설정 가능 사용하는 SMVD를 지명하여 설정	SMVD 신호는 0~10VDC로서 댐퍼의 개도율에 따라 비례한 출력 신호이며 이를 풍량의 값으로 적용한다.
SMVD 가중치	SMVD 풍량 가중치 설정	사용되는 n개의 SMVD 입상덕트 최대 풍량을 100% 로 하여 각 Zone별로 설치된 SMVD의 최대 풍량을 %로 설정한다.
출력 제어	출력 신호 (0~10VDC) 제어	목표값 > 센서값, 출력값 증가 목표값 < 센서값, 출력값 감소 목표값 = 센서값, 현재 출력값 유지 제어값 변화에 대한 응답 시간 및 출력 Ramp Time 은 최적의 제어를 할 수 있도록 조정이 가능하도록 한 다. 전제 조건은 SMVD 합산 풍량의 운전조건이 충족되 게 한다. SMVD 풍량 합산 운전이 선행되도록 한다.

2 PLUG FAN 성능측정 시험장치 설계 및 제작

2.1 개 요

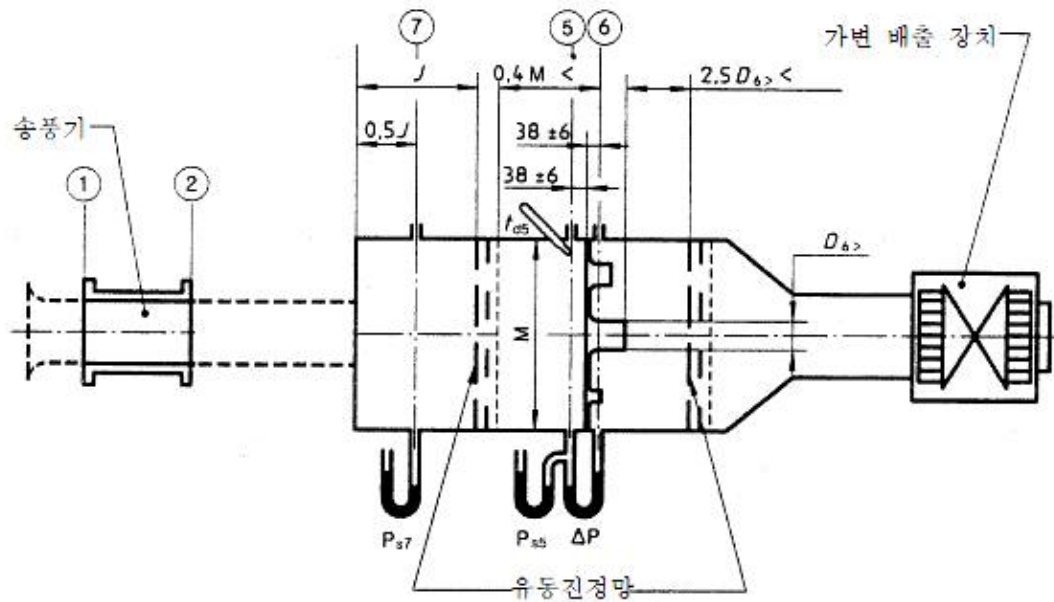
송풍기 성능시험은 시제품 PLUG FAN을 시험할 때 반드시 거쳐야할 과정이다. 본 성능시험을 위한 장비는 보통 국가공인기관에서 수행을 하지만 시간과 비용이 상당히 걸려 동해기연에서도 상기장비를 보유하고 있고 성능평가를 수행하고 있다. 현재 제작하고 있는 장비의 개요는 [그림 2-17]과 같고, KS B 6311에 의거 제작되었다.



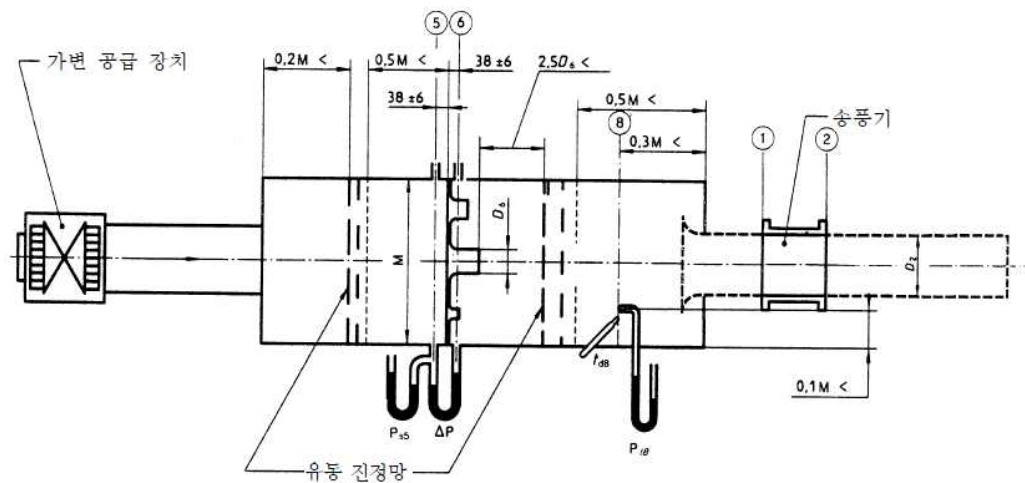
[그림 2-17] 원형 덕트형 풍동시험장치

본 장비는 송풍기 사이즈에 맞는 원형 덕트관 타입이라서 사이즈는 작지만 풍동시험 오차 정도가 약간 높은 편이다. 따라서 시제품 제작과 같은 중요 성능시험은 외부 기관에 맡기는 방법으로 수행해 왔었고, 그로 인해 시간 및 비용면에서 어려움을 겪어왔다.

시제품 성능 시험이 중요한 금번 과제를 수행하는데 있어 풍동시험장치를 새로 제작하기로 하였고, 그에 따라 현재 송풍기 풍동시험장치를 사용 중인 한국시험평가원(경기도 평택)과 현대선기(경기도 김포)를 방문하여 자문을 구하였으며, KS B 6311 규격에 언급되어 있는 송출 정체실 타입 풍동시험장치[그림 2-18]와 흡입 정체실 타입 풍동시험장치[그림 2-19]와 같이 2가지 타입을 고려하였다.



[그림 2-18] 송출 정체실 타입 풍동시험장치

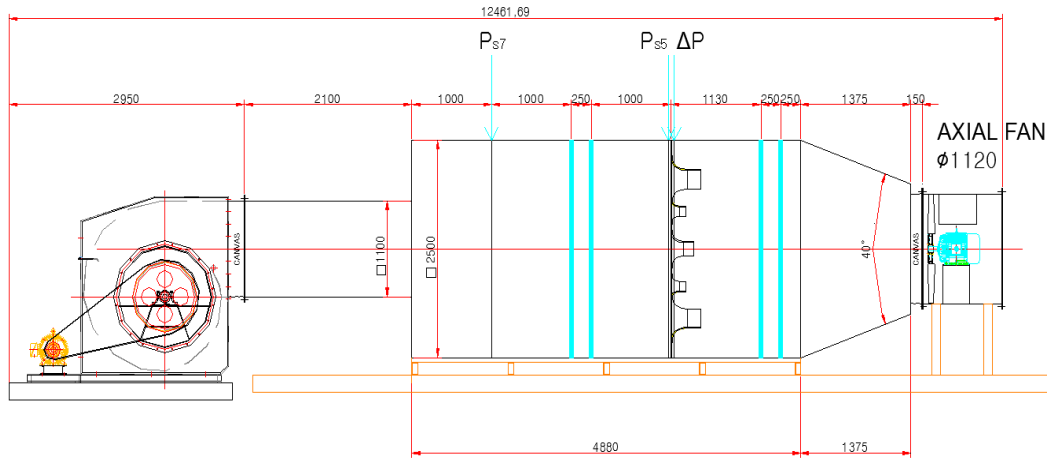


[그림 2-19] 흡입 정체실 타입 풍동시험장치

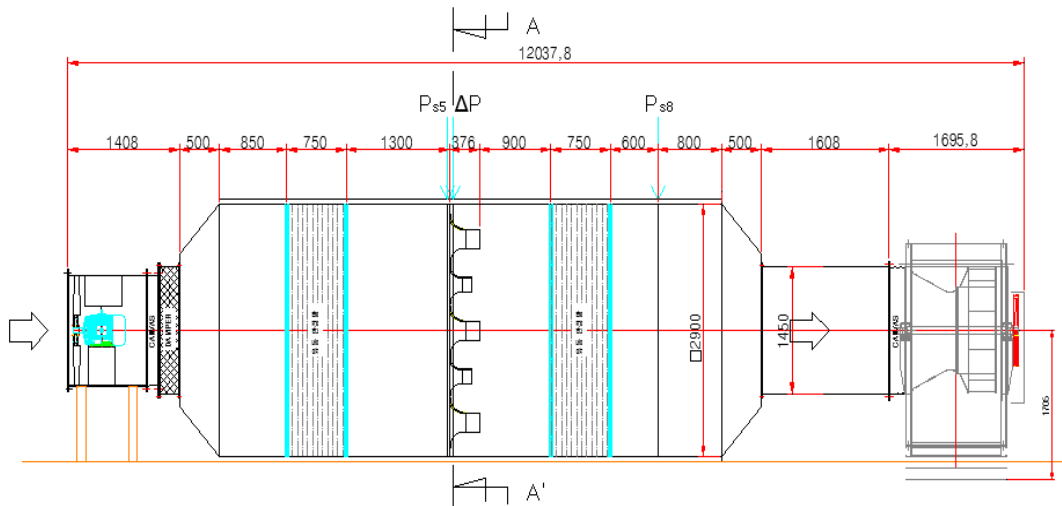
풍동시험장치는 기본적으로 풍량에 따라 사이즈가 결정된다. 한국생산기술연구원의 김봉수 박사 자문을 구한 결과 송출 정체실 타입의 풍동시험장치를 많이 사용하기는 하나 흡입 정체실 타입도 충분히 검토할 만 하다고 하여 흡입 풍동시험 장치에 대해 [표 2-8]과 같이 검토하였다.

[표 2-8] 정체실 타입별 사이즈 및 시험 능력

타 입	정체실 사이즈	장비 총 길이	최대 시험 풍량	비 고
송출 정체실	2.9 m x 2.9 m	약 13 m	36,000CMH	
흡입 정체실	2.9 m x 2.9 m	약 13 m	48,000CMH	



[그림 2-20] 송출 정체실 사이즈



[그림 2-21] 흡입 정체실 사이즈

설치 공간상의 이유로 사이즈를 2.9 m x 2.9 m로 정하고 각각의 풍량을 KS B 6311에 의거하여 검토해 본 결과 길이가 거의 비슷하다는 것을 알 수 있었다.

그러나 최대 시험 풍량에서 차이를 보이고 있는데 이는 송출의 경우 토출 등가 직경의 최소 9배 이상, 흡입의 경우 흡입 등가 직경의 최소 5배 이상이라는 항목이 있기 때문이다. 따라서 흡입 정체실의 경우가 풍량 시험에 좀 더 유리하다고 판단되어 흡입 정체실 타입 풍동시험장

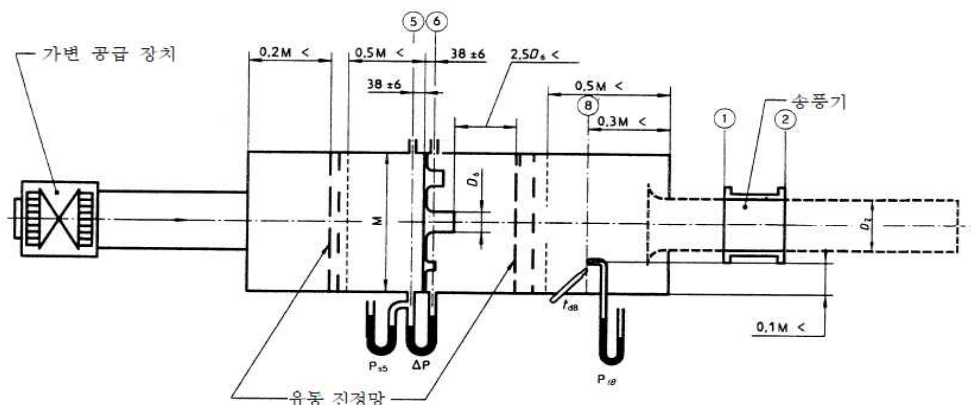
치를 제작하기로 결정하였다.

2.2 설 계

KS규격 KS B 6311에 의거 [표 2-9]와 같은 사양에 맞게 흡입 정체실 타입의 풍동시험장치를 설계하고자 한다.

[표 2-9] 성능시험 사양

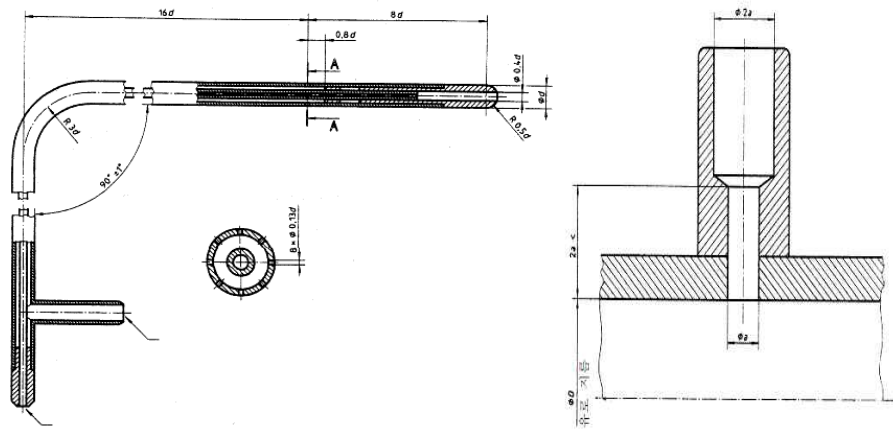
최대성능시험 풍량	48,000 CMH
최 대 시 험 정 압	7,500 Pa
노즐 개수	Φ200 x 9 EA (미국, HOLLAND METAL사)
정체실 사이즈	폭 2.9 m x 높이 2.9 m



유량과 압력 공식

$$\begin{aligned}
 Q_5 &= Y \sqrt{2 \Delta P / \rho_5} \sum (C A_6) & P_v &= P_{v2} \\
 Q &= Q_5 \left(\frac{\rho_5}{\rho} \right) & P_{t1} &= P_{v1} \\
 V_2 &= \left(\frac{Q}{A_2} \right) \left(\frac{\rho}{\rho_2} \right) & P_{t2} &= P_v \\
 P_{v2} &= \left(\frac{V_2}{\sqrt{2}} \right)^2 \rho_2 & P_t &= P_{t2} - P_{t1} \quad P_s = P_t - P_v
 \end{aligned}$$

[그림 2-22] KS B 6311 흡입정체실 풍동시험장치



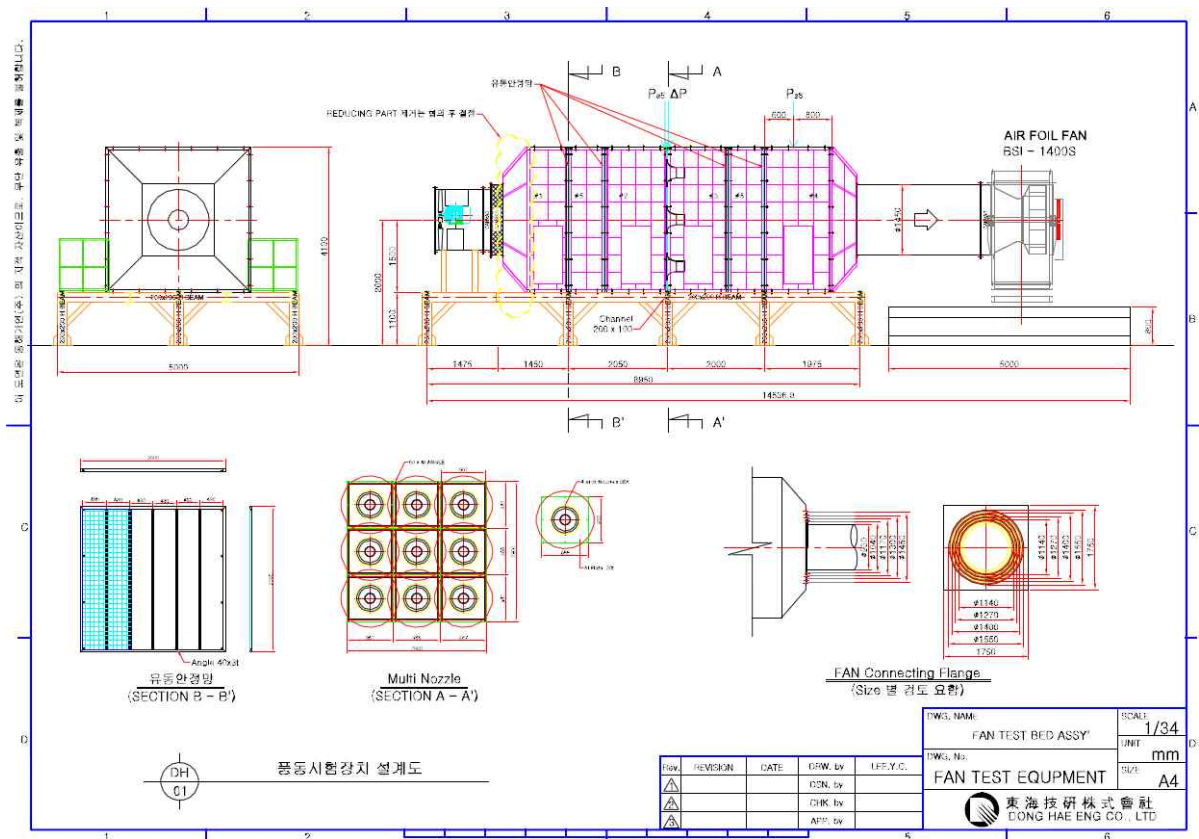
[그림 2-23] KS B 6311 피토관 및 벽면 압력 탭

2.3 구 성

풍동시험장치는 챔버(유동 노즐, 유동진정망, Vane Damper), 차압센서, 압력계, Control System 등으로 구분된다.

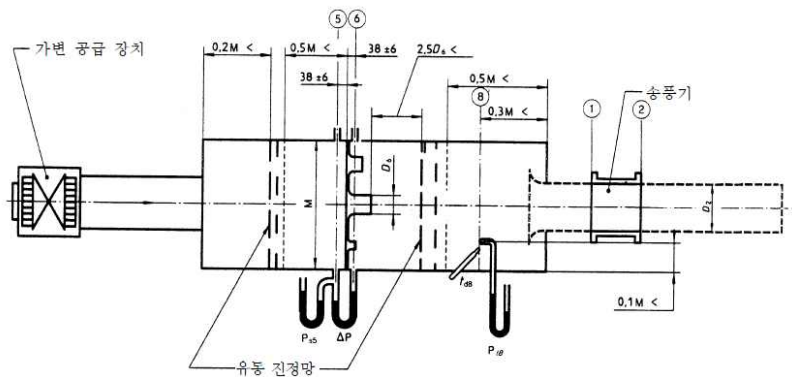
(1) 챔 버

흡입정체실은 KS B 6311에 의거하여 각 사이즈 및 치수를 정리하였고, 그에 따라 [그림 2-24]와 같이 레이아웃을 결정하였다. (별첨 1. FAN 풍동시험장치 레이아웃 참조)



[그림 2-24] 흡입정체실 레이아웃

흡입 정체실의 경우 4개의 블록으로 분할하였다. 이는 유지보수 및 수송을 고려하여 고안했지만 송출 정체실과 호환성이 있어 송출 타입으로의 변경도 대응할 수 있게끔 설계되었다. 역시 KS B 6311에 의거한 결정이다.

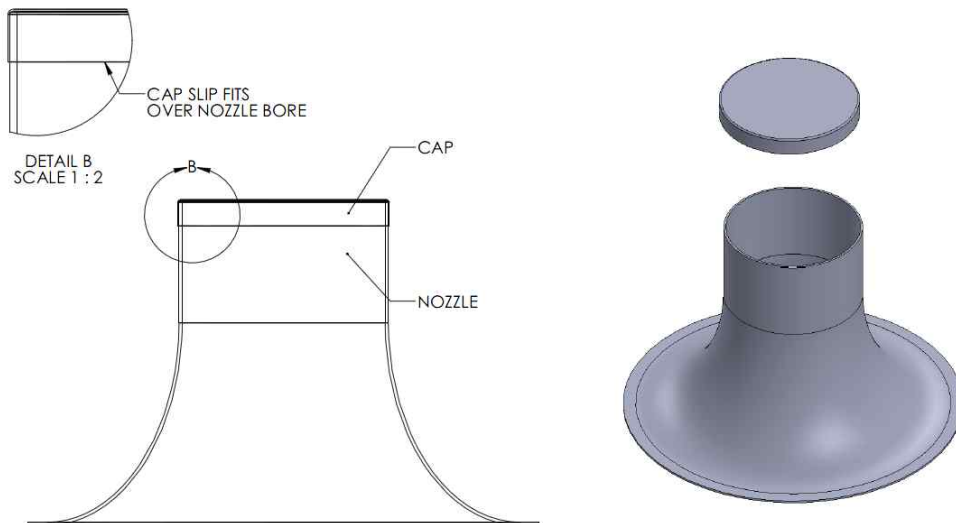


[그림 2-25] 흡입정체실의 비율표

INLET CHAMBERS	#9SS
풍량 CMH	48000
풍량 CMM	800
정압mmAq	350
#9SS 입구 직경 (m)	1.458
토출 면적 m ²	0
송출 정체실 면적(5배)	8.347855707
송출 정체실 한번의 길이	2.9
송출 정체실 안지름 (M)	3.272299585
송풍기 등가지름 (m)	1.458
치수 J (1배)	
0.4 * M	1.31

(2) 유동 노즐

유동 노즐은 풍동시험장치의 중앙 부분에 설치되는 부품으로 유체가 노즐을 통과할 때 생기는 압력차를 측정하여 유량을 계산한다. (FAN 풍동시험장치 정체실 타입 노즐 유량 계산서_흡입 참조)



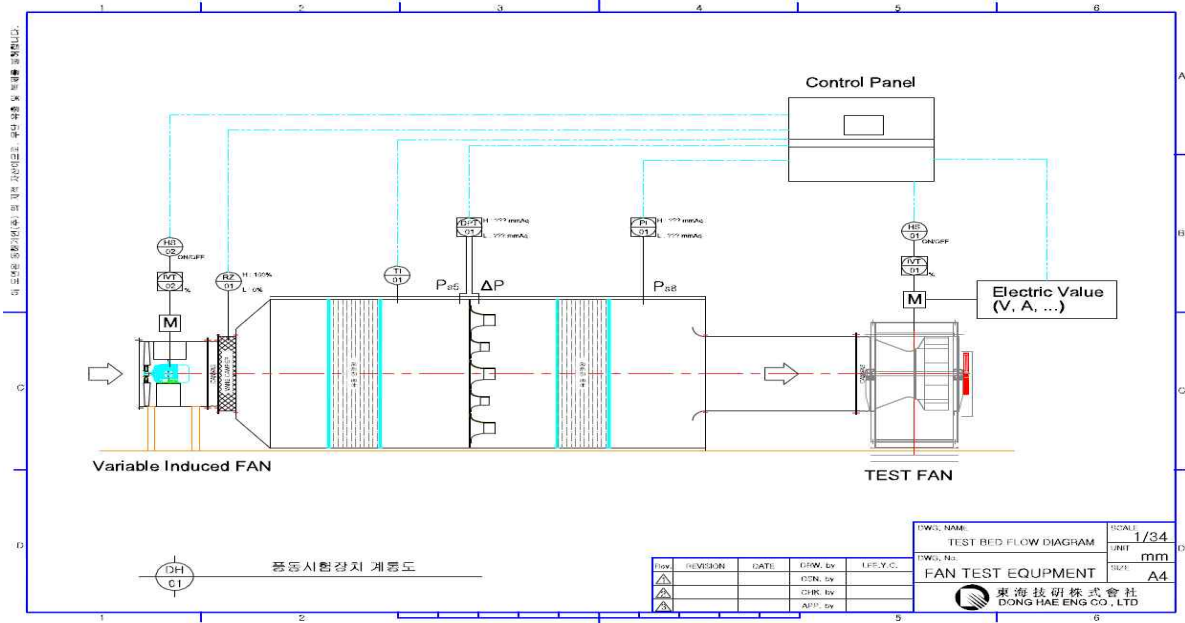
[그림 2-26] 풍동 시험장치 노즐 레이아웃

(3) VANE DAMPER

FAN 반대편에서 풍량 제어를 하기 위해 VANE DAMPER를 두었고, 이 DAMPER를 자동으로 조절하기 위해 포지셔너를 두었다. 포지셔너의 ACTUATOR는 VANE DAMPER의 형상에 의해서 그 토크가 결정되었다. (별첨 3. VANE DAMPER TORQUE 계산서 참조)

(4) 흡입정체실 타입 풍동시험장치 계통

하나의 차압센서와 하나의 압력센서를 장착하여 유동 노즐을 통과하는 유체의 압력을 측정한다. 그리고 인버터를 통해 TEST FAN의 모터 RPM을 조정하여 FAN의 유량 및 정압을 조정하여 풍동시험을 수행한다. 또한 CONTROL PANEL을 두어 각각의 측정값을 표시하고, 조절 장치를 두어 원활하게 풍동시험을 할 수 있도록 구성하였다.

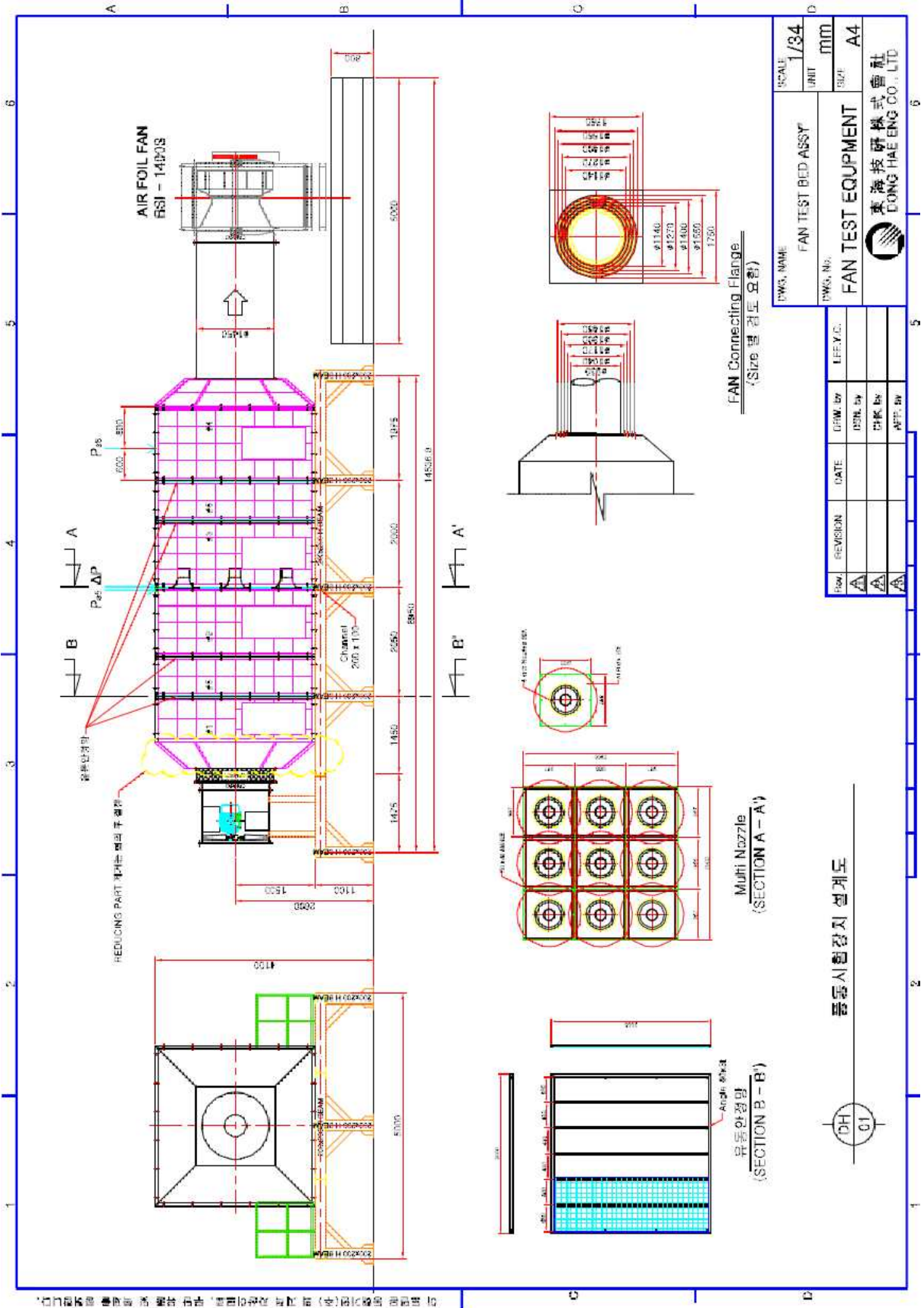


(5) 센서 및 계측장비

정제실에는 유동 노즐 전후단의 차압을 측정하는 차압센서 포트와 송풍기 전단 압력을 측정하는 센서 포트가 있다. 그리고 성능시험을 하는 송풍기의 전압, 전류, 상과 같은 전기적 특성을 측정하는 전력 분석기가 있다.

차압센서	온도 센서
Model 264  - Very low differential or gauge pressure for building energy management - 에너지 관리쪽에 적합한 미차압 센서	Resistance Temperature Sensors  - RTD - 서미스터 - ENVIROSEAL™ HD 센서 - 표면 온도
인디케이터	전력 분석기
MICRA-D (Pulse)  - 회전속도계 + 합산계 (8Digit) - 회전속도계 + 회전방향지시계 - 주파수계 - 카운터(5Digits) + 합산계(8Digits) - 여러가지 모드의 카운터 (Up, Down, Up & Down, Phase) - 크로노미터 (5Digits-4Ranges)	 High Performance and Reliability - Basic Accuracy of 0.1% of Reading - Load Current Measurement Error to 30 micro-Amps - DCI 0.5 Hz to 100 kHz Frequency Range - Standard USB, and GPIB or RS232C interfaces

(별첨 1)



복합 노즐형 정체실 타입 송풍기 시험장치 노즐 계산서(흡입)					
BASIC DATA					
1. 대기압 (Pb)	101325	[Pa]	4. 포화증기압 (Pe)	1203	[Pa]
2. 습구온도 (t _{wo})	10	[°C]	5. 증기의 분압 (P _p)	527.5	[Pa]
3. 건구온도 (t _{do})	20	[°C]	6. 공기 밀도 (ρ ₀)	1.202	[kg/m ³]
NOZZLE DATA					
1. 알파비					
a. ΔP = 1500 Pa $\alpha = \frac{1 - \frac{\Delta P}{P_b}}{1 - \frac{\Delta P}{P_b} + \frac{\rho_x}{\rho_0} \times \frac{R}{287} \times (t_{dc} + 273.15)}$ $= \frac{1 - \frac{1500}{101325}}{1 - \frac{1500}{101325} + \frac{1.202}{1.202} \times \frac{287}{287} \times (20 + 273.15)}$ $= 0.985$					
정체실 근접이므로 x = 5 적용 R = 9.72 [J/kg·K] t _{dc} = 5 ~ 30 [°C] ρ _x = ρ ₀					
b. ΔP = 800 Pa $\alpha = 0.992$					
c. ΔP = 150 Pa $\alpha = 0.999$					
2. 베타비					
$\beta = 0$ (정체실 근접에서는 D _x = D ₃ 로 계산하거나, β = 0 으로 택한다.)					
3. 팽창 계수					
a. Y = $1 - \{ 0.548 + 0.71 \cdot \beta^4 \} \cdot (1 - \alpha)$ $= 0.992$					
b. Y = $1 - \{ 0.548 + 0.71 \cdot \beta^4 \} \cdot (1 - \alpha)$ $= 0.996$					
c. Y = $1 - \{ 0.548 + 0.71 \cdot \beta^4 \} \cdot (1 - \alpha)$ $= 0.999$					
4. 에너지 계수					
$E = 1$ (정체실 근접에서 E = 1, 덕트 근접에서는 E = 1.043)					
5. 레이놀즈 수					
노즐 출구 지름(D ₆)을 100, 150, 200 [mm]로 정하고, 각각의 레이놀즈 수를 구하면 아래와 같다.					
a. D ₆ = 100 [mm] 일 때 $Re = \frac{70900 \cdot D_6 \cdot \sqrt{\{ \frac{\Delta P}{2000} \cdot \frac{\rho_x}{1.202} \}}}{1 - \beta^4}$ $= \frac{70900 \cdot 0.1 \cdot \sqrt{\{ \frac{2000}{2000} \cdot \frac{1.202}{1.202} \}}}{1 - 0}$ $= 347,591 > 12,000$					
b. D ₆ = 150 [mm] 일 때 $Re = \frac{70900 \cdot D_6 \cdot \sqrt{\{ \frac{\Delta P}{2000} \cdot \frac{\rho_x}{1.202} \}}}{1 - \beta^4}$ $= \frac{70900 \cdot 0.15 \cdot \sqrt{\{ \frac{2000}{2000} \cdot \frac{1.202}{1.202} \}}}{1 - 0}$ $= 521,387 > 12,000$					

$$\begin{aligned}
 c. D_6 &= 200 \text{ [mm] 일 때} \\
 Re &= 70900 * D_6 * \sqrt{\left\{ \left(\frac{\Delta P}{\rho \times} \right) / \left(1 - \beta^4 \right) \right\}} \\
 &= 70900 * 0.2 * \sqrt{\left\{ \left(\frac{2000}{1.202} \right) / \left(1 - 0 \right) \right\}} \\
 &= 695,183 > 12,000
 \end{aligned}$$

6. 유량 계수

레이놀즈 수(Re)가 12,000보다 크므로 노즐을 D/L = 0.6 적용한다면 유량 계수는 아래와 같다.

$$\begin{aligned}
 a. D_6 &= 100 \text{ [mm] 일 때} \\
 C &= 0.9986 - \left\{ \frac{7.006}{\sqrt{Re}} \right\} + \left\{ \frac{134.6}{Re} \right\} \\
 &= 0.9986 - \left\{ \frac{7.006}{\sqrt{347,591}} \right\} + \left\{ \frac{134.6}{347,591} \right\} \\
 &= 0.987
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 b. D_6 &= 150 \text{ [mm] 일 때} \\
 C &= 0.9986 - \left\{ \frac{7.006}{\sqrt{Re}} \right\} + \left\{ \frac{134.6}{Re} \right\} \\
 &= 0.9986 - \left\{ \frac{7.006}{\sqrt{521,387}} \right\} + \left\{ \frac{134.6}{521,387} \right\} \\
 &= 0.989
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 c. D_6 &= 200 \text{ [mm] 일 때} \\
 C &= 0.9986 - \left\{ \frac{7.006}{\sqrt{Re}} \right\} + \left\{ \frac{134.6}{Re} \right\} \\
 &= 0.9986 - \left\{ \frac{7.006}{\sqrt{695,183}} \right\} + \left\{ \frac{134.6}{695,183} \right\} \\
 &= 0.990
 \end{aligned}$$

7. 덕트화 노즐의 유량

$$\begin{aligned}
 a. \Delta P &= 1500 \text{ Pa} \quad Y = 0.992 \\
 1) D_6 &= 100 \text{ [mm] 일 때} \quad A_6 = 0.0079 \text{ [m}^2\text{]} \\
 Q &= C * A_6 * Y * \sqrt{\left\{ \frac{2 * \Delta P}{\rho^4} \right\} / \left\{ \frac{1 - E * \beta^4}{1 - 0} \right\}} \\
 &= 0.987 * 0.0079 * 0.992 * \sqrt{\left\{ \frac{2 * 1500}{1.202} \right\}} \\
 &= 0.384 \text{ [CMS]} = 23.05 \text{ [CMM]} = 1383.13 \text{ [CMH]} \quad v = 48.918226 \text{ [m/s]}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 2) D_6 &= 150 \text{ [mm] 일 때} \quad A_6 = 0.0177 \text{ [m}^2\text{]} \\
 Q &= C * A_6 * Y * \sqrt{\left\{ \frac{2 * \Delta P}{\rho^4} \right\} / \left\{ \frac{1 - E * \beta^4}{1 - 0} \right\}} \\
 &= 0.989 * 0.0177 * 0.992 * \sqrt{\left\{ \frac{2 * 1500}{1.202} \right\}} \\
 &= 0.866 \text{ [CMS]} = 51.98 \text{ [CMM]} = 3118.51 \text{ [CMH]} \quad v = 49.019894 \text{ [m/s]}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 3) D_6 &= 200 \text{ [mm] 일 때} \quad A_6 = 0.0314 \text{ [m}^2\text{]} \\
 Q &= C * A_6 * Y * \sqrt{\left\{ \frac{2 * \Delta P}{\rho^4} \right\} / \left\{ \frac{1 - E * \beta^4}{1 - 0} \right\}} \\
 &= 0.990 * 0.0314 * 0.992 * \sqrt{\left\{ \frac{2 * 1500}{1.202} \right\}} \\
 &= 1.542 \text{ [CMS]} = 92.52 \text{ [CMM]} = 5550.94 \text{ [CMH]} \quad v = 49.081116 \text{ [m/s]}
 \end{aligned}$$

b. $\Delta P = 800$ Pa $Y = 0.996$

1) $D_6 = 100$ [mm] 일 때 $A_6 = 0.0079$ [m²]

$$Q = C \cdot A_6 \cdot Y \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta P}{\rho \cdot (1 - \beta^4)}}$$

$$= 0.987 \cdot 0.0079 \cdot 0.996 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 800}{1.202}}$$

$$= 0.282 \text{ [CMS]} = 16.90 \text{ [CMM]} = 1013.96 \text{ [CMH]} \quad v = 35.86147 \text{ [m/s]}$$

2) $D_6 = 150$ [mm] 일 때 $A_6 = 0.0177$ [m²]

$$Q = C \cdot A_6 \cdot Y \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta P}{\rho \cdot (1 - \beta^4)}}$$

$$= 0.989 \cdot 0.0177 \cdot 0.996 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 800}{1.202}}$$

$$= 0.635 \text{ [CMS]} = 38.10 \text{ [CMM]} = 2286.15 \text{ [CMH]} \quad v = 35.936002 \text{ [m/s]}$$

3) $D_6 = 200$ [mm] 일 때 $A_6 = 0.0314$ [m²]

$$Q = C \cdot A_6 \cdot Y \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta P}{\rho \cdot (1 - \beta^4)}}$$

$$= 0.990 \cdot 0.0314 \cdot 0.996 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 800}{1.202}}$$

$$= 1.130 \text{ [CMS]} = 67.82 \text{ [CMM]} = 4069.34 \text{ [CMH]} \quad v = 35.980883 \text{ [m/s]}$$

c. $\Delta P = 150$ Pa $Y = 0.999$

1) $D_6 = 100$ [mm] 일 때 $A_6 = 0.0079$ [m²]

$$Q = C \cdot A_6 \cdot Y \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta P}{\rho \cdot (1 - \beta^4)}}$$

$$= 0.987 \cdot 0.0079 \cdot 0.999 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 150}{1.202}}$$

$$= 0.122 \text{ [CMS]} = 7.34 \text{ [CMM]} = 440.61 \text{ [CMH]} \quad v = 15.583416 \text{ [m/s]}$$

2) $D_6 = 150$ [mm] 일 때 $A_6 = 0.0177$ [m²]

$$Q = C \cdot A_6 \cdot Y \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta P}{\rho \cdot (1 - \beta^4)}}$$

$$= 0.989 \cdot 0.0177 \cdot 0.999 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 150}{1.202}}$$

$$= 0.276 \text{ [CMS]} = 16.56 \text{ [CMM]} = 993.43 \text{ [CMH]} \quad v = 15.615804 \text{ [m/s]}$$

3) $D_6 = 200$ [mm] 일 때 $A_6 = 0.0314$ [m²]

$$Q = C \cdot A_6 \cdot Y \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta P}{\rho \cdot (1 - \beta^4)}}$$

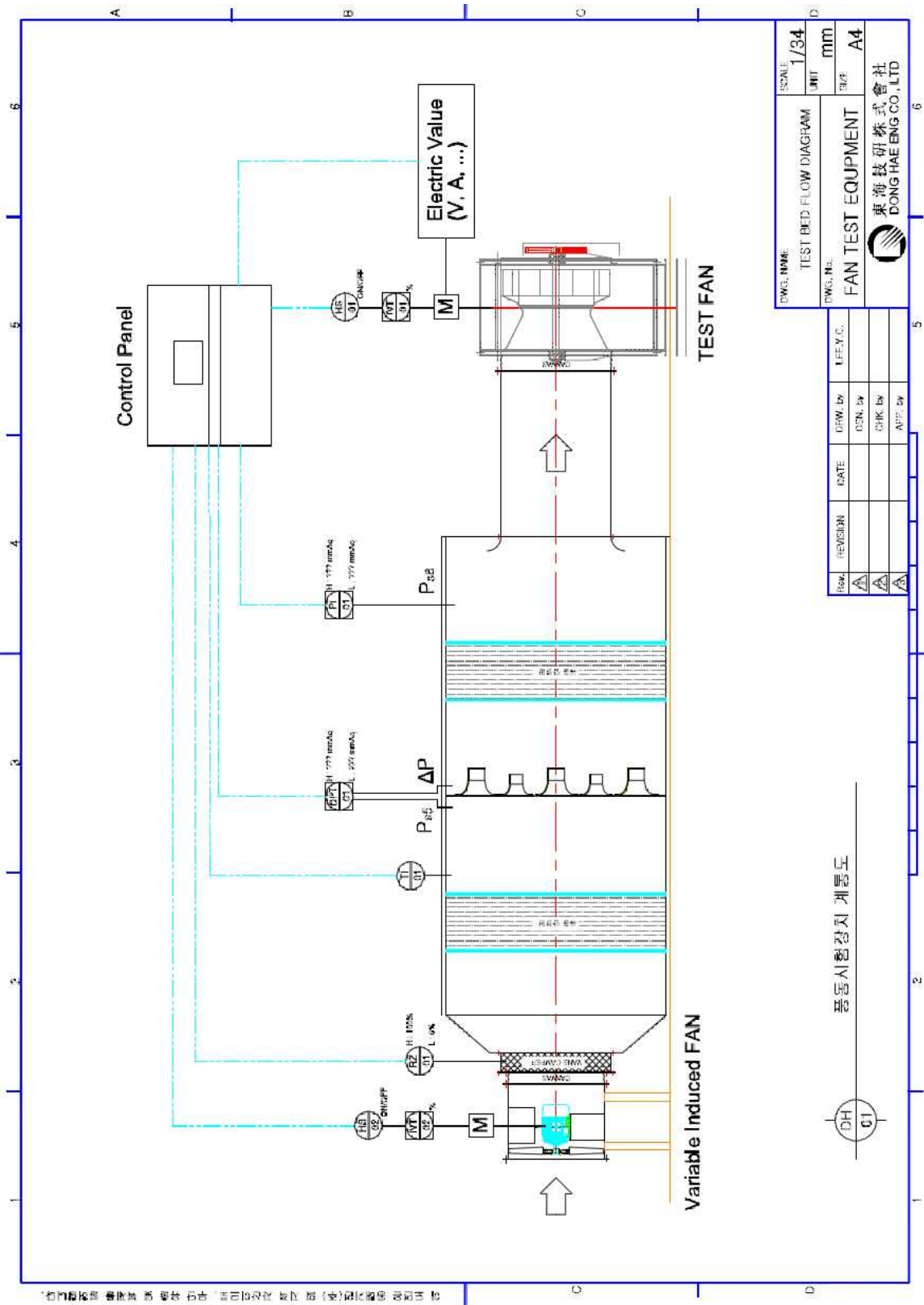
$$= 0.990 \cdot 0.0314 \cdot 0.999 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 150}{1.202}}$$

$$= 0.491 \text{ [CMS]} = 29.47 \text{ [CMM]} = 1768.31 \text{ [CMH]} \quad v = 15.635307 \text{ [m/s]}$$

8. 노즐 수량 계산 및 풍량별 적용 범위 분석

ΔP (Pa)	1500			800			150		
직 경	100	150	200	100	150	200	100	150	200
풍 량 (CMH)	1383.13	3118.51	5550.94	1013.96	2286.15	4069.34	440.61	993.43	1768.31
	1300	3000	5500	1000	2000	4000	400	900	1700
2000						1			1
3000						1			2
4000						1			2
5000						1			3
6000						2			4
7000						2			4
8000						2			5
9000						2			5
10000						3			6
11000						3			7
12000						3			7
13000						3			8
14000						4			8
15000						4			9
16000						4			9
17000			3			4			
18000			3			5			
19000			3			5			
20000			4			5			
21000			4			5			
22000			4			5			
23000			4			6			
24000			4			6			
25000			5			6			
26000			5			7			
27000			5			7			
31000			6			8			
32000			6			8			
33000			6			8			
34000			6			9			
35000			6			9			
36000			7			9			
37000			7			9			
38000			7			9			
39000			7						
40000			7						
41000			7						
42000			8						
43000			8						
44000			8						
45000			8						
46000			9						
47000			9						
48000			9	0	0				
	100	150	200	100	150	200	100	150	200

(별첨 3)



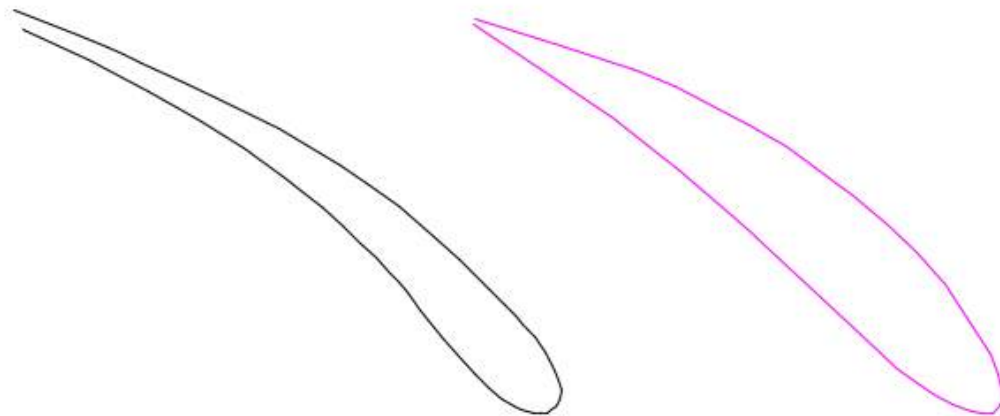
3 PLUG FAN 개발

1차 년도에서 수행한 외산 제품의 테스트 결과, 앞의 [그림 2-1]의 미국 TWIN CITY사 제품의 효율이 가장 높았고, 소음이 적어서 본 설비에 적용하는데 있어 적절함을 확인하였다. 따라서 이 제품의 특성을 분석하고 연구하여 보다 더 나은 제품을 개발하고자 한다.

3.1. 분석

3.1.1 임펠러

PLUG FAN은 크게 임펠러, 모터, 소음기 등으로 구성되어 있다. 임펠러 블레이드는 기본적으로 에어포일 형태를 띤 후곡형(BACKWARD TYPE)으로 되어 있고, 1,180 rpm 내에서 최적의 효율을 갖고 있다. 국내에서 사용되는 블레이드는 이에 비해 상당히 두꺼운 형태를 갖고 있으며, 중심선(CAMBER LINE)의 굴곡 정도가 더 심한 것을 알 수 있다. [그림 2-27]에 블레이드 단면이 나타나 있다.

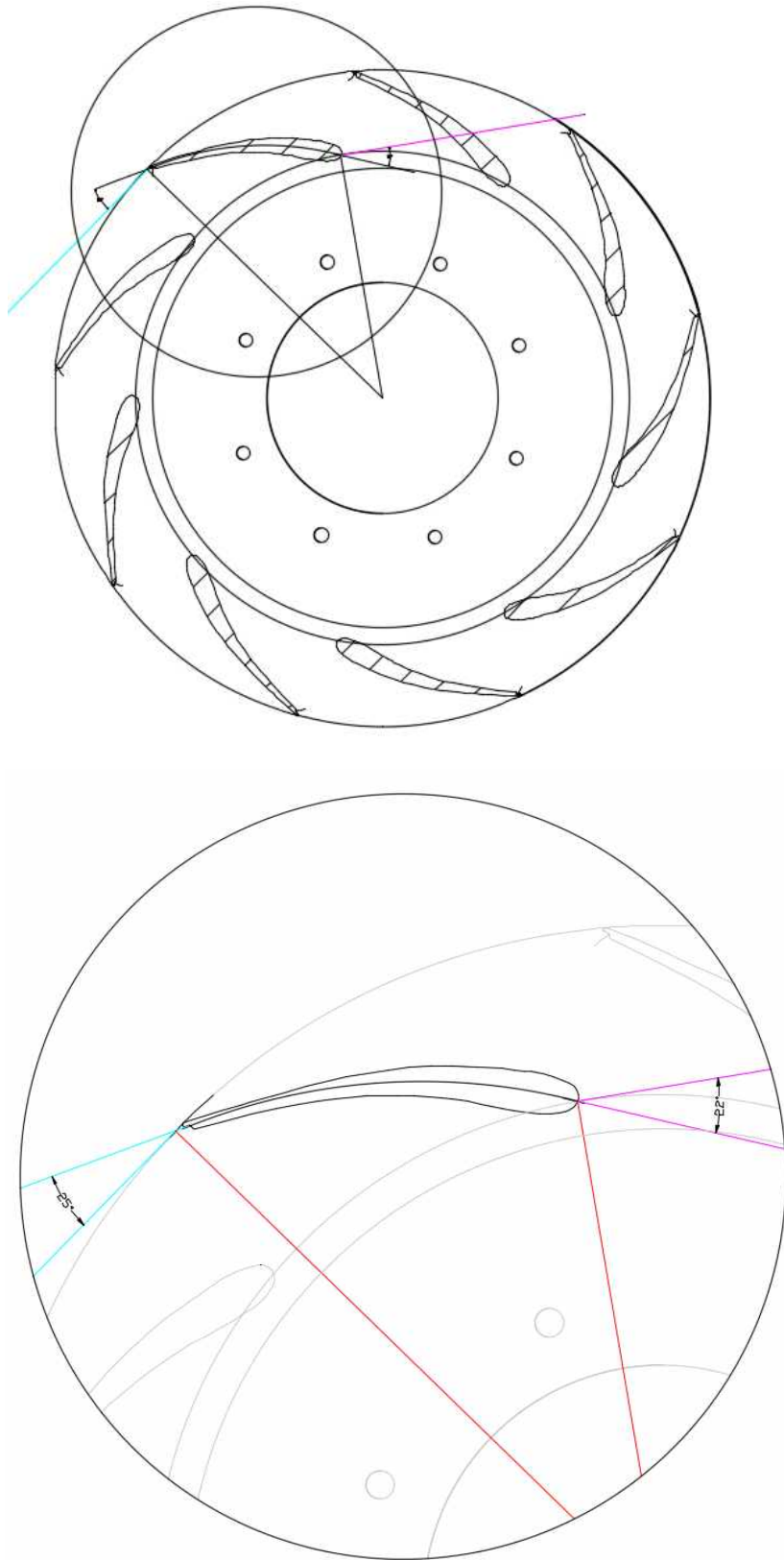


[그림 2-27] 미국 TwinCity사 블레이드 단면(좌), 국내 에어포일 블레이드 단면(우)

익형 블레이드를 사용하는 임펠러는 흡입측 CAMBER 각(β_1)과 토출측 CAMBER 각(β_2)의 각도를 이용하여 풍량을 설계한다. 이는 원심형 FAN의 임펠러 설계시 목표 사양을 맞추기 위해 요구되는 주요 값으로 속도 삼각형을 통해 FAN의 풍량 및 정압을 수치적으로 예측할 수 있다. 우선 TwinCity Plug FAN의 형상을 분석하기 위해 임펠러의 단면을 추출하여 FAN의 β_1 과 β_2 를 각각 구하고, 이를 통해 풍량 및 정압을 수치적으로 예측하고자 한다.

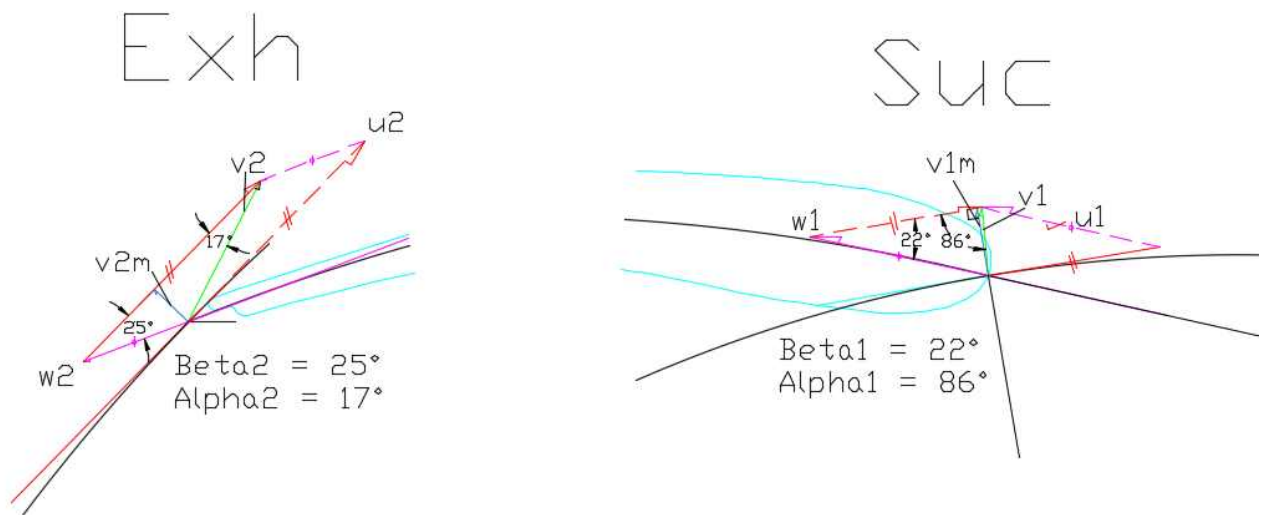
추출된 임펠러 단면 및 블레이드 형상은 [그림 2-28]에서와 같이 나타낼 수 있고, 이 때

각도 β_1 과 β_2 는 각각 22° , 25° 임을 알 있다. 또한 블레이드 수는 9매로 국내용과 같았다.



[그림 2-28] 미국 TwinCity사 임펠러 및 블레이드 형상(β_2)

블레이드의 일정 각도에 의해 풍량이 변함을 직감할 수 있고, 블레이드 캠버라인(Camber Line) 양 끝단에서의 법선 방향으로의 속도를 속도 삼각형에 의해 구할 수 있을 것이다.



[그림 2-29] 미국 TwinCity사 블레이드의 속도 삼각형

앞에서 언급한 β_1 / β_2 각도와 회전속도에 의한 u_1 / u_2 를 이용하여 반경방향으로의 속도인 v_{1m} , v_{2m} 을 구한다. 이 때의 풍량은 200 CMM(m^3/min , Q), 정압은 40 mmAq 이다.

3.2 풍량

3.2.1 회전속도 u_1

임펠러 내경 440 mm (D_0), 회전속도 1170 rpm (N)를 이용하여 u_1 을 구하면

$$= \pi \cdot D_0 \cdot N = \pi \cdot 0.44 \cdot \frac{1170}{60} = 26.76 [m/s]$$

3.2.2 회전속도 u_2

임펠러 외경 630 mm (D_2), 회전속도 1170 rpm (N)를 이용하여 u_2 를 구하면

$$= \pi \cdot r_2 \cdot N = \pi \cdot 0.63 \cdot \frac{1170}{60} = 38.76 [m/s]$$

3.2.3 반경방향으로의 속도 v_{1m} , v_{2m}

[그림 2-29]에서 나와 있듯이 속도 삼각형을 작도하여 V_{1m} , V_{2m} 을 각각 구하면, $v_{1m} = 10.5136 [m/s]$, $v_{2m} = 7.2593 [m/s]$ 를 구할 수 있다. 이는 아래의 수식으로 도 계산이 가능하다. 이 때 날개의 폭(b_1)은 230 [mm]이다.

$$v_{1m} = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{\pi \cdot D_0 \cdot b_1} = \frac{200/60}{\pi \cdot 0.44 \cdot 0.23} = 10.48 [m/s]$$

$$v_{2m} = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{\pi \cdot D_1 \cdot b_1} = \frac{200/60}{\pi \cdot 0.63 \cdot 0.23} = 7.32 [m/s]$$

상기 결과를 정리하여 아래의 [표 2-10]과 같이 정리할 수 있다.

[표 2-10] 속도삼각형 및 수식에 의한 속도 비교

	속도 삼각형	수식	오차
v_{1m}	10.5136	10.48	0.0336
v_{2m}	7.2593	7.32	-0.0607

따라서, 오차 0.0336, -0.0607은 계산상 나타나는 오차범위 속에 충분히 들어갈 수 있음을 판단할 수 있고, 속도 삼각형에 의해 구해진 v_{1m} , v_{2m} 의 값은 목표 풍량 200 CMM을 만족하고 있음을 알 수 있다.

풍량을 결정하는데 있어 PLUG FAN 임펠러 블레이드의 주요 설계 변수는 각도(β_1 과 β_2) 및 임펠러 폭, 임펠러 내경/외경이다.

3.3 정압

정압은 FAN의 주요 사양 중 하나로 압력 계수에 의해서 설계된다. 압력 계수를 통해 비속도(N_s) 및 회전속도(u_2)를 구하여 임펠러의 외경 예측할 수 있다.

3.3.1 압력 계수(Φ)

압력 계수는 압력비(ϵ_p)를 통해 구할 수 있고, 압력비는 FAN의 사양지점인 정압에 의해서 구할 수 있다. 본 장비의 목표 정압은 40 mmAq이고, 동압(정압 x 15%)을 고려하여 압력(PS)를 46 mmAq로 정의할 수 있다. 따라서 압력비는 아래와 같다.

$$= 1 + \frac{S}{10330} = 1 + \frac{46}{10330} = 1.004453$$

압력비(ϵ_p)로 아래와 같이 압력 계수를 구할 수 있다.

$$\Phi = \epsilon_p^{0.286} - 1 = 0.001272$$

3.3.2 비속도(N_s) 및 회전속도(u_2)

비속도를 구하기 위해 압력수두(H)가 요구된다. 따라서 압력수두는 다음과 같다.

$$H = \Phi \times \frac{10330}{0.286} \times 1.2 = 0.001272 \times \frac{10330}{0.286} \times 1.2 = 38.27 [m]$$

따라서 비속도(N_s)는 아래와 같이 구할 수 있다. 이 때 풍량은 222 CMM(200 CMM ÷ 0.9), 회전수(N)은 1175 rpm이다.

$$N = N \times \frac{Q}{H^{3/4}} = 1175 \times \sqrt[4]{\frac{222}{38.27^{3/4}}} = 1138.32$$

FAN의 회전속도(u_2)는 비속도(N_s)는 에 의해 아래와 같은 식으로 구할 수 있다. 이 때 K_{u2} 값은 1.38로 한다.

$$= u_2 \times 2gh = 1.38 \times \sqrt{2} \times 9.807 \times 38.27 = 37.80 [m/s]$$

계산된 회전속도(u_2)의 값은 37.8 m/s이고, 이 값은 2.1.1.2항의 u_2 (38.76 m/s)와 거의 비슷함을 알 수 있다.

따라서, 유량과 마찬가지로 정압도 사양에 맞는 임펠러임을 수식으로 증명하였다.

3.4 CFD 검토

3.4.1 CFD TOOL

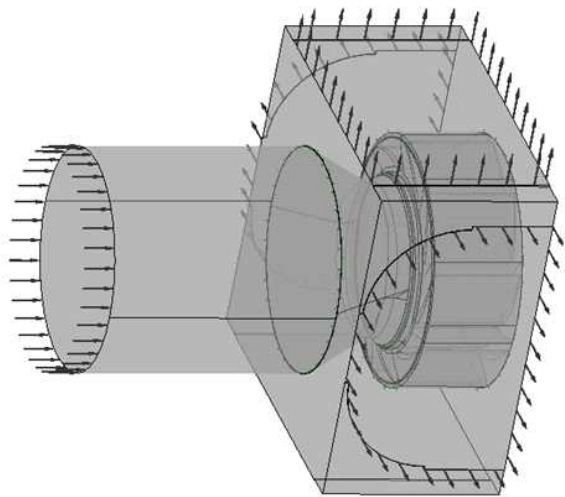
- 터보기계 해석에 많이 사용하고 있는 상용 software 인 CFX 16.1 사용
- 정상 3차원 점성 레이놀즈 평균 Navier-Stokes Equation solver
- 난류모델 - Shear Stress Transport 모델 사용
- 작동유체 : 공기

3.4.2 CFD 계산 방법

- 계산영역 설정

CFD 계산영역의 입구는 원심팬 입구노즐에서 상류로 지름의 1배 길이 위치, 출구는 원심팬 지지대 위치로 정하였다.

1차 계산 결과 출구면의 유동이 복잡하여 출구 경계조건의 불확실성으로 출구면의 위치를 더 하류로 옮겨 계산을 수행하려고 한다.



[그림 2-30] 유동 영역 및 경계 조건

- 경계 조건

a. 유동영역 분할

입구 유동영역 : 절대좌표계

임펠러 유동영역 : 상대좌표계 (회전속도 1184 rpm)

출구 유동영역 : 절대좌표계

b. 입구 경계조건

mass flow rate 기술

유동은 입구면에 수직하게 들어옴.

c. 출구 경계조건

Outlet : Static pressure, 1atm

d. 벽면경계조건

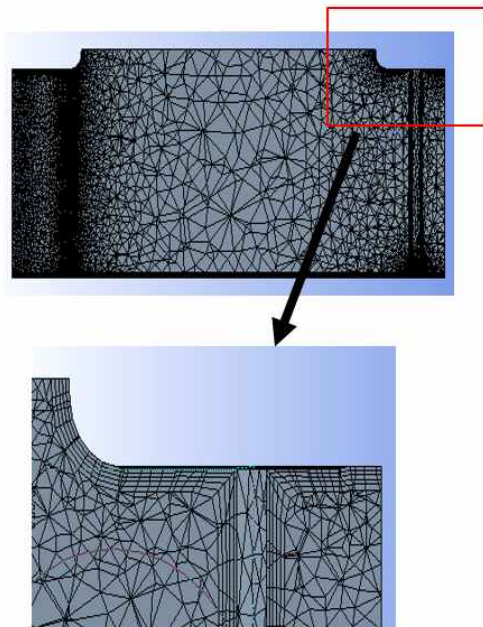
No slip condition

e. 입구 유동영역과 임펠러 유동영역 및 출구유동 영역 사이의 경계면

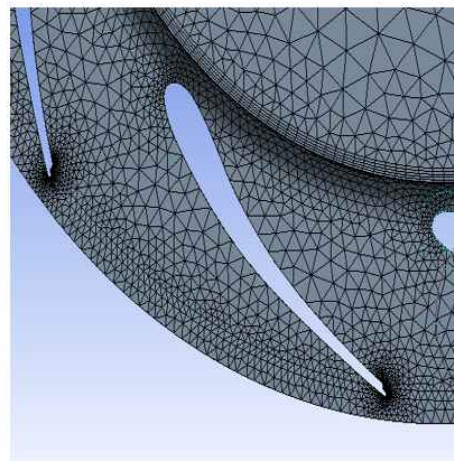
입구와 임펠러 경계면 : Frozen mixing

임펠러와 출구면 : Stage mixing

- 총 격자수 : 약 100 만개 ~ 500 만개



임펠러 입구영역 부분의 격자

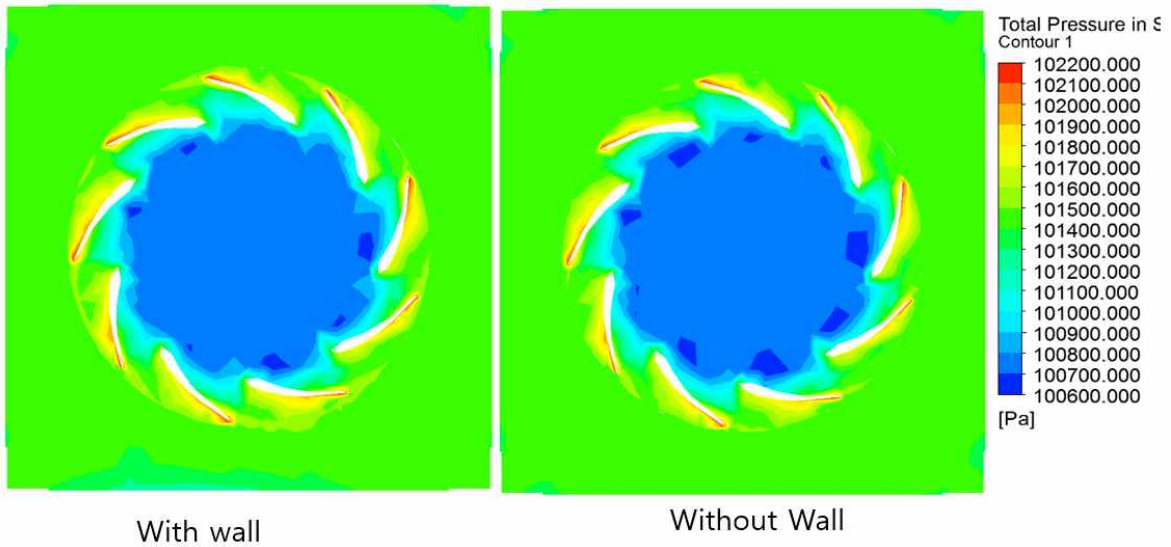


임펠러 날개 부분의 격자

[그림 2-31] 유동 영역 격자 형상

임펠러 날개 중간 스펀 면에서 전압 contour

9

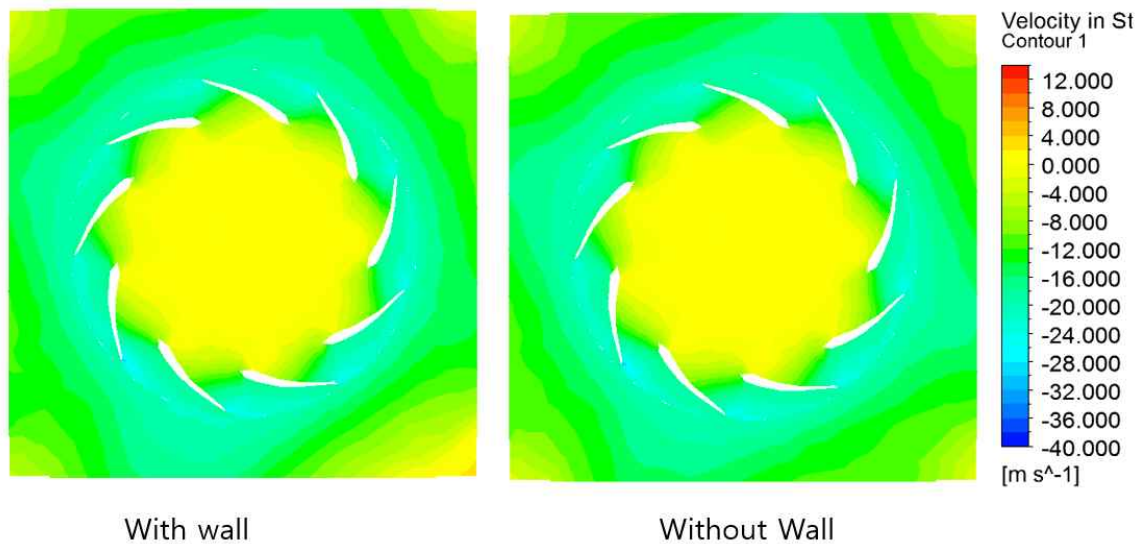


[그림 2-32] Total Pressure Contour

유동이 회전하는 임펠러를 통과하면서 에너지를 얻어 전압(total pressure)이 상승함을 볼 수 있다. 이 운전조건 ($Q=144 \text{ CMM}$) 에서 벽면의 효과는 그렇게 크지 않지만 성능곡선에서 보듯이 고유량으로 갈수록 차이가 크게 나타날 것이다.

임펠러 날개 중간 스펀 면에서 원주방향 속도 Contour

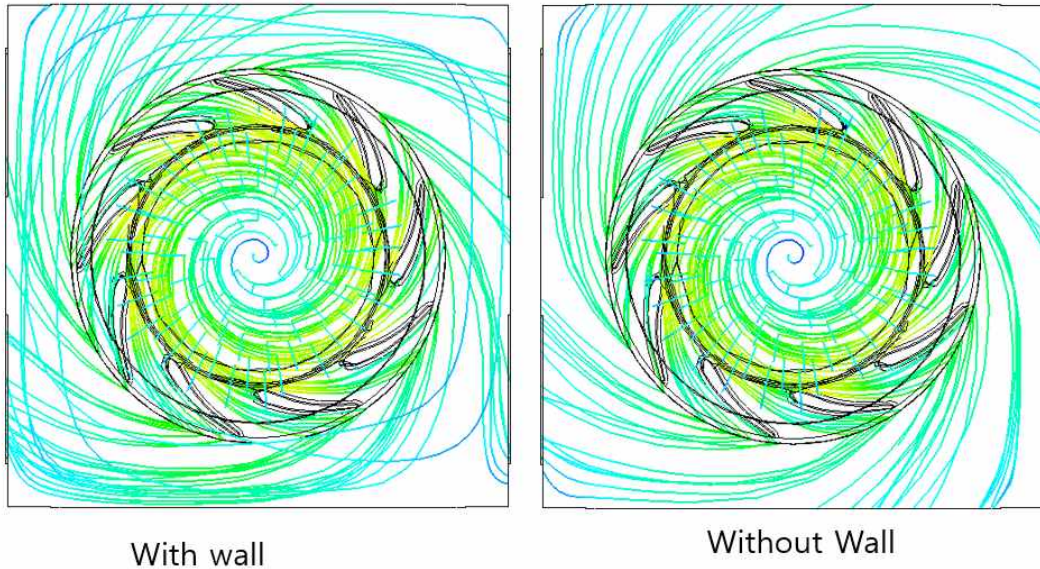
10



[그림 2-33] Radial Velocity Contour

전압 상승은 원심 펌프의 입구와 출구에서의 원주방향 속도 변화와 회전속도에 의한 것이다. 수치계산 결과로부터 유동은 입구 원주방향 속도 0 으로부터 회전방향으로 출구 원주 방향 속도 20m/s 정도로 변하고 있다.

임펠러 날개 중간 스펀 면에서 유선(Streamline)

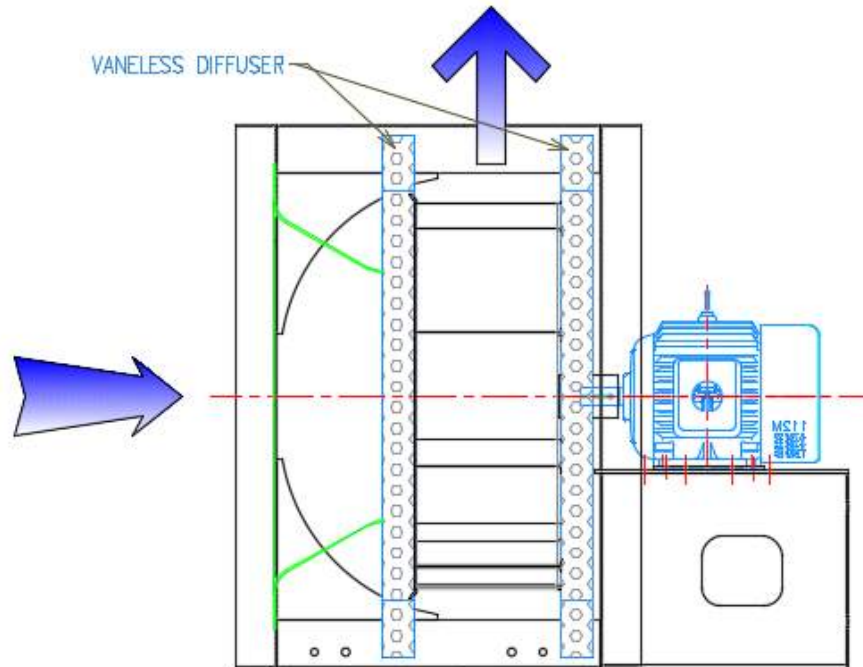


[그림 2-34] Streamline

유선(streamline)을 보면 임펠러 출구에서 회전하는 유동은 땅으로 막혀 있는 아랫면으로 유선이 통과하지 못하고, 열려있는 경우에는 구멍을 통해 나가고 있음을 볼 수 있다.

3.5 VANELESS DIFFUSER

PLUG FAN 토출 부분에 방음 역할을 하는 VANELESS DIFFUSER는 임펠러 날개 앞뒷면에 붙어 있다. VANELESS DIFFUSER는 날개 사이를 통과한 고속의 유체를 일정한 공간을 두어 순간적인 확산을 지연시키는 역할을 한다. 이때 유속이 일정량 줄어들게 되는데 이는 압력 손실을 줄여주어 FAN 효율을 높여줄 것이다.



[그림 2-35] VANELESS DIFFUSER를 통한 유체 흐름

3.5.1 분석 결과

연돌 저감 설비의 FAN 중 효율이 높은 미국 TwinCity사의 PLUG FAN을 분석한 결과 [표 2-11]과 같이 개발 방향을 잡을 수 있다.

[표 2-11] 개발 주요 인자

부 품	개발 주요 인자	물성치
임펠러	1. 임펠러 블레이드의 각도 조절 2. 임펠러 폭 조절 3. 임펠러 외경 조절	풍량 및 정압
Vaneless Diffuser	1. Diffuser 간격 2. Diffuser 형상	효율

임펠러의 경우 FAN의 성능을 결정짓는 주요 부속품으로 회전속도(u_2)의 지배를 받고 있다고 판단할 수 있었다. 보통 경제적인 여건에 의해 FAN의 직경 및 폭이 정해지고, 모터의 사양 및 소음에 의해 FAN의 회전수가 정해지므로 임펠러 블레이드의 형상 및 각도로 개발 방향을 잡을 수 있다.

VANELESS DIFFUSER는 추가되는 악세서리 부품으로 효율을 증대시킬 수 있는 요소로 연돌 저감 설비 특성 상 저소음의 성능을 고려할 때 상당히 유용한 방법으로 판단할 수 있다.

3.5.1.1 개발 방향 수립

전년도 수행한 1차 테스트 결과에 의해 TwinCity 상의 PLUG FAN이 성능이 우수함을 입증하였고, 주요 설계 변수로 개발 방향을 수립하고자 한다.

3.5.1.2 임펠러 블레이드 각도 변경

임펠러의 주요 설계 변수는 토출측 각도(β_2)에 의해 결정됨을 알 수 있었다. 따라서 기본 25° 에서 4° 씩 증가된 29° , 33° 로 할 경우에 대해서 검증을 할 필요가 있다고 판단된다. 기본 사양이 [표 2-12]과 같은 FAN에 대해서 다음과 같이 수치적으로 검증을 할 수 있다.

[표 2-12] PLUG FAN 사양표

유 량	: 200 CMM
정 압	: 40 mmAq
회 전 수	: 1175 rpm
임펠러 직경	: 630 mm
β_2	: 25°

앞서 수행된 2.1.1항에 의해 각각의 β_2 에 의해 v_{1m} , v_{2m} , 풍량(Q)를 [표 2-13]와 같이 구할 수 있다.

[표 2-13] β_2 의 변경에 따른 유량의 변화량 비교표

	외경 mm	β_2 deg	β_1 deg	v_{2r} m/s	v_{1r} m/s	Q CMM
기본 모델	630	25	22	7.26	10.51	200
4도 증가	648	29	26	8.33	12.3	235.99
8도 증가	666	33	30	9.36	14.03	272.47

β_2 의 증가로 인해 풍량은 일정하게 증가되는 것을 볼 수 있었다. 다만 외경도 같이 늘어나게 되는데 이를 630mm로 일정하게 조치할 경우 풍량이 감소될 수 있을 것이다. 다만 경향을 판단한다면 β_2 가 증가될수록 풍량이 늘어나는 것을 확인할 수 있다.

3.5.1.3 기타 부속품

앞서 언급을 했던 VANELESS DIFFUSER 외에 INLET/OUTLET GUIDE VANE 등을 이용하여 효율 증가를 검토할 수 있다. 또한 PLUG FAN 특성상 바닥에 설치하므로 바닥면에 대한 반사 효과를 무시할 수 없을 것이다. 따라서 이를 방지하기 위해 하부에 원심형 FAN에서 사용되는 Cut off 및 Involute를 적용할 경우에 대해서도 검토할 수 있다. 이를 정리하면 [표 2-14]으로 정리할 수 있다.

[표 2-14] 효율을 증가시키기 위한 추가 부착품

No.	부속품 명칭	비 고
1	VANELESS DIFFUSER	
2	INLET GUIDE VANE	
3	OUTLET GUIDE VANE	
4	CUT OFF & INVOLUTE	

3.6 성능 시험

3.6.1 DH PLUG FAN 630 시제품

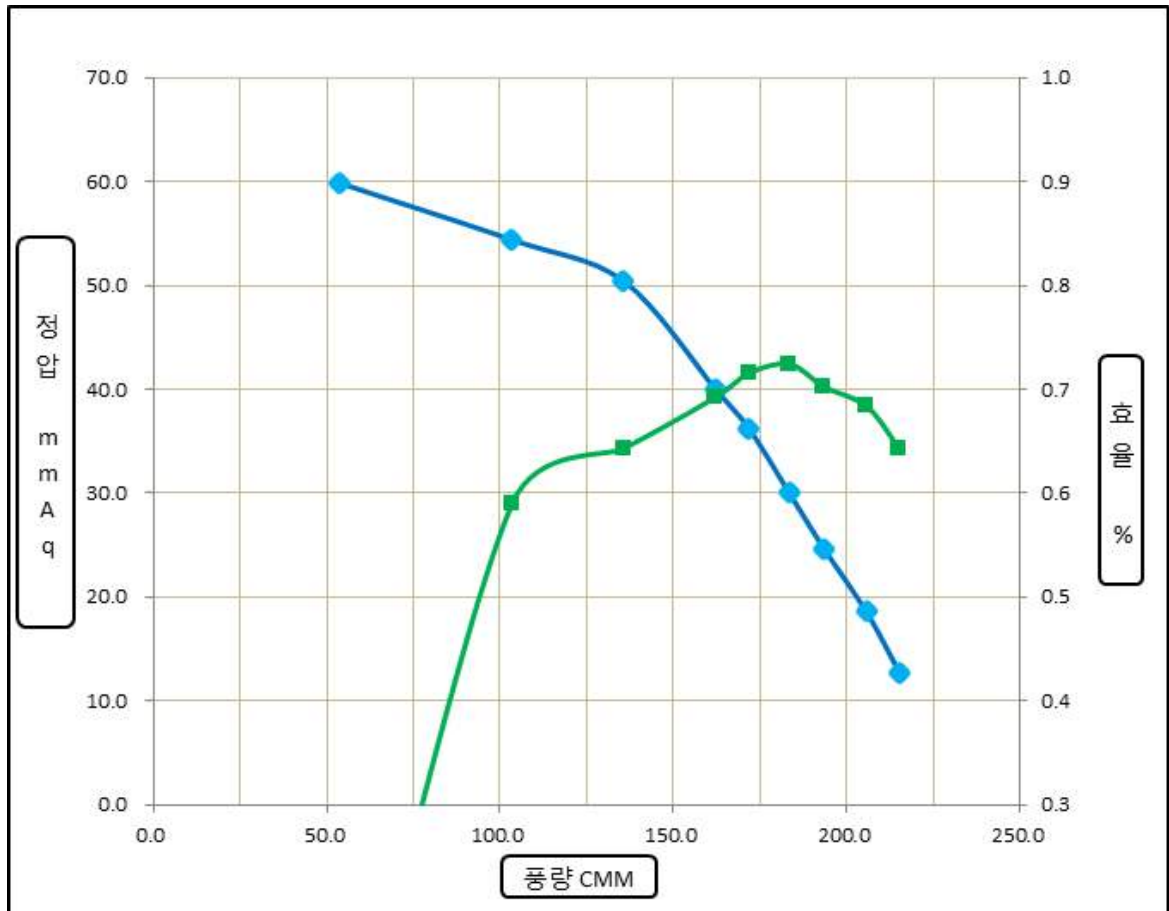
미국 TwinCity FAN을 토대로 제작한 시제품의 1차 성능시험에서의 결과 약 58% 정도의 효율을 나타내었다. 원제품의 효율이 약 68% 였던 것에 비해 상당히 낮았는데 이는 원통형 덕트 타입 풍동 시험 장치에서 시험하였던 결과이다. 그러나 PLUG FAN 특성상 입구 형태에 따라 효율 차이를 보일 것이리라 판단되어 [그림 4-1]과 같이 흡입 정체실 타입의 풍동 시험 장치를 도입하였고, 이를 흡입정체실 타입 풍동 시험 장치에서 재측정을 하였다.



[그림 2-36] 흡입정체실 타입 풍동시험장치

시험 조건은 원제품과의 같은 조건으로 기본 PLUG FAN 형상으로 하였다. 풍동시험 결과 전체적인 효율은 약 72%로 상승하였으나 풍량 정압이 떨어지는 것을 확인할 수 있다. ([그림 2-33] 참조)

정압 40 [mmAq]일 때 풍량이 약 160 [CMM](원제품은 200 [CMM])이었고, 풍량 200 [CMM]일 때 정압이 약 20 [mmAq]를 나타내었다. 다만 동력은 1.53 [kW], 1.2 [kW]를 각각 나타내어 원제품인 1.92 [kW]보다 적었다.(표 2-15) 참조)



[그림 2-37] DH PLUG FAN 630 Series 성능곡선

[표 2-15] DH PLUG FAN 630 Series 테스트 결과

	Pt	Ps(정압)	Q(풍량)	H	nt(효율)	N
No.	mmAq	mmAq	m ³ /min	W	0.000	rpm
1	60.1	59.8	53.5	890.8	0.590	1180.0
2	55.2	54.4	103.4	1452.3	0.643	1180.0
3	51.9	50.4	135.5	1660.3	0.692	1180.0
4	42.2	40.0	162.1	1541.6	0.715	1180.0
5	38.7	36.2	171.7	1498.5	0.724	1180.0
6	32.8	30.0	183.4	1382.2	0.702	1180.0
7	27.7	24.7	193.4	1282.6	0.683	1180.0
8	22.0	18.6	205.7	1152.8	0.642	1180.0
9	16.5	12.7	215.1	1021.4	0.569	1180.0

DH PLUG FAN 630 시제품의 성능이 원제품에 비해 떨어지는 이유는 에어포일 날개의 형상이 비슷하긴 하지만 완전히 같이 않았고, 제작시 설치 각도(β_2)에 약간 오차가 생겼을 것이라 판단된다.

3.6.2 테스트

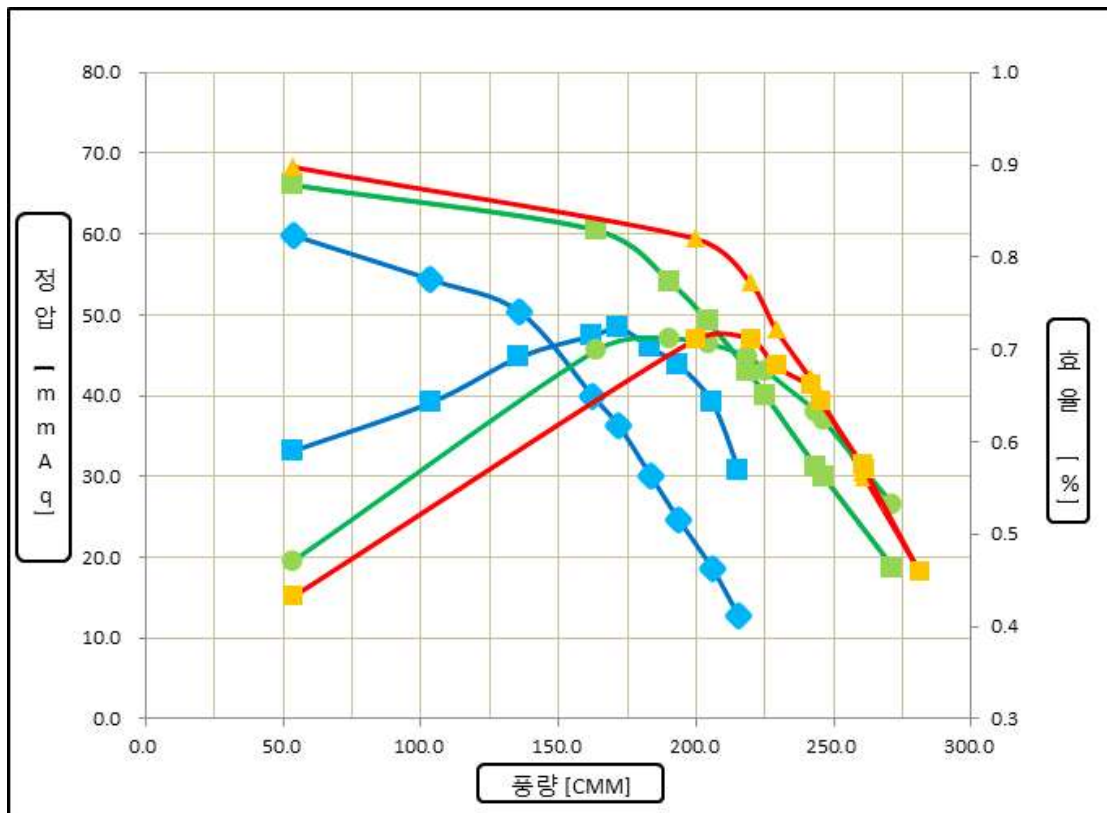
원제품의 임펠라에 대한 분석을 통해 익형 및 설치 각도, 또한 Vaneless diffuser와 같은 악세사리에 대해 각각 경우의 수를 두어 [표 2-16]와 같이 테스트를 수행하였다.

[표 2-16] 경우의 수에 따른 시험 조건

경우의 수	조 건	액세서리
CASE 01	임펠러 블레이드 각도 기본, 4°, 8° 변경	없음
CASE 02	임펠러 블레이드 각도 기본, 4°, 8° 변경	소음기
CASE 03	임펠러 블레이드 각도 기본, 8° 변경	소음기, 바닥컷오프
CASE 04	임펠러 블레이드 각도 기본, 4°, 8° 변경	소음기, 토출가이드

3.6.2.1 CASE 01 - 임펠러 블레이드 각도 기본, 4°, 8° 변경

임펠러 블레이드의 β_2 가 25°인 것을 29°, 33°로 증가하여 각각 테스트 하였다.



[그림 2-38] CASE 01 - 블레이드 각도 변화에 따른 테스트 결과
 ※ ■■■■ : 기본 각도, ■■■■ : 4° 증가, ■■■■ : 8° 증가

a) 최고 효율 지점에서의 물성치

물성치	기본 각도	4° 증가	8° 증가
사양 풍량 (CMM)	171.7	190.2	219.6
사양 정압 (mmAq)	36.2	54.1	54.1
효 율 (%)	72.4	71.1	71.2
동 력 (w)	1498.5	2488.4	2912.9

b) 사양지점에서의 물성치

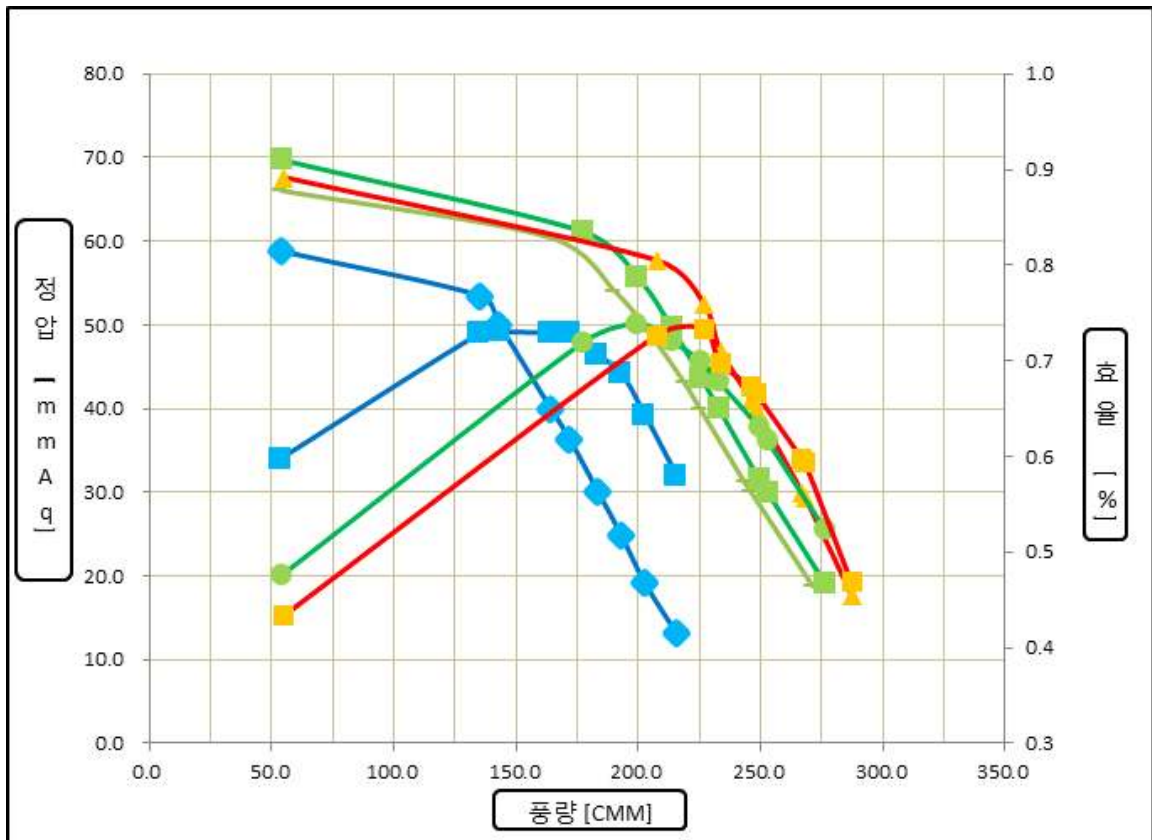
물성치	기본 각도	4° 증가	8° 증가
사양 풍량 (CMM)	162.1	225.2	254.1
사양 정압 (mmAq)	40.0	40.0	40.0
효 율 (%)	71.5	67.7	64.5
동 력 (w)	1541.6	2375.4	2757

각도를 점차 높이면 풍량이 일정하게 늘어나는 것을 확인할 수 있었다. 그리고 최고 효율 지점에서의 효율은 거의 차이가 없음을 확인할 수 있는데 풍량 증가로 인해 동력 사용량이 일정하게 높아지는 것을 확인할 수 있었다.

정압이 40 [mmAq]로 일정한 사양지점에서의 시험 결과 값을 보면 풍량이 최고효율지점에서 만큼의 증가를 보이지 않고 있다. 또한 효율도 상당히 떨어지는 것을 보이고 있는데 이는 FAN의 사용 범위가 줄어들었다고 설명할 수 있다. 블레이드의 각도 증가는 풍량 증가에 영향을 상당히 끼치지만 임펠러 회전에 따른 저항이 커져 동력이 그만큼 증가고 있음을 알 수 있다.

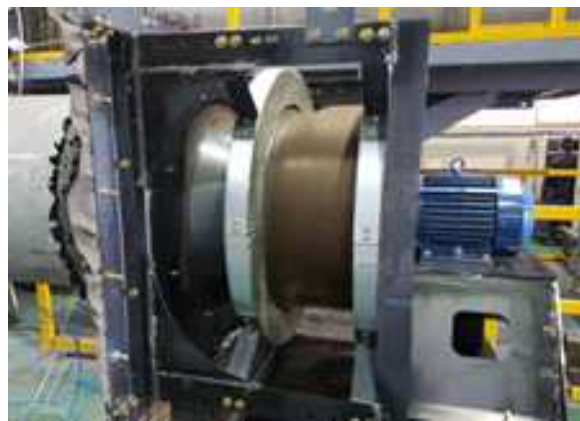
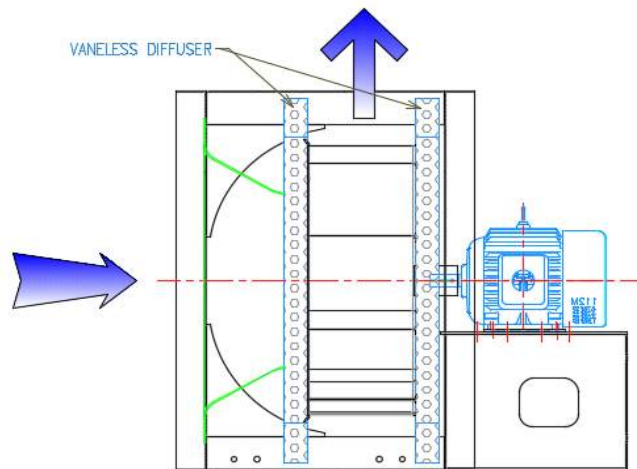
1.3.4.2.2 CASE 02 - 임펠러 블레이드 각도 기본, 4°, 8° 변경, 소음기 부착

소음기를 부착한 상태에서 임펠러 블레이드의 β_2 가 25°인 것을 29°, 33° 로 증가하여 각각 테스트 하였다. 소음기의 형태는 Vaneless Diffuser 형태를 갖고 있는데, 소음기는 임펠러를 유체가 떠나는 순간 확산되는 것을 연기시켜 FAN의 정압 손실을 최대한 줄여주므로 송풍기의 성능을 향상시키는 것을 확인하였다.



[그림 2-39] CASE 02 - 블레이드 각도 변화에 따른 테스트 결과(소음기 부착)

※ ■■■■ : 기본 각도, ■■■■ : 4° 증가, ■■■■ : 8° 증가



[그림 2-40] CASE 02 - 소음기 부착 형상

a) 최고 효율 지점에서의 물성치

물성치	기본 각도	4° 증가	8° 증가
사양 풍량 (CMM)	142.6	199.5	226.9
사양 정압 (mmAq)	50.1	55.8	52.4
효 율 (%)	73.1	73.8	73.4
동 력 (w)	1648.9	2600.2	2835

b) 사양지점에서의 물성치

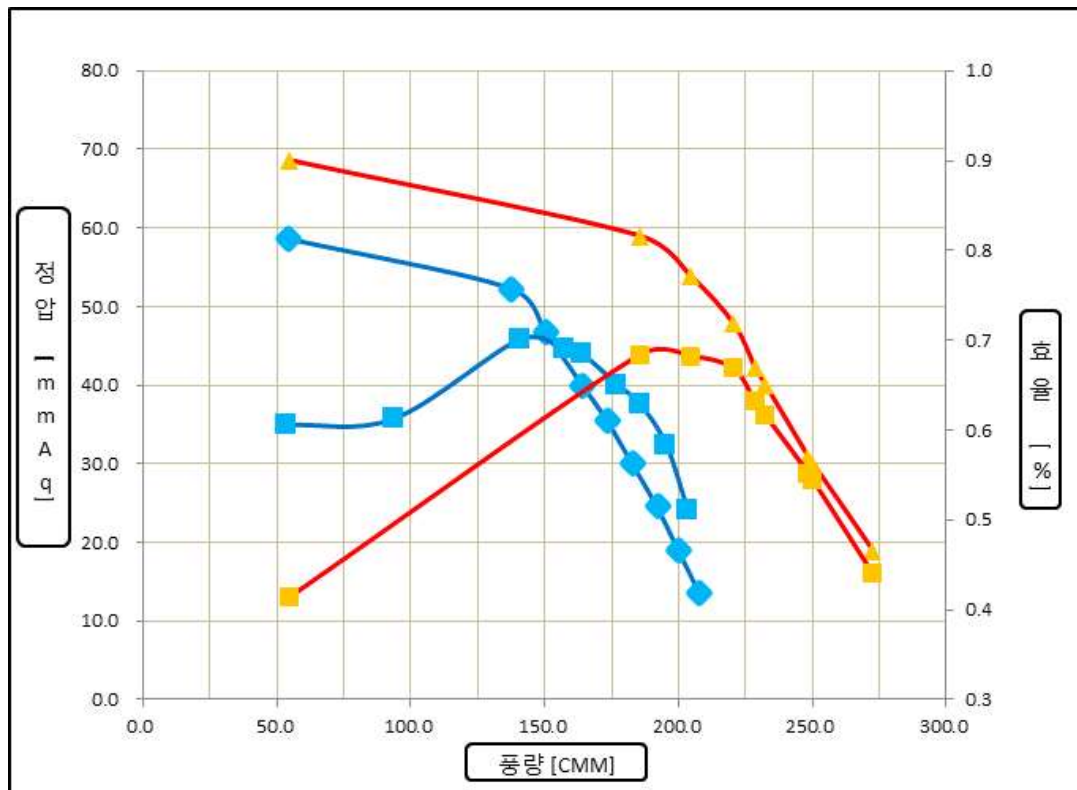
물성치	기본 각도	4° 증가	8° 증가
사양 풍량 (CMM)	163.7	232.8	248.1
사양 정압 (mmAq)	40.0	40.0	40.0
효 율 (%)	73.0	67.8	66.6
동 력 (w)	1530.7	2466.7	2698.7

테스트 결과 블레이드의 각도를 높이면서 변화되는 성향은 4.2.1항과 거의 같은 역할을 하고 있음을 알 수 있다. 다만 전체적으로 효율이 높아짐을 확인할 수 있었다.

소음기를 부착하여도 역시 기본 각도에서 사용 지점에는 도달하지 못하고 있다.

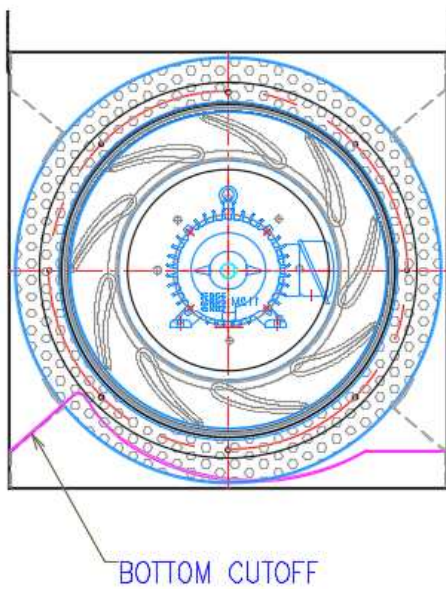
1.3.4.2.3 CASE 03 - 임펠러 블레이드 각도 기본, 8° 변경, 소음기/바닥 컷오프 부착

소음기에다가 바닥의 컷오프 및 인볼류트를 장착한 상태에서의 테스트를 하였다. 이는 PLUG FAN 설치 특성상 바닥에 설치가 되는데 바닥면으로 토출되는 유체가 바닥면의 영향으로 정압 손실이 발생할 수 있기 때문이다. 이 테스트는 기본 각도와 8°에서 수행하였다.



[그림 2-41] CASE 03 - 블레이드 각도 변화에 따른 테스트 결과
(소음기 및 바닥 컷오프 부착)

※ ■■■■ : 기본 각도, ■■■■ : 4° 증가, ■■■■ : 8° 증가



[그림 2-42] CASE 03 - 바닥 컷오프

a) 최고 효율 지점에서의 물성치

물성치	기본 각도	8° 증가
사양 풍량 (CMM)	140.8	185.4
사양 정압 (mmAq)	48.4	59
효 율 (%)	70.2	68.3
동 력 (w)	1639.8	2721.3

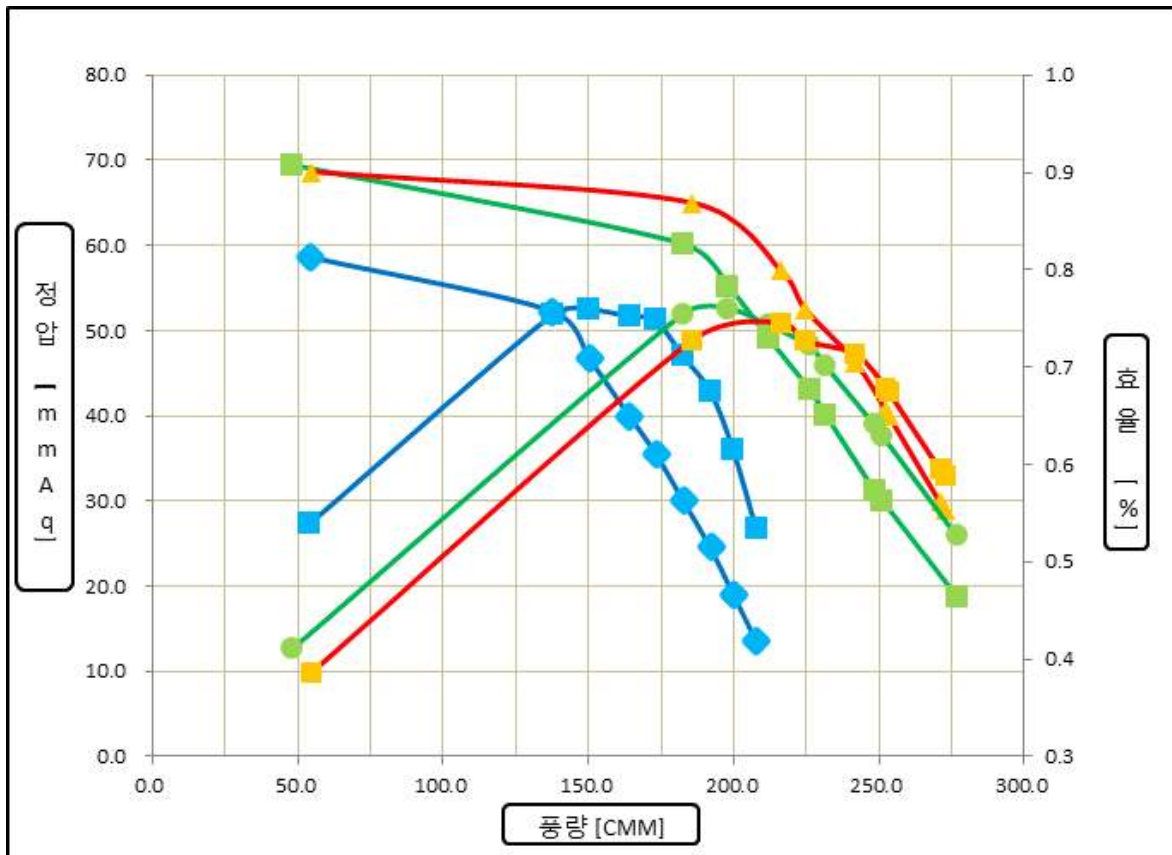
b) 사양지점에서의 물성치

물성치	기본 각도	8° 증가
사양 풍량 (CMM)	157.5	232.4
사양 정압 (mmAq)	40	40.0
효 율 (%)	69	61.6
동 력 (w)	1557.4	2696.7

테스트 결과를 분석한 결과 바닥 컷오프는 사양을 전체적으로 떨어뜨리고 있음을 알 수 있다. 설치되는 바닥 컷오프는 원심형 휠에 근거한 것이므로 PLUG FAN에 적용할 경우 맞지 않을 수도 있었으나 바닥효과는 거의 없음을 알 수 있다.

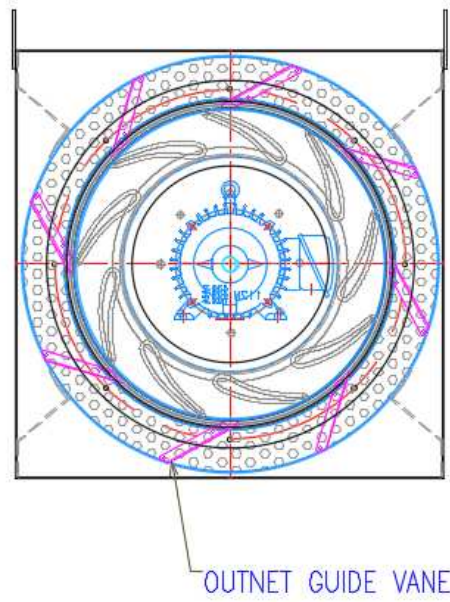
3.6.2.2 CASE 04 - 임펠러 블레이드 각도 기본, 4°, 8° 변경, 소음기/토출가이드 부착

소음기 및 토출 가이드를 부착한 상태에서 임펠러 블레이드의 β_2 가 25°인 것을 29°, 33°로 증가하여 각각 테스트 하였다. 토출 가이드는 소음기(Vaneless Diffuser) 사이에 설치되는 것으로 급격한 확산에 의한 정압 손실을 줄여주는데 효과적인 액세서리이다.



[그림 2-43] CASE 04 - 블레이드 각도 변화에 따른 테스트 결과
(소음기 및 토출 가이드 부착)

※ ■■■■ : 기본 각도, ■■■■ : 4° 증가, ■■■■ : 8° 증가



[그림 2-44] CASE 04 - 토출 가이드

a) 최고 효율 지점에서의 물성치

물성치	기본 각도	4° 증가	8° 증가
사양 풍량 (CMM)	150.3	198.3	216
사양 정압 (mmAq)	46.7	55.1	57.1
효 율 (%)	75.9	76	74.6
동 력 (w)	1566.3	2482.9	2861.3

b) 사양지점에서의 물성치

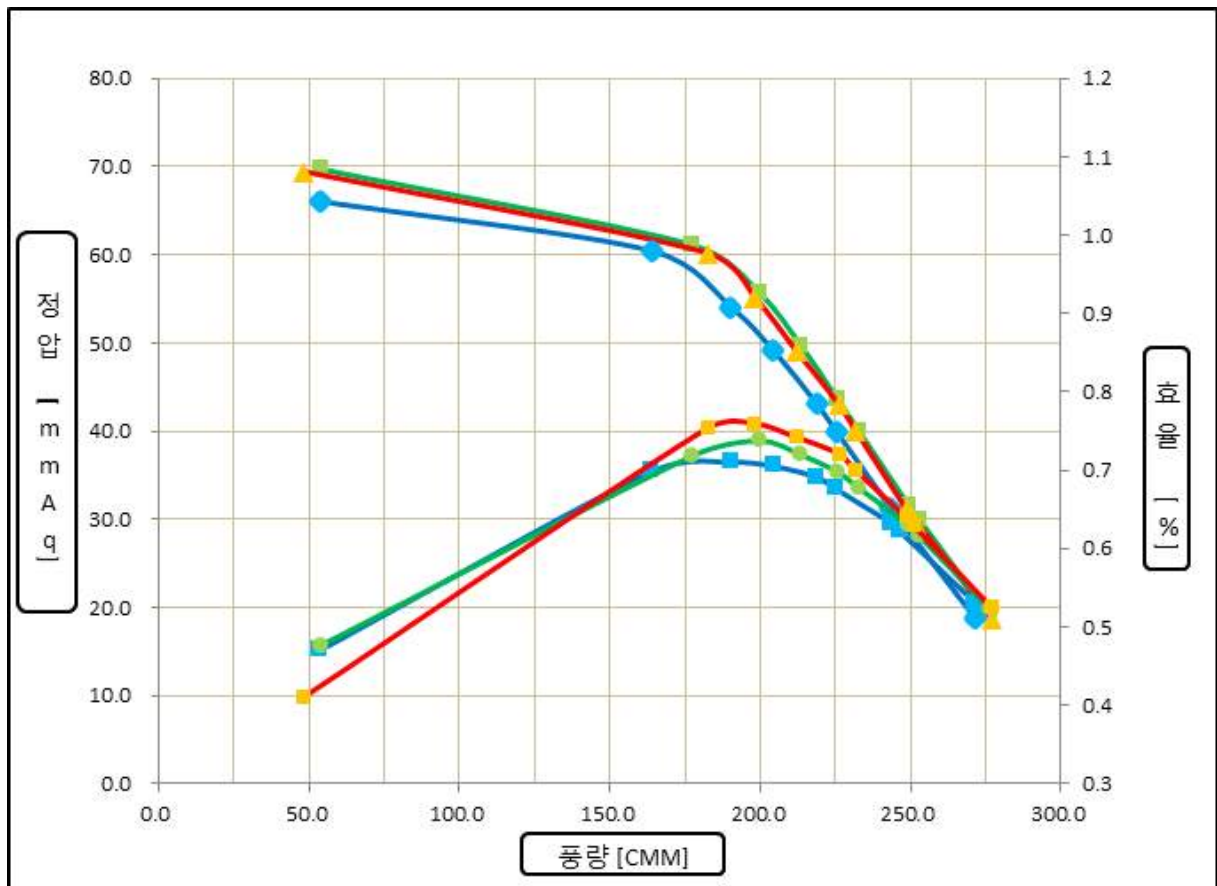
물성치	기본 각도	4° 증가	8° 증가
사양 풍량 (CMM)	164.1	231.9	253.5
사양 정압 (mmAq)	40	40	40
효 율 (%)	75.3	70.1	67.4
동 력 (w)	1487.4	2377.4	2740.9

엑세서리가 없을 경우와 소음기만 장착했을 때보다 효율이 높아짐을 알 수 있다. 여기서 주목할 점은 각도 4° 증가했을 경우인데 효율이 상당히 높아졌음을 알 수 있다.

블레이드의 각도를 높이면서 변화되는 성향은 4.2.1항과 거의 같은 역할을 하고 있음을 알 수 있다. 역시 소음기를 장착하였을 때와 마찬가지로 토출 가이드를 장착하여도 기본 각도에서 사용 지점에는 도달하지 못하고 있다.

3.6.3 테스트 결과

PLUG FAN의 임펠러 블레이드의 각도(β_2)가 원제품일 경우 대체로 사양지점(400 [CMM] x 40 [mmAq])을 만족시키지 못함을 확인하였다. 그리고 임펠러 블레이드의 각도(β_2)를 4°, 8° 증가시켰을 경우 상기 사양지점을 만족하고 있음을 알 수 있었고, 최고 효율 지점에서의 효율은 비슷하였으나 사양지점에서의 효율은 β_2 이 4°에서 높음을 알 수 있었다. [그림 4-10]의 그림은 액세서리 변화에 따른 PLUG FAN 성능을 보여주고 있는데 소음기 및 토출가이드를 장착할 때마다 효율이 높아지는 것을 알 수 있다.



[그림 2-45] 블레이드 각도 4°에서의 테스트 결과

※ ■■■■ : 무설치, ■■■■ : 소음기, ■■■■ : 소음기 + 토출가이드

무설치와 소음기를 비교해보면 풍량 증가가 뚜렷이 나타나고 있음을 알 수 있다. 이는 소음기가 확산에 의한 토출 정압 손실을 지연시켜 주고 있음을 알 수 있다.

a) 최고 효율 지점에서의 물성치

물성치	무설치	소음기	소음기 + 토출가이드
사양 풍량 (CMM)	190.2	199.5	198.3
사양 정압 (mmAq)	54.1	55.8	55.1
효 율 (%)	71.1	73.8	76
동 력 (w)	2488.4	2600.2	2482.9

b) 사양지점에서의 물성치

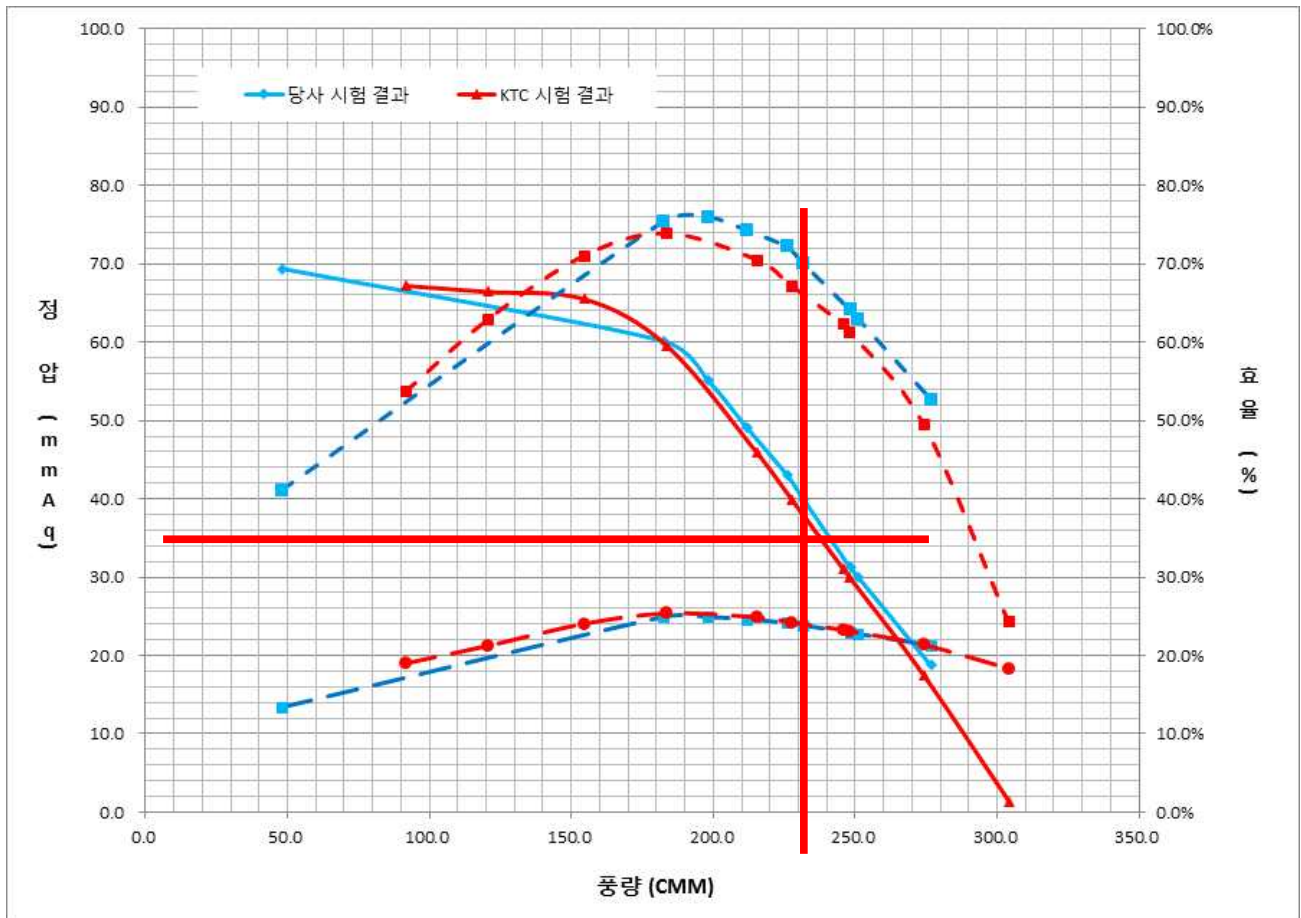
물성치	무설치	소음기	소음기 + 토출가이드
사양 풍량 (CMM)	225.2	232.8	231.9
사양 정압 (mmAq)	40	40	40
효 율 (%)	67.7	67.8	70.1
동 력 (w)	2375.4	2466.7	2377.4

또한 소음기를 장착할 경우 동력이 올라가는 것을 확인할 수 있는데 정압 손실 지연으로 후단에 일정 정압이 걸리고 있어 동력이 높아진 것으로 판단할 수 있으나 효율 적인면에서는 증가로 나타나고 있다. 토출 가이드를 장착하였을 경우 오히려 동력이 낮아짐을 알 수 있다.

기존 PLUG FAN에 임펠러 블레이드의 각도를 4° 정도 증가시키고, 소음기 및 토출 가이드를 통해 효율을 극대화 할 수 있었다.

3.6.4 공인인증기관 시험 결과(KTC, 한국기계전기전자시험연구원)

공인인증시험기관인 KTC에서의 시험 결과를 자체시험 결과와 비교를 하였다.



[그림 2-46] KTC 시험 결과 비교

정압 40[mmAq]에서의 유량은 약 228 [CMM]으로 측정되었고, 이 때의 효율은 67% 정도 나왔으며, 최고 효율은 74% 이었다. 그리고 이 때의 축동력은 2.42 kW이다.

([그림 2-46], [표 2-15] 참조)

따라서 [표 2-16]와 같이 과제의 목표인 PLUG FAN을 효율 73.8%(FEG 71)의 성능으로 만족하였다.

[표 2-17] KTC 시험 결과표

	Ptc mmAq	Psc mmAq	Qc CMM	Hc W	ηt %
1	67.7	66.5	120.5	2118.0	0.6282
2	67.6	65.6	154.7	2401.0	0.7099
3	62.4	59.6	183.8	2533.0	0.7382
4	49.8	46.0	215.4	2484.0	0.7047
5	44.2	40.0	227.7	2419.1	0.6717
6	36.0	31.0	246.0	2322.0	0.6225
7	35.0	30.0	248.1	2307.7	0.612845
8	23.6	17.5	274.3	2133.0	0.4953
9	8.9	1.4	304.3	1831.0	0.2428

[표 2-18] PLUG FAN 목표 사양표

FAN TYPE	: PLUG FAN
FAN SIZE	: Impeller Size 630 mm
유 량	: 200 CMM
정 압	: 40 mmAq
동 력	: 3.7 kW급

제 2 절

실제건물 대상 성능 평가

1. 10층 규모의 실제건물 대상 성능 평가

본 연구에서는 연돌효과 저감장치를 실제 10층 규모의 건축물에 설치하고 동절기에 가동하면서 연돌효과 저감장치의 실효성을 분석하였으며, 네트워크 모델 기반의 수치해석 기법을 이용하여 실험조건에 대한 수치해석 결과를 얻고 실험결과와 비교하였다.

1.1 현장실험

1.1.1 현장실험 방법

본 연구에서는 연돌효과가 크게 발생하는 동절기에 서울에 위치하는 중규모의 D빌딩을 대상으로 계단에서의 연돌효과 저감방안에 대한 현장실험을 수행하였다. D빌딩은 지상 10층, 지하 3층 규모로서 용도는 업무와 판매시설이고 수직통로로는 피난계단 2기와 승강기 2기를 보유하고 있다. [그림 2-47]은 실험이 수행된 D빌딩의 전경과 내부구조를 보여주고 있다. 그림에서와 같이 1층 로비에 승강기 2기가 좌우로 위치하고 있고 승강기 측면에 피난계단이 설치되어 있다. 피난계단은 외측과 맞대여 있으며 환기창이 설치되어 있다. 업무와 판매시설이 있는 각층은 승강기와 피난계단이 복도에 연결되어 있고 복도를 따라 사무실이 연결되어 있다.



(a) 전체 전경



(b) 1층 로비



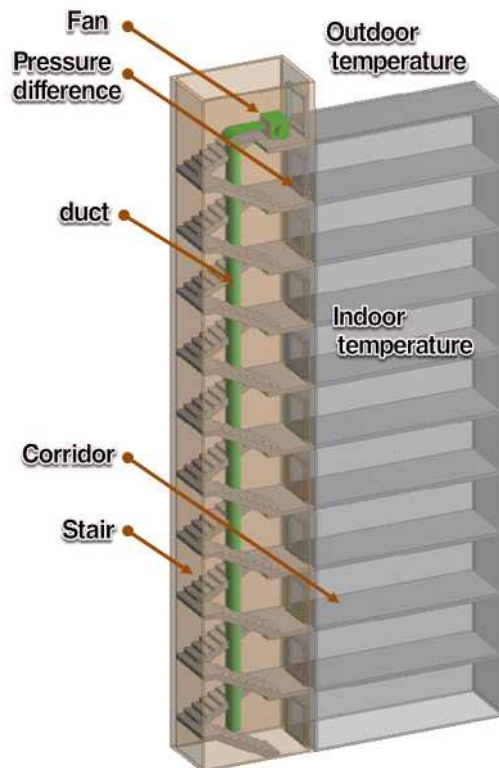
(c) 계단



(d) 복도

[그림 2-47] 실험대상 건물 전경 및 내부구조

[그림 2-48]는 연돌효과 저감방안의 현장실험 개요를 보여주고 있다. 그림에서와 같이 상기 D빌딩의 피난계단 1기에 대해서 연돌효과 저감 실험장치와 각종 측정기기를 설치하였다. 실험대상 피난계단은 1층에서 10층을 올라가서 옥상으로 통하게 되어 있으며 실험에서는 옥상으로 통하는 피난문의 바로 앞에 있는 공간에 송풍기를 설치하였다. 송풍기의 출구에 일정 길이의 철재 덕트를 연결하였으며, 철재 덕트 끝단에 플렉시블 풍도로 연결한 후 플렉시블 풍도를 1층까지 수직으로 연장하여 설치하였다. 이와 같은 송풍경로를 설치함으로써 피난계단의 상부층에서 송풍기로 계단 내 공기를 배기하고 하부층에서 급기하는 시스템이 구성되도록 하였다.



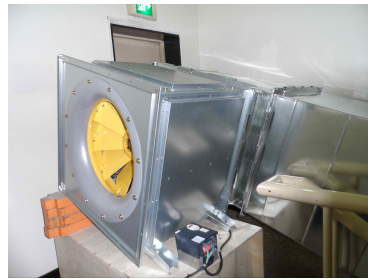
[그림 2-48] 연돌효과 저감방안 현장실험 개요도

실험 수행 시의 실내외 온도와 송풍 조건 및 송풍기의 가동으로 변하는 압력차를 측정하기

위해서 10층 복도에서의 실내온도(), 옥상에서의 실외온도(T_o), 10층 계단실과 복도의 압력차(P_{10}) 및 송풍기의 송풍량(Q_f)을 각각 계측하였다.

〔그림 2-49〕은 연돌효과 저감방안의 현장실험 진행과정을 보여주고 있다. 그림 2-3(a)는 피난계단 최상부에 설치된 송풍기를 보여주고 있고, 그림 2-3(b)는 송풍기 출구에 연결된 철재 덕트의 모습이다. 〔그림 2-3〕 (c)는 피난계단 상부에서 1층까지 수직으로 설치된 플렉시블 풍도의 모습이다. 한편 〔그림 2-3〕 (d)는 송풍기의 송풍량을 측정하기 위한 FMS(Flowrate Measuring Sensor)이고, 〔그림 2-3〕 (e)는 10층 계단실과 복도의 압력차를 측정하기 위한 압력센서를 보여주고 있다. 〔그림 2-3〕 (f)는 측정된 각종 데이터를 수집해서 저장하는 로깅장치를 보여주고 있다.

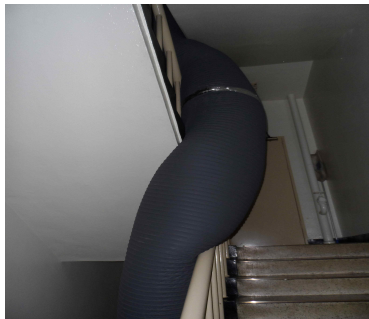
연돌효과 저감방안에 대한 현장실험은 우선 송풍기를 가동하지 않은 상태에서 자연적으로 연돌효과가 발생하는 조건으로 측정을 한 후 송풍기를 가동하여 송풍량이 50 CMM과 100 CMM 정도로 형성되었을 때의 조건에서 실험을 수행하였다.



(a) 팬



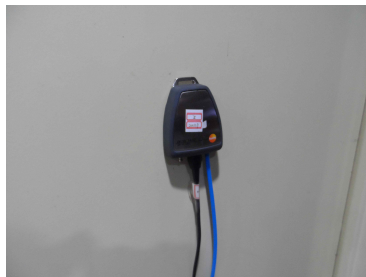
(b) 덕트



(c) 수직풍도



(d) FMS



(e) 압력센서



(f) 저장장치

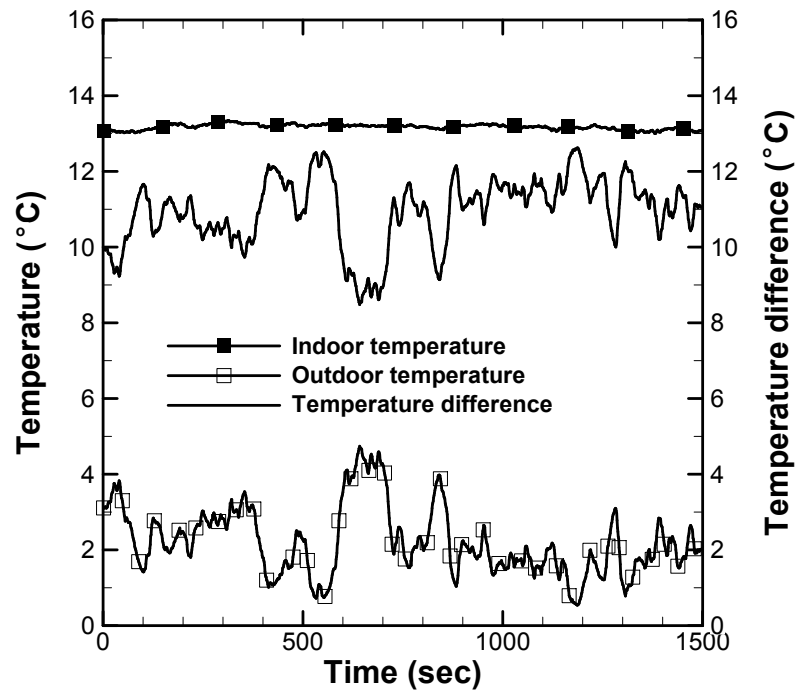
〔그림 2-49〕 연돌효과 저감장치 현장실험 진행

1.1.2 현장실험 결과

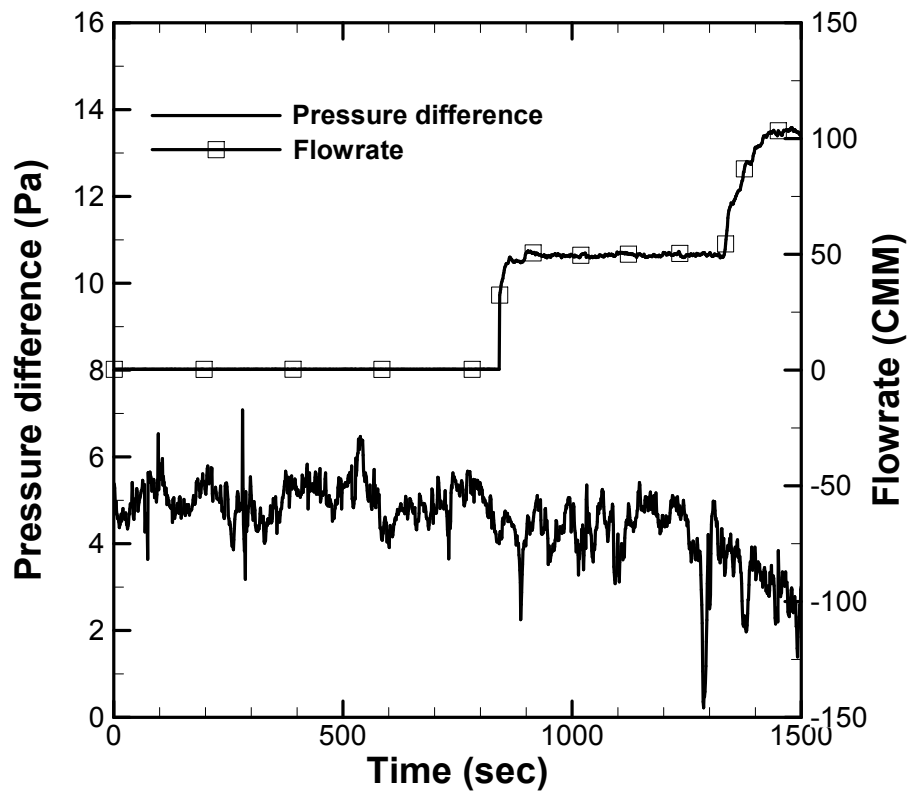
[그림 2-50]는 시험이 수행되는 시간동안 계측된 실내온도와 실외온도의 측정값을 보여주고 있다. 그림에서와 같이 실내온도는 비교적 일정한 값을 유지하고 있고 실외온도는 약 0.5℃에서 4.0℃ 사이에서 변동하고 있다. 시간에 따라 평균을 구하면 실내온도는 약 13.2℃, 실외온도는 약 2.0℃ 및 실내외 온도차는 약 11.2℃로 평균값을 구하였다.

[그림 2-51]는 실험시간에 따른 송풍기의 송풍량과 10층에서의 계단실-복도간 압력차의 측정값을 보여주고 있다. 그림에서와 같이 실험초기에는 송풍기를 가동하지 않고 자연적인 연돌 효과에 의해 생기는 압력차를 계측하였고, 840초 정도에 송풍기를 가동하여 송풍량을 약 50 CMM로 유지하면서 측정을 하였고 1,340초 정도에 송풍량을 약 100 CMM으로 상승시켜서 측정을 하였다. 10층의 계단실과 복도간 압력차는 시간에 따라 2~3 Pa 정도의 변동폭을 나타내며 계측되고 있는데, 중요한 점은 송풍기가 가동되고 송풍량이 증가됨에 따라 10층의 계단실과 복도간 압력차가 감소하는 방향으로 형성된다는 점이다.

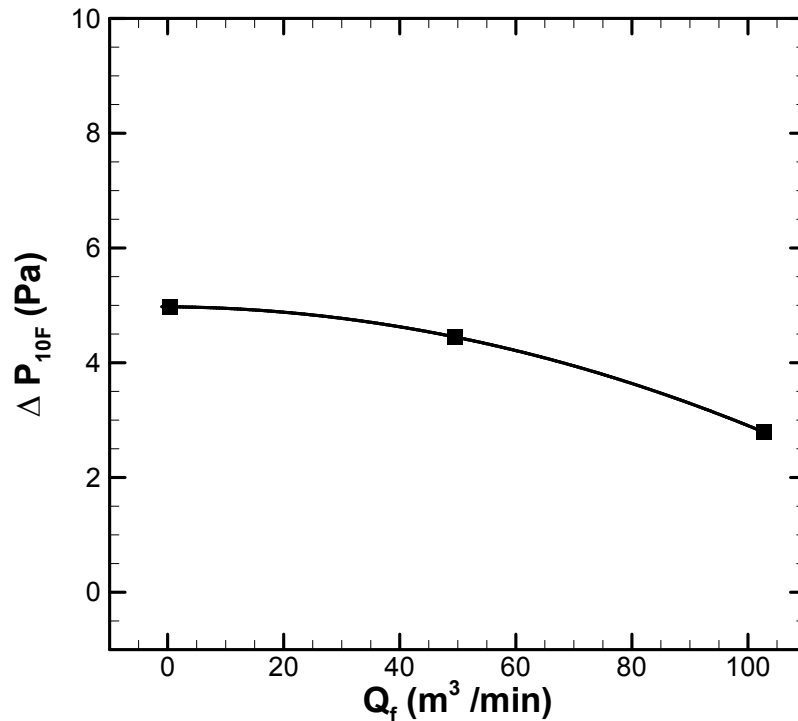
[그림 2-52]는 [그림 2-51]의 실험결과에 대해 시간 평균치를 구해서 도시한 것이다. 즉 [그림 2-51]의 실험결과에서 송풍량이 일정한 구간을 선정하고 각 구간에서 10층의 계단실과 복도 간 압력차에 대한 평균값을 구한 결과이다. 그림에서와 같이 현장실험 대상 건물과 실험의 실내외 온도조건 하에서 연돌효과에 의해 발생하는 10층의 계단실-복도 간 압력차는 약 5.0 Pa이 된다. 한편 연돌효과 저감장치를 가동해서 송풍량이 50 CMM이 되면 10층의 계단실-복도 간 압력차는 약 4.4 Pa이 되고 송풍량이 100 CMM이 되면 압력차가 약 2.8 Pa로 감소한다. 연돌효과 저감설비의 송풍량에 따라 10층의 계단실과 복도 간 압력차가 2차원적 경향으로 줄어듦을 알 수 있다. 상기와 같은 실험결과로부터 본 연구에서 제시하는 연돌효과 저감방안이 실제로 동절기에 고층 건축물에서 발생하는 연돌효과를 감소시킬 수 있음을 확인하였다.



[그림 2-50] 실내온도와 실외온도 측정값



[그림 2-51] 송풍량과 압력차 측정값



[그림 2-52] 송풍량에 따른 압력차의 변화

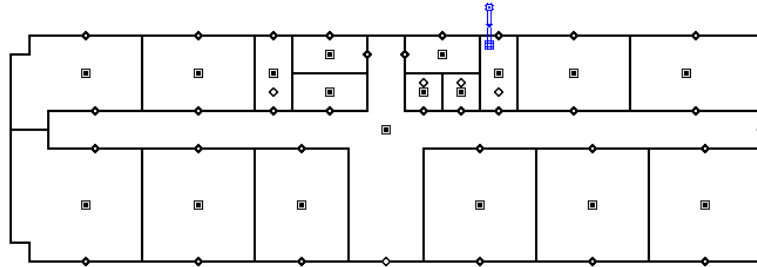
1.2 현장실험 조건에 따른 수치해석

1.2.1 수치해석 방법

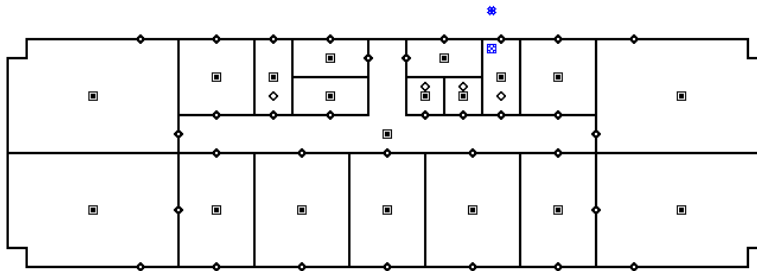
이번 연구에서는 네트워크 모델을 기반으로 하는 수치해석 방법을 이용해서 연돌효과 저감 방안의 현장실험 조건에 대한 해석을 수행하고 실험결과와 비교하였다. 해석은 미국 NIST에서 제작한 CONTAMW Ver. 3.1 프로그램을 사용하였다. 대상 건물의 모델링은 지하 3층부터 지상 10층까지 설계도면을 바탕으로 구성하였다. [그림 2-53]은 CONTAMW로 작성한 전처리 구성도로서 [그림 2-53](a)는 1층의 구성도이고 [그림 2-53](b)는 10층의 구성도를 각각 보여주고 있다.

그림에서와 같이 각층의 구획실은 “Zone”으로 구성하였고, 각 구획실 간의 출입문은 “Airflow Element”로 처리하였다. 그리고 피난계단과 승강기는 각각 “Stairwell”과 “Shaft”로 설정하여 수직통로의 역할을 지정하였다. 한편 우측 피난계단에 설치한 연돌효과 저감장치는 “Duct Junction”과 “Fan”기능을 이용하여 처리하였다.

해석을 위한 온도조건은 현장실험에서 구한 온도조건을 그대로 반영하였으며, 이에 따라 실내온도는 13.2℃, 실외온도는 2.0℃로 설정하였다. 그리고 송풍기가 가동하지 않을 때의 조건과 송풍기의 송풍량이 50 CMM, 100 CMM일 조건에 대해서 수치해석을 수행하였다.



(a) 1층

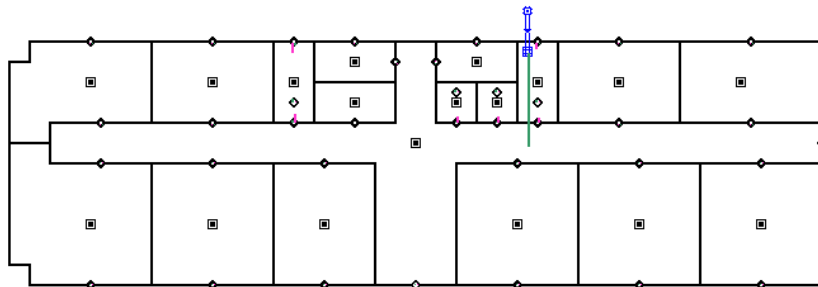


(b) 10층

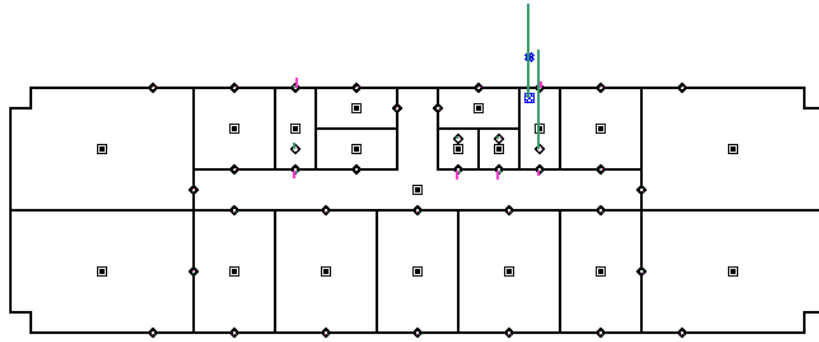
[그림 2-53] 수치해석 전처리 구성도

1.2.2 수치해석 결과

[그림 2-54]은 송풍기의 송풍량이 100 CMM인 조건에서 각 층에서의 수치해석 수행결과를 보여주고 있다. [그림 2-8] (a)는 1층에서의 결과로서 외부에서 실내로 외부공기가 유입되고 계단과 승강기를 통해 윗층으로 상승하고 있다. 한편 연돌효과 저감장치의 수직풍도를 통해 100 CMM의 송풍량이 1층의 우측 계단실로 유입되고 있다. [그림 2-8] (b)는 10층에서의 결과로서 각 수직통로를 통해 상승한 공기가 구획실간 틈새를 통해서 실외쪽으로 유출되고 있다. 한편 연돌효과 저감장치가 가동되고 있는 우측 계단실의 압력은 약 4.8 Pa로 형성되는데 반하여 장치가 설치되지 않는 좌측 계단실의 압력은 7.4 Pa으로 나타나며, 이로부터 연돌효과의 감소효과가 발생됨을 알 수 있다.



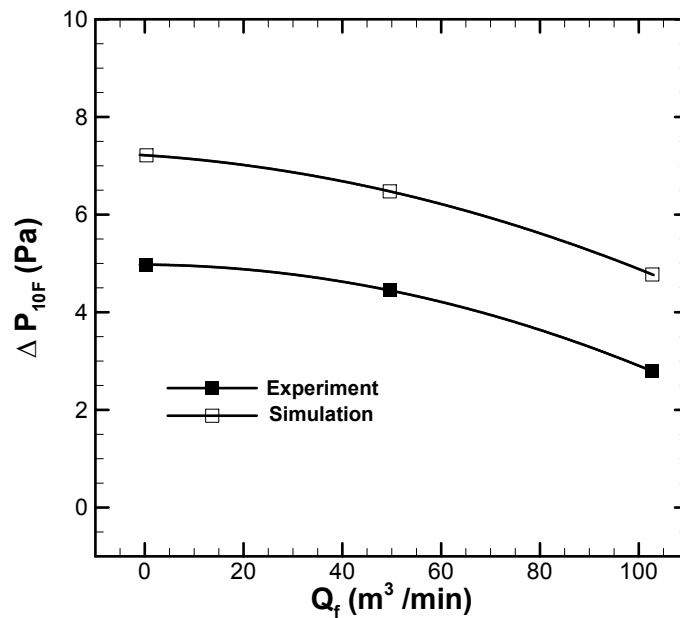
(a) 1st floor.



(b) 10th floor.

[그림 2-54] 수치해석 결과 (송풍량 100 CMM)

[그림 2-55]는 네트워크 모델을 사용한 수치해석 결과와 현장실험 결과를 비교하여 도시한 것으로서, 각 송풍기의 송풍량에 대하여 10층에서의 계단층과 복도 간 압력차를 보여주고 있다. 그림에서와 같이 수치해석 결과는 실험결과와 유사하게 송풍기의 송풍량이 증가함에 따라 2차원적인 관계를 가지고 10층에서의 압력차가 감소하고 있다. 각 송풍량에 대해서 수치해석 결과가 실험결과에 비해 2.0~2.2 Pa 정도 절대값이 큰 것으로 나타났는데, 이는 현장실험과 수치해석의 조건들이 완벽하게 일치하지 않기 때문으로 판단된다. 실험과 수치해석 결과에 있어 일정값의 차이가 발생하고 있으나, 실험과 수치해석의 그래프 경향이 상당히 일치하고 있으며 실험과 수치해석 간의 오차가 일정범위 이내인 점을 고려하면 본 연구에서 제시하고 있는 연돌효과 저감방안이 성능에 있어서 타당성을 확보하는 것으로 판단되며, 향후 실제 건물에 대한 적용시 수치해석 기법을 사용한 설계가 진행될 수 있을 것이다.



[그림 2-55] 현장실험과 수치해석 결과 비교

2. 27층 규모의 실제건물 대상 성능 평가

2.1. 현장실험 방법

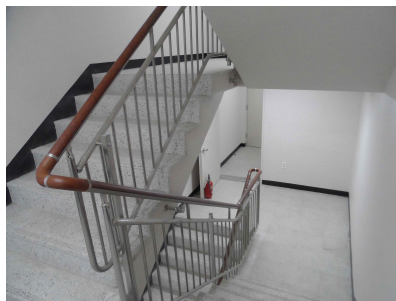
본 연구에서는 연돌효과가 크게 발생하는 동절기에 서울에 위치하는 고층의 I빌딩을 대상으로 계단에서의 연돌효과 저감방안에 대한 현장실험을 수행하였다. I빌딩은 지상 21층, 지하 6층 규모로서 용도는 업무 및 복합시설이고 수직통로로는 계단 2기와 승강기 7기를 보유하고 있다. [그림 2-56]는 실험이 수행된 I빌딩의 전경과 내부구조를 보여주고 있다. 그림에서와 같이 각 층의 복도(corridor)에서 부속실(lobby)을 거쳐 계단(stair)에 연결되도록 되어 있으며, 계단은 지하 6층에서 옥상까지 하나의 수직통로로 되어 있다.



(a) 전경.



(b) 21층 복도



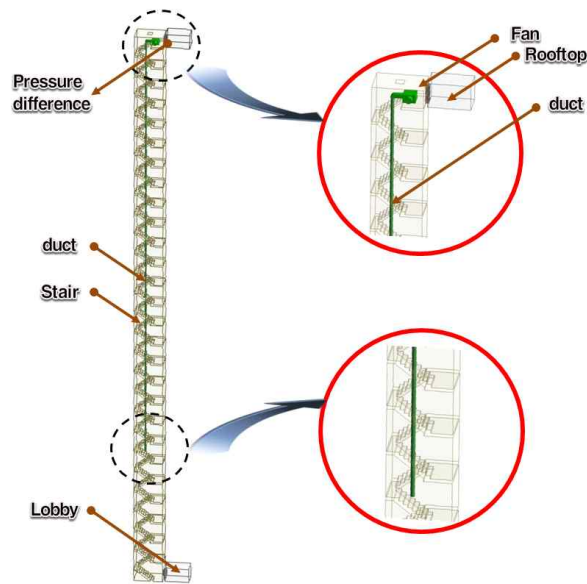
(c) 계단과 부속실



(d) 옥상

[그림 2-56] I 빌딩의 전경 및 내부구조

[그림 2-57]은 연돌효과 저감방안의 현장실험 개요를 보여주고 있다. 그림에서와 같이 상기 I빌딩의 계단 1기에 대해서 연돌효과 저감 실험장치와 각종 측정기기를 설치하였다. 실험대상 계단은 21층에서 1개층을 올라가서 옥상으로 통하게 되어 있으며 실험에서는 옥상으로 통하는 출입문의 바로 앞에 있는 공간에 송풍기를 설치하였다. 송풍기의 출구에 일정 길이의 철재 덕트를 연결하였으며, 철재 덕트 끝단에 플렉시블 풍도로 연결한 후 플렉시블 풍도를 1층까지 수직으로 연장하여 설치하였다. 이와 같은 송풍경로를 설치함으로써 계단의 상부층에서 송풍기로 계단내 공기를 배기하고 하부층에서 급기하는 시스템이 구성되도록 하였다.



[그림 2-57] 연돌효과 저감방안의 현장실험 개요

실험 수행시의 실내외 온도와 송풍 조건 및 송풍기의 가동으로 변하는 압력차를 측정하기 위해서 21층 복도에서의 실내온도(), 옥상에서의 실외온도(T_o), 21층 위의 옥상에서 계단실과 실외의 압력차(P_{OP}), 21층 계단실과 복도의 압력차($\Delta P_{21F,COR}$), 21층 계단실과 부속실의 압력차($\Delta P_{21F,LOB}$) 및 송풍기의 송풍량(Q_f)을 각각 측정하였다.

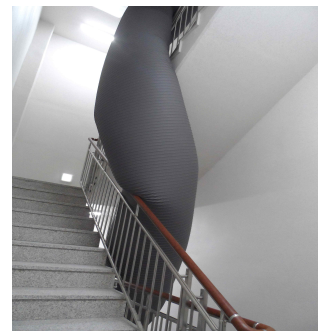
[그림 2-58]은 연돌효과 저감방안의 현장실험 진행과정을 보여주고 있다. 그림 (a)는 계단 최상부에 설치된 송풍기를 보여주고 있고, 그림 (b)는 송풍기 출구에 연결된 철재 덕트의 모습이다. 그림 (c)는 계단 상부에서 1층까지 수직으로 설치된 플렉시블 풍도의 모습이다. 한편 그림 (d)는 송풍기의 송풍량을 측정하기 위한 FMS(Flowrate Measuring Sensor)이고, 그림 (e)는 21층 계단실과 부속실 및 복도의 압력차를 측정하기 위한 압력센서를 보여주고 있다. 그림 (f)는 측정된 각종 데이터를 수집해서 저장하는 로깅장치를 보여주고 있다.



(a) 송풍기



(b) 수평 덕트



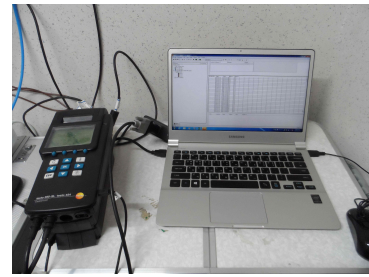
(c) 플렉시블 덕트



(d) FMS.



(e) 압력센서



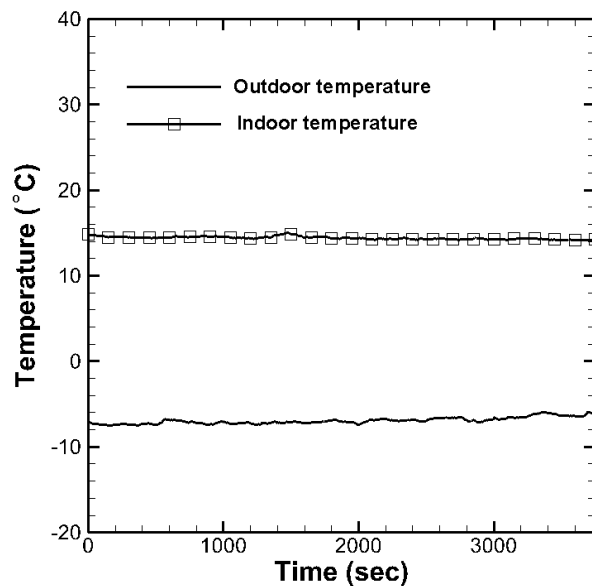
(f) Logging system.

[그림 2-58] 실험설비 사진

연돌효과 저감방안에 대한 현장실험은 우선 송풍기를 가동하지 않은 상태에서 자연적으로 연돌효과가 발생하는 조건으로 측정을 한 후, 송풍기를 가동하여 송풍량을 약 25 CMM 단위로 증가시켜 가면서 최대 약 150 CMM까지의 조건에서 실험을 수행하였다.

2.2 현장실험 결과

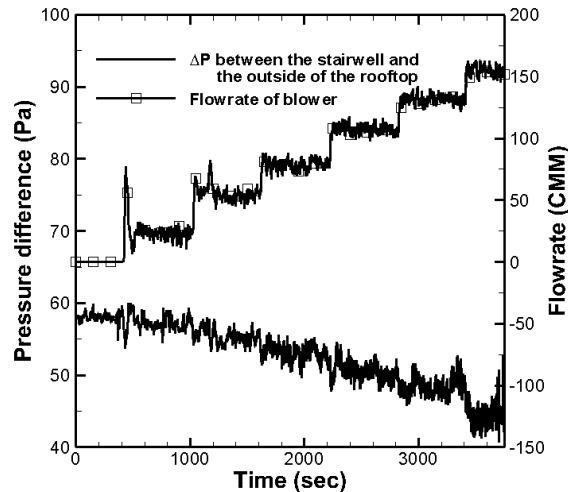
[그림 2-59]는 시험이 수행되는 시간동안 측정된 실내온도()와 실외온도(T_o)의 측정값을 보여주고 있다. 시간에 따라 평균을 구하면 실내온도는 약 14.4 °C, 실외온도는 약 -6.9 °C 및 실내외 온도차는 약 21.3 °C로 평균값을 구하였다.



[그림 2-59] 실내온도와 실외온도의 측정값

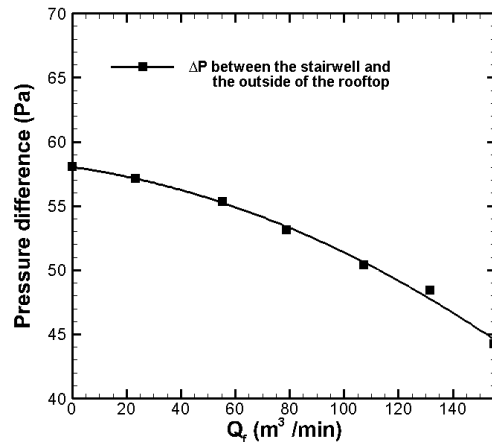
[그림 2-60]은 실험시간에 따른 송풍기의 송풍량과 21층 위의 옥상에서 계단실과 실외의

압력차(ΔP)를 보여주고 있다. 그림에서와 같이 실험초기에는 송풍기를 가동하지 않고 자연적인 연돌효과에 의해 생기는 압력차를 계측하였고, 400초 정도에 송풍기의 가동을 시작하여 약 300초 간격으로 송풍량을 25 CMM 정도씩 증가시켜가며 풍량에 따른 압력차의 변화를 계측하였다. 계측결과 송풍기의 송풍량이 증가하면서 계단의 수직통로로 흐르는 공기량이 늘어남에 따라 계단실과 실외 간 압력차가 점차 감소하는 방향으로 형성된다.



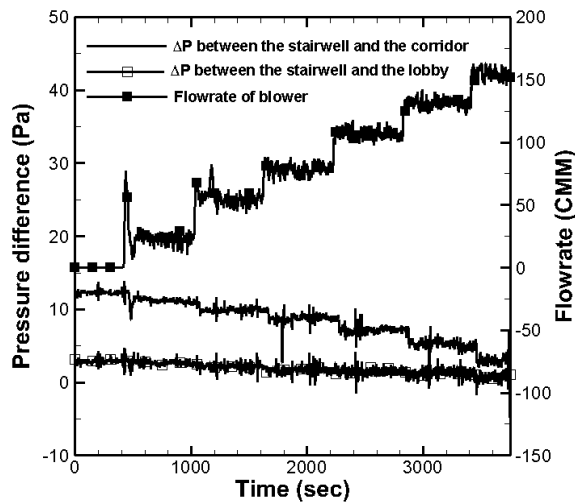
[그림 2-60] 송풍기의 송풍량과 21층 위의 옥상에서 계단실과 실외의 압력차

[그림 2-61]은 [그림 2-60]의 실험결과에 대해 시간 평균치를 구해서 도시한 것이다. 즉 그림5의 실험결과에서 송풍량이 일정한 구간을 선정하고 각 구간에서 옥상의 계단실과 실외간 압력차에 대한 평균값을 구한 결과이다. 그림에서와 같이 현장실험 대상 건물과 실험의 실내외 온도조건 하에서 연돌효과에 의해 발생하는 옥상의 계단실-실외 간 압력차는 약 58.1 Pa 이 된다. 한편 연돌효과 저감장치를 가동해서 송풍량이 약 155.1 CMM이 되면 옥상의 계단실-실외간 압력차는 약 44.3 Pa이 되어서 자연적으로 발생하는 연돌효과에 의한 압력차에 비해 약 13.8 Pa 정도 감소한다. 연돌효과 저감설비의 송풍량에 따라 옥상의 계단실과 실외간 압력차가 2차원적 경향으로 줄어드는 것을 알 수 있다. 그림 6의 실험결과로부터 본 연구에서 제시하는 연돌효과 저감방안이 실제로 동절기에 고층 건축물에서 발생하는 연돌효과를 감소시킬 수 있음을 확인하였다.



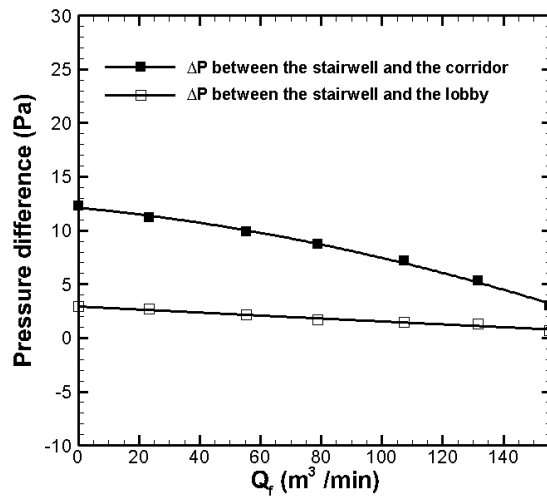
[그림 2-61] 옥상에서의 압력차에 대한 평균값

[그림 2-62]은 상기와 동일한 실험에서 21층 계단실과 복도의 압력차($\Delta P_{1,COR}$)와 21층 계단실과 부속실의 압력차($\Delta P_{21F,LOB}$)의 변화를 함께 보여주고 있다. 그림에서와 같이 각 압력차도 [그림 2-60]의 결과와 유사하게 송풍기의 풍량 증가에 따라서 압력차가 감소하는 경향을 보여주고 있다. 한편 옥상의 계단실-실외 사이 압력차보다 계단실-복도와 계단실-부속실 사이 압력차의 크기가 적게 형성된다. 이는 계단실-실외 사이에 형성되는 전체 압력차가 여러 구획실 사이의 압력차로 분배되기 때문이다.



[그림 2-62] 21층 계단실과 복도의 압력차와 21층 계단실과 부속실의 압력차의 변화

[그림 2-63]은 [그림 2-62]의 실험결과에 대해 시간 평균치를 구해서 도시한 것이다. 그림에서와 같이 21층의 계단실-복도 사이 압력차는 자연적인 연돌효과에 의해서 약 12.3 Pa이 형성되고 연돌효과 저감장치의 송풍량이 약 155.1 CMM 일 경우에는 약 3.0 Pa로 감소한다. 한편 21층의 계단실-부속실 사이 압력차는 약 2.9 Pa에서 약 0.7 Pa로 감소함을 알 수 있다.

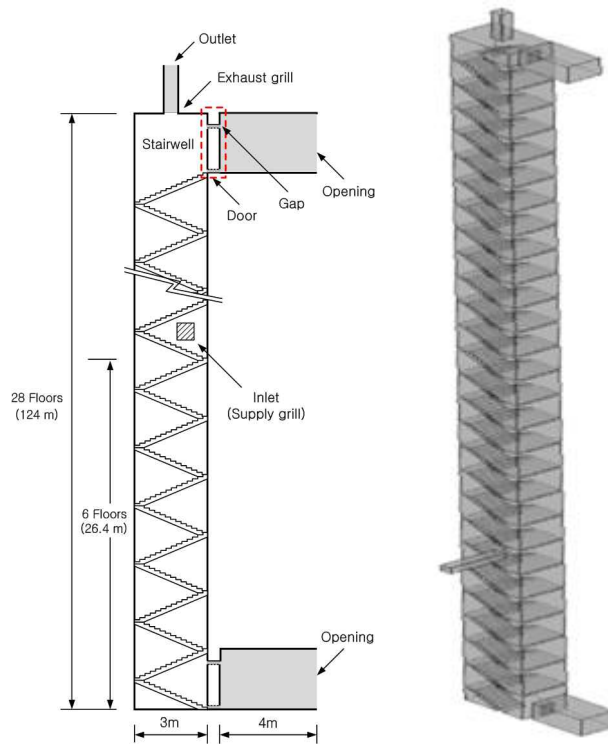


[그림 2-63] 21층 압력차에 대한 평균값

2.3. 수치해석 방법

본 연구에서는 열유동의 3차원 수치해석 방법을 이용해서 연돌효과 저감방안의 현장실험 조건에 대한 해석을 수행하고 실험결과와 비교하였다.

[그림 2-64]은 순환형 연돌효과 저감방안의 성능분석을 위해 구성한 건축물 계단의 해석모델을 보여주고 있다. 그림에서와 같이 계단의 층수는 지하 6층과 지상 21층 및 옥상을 포함하여 총 28층이고 전체 높이는 약 123 m이다. 지하 6층과 옥상 층에 계단과 연결되는 출입문과 부속실을 설치하였으며, 외부와 접하는 부속실의 한 면 전체를 개구부로 처리하였다. 순환형 연돌효과 저감방안의 작동을 포함하기 위하여 지상 1층과 옥상 층에 덕트를 연결하였으며, 덕트의 끝면에 공기 유입구(Inlet)와 공기 유출구(Outlet)를 경계조건으로 지정하였다.



[그림 2-64] 건축물 계단의 해석모델

한편 건축물에서 연돌효과를 포함하는 유동장에 대한 수치해석을 수행하기 위해서는 건축물 내 구획실간 틈새에 대한 해석기법이 제시되어야 한다. 본 연구의 해석모델에서 계단과 부속실 사이에 출입문의 틈새가 있는 것과 같이 건축물에는 각 구획실간 틈새가 존재하며, 이러한 틈새를 통해서 유동이 발생하게 된다. 이러한 틈새 누설 유동은 건축물에서 일어나는 다양한 열유동 현상에 영향을 미치게 되며, 연돌효과에 대해서도 중요한 인자로 고려되고 있다.

건축물에서의 틈새 누설유동과 관련된 연구에서는 주로 다음식의 압력차-누설유량 관계식과 건축물내 각 구획실을 한 개의 질점으로 상정하는 네트워크 수치해석 알고리즘을 이용하여 1차원적으로 건축물내 압력과 유동장을 해석하고 있다.

$$CA \frac{2\Delta p}{\rho} = C \Delta p$$

여기서 Q 는 누설유량, Δp 는 틈새 전후의 압력차, C 는 유동계수, A 는 틈새면적, ρ 는 공기의 밀도를 각각 나타낸다.

그런데 3차원 수치해석에서 틈새의 누설 유동을 해석할 경우에는 건축물의 타 공간에 비해 틈새의 단면적이 매우 적기 때문에 틈새를 포함하는 격자생성과 3차원 유동해석에 많은 어려움이 발생하고 있다. 따라서 틈새를 포함하는 3차원 해석을 위한 방안이 필요하며, 본 연구에서는 운동량방정식의 생성항에 “출입문의 누설유량과 출입문 전후의 압력차의 관계식”을 반영하는 Momentum Loss Model을 사용하였다.

즉 해석모델의 격자에서 출입문 틈새부분의 영역에 대해서 다음식과 같이 압력저하가 통과

유속에 비례하도록 하는 Momentum Loss Model을 적용하면 틈새유동의 효과를 반영할 수 있다.

$$\frac{\partial p}{\partial x} = -K_{loss} \frac{\rho}{2} |u| u_i$$

여기서 K_{loss} 는 2차 저항계수이다.

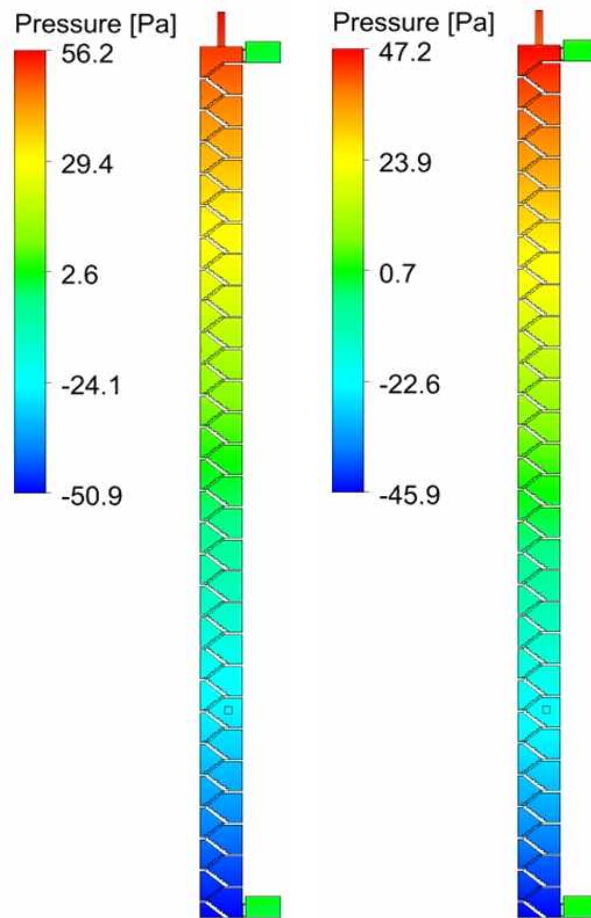
앞서의 관련 연구에서는 이러한 Momentum Loss Model을 적용하여 계단에서의 연돌효과를 3차원 수치해석적 방법으로 해석하였다.

해석을 위한 온도조건은 현장실험에서 구한 온도조건을 그대로 반영하였으며, 이에 따라 실내온도는 14.4 °C, 실외온도는 -6.9 °C로 설정하였다. 그리고 연돌효과 저감방안이 적용되지 않는 경우로서 공기 유입구와 공기 유출구의 유출입 풍량을 0으로 하였을 경우와 연돌효과 저감방안이 작동하는 경우로서 공기 유입구와 공기 유출구의 유출입 풍량을 현장실험의 송풍기 풍량으로 적용하면서 3차원 수치해석을 수행하였다.

본 연구에서는 수치해석 프로그램으로서 정확성과 타당성이 검증되어 열유동 해석문제에 널리 적용되고 있는 ANSYS CFX Ver.16.2를 사용하였다.

2.4. 수치해석 결과

[그림 2-65]는 3차원 수치해석의 해석결과로서 해석모델의 중앙단면에서의 압력분포를 보여주고 있다. [그림 2-65](a)는 실내온도가 14.4 °C, 실외온도가 -6.9 °C이고 공기의 유출입 풍량이 0 CMM로서 연돌효과 저감방안이 적용되지 않아서 순수하게 실내외 온도차에 따른 연돌효과에 의해 생성되는 압력분포를 보여준다. 그림에서와 같이 지하 6층 계단에서는 약 -50.9 Pa 정도의 부압이 형성되고 21층 위 옥상 층에서는 약 56.2 Pa 정도의 양압이 형성된다. 한편 [그림 2-65](b)는 동일한 온도조건에서 공기의 유출입 풍량이 155.1 CMM 일 경우에 대한 해석결과로서 6층 계단에서는 약 -45.9 Pa 정도의 부압이 형성되고 21층 위 옥상 층에서는 약 47.2 Pa 정도의 양압이 형성된다. 즉 실외온도가 -6.9 °C인 상태에서 순환형 연돌효과 저감방안을 적용하고 송풍량을 155.1 CMM으로 운전할 경우에 6층 계단에서는 연돌효과로 인해 생기는 부압이 -50.9 Pa에서 -45.9 Pa로 약 5.0 Pa 정도 개선되고 21층 위 옥상 층에서는 56.2 Pa에서 47.2 Pa로 약 9.0 Pa 정도 줄어든다.



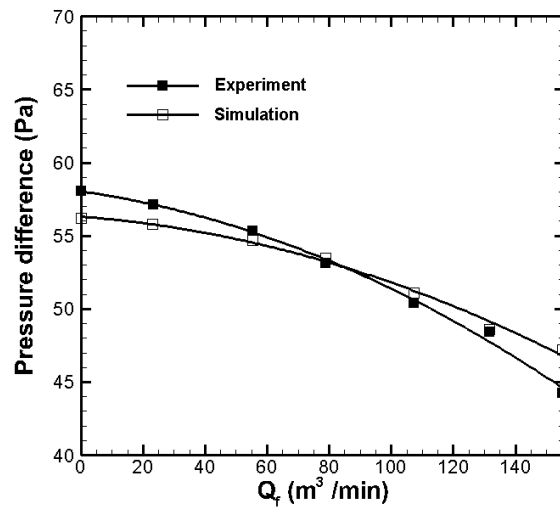
(a) 0 CMM

(b) 155.1 CMM

[그림 2-65] 해석모델의 중앙단면에서의 압력분포

[그림 2-66]은 3차원 수치해석 결과와 현장실험 결과를 비교하여 도시한 것으로서, 각 송풍기의 송풍량에 대하여 21층 위 옥상 층에서의 계단과 실외 공간간 압력차를 보여주고 있다. 그림에서와 같이 수치해석 결과는 실험결과와 유사하게 송풍기의 송풍량이 증가함에 따라 2차원적인 관계를 가지고 옥상 층에서의 압력차가 감소하고 있다.

155.1 CMM의 송풍량에 대해서 수치해석 결과가 실험결과에 비해 2.9 Pa 정도 절대값이 큰 것으로 나타났는데, 이는 현장실험과 수치해석의 조건들이 완벽하게 일치하지 않기 때문으로 판단된다. 실험과 수치해석 결과에 있어 일정값의 차이가 발생하고 있으나, 실험과 수치해석의 그래프 경향이 상당히 일치하고 있기 점을 고려하면 본 연구에서 제시하고 있는 연돌효과 저감방안의 수치해석 기법이 성능에 있어서 타당성을 확보하는 것으로 판단되며, 향후 실제 건물에 대한 적용시 수치해석 기법을 사용한 설계가 진행될 수 있을 것이다.



[그림 2-66] 실험과 수치해석 비교

제3절

설계자료 작성 및 수치해석 적용

1. 핵심인자 및 건물특성에 따른 설계자료 작성

1.1 작성 개요

본 연구에서는 네트워크 모델 기반의 수치해석 프로그램을 사용하여, 핵심인자와 건물특성에 따른 순환형 연돌효과 저감설비의 설계자료를 구축하였다. 즉 건축물의 층수, 건축물 내부 및 외부 온도, 연돌효과 저감설비의 송풍량에 따라서 대상 건축물의 최상층 계단에 형성되는 압력을 구하여 정리하였다. [표 2-17]에 주요 설계변수와 고려한 범위를 제시하였다. 표에서와 같이 건축물의 층수는 10층에서 30층까지 고려하였고, 내부온도는 10~25 °C 범위 및 외부온도는 동절기의 -20~15 °C 범위로 산정하였다. 한편 순환형 연돌효과 저감설비의 송풍량은 400 CMM까지 고려하였다. 수치해석은 미국 NIST에서 제작한 CONTAMW 3.1 프로그램을 사용하였다.

[표 2-19] 주요 설계변수 및 범위

설계변수	범위	비고
층수	10, 15, 20, 25, 30 층	
내부온도	10, 15, 20, 25 °C	
외부온도	-20, -15, -10, -5, 0, 5, 10, 15 °C	
송풍량	0, 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400 CMM	

1.2 수치해석 결과

[표 2-20]에서 [표 2-22] 및 [그림 2-67]에서 [그림 2-70]은 순환형 연돌효과 저감설비의 설계DB 구축에 대한 해석결과를 보여주고 있다. 표 3-2와 그림 3-1은 대상 건축물의 층수가 10층인 경우에 대한 분석결과이다. [표 2-20](a)는 층수가 10층이고 내부온도가 10 °C 인 경우에 대한 결과로서, 표에서와 같이 외부온도가 낮을수록 10층에서 발생하는 계단에서의 압력이 증가한다. 송풍량이 0 CMM으로 자연적인 연돌효과가 발생하는 경우에 외부온도가 -20 °C이면 10층 계단에서는 18.3 Pa의 압력이 형성된다. 외부온도가 -20 °C인 경우 순환

형 연돌효과 저감장치의 송풍량을 300 CMM까지 증가시키면 표에서와 같이 10층 계단에서의 압력이 0.6 Pa로 줄어들어서 연돌효과가 대부분 없어지는 것으로 판단된다.

[표 2-20](b)는 대상건축물의 층수가 10층이고 내부온도가 15℃인 경우에 대한 결과이고, [표 2-20](c)는 내부온도가 20℃ [표 2-20](d)는 내부온도가 25℃인 경우에 대한 결과로서 앞에서 제시한 내용과 유사한 추이를 보여주고 있다.

[그림 2-67]은 대상 건축물의 층수가 10층인 경우에 대해서 [표 2-20]의 결과내용을 그래프로 나타낸 것이다. 그래프에서 X축은 순환형 연돌효과 저감장치의 송풍량을 나타내고, Y축은 내부온도 Z축은 최상층인 10층 계단에서의 압력을 각각 의미한다. 그림에서와 같이 송풍량과 내부온도가 주어지고 외부온도가 인덱스의 컬러에 대응하도록 조합하면 그 조건에서의 10층 계단 압력이 도출될 수 있도록 구성하였다. 이와 같은 그래프로부터 10층 정도의 건축물에서 전체적인 설계인자의 범위를 판단할 수 있고, 조건에 따른 송풍량의 설계값을 제시할 수 있다.

[표 2-20](a) 10층, 내부온도 10℃의 경우

최상층 계단 압력 (Pa) [10층, 내부온도 10℃]								
외부온도 (℃) \ 송풍량 (CMM)	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15
0	18.3	14.8	11.5	8.4	5.5	2.7	0.0	-2.6
50	17.7	14.2	11.0	7.9	4.9	2.2	-0.4	-3.0
100	16.1	12.7	9.5	6.4	3.5	0.7	-1.8	-4.3
150	13.6	10.2	7.0	4.0	1.1	-1.4	-4.0	-6.6
200	10.2	6.8	3.7	0.7	-1.9	-4.5	-7.2	-9.7
250	5.8	2.5	-0.5	-3.1	-5.8	-8.5	-11.2	-13.8
300	0.6	-2.3	-5.1	-7.9	-10.7	-13.4	-16.1	-18.7
350	-4.9	-7.8	-10.7	-13.6	-16.4	-19.2	-21.9	-24.6
400	-11.2	-14.2	-17.2	-20.1	-23.0	-25.8	-28.6	-31.4

[표 2-20](b) 10층, 내부온도 15℃의 경우

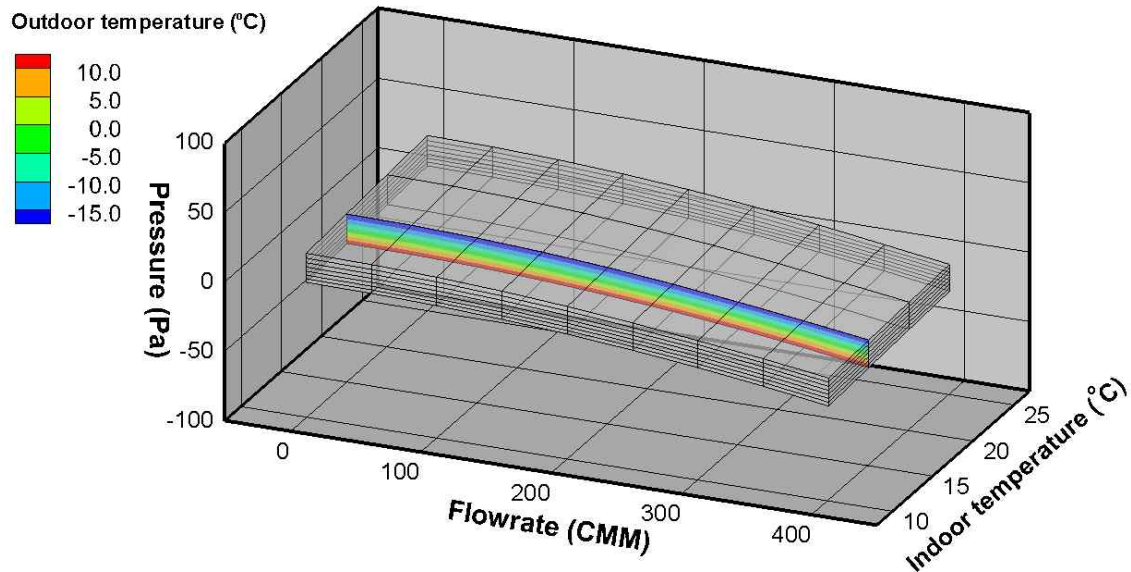
최상층 계단 압력 (Pa) [10층, 내부온도 15℃]								
외부온도 (℃) \ 송풍량 (CMM)	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15
0	21.1	17.6	14.3	11.1	8.1	5.3	2.6	0.0
50	20.5	17.0	13.7	10.5	7.6	4.7	2.1	-0.5
100	18.9	15.4	12.1	9.0	6.1	3.3	0.6	-1.8
150	16.3	12.9	9.6	6.5	3.6	0.9	-1.6	-4.1
200	12.8	9.4	6.2	3.1	0.3	-2.2	-4.8	-7.3
250	8.3	5.0	1.8	-1.1	-3.6	-6.2	-8.8	-11.4
300	2.9	-0.3	-3.0	-5.8	-8.5	-11.1	-13.8	-16.4
350	-3.0	-5.8	-8.6	-11.5	-14.2	-17.0	-19.7	-22.3
400	-9.3	-12.2	-15.2	-18.1	-20.9	-23.7	-26.4	-29.1

[표 2-20](c) 10층, 내부온도 20℃의 경우

최상층 계단 압력 (Pa) [10층, 내부온도 20℃]								
외부온도 (℃) 송풍량 (CMM)	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15
0	23.9	20.4	17.0	13.8	10.7	7.8	5.1	2.5
50	23.3	19.7	16.4	13.2	10.1	7.3	4.5	2.0
100	21.6	18.1	14.8	11.6	8.6	5.7	3.0	0.5
150	19.0	15.5	12.2	9.0	6.1	3.3	0.6	-1.8
200	15.3	11.9	8.6	5.5	2.6	-0.1	-2.5	-5.0
250	10.7	7.3	4.1	1.1	-1.5	-4.0	-6.6	-9.1
300	5.2	1.9	-1.2	-3.7	-6.4	-9.0	-11.6	-14.2
350	-1.2	-4.0	-6.7	-9.5	-12.2	-14.9	-17.5	-20.1
400	-7.5	-10.4	-13.3	-16.1	-18.9	-21.7	-24.4	-27.0

[표 2-20](d) 10층, 내부온도 25℃의 경우

최상층 계단 압력 (Pa) [10층, 내부온도 25℃]								
외부온도 (℃) 송풍량 (CMM)	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15
0	26.7	23.0	19.6	16.4	13.3	10.3	7.6	4.9
50	26.0	22.4	19.0	15.8	12.7	9.8	7.0	4.4
100	24.3	20.7	17.3	14.1	11.1	8.2	5.4	2.8
150	21.6	18.0	14.7	11.5	8.5	5.6	2.9	0.4
200	17.8	14.3	11.0	7.9	4.9	2.1	-0.5	-2.8
250	13.1	9.7	6.4	3.3	0.5	-2.0	-4.5	-6.9
300	7.4	4.0	0.9	-2.0	-4.4	-7.0	-9.5	-12.1
350	0.8	-2.4	-4.9	-7.6	-10.3	-12.9	-15.5	-18.1
400	-5.9	-8.7	-11.5	-14.3	-17.1	-19.8	-22.4	-25.0



[그림 2-67] 10층 조건에 대한 설계 데이터

[표 2-21]과 [그림 2-68]는 대상 건축물의 층수가 20층인 경우에 대한 분석결과이다. 건축물 층수가 20층이고 내부온도가 20 ℃, 외부온도가 -20 ℃ 인 경우를 보면 연돌효과에 의해서 20층 계단에서 약 53 Pa의 압력이 형성되고 있으며, 순환형 연돌효과 저감장치의 송풍량이 350 CMM까지 증가될 경우에 연돌효과가 완전히 없어짐을 알 수 있다. 한편 표 3-4와 그림 3-3은 대상 건축물의 층수가 30층인 경우에 대한 분석결과이다. 건축물 층수가 30층이고 내부온도가 20 ℃, 외부온도가 -20 ℃ 인 경우를 보면 연돌효과에 의해서 20층 계단에서 약 82 Pa의 압력이 형성되고 있으며, 순환형 연돌효과 저감장치의 송풍량이 350 CMM까지 증가될 경우 연돌효과가 상쇄되어 없어진다.

그림 3-4는 건축물의 층수별로 전체적인 설계 데이터의 범위를 보여주고 있다. 그림에서와 같이 층수가 증가할수록 동일한 조건에서 계단 압력이 형성범위가 커지고 있음을 알 수 있다. 즉, 동일한 내부와 외부 조건에 대해서 연돌효과로 생성되는 계단내 압력이 층수에 비례해서 커지게 되며, 순환형 연돌효과 저감장치의 송풍량이 일정량 증가할 경우 층수가 높으면 계단에서의 압력 감소폭도 커진다.

[표 2-21](a) 20층, 내부온도 10℃의 경우

최상층 계단 압력 (Pa) [20층, 내부온도 10℃]								
외부온도 (℃) 송풍량 (CMM)	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15
0	40.7	33.0	25.7	18.8	12.2	6.0	-1.1	-5.8
50	39.1	31.5	24.2	17.4	10.9	4.8	-0.9	-6.5
100	35.4	27.9	20.8	14.1	7.7	1.8	-3.6	-9.2
150	29.9	22.5	15.5	8.9	2.8	-2.4	-8.0	-13.6
200	22.5	15.3	8.5	2.2	-3.0	-8.6	-14.3	-19.9
250	13.4	6.4	0.1	-4.9	-10.7	-16.5	-22.3	-28.0
300	2.8	-2.7	-8.4	-14.4	-20.3	-26.3	-32.1	-37.9
350	-7.1	-13.2	-19.4	-25.6	-31.7	-37.8	-43.7	-49.5
400	-19.4	-25.9	-32.3	-38.7	-44.9	-51.0	-57.1	-63.0

[표 2-21](b) 20층, 내부온도 15℃의 경우

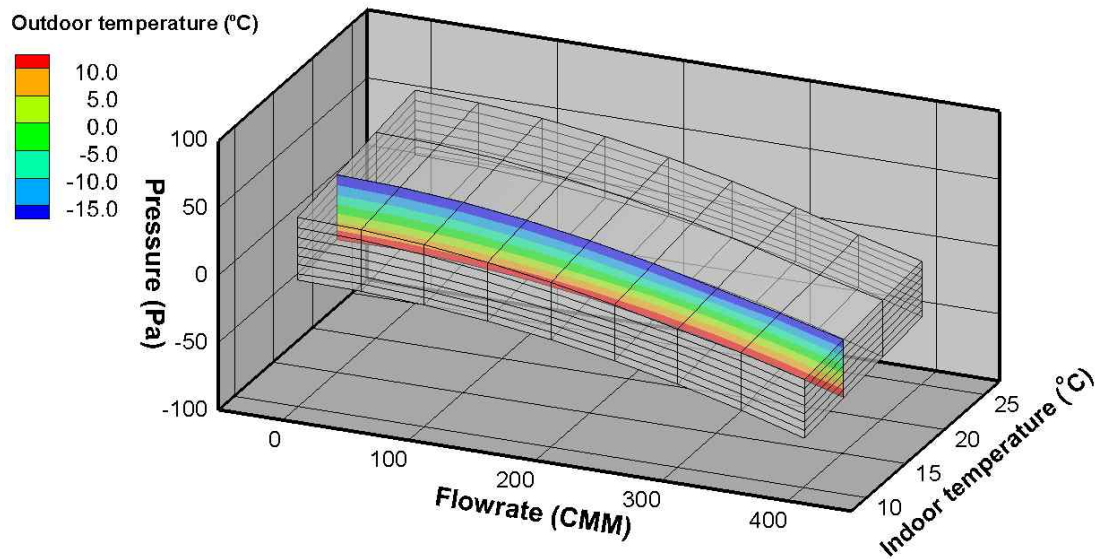
최상층 계단 압력 (Pa) [20층, 내부온도 15℃]								
외부온도 (℃) 송풍량 (CMM)	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15
0	46.9	39.2	31.8	24.8	18.1	11.8	5.8	-1.2
50	45.2	37.5	30.2	23.3	16.7	10.5	4.5	-0.9
100	41.4	33.9	26.7	19.8	13.4	7.2	1.5	-3.6
150	35.7	28.3	21.2	14.5	8.2	2.3	-2.8	-8.2
200	28.1	20.8	13.9	7.4	1.4	-3.6	-9.0	-14.5
250	18.7	11.6	4.9	-0.9	-5.9	-11.5	-17.1	-22.7
300	7.6	1.0	-4.0	-9.7	-15.5	-21.3	-27.1	-32.7
350	-3.3	-9.0	-15.0	-21.0	-27.0	-32.9	-38.8	-44.5
400	-15.3	-21.7	-27.9	-34.2	-40.3	-46.3	-52.3	-58.1

[표 2-21](c) 20층, 내부온도 20℃의 경우

최상층 계단 압력 (Pa) [20층, 내부온도 20℃]								
외부온도 (℃) 송풍량 (CMM)	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15
0	53.0	45.2	37.8	30.7	23.9	17.5	11.4	5.6
50	51.2	43.5	36.1	29.1	22.4	16.1	10.1	4.3
100	47.3	39.7	32.4	25.5	18.9	12.7	6.8	1.3
150	41.4	33.9	26.7	19.9	13.5	7.4	1.7	-3.1
200	33.5	26.2	19.1	12.5	6.3	0.6	-4.2	-9.5
250	23.8	16.6	9.8	3.5	-1.7	-6.8	-12.3	-17.7
300	12.4	5.5	-0.7	-5.5	-11.0	-16.7	-22.3	-27.8
350	-0.2	-5.1	-10.8	-16.7	-22.6	-28.4	-34.1	-39.7
400	-11.5	-17.7	-23.8	-29.9	-36.0	-41.9	-47.7	-53.5

[표 2-21](d) 20층, 내부온도 25℃의 경우

최상층 계단 압력 (Pa) [20층, 내부온도 25℃]								
외부온도 (℃) 송풍량 (CMM)	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15
0	58.8	51.1	43.6	36.4	29.6	23.1	16.9	11.0
50	56.9	49.2	41.8	34.8	28.0	21.6	15.5	9.7
100	52.9	45.3	38.0	31.0	24.4	18.0	12.0	6.3
150	46.8	39.3	32.1	25.3	18.7	12.5	6.7	1.3
200	38.8	31.4	24.3	17.6	11.2	5.3	-0.2	-4.8
250	28.8	21.6	14.7	8.2	2.2	-2.6	-7.7	-13.0
300	17.0	10.0	3.5	-2.0	-6.9	-12.3	-17.8	-23.2
350	3.9	-2.3	-7.0	-12.7	-18.4	-24.1	-29.7	-35.3
400	-8.1	-14.0	-20.0	-26.0	-31.9	-37.7	-43.5	-49.2



[그림 2-68] 20층 조건에 대한 설계 데이터

[표 2-22](a) 30층, 내부온도 10°C의 경우

최상층 계단 압력 (Pa) [30층, 내부온도 10°C]								
외부온도 (°C) 송풍량 (CMM)	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15
0	62.5	50.9	39.7	29.0	18.9	9.2	-1.7	-8.9
50	59.3	47.8	36.8	26.4	16.5	7.1	-1.3	-9.9
100	53.1	41.9	31.2	21.0	11.4	2.6	-5.1	-13.2
150	44.3	33.3	22.9	13.1	4.0	-3.1	-11.4	-19.9
200	32.9	22.2	12.3	3.2	-3.6	-11.8	-20.3	-28.8
250	19.3	9.2	0.4	-6.1	-14.5	-23.1	-31.7	-40.3
300	4.2	-2.8	-10.7	-19.4	-28.2	-37.0	-45.7	-54.4
350	-8.4	-17.1	-26.2	-35.3	-44.4	-53.4	-62.2	-71.0
400	-25.5	-34.9	-44.4	-53.8	-63.1	-72.3	-81.3	-90.2

[표 2-22](b) 30층, 내부온도 15℃의 경우

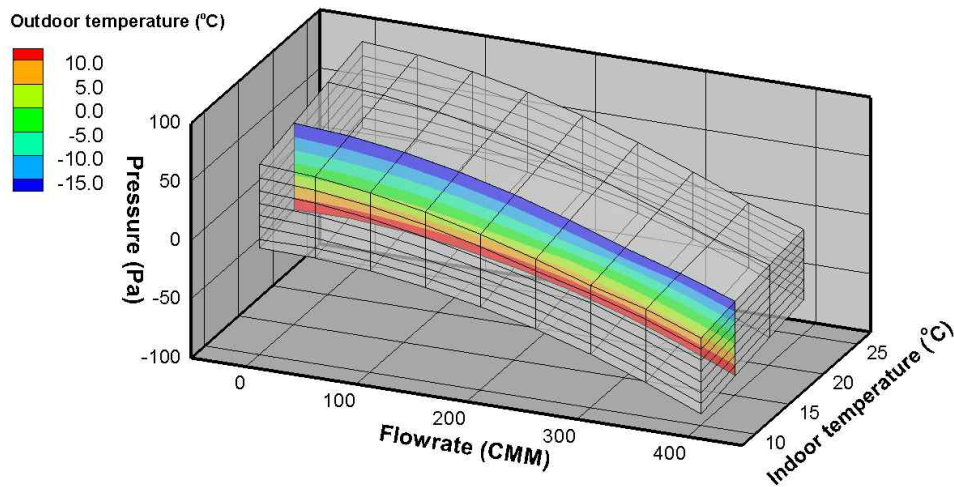
최상층 계단 압력 (Pa) [30층, 내부온도 15℃]								
외부온도 (℃) 송풍량 (CMM)	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15
0	72.1	60.2	49.0	38.3	28.0	18.2	8.8	-1.7
50	68.7	57.0	46.0	35.4	25.4	15.8	6.8	-1.3
100	62.3	50.8	40.0	29.7	19.9	10.7	2.2	-5.2
150	53.0	41.8	31.3	21.3	11.9	3.3	-3.6	-11.7
200	41.2	30.3	20.2	10.6	2.0	-4.5	-12.5	-20.7
250	27.0	16.6	7.1	-0.9	-7.5	-15.7	-24.0	-32.3
300	10.9	1.7	-4.6	-12.6	-21.0	-29.6	-38.1	-46.6
350	-3.3	-11.0	-19.6	-28.5	-37.3	-46.1	-54.8	-63.4
400	-19.5	-28.7	-37.9	-47.1	-56.2	-65.2	-74.1	-82.8

[표 2-22](c) 30층, 내부온도 20℃의 경우

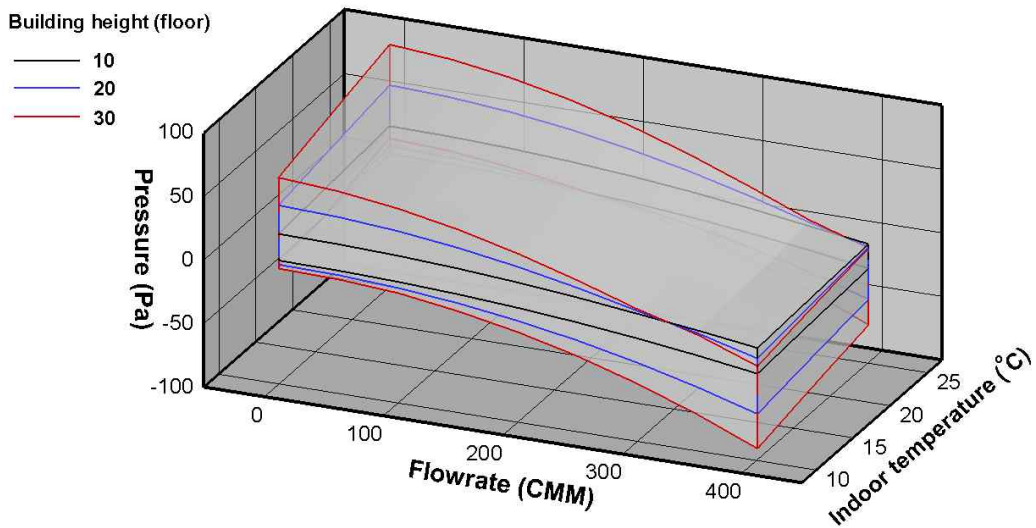
최상층 계단 압력 (Pa) [30층, 내부온도 20℃]								
외부온도 (℃) 송풍량 (CMM)	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15
0	81.5	69.5	58.1	47.3	36.9	27.0	17.6	8.6
50	77.9	66.0	54.8	44.2	34.1	24.4	15.2	6.5
100	71.2	59.6	48.6	38.2	28.3	18.9	10.0	1.8
150	61.6	50.3	39.6	29.5	19.8	10.8	2.5	-4.1
200	49.4	38.3	27.9	18.2	9.1	0.9	-5.4	-13.2
250	34.6	24.0	14.1	5.1	-1.7	-8.8	-16.8	-24.9
300	17.8	7.9	-0.5	-6.5	-14.4	-22.7	-31.0	-39.3
350	0.3	-5.7	-13.7	-22.1	-30.7	-39.3	-47.8	-56.3
400	-14.1	-22.9	-31.9	-40.8	-49.7	-58.6	-67.3	-75.9

[표 2-22](d) 30층, 내부온도 25℃의 경우

최상층 계단 압력 (Pa) [30층, 내부온도 25℃]								
외부온도 (℃) 송풍량 (CMM)	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15
0	90.7	78.5	67.0	56.0	45.6	35.6	26.1	17.0
50	86.9	74.9	63.5	52.8	42.6	32.8	23.5	14.6
100	80.0	68.2	57.1	46.5	36.5	27.0	17.9	9.4
150	70.1	58.6	47.7	37.4	27.7	18.4	9.8	1.8
200	57.4	46.2	35.6	25.7	16.3	7.6	0.0	-6.2
250	42.1	31.3	21.2	11.8	3.2	-2.9	-10.1	-17.9
300	24.6	14.4	5.1	-2.0	-8.4	-16.3	-24.3	-32.4
350	5.8	-2.2	-8.3	-16.3	-24.6	-32.9	-41.3	-49.5
400	-9.2	-17.5	-26.2	-35.0	-43.7	-52.3	-60.9	-69.3



[그림 2-69] 30층 조건에 대한 설계 데이터



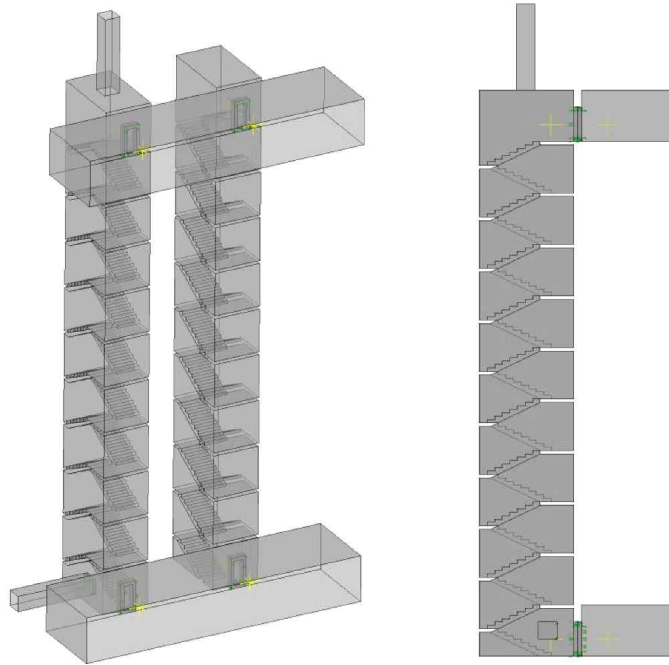
[그림 2-70] 건축물 층수별 설계 데이터 범위

1.3. 상세 수치해석 기술 적용

ANSYS CFX 수치해석 기술을 사용하여 상세해석을 수행함으로써 순환형 연돌효과 저감방안이 실제로 고층 건물에서 효과적으로 작동을 하는지에 대한 검토가 진행될 필요가 있다. 즉 구체적으로는 실내의 온도차, 건물 높이, 송풍기 풍량 등의 설계인자를 고려하여 정량적으로 어느 정도 연돌효과의 저감이 이루어지는지에 대한 연구가 필요하다. 본 연구에서는 3차원 수치해석적 방법을 이용하여 제시한 순환형 연돌효과 저감방안의 분석을 수행하였다.

[그림 2-71]은 순환형 연돌효과 저감방안의 성능분석을 위해 구성한 건축물 계단의 해석모델을 보여주고 있다. 그림에서와 같이 한 건물에서 두 개의 계단을 포함하도록 하였으며, 한 개의 계단에는 순환형 연돌효과 저감장치를 설치하고 나머지 한 개의 계단은 설치하지 않았

다. 각 계단의 층수는 총 11층이고 각 층의 높이는 3 m이다. 1층과 11층에 계단과 연결되는 로비와 출입문을 설치하였으며, 외부와 접하는 로비의 한 면 전체를 개구부로 처리하였다. 순환형 연돌효과 저감방안의 작동을 포함하기 위하여 1층과 11층에 덕트를 연결하였으며, 덕트의 끝면에 공기 유입구(Inlet)와 공기 유출구(Outlet)를 경계조건으로 지정하였다.



[그림 2-71] 상세 수치해석 모델

한편 건축물에서 연돌효과를 포함하는 유동장에 대한 3차원 수치해석을 수행하기 위해서는 건축물내 구획실간 틈새에 대한 해석기법이 제시되어야 한다. 본 연구의 해석모델에서 계단과 로비 사이에 출입문의 틈새가 있는 것과 같이 건축물에는 각 구획실간 틈새가 존재하며, 이러한 틈새를 통해서 유동이 발생하게 된다. 이러한 틈새 누설 유동은 건축물에서 일어나는 다양한 열유동 현상에 영향을 미치게 되며, 연돌효과에 대해서도 중요한 인자로 고려되고 있다. 그런데 3차원 수치해석에서 틈새의 누설 유동을 해석할 경우에는 건축물의 타 공간에 비해 틈새의 단면적이 매우 적기 때문에 틈새를 포함하는 격자생성과 3차원 유동해석에 많은 어려움이 발생하고 있다. 따라서 틈새를 포함하는 3차원 해석을 위한 방안이 필요하며, 본 연구에서는 운동량방정식의 생성항에 “출입문의 누설유량과 출입문 전후의 압력차의 관계식”을 반영하는 Momentum Loss Model을 사용하였다.

즉 해석모델의 격자에서 출입문 틈새부분의 영역에 대해서 식(2-1)과 같이 압력저하가 통과유속에 비례하도록 하는 Momentum Loss Model을 적용하면 틈새유동의 효과를 반영할 수 있다.

$$\frac{\partial p}{\partial x} = -\frac{\rho}{2} |u| u_i \quad (2-1)$$

여기서 α_{oss} 는 2차 저항계수이다.

앞서의 관련 연구에서는 이러한 Momentum Loss Model을 적용하여 계단에서의 연돌효과를 3차원 수치해석적 방법으로 해석하였다.

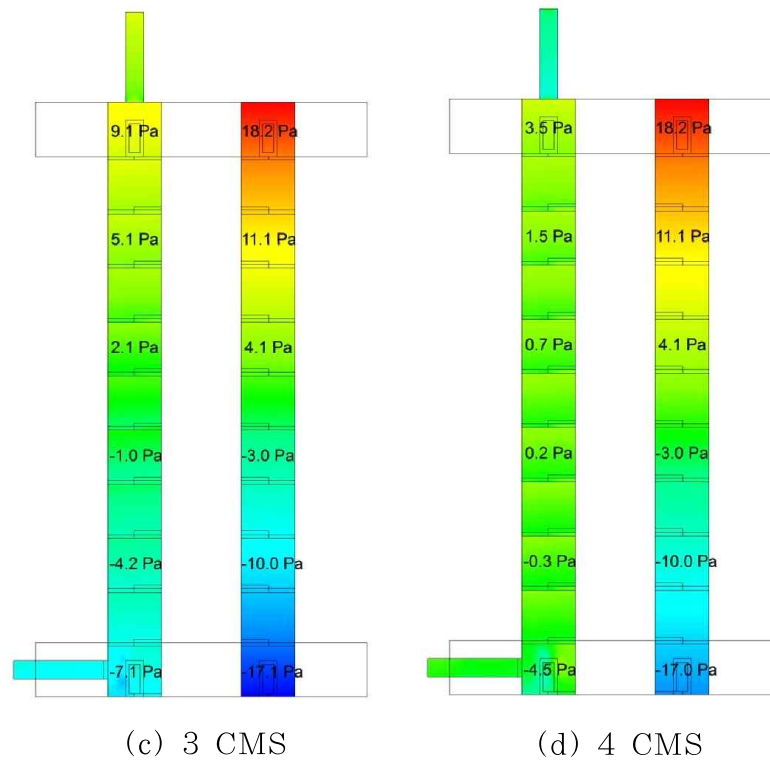
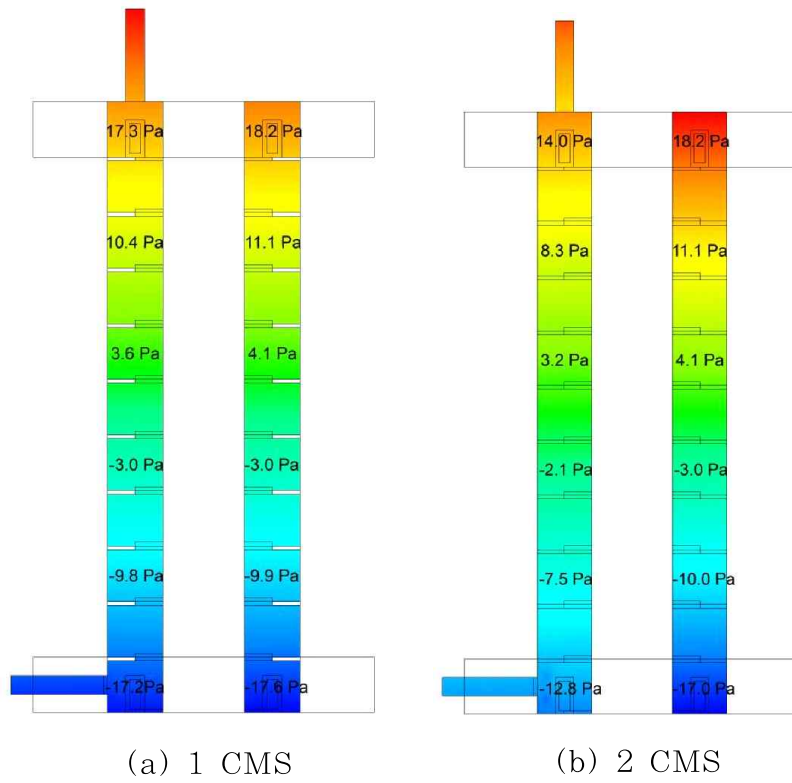
본 연구에서는 연돌효과 저감방안이 적용되지 않는 경우로서 공기 유입구와 공기 유출구의 유출입 풍량을 0으로 하였을 경우와 연돌효과 저감방안이 작동하는 경우로서 공기 유입구와 공기 유출구의 유출입 풍량을 각각 1.0 - 5.0 m³/s 로 변화해가며 3차원 수치해석을 수행하였다.

한편 공기의 유출입 풍량과 함께 건축물에서 연돌효과의 작용에 영향을 미치는 인자가 실내외 온도이다. 본 연구에서는 실내온도(Ti)를 20 ℃, 실외온도(To)를 -10 ℃로 설정한 상태에서 수치해석을 수행하였다.

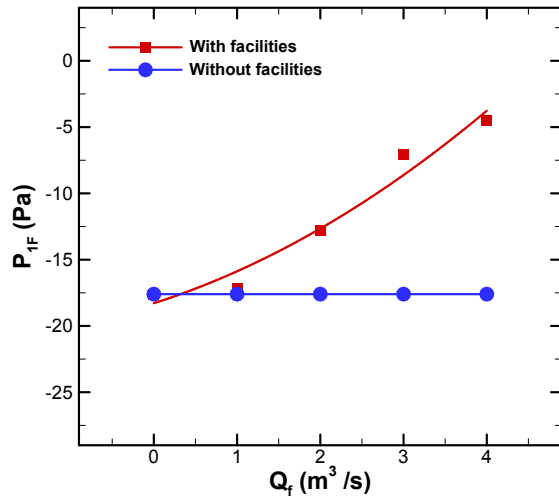
본 연구에서는 수치해석 프로그램으로서 정확성과 타당성이 검증되어 열유동 해석문제에 널리 적용되고 있는 CFX14를 사용하였다.

[그림 2-72]는 3차원 수치해석의 해석결과로서 해석모델의 중앙단면에서의 압력분포를 보여주고 있다. [그림 2-72](a)는 유출입 풍량이 1 CMS, [그림 2-72](b)는 2 CMS, [그림 2-72](c)는 3 CMS, [그림 2-72](d)는 4 CMS에 대한 결과이다. 그림에서와 같이 유출입 풍량이 1 CMS에서 4 CMS로 증가하면서 11층 계단에서의 압력은 약 17.3 Pa에서 약 3.5 Pa로 감소하며, 1층 계단에서의 압력은 -17.2 Pa에서 -4.5 Pa로 증가하고 있음을 알 수 있다. 한편 연돌효과 저감장치가 설치되지 않은 계단에서는 압력값의 변화가 거의 일어나지 않고 있다.

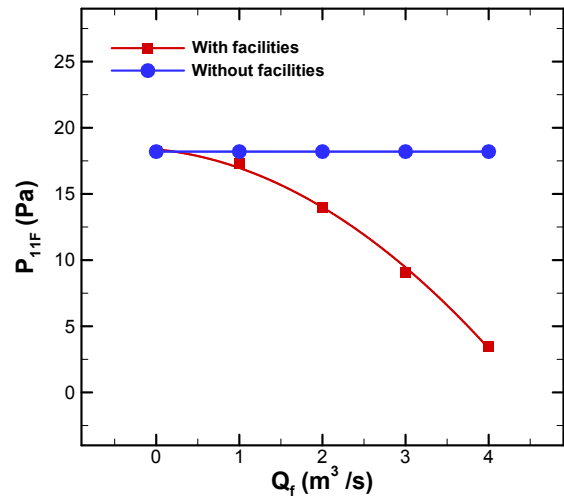
[그림 2-73]은 유출입 풍량에 따른 11층에서의 압력과 1층에서의 압력을 그래프로 나타낸 것이다. 한편 [그림 2-74]는 유출입 풍량에 따라 형성되는 각 계단과 로비사이 출입문 틈새의 누설풍량을 나타낸다. 그림에서와 같이 연돌효과 저감장치가 설치된 계단에서는 유출입 풍량이 증가하면서 누설풍량이 점차 감소하고 있음을 알 수 있다.



[그림 2-72] 중앙단면에서의 압력분포

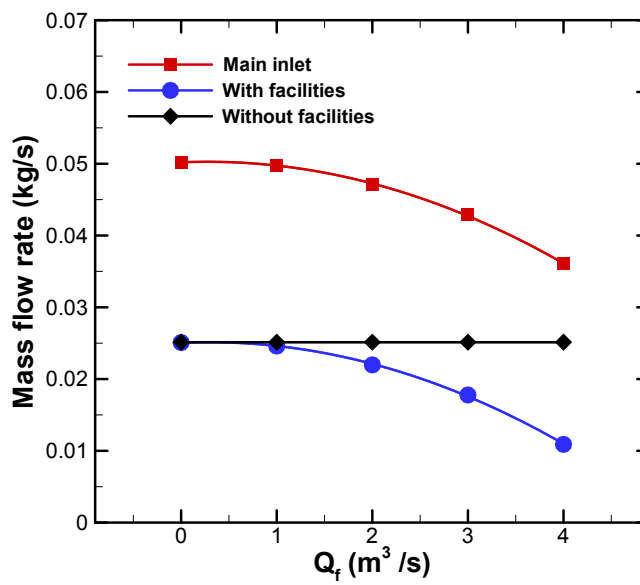


(a) 1층



(b) 11층

[그림 2-73] 유출입 풍량에 따른 계단에서의 압력 변화

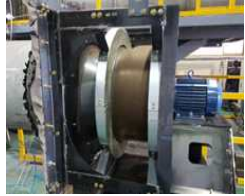


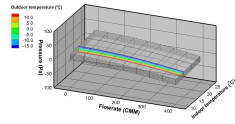
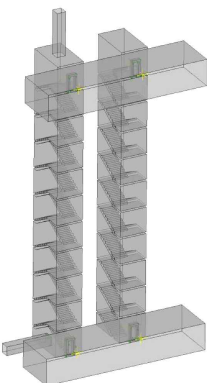
[그림 2-74] 출입문 틈새의 누설 풍량

제4장

목표 달성도 및 관련 분야 기여도

1. 정성적 목표 달성도

	성과 주요내용	최종성과물	비고
제작	- 연돌효과 저감설비 시제품 개발 : 동절기의 고층건물에서 발생하는 연돌효과로 인해 실내와 실외사이에 압력이 발생하며 이는 에너지 손실 및 방재에 악영향이 있으므로 이 연돌효과를 제어하기 위해 수직통로 내 순환형 유로를 구성하여 유동공기를 순환시키는 시제품을 제작	- 연돌효과 저감설비 및 핵심부품 시제품	 [시제품 사진]
핵심부품 성능평가	- PLUG FAN의 성능측정 시험장치를 이용하여 정압, 풍량, 효율의 성능을 확인하였으며 임펠러 블레이드 각도와 액세서리를 이용하여 비교하여 성능을 평가	- 성능평가장치 및 핵심부품 평가결과	 [성능평가장치]
실제건물 대상 성능평가	- 10층 규모의 실제 건물을 대상으로 연돌효과가 심한 동절기에 1차 연돌효과 저감장치 시제품을 설치하여 실시하여 연돌효과 저감장치의 실효성을 수행 및 분석하였고 현장실험에서 나온 데이터를 토대로 수치해석을 실시하여 나온 실험결과와 비교	- 1차 Test Bed 성능평가 결과	 [성능평가 대상 건물]
	- 27층 규모의 실제 건물을 대상으로 동절기에 2차 연돌효과 저감장치 시제품을 설치하여 실시하여 연돌효과 저감장치의 실효성을 수행 및 분석하였고 현장실험에서 나온 데이터를 토대로 수치해석을 실시하여 나온 실험결과와 비교	- 2차 Test Bed 성능평가 결과	 [성능평가 대상 건물]

	성과 주요내용	최종성과물	비고
수치해석 적용	- 네트워크 모델 기반의 수치해석 프로그램을 사용하여 핵심인자와 건물특성에 따른 순환형 연돌효과 저감설비의 설계자료를 구축. 즉 건축물의 층수, 건축물의 내부 및 외부온도, 연돌효과 저감설비의 송풍량에 따라 대상 건축물의 최상층 계단에서 형성되는 압력을 예측 - 3차원 상세 열유동 수치해석 프로그램을 이용하여 상세 수치해석을 수행함으로써 순환형 연돌효과 저감방안의 성능평가와 설계에 적용가능 기술을 확립. 즉 주요인자인 실내외 온도차, 건축물 높이, 송풍기 풍량 등을 고려하여 상세한 수치해석을 수행하여 정량적으로 연돌효과 저감을 분석	- 연돌효과 저감설비 설계자료 및 수치 분석기술	 [10층 조건에 대한 설계 데이터]  [상세 수치해석 모델]
상용화 추진	- 다중 수직통로의 연돌효과 저감 및 핵심부품의 성능향상 기술에 대해서 국내특허를 출원 - 위탁연구기관을 통한 비즈니스 모델 수립과 수요기업 분석 등을 수행하여 개발기술의 사업화 방안을 수립 - 국내외 학술지에 개발기술의 결과를 게재하여서 기술홍보를 추진	- 핵심기술에 대해 국내특허 출원 - 국내외 학술지에 논문 게재	 [국내특허 출원]

2. 정량적 목표 달성도

구분	핵심성과 (level1)		단위성과 (level2)		최종 성과점검기준					목표 달성도
					질적 성과지표	목표치	측정방법	검증방법	가중치	
주관	A	연돌효과 저감설비 시제품 개발	A-1 연돌효과 저감설비 시제품	①	시제품 제작	100 CMM	시제품 성능실험	성능실험 측정자료	10	1차 시제품 제작 완료
				②	연돌효과 저감	20 Pa	저감성능실험	실험측정자료	7	10층 규모 실건물에서 연돌효과 저감성능 제시
				③	정량적 성과	국내특허 1건	특허출원	출원여부	4	다중 수직통로의 연돌효과 저감을 위한 특허출원
		연돌효과 저감설비 설계기술	A-2	①	설계도서	1건	설계도서 작성	작성여부	5	시제품의 설계도서 작성
				②	제어로직	PLC 동적제어	제어로직 평가	평가자료	4	연돌효과의 최적 제어로직 제시
	B	연돌효과 저감설비 상용화	B-1 연돌효과 저감설비 상용화 제품	①	상용화 제품	250 CMM	상용화 성능실험	성능실험 측정자료	9	2차 시제품 제작 완료
				②	연돌효과 저감	30 Pa	저감성능실험	실험측정자료	6	27층 규모 실건물에서 연돌효과 저감성능 제시
				③	공인성적서	1건	KTC시험성적서	성능시험확보	5	핵심부품 성능에 대한 공인인증 확보
				④	신기술(NET) 인증	1건	신기술 획득	획득여부	5	국토교통 신기술 신청
				⑤	정량적 성과	국제특허 1건 SCI급 논문 1편 국내학술지 1편	출원 및 게재	시행여부	4	제품의 핵심부품에 대한 특허 출원 제품 설계의 핵심기술에 대한 논문 작성
		연돌효과 저감설비의 제어기 설계 및 제작	B-2	①	지능형 제어기	PCB 제품	동적제어성능	제어성능 평가자료	4	연돌효과의 현장 제어기 제품 제시
				②	정량적 성과	국내특허 1건	출원	출원여부	3	연돌효과 저감설비의 제어기능 특허 출원
공동	C	연돌효과 분석기술 개발	C-1 연돌효과 저감설비 분석기술	①	해석정도	20%	해석기술평가	오차율 검증	6	3차원 수치해석과 실험결과 비교를 통한 해석정도 확보
				②	측정정도	30 Pa 급	측정기술 평가	정확도 검증	4	실건물 실험에서 측정정도 확보
				③	정량적 특허	국내학술지 2건	학술지 게재	게재여부	4	설비공학 논문집 2건 게재 완료
	D	Test Bed 적용	D-1 Test Bed 설치 및 성능평가	①	Test Bed 적용	30층 규모	적용실험	실험자료	6	10층 및 27층 규모 실건물 Test Bed 적용
				②	Test Bed 성능실험	통합 성능실험	성능실험	실험자료	4	연돌효과 저감의 성능실험 수행
				③	정량적 성과	SCI급 논문 1편	게재	게재여부	4	Building and Environment (SCI E) 국외 논문지 제출
위탁	E	연돌효과 저감설비 컨설팅	E-1 연돌효과 저감설비 개발방향 및 경제성 컨설팅	①	컨설팅 보고서	항목별 4건	보고서 평가	보고서 작성 여부	6	컨설팅 보고서 작성

가. 세부 성과 내역

(1) 논문게재 성과

게재 연도	논문명	저자			학술지명	Vol. (No.)	국내외 구분	SCI 구분
		주저자	교신저자	공동저자				
2015	건축물 계단에서의 연돌효과 저감방안에 대한 3차원 수치해석 연구	김정엽	김정엽	김지석	설비공학 논문집	27(3)	국내	KCI 등재
2015	건축물 계단에서의 연돌효과 저감방안에 대한 현장실험 연구	김정엽	김정엽	김지석 이수각	설비공학 논문집	27(9)	국내	KCI 등재
2016	Field Experiment and Numerical Analysis of the Measures to Reduce the Stack Effect in Stairwell of Building	김정엽	김정엽	이수각 오병길	Building and Environm ent	심사중	국외	SCIE

(2) 학술대회 발표 성과

발표일	발표명	저자	학술대회명	국내외 구분

(3) 특허 성과

출원된 특허의 경우				
출원연도	특허명	출원인	출원국	출원번호
2015	고층 건물내 수직통로의 공조공기 급기 및 배기를 통한 연돌효과 저감시스템	동해기연(주)	대한민국	10-2015- 0174697
2016	소음저감 및 바람 유도 구조를 갖는 송풍기	동해기연(주)	대한민국	10-2016- 0073612
2016	고층 건물내 수직통로의 기류 순환을 통한 연돌효과 저감시스템	동해기연(주)	대한민국	10-2016- 0082296

(4) 기술료 징수 현황(연구개발과제에 참여한 협동연구기관 및 참여기관 포함) (: 백만원)

기 징수액	해당연도 징수액	향후 징수액	합계

(5) 사업화 매출액 (단위 : 백만원)

사업화명	사업화내용	사업화 업체 개요				기매출액	해당연도 매출액	매출액 합계
		업체명	대표자	종업원수	사업화형태			

(6) 인력활용/양성 성과

(가) 인력지원 성과

지원 총인원	지원 대상 (학위별, 취득자)				성별		지역별		
	박사	석사	학사	기타	남	여	수도권	대전	기타지역

(나) 장·단기 연수지원 성과

장기 (2개월 이상)		단기 (2개월 미만)	
국내	국외	국내	국외

(다) 산업기술인력 양성 성과

프로그램명	프로그램 내용	교육기관	교육 개최회수	총 교육시간	총 교육인원

(7) 국제화/협력 성과

(가) 인력교류 성과

외국 연구자 유치				해외 파견			
유치기간(월)	국적	학위	전공	파견기간(월)	파견국	학위	전공

(나) 기술무역 성과

(: 백만원)

기술명	분야	징수액	해당연도 징수액	향후 예정액	계약 업체명	계약업체 소속국가	수출/수입

(다) 학술회의 개최 성과

명칭	기술분야	규모			개최장소	지원금액 (백만원)
		참가국	인원	기간(일)		

(라) 국제협력 기반

MOU 체결			수요조사			공동연구	
대상국	대상기관	수집자료 (건)	대상국	과제접수 (건)	과제도출 (건)	대상국	협약연구비 (백만원)

(8) 경제사회 파급효과

산업지원 성과 (단위 : 건)				고용창출 성과 (단위 : 명)		
기술지도	기술이전	기술평가	합계	창업	사업체 확장	합계

제5장

연구개발성과의 활용계획

제1절

사업전략 수립

1. 생태계 분석

1.1 시장진입 생태계 분석

현재 주관기관인 동해기연(주)은 플랜트파트에 공조설비를 납품 중에 있으며, 건설업이 등록된 회사로 기존에 가지고 있는 BM모델에서 건축 파트로의 진출이 가능할 것으로 판단된다. 또한 동해기연이 가지고 있는 제품의 신뢰성 부분이 기존 진출 시장에서 높은 점수를 받고 있는 것으로 판단됨에 각 메이저급 건설회사에 건축파트 협력업체로의 등록이 가능할 것으로 판단된다.

초고층건물의 시장 진입을 위한 환경조사에서 연돌효과와 관련된 시공파트는 소방설비파트, 엘리베이트 시공파트, 기계설비 파트, 공조기 설비파트 등으로 나뉘 수 있으며, 이는 각각의 초고층 건물의 컨셉에 따라 진출할 수 있는 파트가 달라질 수 있다. 초고층건물의 컨셉이란, 건물주의 의사를 반영한 건축물, 디자인을 고려한 건축물, 사용용도에 따른 건축물 등 각각의 완성 단계에서의 건물을 대표할 수 있는 혹은 가치를 상승시킬 수 있는 형태를 말하는 것으로 국제적으로 그린빌딩 인증제를 기본으로 쾌적한 환경 및 디자인, 에너지 절약, IT 융합 지능 건물 등의 특정 부분들을 강조할 수 있는 건물 형태를 말한다.

기술의 시장 진출을 위한 최고의 방법은 현재 개발 중인 수직통로내 공기의 급기 및 배기를 통한 고층건물 수직통로에서의 연돌효과 저감방법 및 장치와 연돌효과 저감을 위한 설계방법의 신뢰성 확보에 있으며, 시장에서 통용되는 시뮬레이션 결과에서의 재현성이다.

이와 더불어 개발된 연돌효과 저감 관련 기술들이 다른 건축 공법들과의 호환 및 현장 적용이 가능하다면, 시장 진출의 열쇠를 가지게 될 것으로 판단된다.

또한 개발 공법 및 제품이 타 유사 공법과 제품보다 공기를 단축시킬 수 있다면 제품의 가격 경쟁력에서 가격대비 우수함을 나타낸다면 가지고 있는 열쇠는 더욱 빛날 것으로 예상된다.



[그림 5-1] 시장진입 단계 예시

1.2 Business Model(BM) 수립을 위한 시장환경 조사

모델 A를 제외한 모델들은 5층 이상의 건축물을 대상으로 조사되었다. 이는 실제 30층 이상의 초고층 건물을 짓을 수 있는 역량을 가진 국내 건설회사들이 한정되어져 있으며, 그 실적 또한 적기 때문이다. 본 업체에서 바라보는 시장범위는 5층 이상의 건물이다.

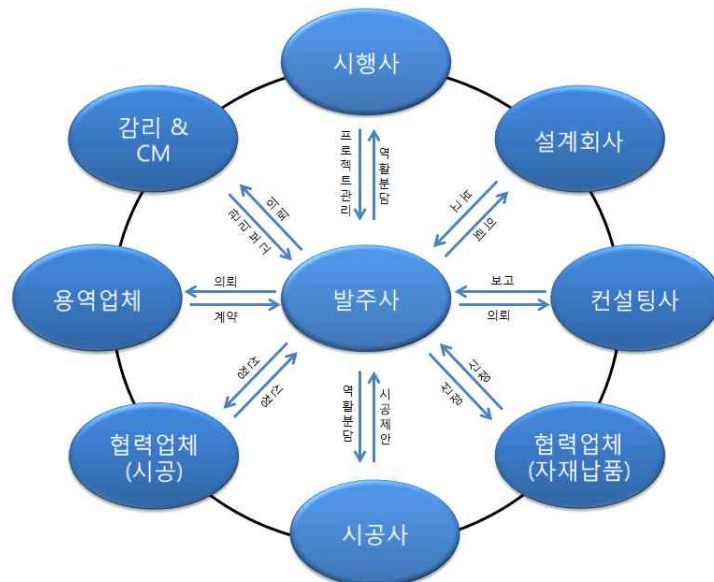
1.2.1 모델 A

모델 A의 경우 메이저급 건설사들의 건설사 자체 브랜드 아파트 공사 혹은 20층 이상의 국내 초고층 건축물의 경우 나타나는 모델이다.

메이저급 건설사의 경우 건설사 안에 설계담당, 시공담당, 플랜트 담당, 초고층빌딩 담당, 건축연구소, 엔지니어링 등을 다 갖추고 있으며, 매년 1회 ~ 2회 협력업체를 모집하는 것으로 조사되었다.

국내 초고층 건축물의 경우 컨설팅사, 설계회사가 건설사 내부소속으로 진행되는 경우가 많으며, 이와 같은 경우 협력업체 선정 및 자재납품업체 선정은 작년 도금액 및 실적, 특허의 유무, 신기술인증 등의 평가점수에 따라 선정되는 경우가 대부분인 것으로 조사되었다. 또한 감리와 CM 파트는 외부 감리 및 CM 경력이 많은 컨설팅사에서 진행되는 경우가 많으며, 이는 본 건설사와 지속적인 설계 검토 및 검증을 하여 공기단축을 위한 기술개발의 일환으로 사용되어지고 있다. 간혹 메이저급 건설사들의 크로스 감리 형태도 보이는 것으로 조사되었다. 본 모델에서 본 업체가 진출할 수 있는 포인트는 협력업체의 신청과 자재납품 협력업체의 신청이다.

시공 협력업체의 신청에서 가장 중요한 포인트는 실적과 기술자의 보유, 특허의 유무에 있으며, 현 상황에서 시공 관련 기술자의 보유에서 평가 점수가 낮을 것으로 예상된다. 그러나 자재납품 협력업체의 등록에서는 모든 항목에서 좋은 점수를 받을 수 있을 것으로 판단된다.

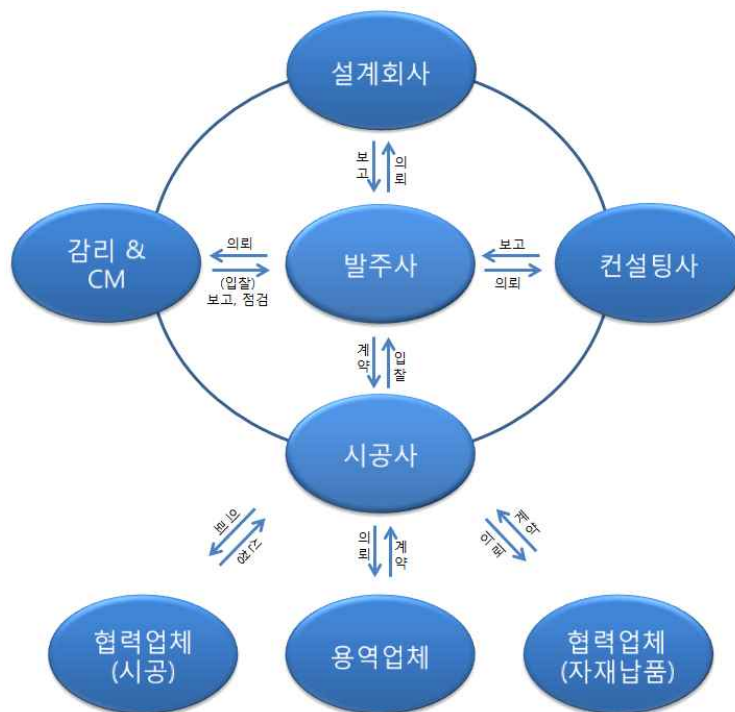


[그림 5-2] 모델 A의 개념도

1.2.2 모델 B

모델 B의 경우 관공서급 공사에 주로 해당되는 모델로 발주사가 시공사를 선정하기전에 건축물의 설계와 컨셉을 정하고, 시공사의 견적 및 건축 제안에 따라 계약하는 방식이다. 본 모델은 발주사가 요구하는 조건을 최대한 이행하는 조건으로 계약이 이루어지는 경우가 많아 그에 따른 시방서의 충실도가 중요 포인트로 작용된다.

본 모델에서는 실제 자재납품의 경우 컨설팅사의 입김 또는 감리회사쪽의 입김에 의해 자재의 납품이 이루어지는 경우가 종종 있으며, 계약은 나라장터에서 수의 계약으로 진행되는 경우가 많은 것으로 조사되었다.

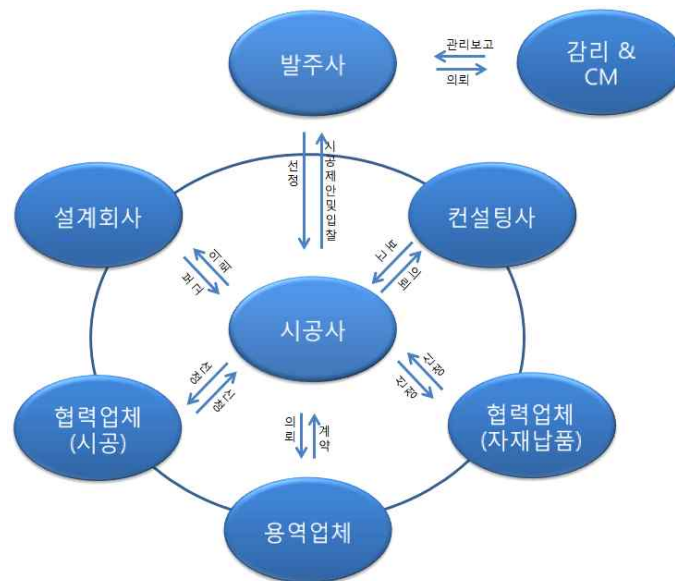


[그림 5-3] 모델 B의 개념도

1.2.3 모델 C

모델 C의 경우 발주사 또는 개인이 건물의 디자인 및 설계 공법, 설계를 모두 시공사에 맡기는 프로젝트 모델로서 시공사는 설계사무소와 컨설팅사 협력업체등과의 컨소시엄으로 구성하여 가격입찰부터 건축 디자인 및 컨셉 시공방법 및 공기일 등의 제안을 컨설팅 받아 선정하는 프로젝트 수행 모델이다. 본 모델의 컨소시엄으로 참가하기 위해서는 시장 인프라를 유지해야 되며, 그에 따른 개별 역량이 중요시 된다.

개인의 경우 설계회사나 컨설팅사에 의뢰를 하여 그에 따른 견적을 받아 공사 진행을 선정하는 경우가 많으며, 이 경우 설계회사나 컨설팅사를 중심으로 컨소시엄이 이루어진다.

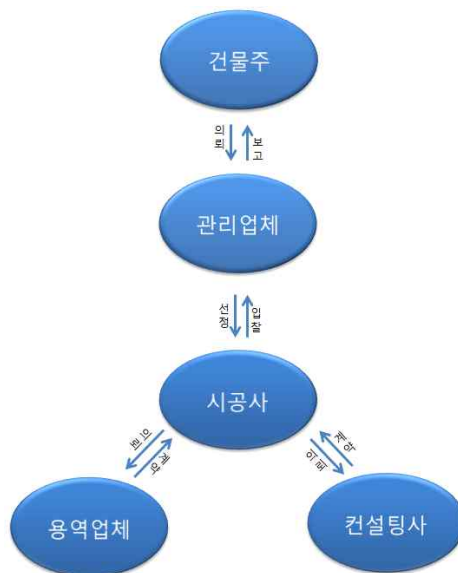


[그림 5-4] 모델 C의 개념도

1.2.4 모델 D

모델 D의 경우 실제 건물주가 건물을 부동산업을 하는 기업 혹은 건설업체에 위탁하는 경우에 많이 발생하는 모델로 건물의 노후에 따른 가치상승을 위한 리모델링의 필요성을 느낄때 사용 하는 경우가 많다. 초고층 건물의 경우 소유주가 일개 개인이 아닌 다수의 사람들 혹은 다수의 기업으로 이루어지는 경우가 많아 관리업체의 컨설팅 결과에 의해 리모델링이 결정되는 경우가 많다.

모델 D의 경우 관리업체와 친분이 있는 업체들에 의뢰가 들어가는 경우가 많으며, 공개입찰에 대한 부분이 적다는 단점이 있는 것으로 조사되었다.



[그림 5-5] 모델 D의 개념도

1.3 BM 수립을 위한 시장환경 분석

1.3.1 초고층 빌딩의 트렌드

(1) 화재 예방

압력차를 이용해서 연기를 제어하는 급기가압 제연시스템의 경우에는 건축물 내의 압력형성에 영향을 미치는 인자들을 설계에 반영해야 하며, 연돌효과가 중요한 인자 중 하나이며 근래에 들어 산업이 발전하고 도시가 고도화 되면서 건축물의 고층화와 복합화 추세가 두드러지고 있다. 이러한 과정에서 건축물의 화재안전을 확보하기 위한 기술의 개발이 요구되고 있으며, 특히 화재시 인명손실의 가장 큰 원인이 되고 있는 연기에 대한 대응기술의 중요성이 강조되고 있다. 선진외국에서는 과거 대형 화재사고에서 발생한 인명피해의 주요 원인이 연기에 의한 것으로 검토되면서 건축물에서의 연기확산과 제어에 대한 체계적이고 다양한 연구를 수행하였으며, 이를 바탕으로 각국의 상황을 반영하는 설계기술을 개발하여 왔다.

국내에서도 고층복합건축물에서의 피난안전 확보와 소화활동 지원의 목적으로 거실과 피난계단에서의 연기제어 설계기준이 제시되고 있다.

그 중에서 NFSC 501A의 특별피난계단의 계단실 및 부속실 제연설비의 화재안전기준은 제연구역에 누설량을 급기하여 제연구역의 압력을 상승시키고 보충량에 의한 방연풍속을 형성함으로써, 제연구역으로의 연기침투를 방지하는 것을 주요 내용으로 하고 있다.

국내에서는 NFSC 501A의 기준을 충족하기 위하여 송풍기와 풍도 및 급기댐퍼를 사용하여 부속실의 압력을 높여주는 급기가압 제연 시스템을 많이 설치하고 있다. 이와 같이 압력차를 이용하여 연기를 제어하는 제연시스템의 경우에는 건축물 내의 압력에 영향을 미치는 인자들을 설계에 반영해야 한다. 그 중에서 동절기에 화재가 발생할 경우 연돌효과가 급기가압 제연시스템의 운전성능에 큰 영향을 미칠 수 있다.

국내에서 연돌효과에 대한 연구는 2000년대 초반 고층 건축물이 증가하면서 본격적으로 수행되었으며, 건축분야에서 연돌효과에 대한 현장 실측과 실내환경에 미치는 영향 및 연돌효과의 저감 방안 등이 연구되었다. 한편 화재안전 분야에서는 수직 피난경로에서의 연돌효과에 대한 분석과 대응책 제시를 통해서 안전한 대피가 이루어지는데 초점을 띤 연구가 많이 수행되었다.

김진수 등은 승강로와 거실간의 차압을 줄이면서 승강로를 급기 가압함으로써 승강로의 연돌효과를 줄이는 방안을 제시하였고, 김정엽 등은 피난계단에서의 연돌효과를 저감하기 위해서 피난계단의 저층부에서 공기를 급기하고 고층부에서 배기하는 순환형 유동 시스템을 제안하였으며, 또한 연돌효과가 피난계단의 급기가압 제연시스템에 미치는 영향과 개선점에 대한 연구가 수행되었다.

송봉세 등은 동절기의 연돌효과로 인해서 급기가압 제연시스템의 성능이 저하되거나 과압이 형성되어 상층부 피난문의 개방이 곤란해질 수 있는 문제점을 제기하였으며, 이에 대한 해결 방안으로 계단실 하부의 급기와 계단실 부속실 동시 가압 및 과압배출 댐퍼의 설치 등을 제안

하였다.

김정엽은 동절기와 하절기에 수행한 급기가압 제연시스템의 현장실험 결과를 분석하였고, 동절기에는 연돌효과와 급기가압 효과가 합쳐지면서 피난계단의 상층부 압력이 크게 상승하고 이로 인해서 부속실과 계산실 간에 과압이 형성되는 문제점을 제기하였다.

(2) 그린 빌딩

에너지 절약과 환경보전을 목표로 ‘에너지 부화 저감, 고효율 에너지 설비, 자원재활용, 환경 공해 저감 기술등을 적용하여 자연친화적으로 설계, 건설하고 유지 관리한 후 건물의 수명이 끝나 해체될 때까지도 환경에 대한 피해가 최소화되도록 계획된 건축물을 말한다. 에너지 성능이 높은 건축물의 건축을 확대하고 건축물 에너지 관리를 효율화하기 위하여 정부가 시행하고 있으며, 건축법에 따른 건축물로서 공동주택 또는 업무용 건축물이 그 대상이다.

〈 건축물 에너지 효율등급 〉

평가기준	공동주택	업무용 건축
1등급	40%이상	300미만
2등급	30%이상 40%미만	300이상 350미만
3등급	20%이상 30%미만	350이상 400미만
4등급	10%이상 20%미만	400이상 450미만
5등급	0%이상 10%미만	450이상 500미만

최근 유럽을 중심으로 미국, 중국, 동아시아 지역 등으로 그린빌딩을 건축하는 사례가 늘고 있으며, 영국은 2016년부터 모든 주거용 건물의 온실가스 배출을 제로화할 계획이고, 미국은 2020년부터 제로 에너지 건축을 의무화한다.

지금과 같은 추세로 그린 빌딩이 늘어날 경우 그 동안 건물에서 새나갔던 에너지, 즉 현재 사용되고 있는 에너지양의 3분의 1을 절약하고, 결과적으로 이산화탄소 배출량을 대폭 줄여 국제적으로 합의하고 있는 2050년의 온실가스 감축량을 달성하는 데 큰 기여를 할 수 있을 것으로 전망된다.

선진국들은 일찍부터 미래 성장동력 차원에서 적극적으로 그린 빌딩 기술을 개발하고 있으며, 이는 에너지와 환경문제를 동시에 해결할 수 있는 방법일 뿐 아니라 향후 신흥시장으로 제품이나 기술을 수출할 수 있기 때문이다. 주목되는 것은 그린 빌딩과 관련된 기술의 개발이며, 빌딩의 에너지 사용량을 줄일 수 있는 단열재, 조명, 냉/난방 기기, 빌딩 관리 시스템 등이 주목받고 있다. 그리고 선진 기업들은 이러한 새로운 성장 기회에 주목하고 있지만 국내 기업들은 조심스러운 태도를 보이고 있다.

한편, 문제는 새로운 기술로 만들어진 시설과 장비들을 설치할 경우 초기 투자비용이 많이 들고 손익분기점에 도달하는 시간이 길어 그린 빌딩에 대한 투자를 망설이게 한다는 점이다. 하지만 신기술이 축적될 경우 전체적인 건축 비용을 줄일 수 있고 건축 산업 전반에 걸쳐 많은 투자를 유발할 수 있으며, 장기적인 그린 빌딩의 효용성을 고려한다면 우리 기업들도 적극

적으로 그린 빌딩 시장에 대한 대응 방안을 모색해야 한다. 미국의 LEED, 영국의 BREEAM과 같은 대표적인 그린 빌딩 인증을 획득해둔다면 현지 시장에서 신뢰도를 높일 수 있다.

2. BM 도출전략 방안

현재 동해기연이 가지고 있는 BM 모델의 경우 제품의 납품에 국한되어 있으며, 그에 따른 제품의 판매에 따른 수익 창출이 BM 모델의 핵심이다. 그러나 현재 업체에서 연구개발하고 있는 연돌 저감 기술의 경우, 기존의 제품 판매로 인한 수익 모델과는 다른 형태로 진행되어야 되는 부분인데, 이는 연돌 저감 기술이 현재 업체에서 생산 판매하는 제품에 직접적인 제품 특허가 아닌 연돌효과를 저감시킬 수 있는 공법 및 그에 따른 프로세스에 대한 부분이기 때문이다. 즉 제품의 성능에 관련된 기술이 아닌 제품의 효율적인 설치 방법 및 설치 효과에 대한 시공분야에 대한 기술로 제품과는 하등 관계가 없는 기술이다.

이러한 상황에서 업체이 본 기술로 얻을 수 있는 수익적인 방법에 대한 부분을 도출하고자 한다.

2.1 BM 도출

2.1.1 사업 참여에 의한 시장진입 방법

본 기술로 인한 시장 진출 방법에서 직접 사업에 참여하는 방법과 간접적으로 사업에 참여할 수 있는 방법, 혹은 다른 3자를 통한 컨소시엄 형태로 사업에 참여할 수 있는 방법이 존재한다.

직접적으로 참여할 수 있는 방법에는 필수적으로 시공파트가 필요하며, 이는 사업 실적이 필요한 부분으로 현재 업체에서 사용할 수 있는 방법으로는 적당하지 않을 것으로 보인다. 하지만 먼 미래를 본다는 과정 하에 투자 개념으로의 방법을 사용할 수 있을 것으로 보인다.

간접적으로 참여할 수 있는 방법으로는 연돌저감 기술에 대한 컨설팅 사업으로, 현재 시장에서 설계 및 설계의 적합성 검증을 위해 컨설팅을 의뢰하는 경우가 빈번하며, 메이저급 같은 경우 자체적으로 평가도 가능하지만, 발주처에서 정확한 근거를 요구하는 부분이 많아 관련 기술의 검증을 가진 회사 또는 연구소에 의뢰하는 경우가 많다. 이 부분 또한 업체가 연구 개발하고 있는 연돌저감 프로세스의 경우 실제로 현장에서 바로 사용할 수 있는 검증 프로세스로 컨설팅 분야에 맞는다고 판단이 된다.

3자를 통한 사업에 참여하는 경우는 시공 능력을 가진 회사와 업무협정을 맺는 것으로 연돌저감 기술이 필요로 하는 시공업체는 소방설비 관련 제연 설비 시공업체, 엘리베이터 관련 시공업체, 공조시스템 관련 시공업체 등이 있으며, 이들 시공업체가 사업에 참여하기 위해서는 연돌저감 방법에 대한 시방서를 제출해야 되는 부분에서 업체의 연돌저감 관련 기술들은 큰 효과를 발휘할 수 있을 것으로 판단된다.

2.1.2 연돌저감 기술의 적용에 대한 시장진입 방법

건축시장에서 연돌 저감기술의 활용은 설계부분에서의 활용, 준공 후의 활용, 리모델링에서의 활용 부분으로 나누어지며, 설계부분에서의 활용 부분은 메이저급 건설회사를 제외한 일반 건설회사에서는 잘 이루어지지 않고, 실제 설계부분에서 적용된 연돌저감 기술이라고 할지라도, 준공 후에 연돌효과에 대한 문제가 발생함에 설계부분에서의 활용 역시 준공 후의 활용으로 봐야 될 것으로 판단된다. 즉 본 시장에 진출할 수 있는 부분은 2개 부분으로 준공 후의 연돌저감 효과에 대한 문제해결을 위한 시공부분과 리모델링 시공부분으로 참여가 가능할 것으로 판단된다.

2.1.3 동해기연 역량에 의한 시장진입 방법

본 업체의 현재 주사업인 팬 관련 분야에 공신력 있는 납품 실적을 가지고 있으며, 이와 더불어 연돌저감 기술을 특허로 확보하여 연구개발하고 있어, 메이저급 건설사의 협력업체 중 자재납품업체로의 등록이 가능하다.

현재 진출하고 하는 시장에서 요구하는 시공실적 및 시공능력을 확보하지 못한 상태이나, 자체 납품업체로의 역량은 뛰어남에 이를 활용할 수 있는 시장 진출 방안을 마련해야 될 것으로 판단된다.

3. BM 분석 및 사업화 전략

3.1 역량 분석

본 주관기관은 인천에 생산 공장을 가지고 있으며, 현장에 적용 가능한 제품 설계 및 생산 시설을 확보하고 있어, 현장 맞춤형 제품 납품이 가능할 것으로 판단된다. 현재 시공능력은 가지고 있지 않으나, 주 생산 제품의 특징상 주요 수요처들이 시공능력을 가진 업체가 대다수라는 점에서 컨소시엄으로 시공능력 확보가 가능할 것으로 판단된다.

본 기술로 진출할 수 있는 시장의 하나로 컨설팅 시장이 있으며, 제품의 특성상 기술 마케팅을 담당하는 인력을 다수 보유하고 있고, 컨설팅 하고자 하는 부분의 기술이 확보된 상태에서 사업화를 위한 기술개발에 들어간 상태로 기술에 대한 컨설팅 능력은 배양 중에 있어, 기존 파트에 의한 기술자 보유 및 기술 영업 파트에 의해 컨설팅 인력은 확보된 상태이다.

그리고 본 업체의 주생산품의 대부분이 급, 배기가 가능한 팬 및 환기 관련 제품으로 현재 납품 실적이 우수한 편이며, 시장에서의 신뢰도가 상당히 높은 것으로 알려져 있다. 또한 플랜트 분야의 납품실적이 상당히 많으며, 그 외 아파트, 주상복합 등의 초고층 빌딩으로의 납품 실적도 상당히 보유한 상태이다. BM도출에서 나타날 수 있는 수익 구조는 첫째 제품 납품으로 인한 기본 수익, 둘째 컨설팅에 의한 컨설팅 수입, 셋째 시공능력이 없는 동해기연으로써 기술을 빌려주는 대가로 받을 수 있는 기술료 등이 있다.

현재 예상할 수 있는 수요처로는 국내외 건설사, 소방 설비 관련 제연 설비 시공업체, 엘리

배터리 관련 시공업체, 공조기시스템 관련 시공업체 등이 존재하며, 그 외 다수의 개인 영세업자들이 있다.

대략적인 시장 현황을 살펴보면, 그린빌딩 인증제에 의한 관공서급의 리모델링 증가하고 있으며, 이에 따른 이유로 그린빌딩의 의무화로 인한 에너지 절감 및 유지 보수비용 절감 기술의 활성화를 들 수 있고, 2015년 AIIB 가입에 의한 국외 건축 시장에 대한 기대효과와 건축물의 화재관련 연돌효과 대응 방안 의무화를 들 수 있다.

동해기연 (주) (주관기관)	제품 생산	인천에 생산 공장을 가지고 있음 기술자 보유로 인해 설계생산가능
	시공능력	자체 시공능력은 없으나, 컨소시엄으로 가능
	컨설팅 능력	현재 기술 확보가 된 상태에서 상용화를 위한 기술 개발을 목적으로 사업화를 진행 관련 분야 컨설팅 능력 배양 중이며, 기존 파트에 의한 다수 기술자 보유 및 기술 영업 파트에 의해 기술 컨설팅 인력 다수 보유
	실적	플랜트분야 메이저급 건설사 납품실적 다수 존재 현 시장에서 신뢰도 높음 아파트 및 관급 공사 납품실적 다수 존재
	예상수익부분	자체 납품 - 기본적인 수익 컨설팅 - 연돌효과 검증 프로세스의 확보 기술료 - 연돌저감 기술의 확보
	수요처	국내외 건설사 소방 설비 관련 제연 설비 시공업체 엘리베이터 관련 시공업체 공조기시스템 관련 시공업체 개인 영세 시공업체
	시장 현황	그린빌딩 인증제에 의한 관공서급의 리모델링 증가 그린빌딩의 의무화로 인한 에너지 절감 및 유지 보수비용 절감 기술의 활성화 AIIB 가입에 의한 기대효과 건축물의 화재관련 연돌효과 대응 방안 의무화

3.2 연돌효과 저감기술의 사업화 SWOT 전략

강점(S) · 기술자 및 생산시설 확보 · 제품 납품 실적 다수 존재 · 판매제품의 규격화 · 맞춤형 설계 생산 가능 · 기존 사업 수익성 좋음 · 기존 사업과의 연계성이 우수함	약점(W) · 시공 능력 없음 · 진출 시장은 비슷하나 사업화 기술의 용도가 기존 사업과 차이남 · 개발 기술의 화재 관련 대응 방안이 필요함
기회(P) · 그린빌딩 인증제에 의한 관공서급의 리모델링 증가 · 그린빌딩의 의무화로 인한 에너지 절감 및 유지 보수비용 절감 기술의 활성화 · AIIB 가입에 의한 기대효과 · 건축물의 화재관련 연돌효과 대응 방안 의무화	위협(T) · 관련 법규의 제정(트렌드의 변화) · 건축물 화재 관련 의무화 범위 확대 · 진출 시장의 메이저급 회사의 독점 · 최종 소비자들의 인식 변화 · 친환경 기술 공법과의 호환 유지 기술들의 부재

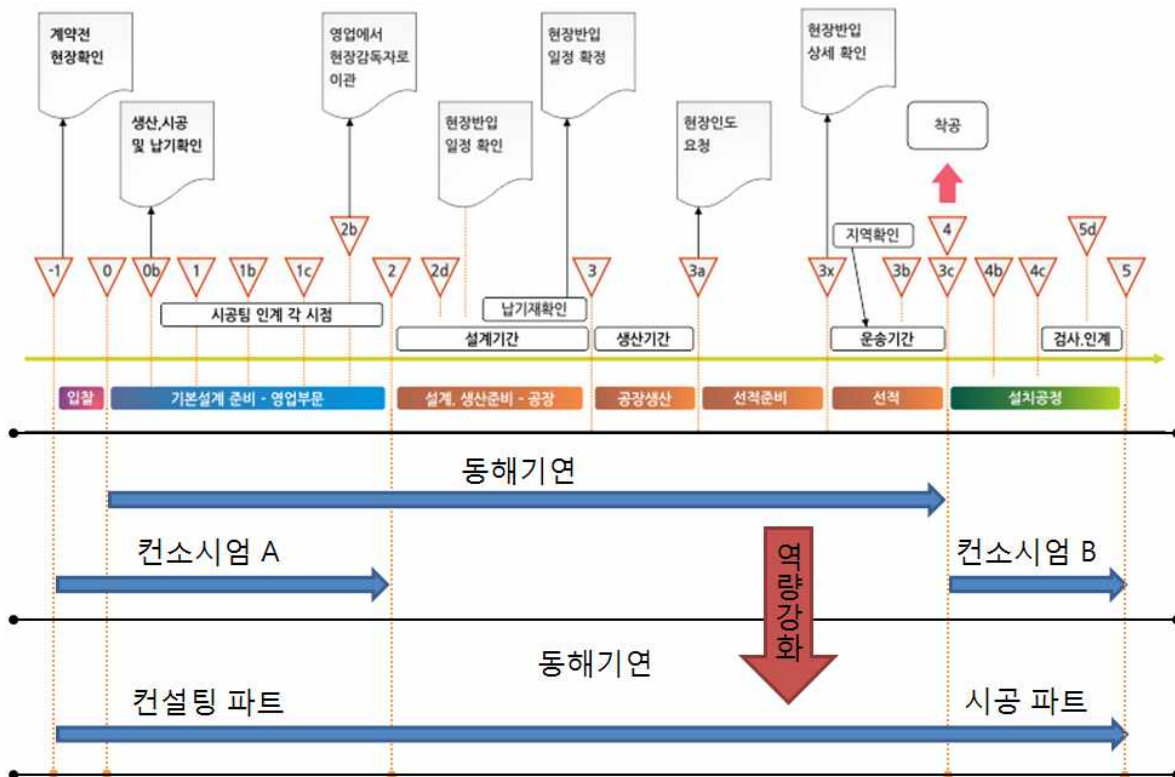
정리하면 다음과 같다.

- 사업화 기술의 활용도에 대한 방안 마련 및 신사업 도출 전략 마련
- 기존 사업의 연계선상에서의 영업망 및 판로망을 통한 수요처 확보 전략
- 정부 정책 및 관련 법 제정에 따른 대응 전략 마련
- 시장 제품과의 호환성 위주의 제품 개발 전략 마련
- 화재 관련 대응 전략 및 기술 개발 전략 방안 모색

3.3 BM 도출 및 사업화 전략 계획 모식도



시장 진출을 위한 시공 단계별 프로젝트 관리항목(예시)

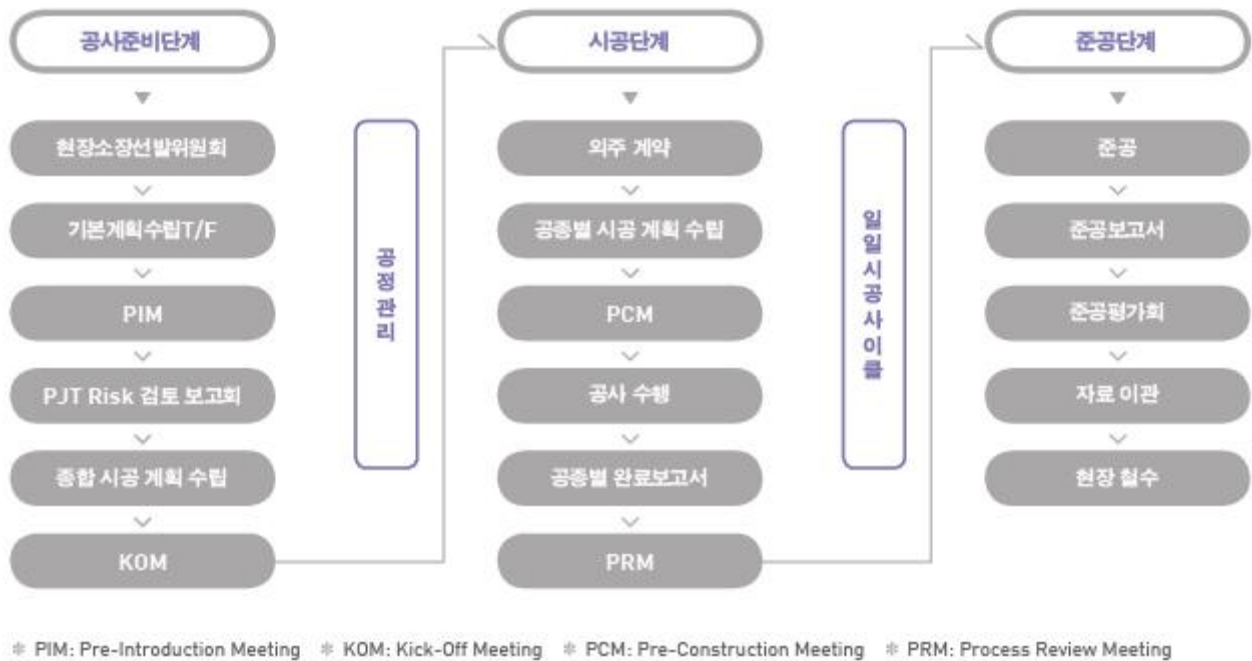


4. 수요기업 조사

초고층 건축물은 일반적으로 주거 및 상업시설, 사무실, 호텔 등을 포함하는 복합공간으로 구성되며 각각의 공간은 별도의 설계 레이아웃과 설비를 요구한다. (발주사)

인테리어 디자이너는 각층의 레이아웃과 마감 및 기능을 정의하고, 건축가는 커튼월 컨설턴트와 함께 건축물의 외부를 설계한다. (건설사, 설계사)

건설부문 공사 관리 프로세스



〈 건설부문 공사 관리 프로세스 (SamSung C&T Corporation Sustainability Report 2010) 〉

설비 컨설턴트는 승강기를 포함하여 냉난방, 공기조화설비, 전기 및 소방 설비등과 함께 설비시설을 총괄하는 설비실을 설계한다. (엔지니어링, 컨설팅 회사)

이후 구조 엔지니어는 분야별 전문가들이 요구하는 기능이 안정성, 경제성, 심미성 측면에서 합리적으로 구현될 수 있는 구조체를 제공한다. (엔지니어링)

위에서 언급한 구조로 봤을 때 수요기업으로 선정할 수 있는 곳은 건설사와 설계사, 엔지니어링 사 및 컨설팅 회사로 볼 수 있다. 그러나 본 업체가 가진 역량으로 수익을 내기 위한 수요기업으로는 건설사와 엔지니어링 사로 좁혀질 수 있으며, 역량 확보 및 미래 투자를 위한 수요기업으로는 설계사와 컨설팅회사로 범위를 나눌 수 있다. 또한 업체이 영위하는 분야에서 현재 수요기업들이 잠재적으로 역량 확보 및 미래 투자를 위한 수요기업으로 정해질 수 있다.

5. 마케팅 프로세스

5.1 마케팅 스킬

5.1.1 SWOT 분석

마케팅 전략 세우기 전에 SWOT를 살펴보면, SWOT는 강점(Strength), 약점(Weakness), 기회(Opportunity), 위협(Threat)의 머리글자를 모아 만든 단어로 경영 전략을 수립하기 위한 분석 도구이다. 내적인 면을 분석하는 강점/약점 분석과, 외적 환경을 분석하는 기회/위협 분석으로 나누기도 하며 긍정적인 면을 보는 강점과 기회 그리고 그 반대로 위협을 불러오는 약점, 위협을 저울질 하는 방법 중에 하나이다.

< 초고층 건물에 대한 SWOT 분석 >

Strength(강점)	Opportunity(기회요인)
- 풍부한 해외시공경험 - 초고층에 대한 지속적인 관심과 계획안 제시 - 초고층을 통한 도시재생 및 관련산업 기술분야 발전가능성	- 법·제도적 문제점에 대한 당위성인식과 개선 움직임 초고층건축 활성화로 인한 - 국내외 시장개척 및 확대 가능성 - 지속적인 연구개발을 통한 독자적인 기술개발 가능성 - 도시기반시설로의 활용가능성
Weakness(약점)	Threat(위협요인)
- 법·제도적 규제와 까다로운 인허가절차 - 성능기반설계에 대한 검증시스템 부족 - 계획 및 설계분야의 경험부족	- 분야별 핵심요소기술에 대한 높은 해외의존도 - 초고층이 가지고 있는 여러 문제에 대한 명확한 해결책 제시 미흡 - 관련분야 연구개발의 필요성에 비해 낮은 R&D 예산 - 초고층 관련된 법제가 미비하고 제정이 시급함

내부적 약점에 대한 대응방안

- 해외업체와 전략적 제휴
- 국제적인 특급 전문인력 양성
- 공기단축을 위한 장비 및 공법개발
- 해외 선진 기술 및 시스템 벤치마킹

외부 환경적 위협에 대한 대응방안

- 국내 제품에 대한 해외 인증획득
- 국제 인증시스템 구축
- 해외 발주방식에 대한 적응력 향상
- 독창적인 기술 개발과 국제화

< 동해기연 SWOT 분석 >

Strength(강점)	Opportunity(기회요인)
- 기술자 및 생산기술 확보 및 제품 납품 실적 다수 존재 - 기존 사업 수익성이 좋으며, 기존 사업과 연계성이 우수함	- 그린빌딩 인증제로 인한 건물 리모델링 증가 - AIIB 가입에 의한 기대효과 - 건축물의 화재관련 연돌효과 대응 방안 의무화
Weakness(약점)	Threat(위협요인)
- 시공능력이 없으며, 사업화 기술의 용도가 기존 사업과 차이남 - 본 개발 기술의 화재 관련 대응 방안 필요	- 관련 법규 제정(Trand 변화) - 진출 시장의 메이저급 회사 독점 - 친환경 기술 공법과의 호환 유지 기술들의 부재

내부적 약점에 대한 대응방안

- 시공능력이 없기 때문에 시공업체와 전략적 제휴
- 본 개발기술에 화재 관련 대응 방안으로 연돌효과 공법 개발 필요

외부 환경적 위협에 대한 대응방안

- 사업화 기술 활용도에 대한 영업망 및 판로망 확보
- 정부 정책 및 관련 법 대응
- 친환경 기술 공법과 같은 호환 유지 기술 개발 전략 방안

5.1.2 STP 분석

마케팅 기법 중에 하나인 STP(Segement, Targeting, Positioning) 전략이란, 시장 세분화, 목표 시장 설정, 포지셔닝의 줄임말로 일정한 기준에 의해 전체시장을 나누고, 기업과 제품에 가장 적당한 시장을 타겟 삼아 어떠한 위치를 선정하여 소비자에게 다가가는 과정을 의미한다.

□ 시장 세분화(Segement)

본 기술은 연돌효과에 저감설비로 사용할 수 있는 시장 분야는 고층(초고층) 건축물로 한정되어 있다(5층 이상의 건물). 세분화로 들어가자면, 고층 건축물의 시공파트는 소방설비파트, 엘리베이터 시공파트, 기계설비 파트, 공조기 설비파트 등으로 나뉘어지며, 이에 해당한다.

□ 타겟 선정(Targeting)

표적 시장주체는 건설(건축)사 이외에도 설비·설계업체 등을 타겟으로 전략을 구사하는 것이 효율적으로 보임

□ 포지셔닝(Positioning)

본 기술의 수직통로내 공기의 급기 및 배기를 통한 고층건물 수직통로에서의 연돌효과 저감 방법 및 장치와 연돌효과 저감을 위한 설계방법의 신뢰성 확보로 첫 번째로 현재 거래업체인 국내외 건설사, 소방 설비 관련 제연 설비 시공업체, 엘리베이터 관련 시공업체, 공조기 시스템 관련 시공업체 등에게 홍보하며, 두 번째로는 각종 건축 전시회(박람회, 예: 서울국제건축 박람회, 2015, 카타르 도하 건축 전시회, 2015, 아키텍스 (ARCHIDEX) 건축, 인테리어, 설계 전시회, 2015), 신축 건축설계공모 및 건축설계 전시를 통해 장점을 부각할 수 있는 포지셔닝 방법을 취하여야 한다. 또한, 건축물은 관공업에 많은 영향이 있으므로 관공업체에 홍보하는 것도 좋은 방법이라고 사료된다.

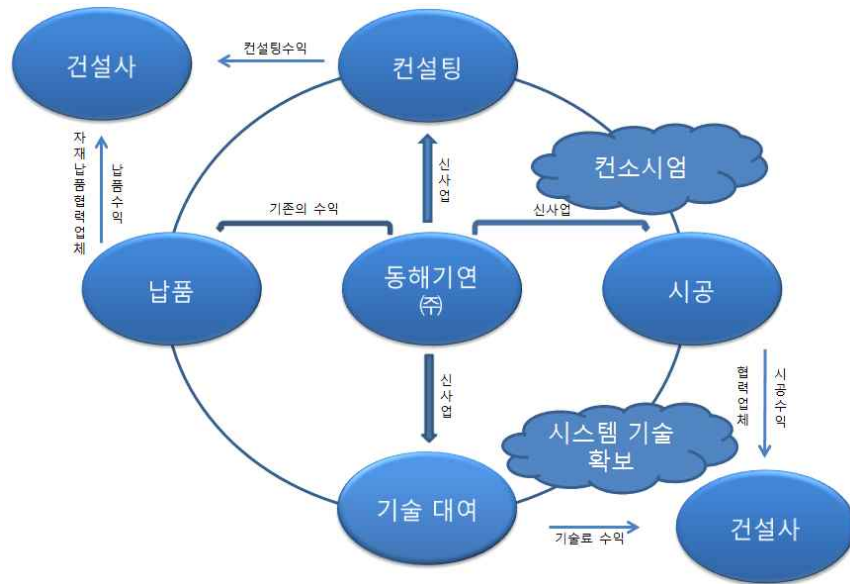
6. 결론

6.1 연돌효과 저감기술의 BM

주관기관인 동해기연(주)는 제조납품업체로 본 기술의 개발을 통해 컨설팅, 시공사, 기술대여 등의 시장으로 진출이 가능할 것으로 판단된다. 우선 플랜트 분야에서 대형 건설사들의 자재납품 협력업체로 건축분야도 같이 진행하고 있는 대형 건설사의 자재납품 협력업체로의 지위는 계속 갱신될 수 있다. 즉 건축분야에서의 유통, 판로망을 이미 확보하고 있는 상태라 볼 수 있다. 기술개발에 의해 취급하는 제품들은 특허가 있는 제품 및 신뢰성이 우수한 제품으로 거듭나게 되어 시장에서의 신뢰도는 상당히 높아질 것으로 예상된다.

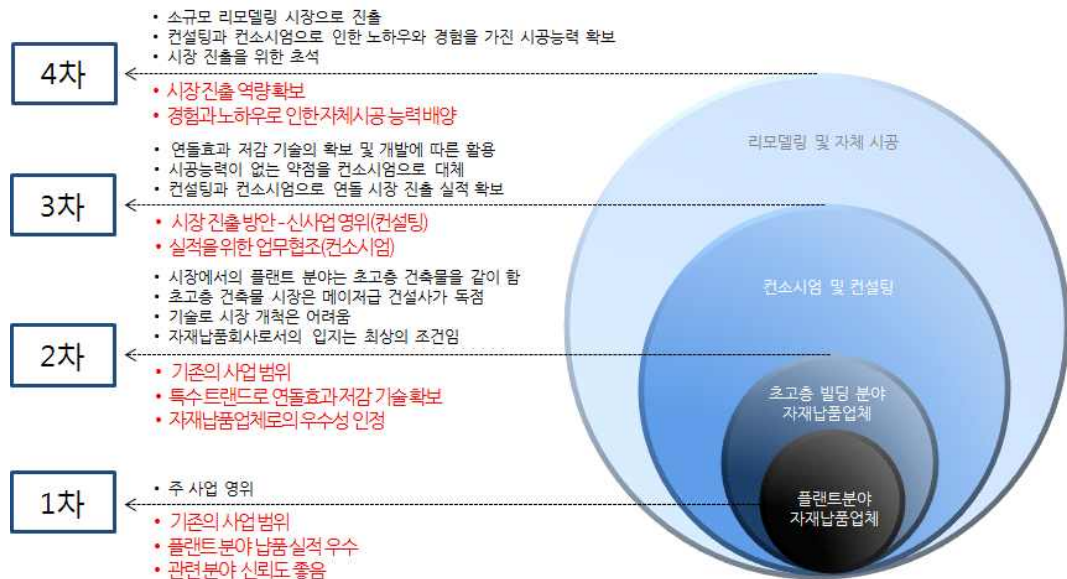
주관기관은 현재 시공관련 능력이 없는 업체로 시공 능력을 단시간에 쌓기는 어려울 것으로 보이지만 본 업체에서 현재 거래하고 있는 거래처들은 거의 대부분이 시공업체로 시공업체와의 컨소시엄을 형성하는데 있어 어려움은 없을 것으로 판단된다. 기술개발에 의해 시공업체가 필요로 하는 기술을 대여 혹은 컨소시엄으로 기술을 활용할 수 있는 방법들이 존재하며, 그에 대한 수익은 기술료 또는 자재 납품 수익이 될 것이다.

현재 개발 중인 기술 중에 고층건물 연돌효과를 분석하기 위한 시스템 툴이 있는데 이 기술의 상용화에 의해 컨설팅 사업으로의 확장이 가능할 것으로 보이며, 이 컨설팅 시장으로의 진출은 동해기연이 확보할 수 있는 수익구조에 대해 엄청난 시너지 효과를 발생시킬 수 있을 것으로 판단된다.



[그림 5-6] 비즈니스 모델별 수익 구조

6.2 최종 전략 BM 제시



제6장

연구개발과제의 대표적 연구실적

번호	구분 (논문/ 특허/ 기타)	논문명/특허명/기 타	소속 기관명	논문 게재지/ 특허 등록 국가	영향력 지수	논문 게재일 /특허 등록일	사사 여부 (단독 사사 또는 중복 사사)	특기 사항 (SCI 여부/인용 횟수 등)
1	논문	건축물 계단에서의 연돌효과 저감방안에 대한 3차원 수치해석 연구	한국건 설기술 연구원	설비공학논 문집	-	2015.03	단독	국내 학회지논문
2	논문	건축물 계단에서의 연돌효과 저감방안에 대한 현장실험 연구	한국건 설기술 연구원	설비공학논 문집	-	2015.09	단독	국내 학회지논문
3	논문	Field Experiment and Numerical Analysis of the Measures to Reduce the Stack Effect in Stairwell of Building	한국건 설기술 연구원	Building and Environment	IF3.394	2016.05 (제출일)	단독	SCIE논문 (심사중)
4	특허	고층 건물내 수직통로의 공조공기 급기 및 배기를 통한 연돌효과 저감시스템	동해기 연(주)	대한민국		2015.12.09 (출원일)		
5	특허	소음저감 및 바람 유도 구조를 갖는 송풍기	동해기 연(주)	대한민국		2016.06.14 (출원일)		
6	특허	고층 건물내 수직통로의 기류 순환을 통한 연돌효과 저감시스템	동해기 연(주)	대한민국		2016.06.30 (출원일)		

제7장

참고 문헌

- G. T. Tamura, and A. G. Wilson, Pressure differences caused by chimney effect in three high buildings, ASHRAE Transactions 73 Part 2 (1967) II.1.1-II.1.10.
- J. H. Jo, J. H. Lim, S. Y. Song, M. S. Yeo, K. W. Kim, Characteristics of pressure distribution and solution to the problems caused by stack effect in high-rise residential buildings, Build. Environ. 42 (2007) 263-277.
- J. H. Jo, I. H. Yang, M. S. Yeo, K. W. Kim, A case study on the field measurement and reduction of the stack effect in high-rise buildings, Journal of the architectural institute of Korea planning & design 18 (2002) 169-176.
- H. Yang, M. S. Yeo, J. H. Jo, K. W. Kim, Simulation of the Stack Effect in High-Rise Buildings, Journal of Air Conditioning and Refrigeration 14 (2002) 456-467.
- K. H. Lee, S. M. Kim, Y. H. Park, J. S. Moon, J. Y. Sohn, A study on the air tightness performance and stack effect characteristics in high-rise apartments, Journal of the architectural institute of Korea planning & design 21 (2005) 279-286.
- J. H. Jo, Simulation of pressure distribution and solving the pressure differentials problem in high-rise residential buildings, Journal of the architectural institute of Korea planning & design 21 (2005) 269-276.
- J. S. Kim, E. P. Lee, Study on the method of stack effect mitigation by the elevator shaft pressurization at high-rise buildings, Journal of Korean Institute of Fire Science & Engineering 25 (2011) 178-183.
- B. S. Son, J. S. Kim, A study on performance improvement measures of pressurized smoke control systems for exit passageways of high-rise buildings, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering 21 (2009) 703-714.
- J. Y. Kim, Field experiment on influence of stack effect to pressure differential system for smoke control", Journal of Korean Institute of Fire Science & Engineering 22 (2008) 194-200.
- J. Y. Kim, H. J. Shin, A study on reduction method of stack effect at stairwell of high-rise building, Journal of Korean Institute of Fire Science and Engineering 25 (2011) 14-20.
- D. W. Etheridge, Crack flow equations and scale effect, Build. Environ. 12 (1977) 181-189.
- P. H. Baker, S. Sharples, I. C. Ward, Air flow through cracks, Build. Environ. 22 (1987) 293-304.
- D. Gross, W. L. Haberman, Analysis and prediction of air leakage through door assemblies, Fire Safety Science, Proceedings of the 2nd International

Symposium (1988) 169-178.

- J. H. Klotz, J. A. Milke, Principles of Smoke Management, ASHRAE/SFPE (2002).
- ANSYS, Inc., ANSYS CFX-Solver Theory Guide (2015~6).
- J. Y. Kim, J. S. Kim, Study on stack effect of stairwell by numerical model of leakage flow through gap of door, Open Journal of Fluid Dynamics 3 (2013) 241-247.

주 의

1. 이 보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통기술사업지원의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 사업의 연구개발성과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.