



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

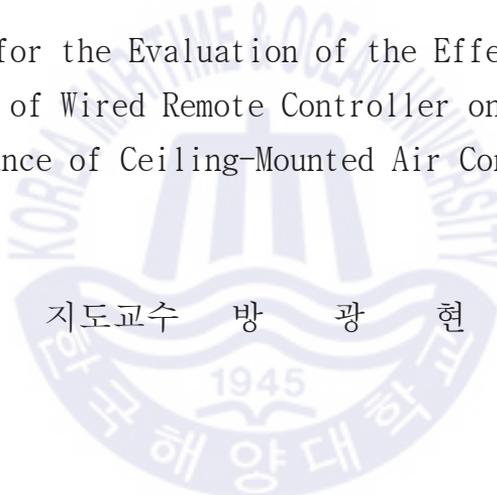
이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공학석사 학위논문

천장형 에어컨 컨트롤러 주변 열환경이  
난방 운전 성능에 미치는 영향 평가를 위한  
CFD 해석

CFD Analysis for the Evaluation of the Effects of Thermal  
Environment of Wired Remote Controller on the Heating  
Performance of Ceiling-Mounted Air Conditioner

The seal of Korea Maritime University is a circular emblem. It features a central shield with a stylized anchor and a ship's mast. Above the shield, the text 'KOREA MARITIME UNIVERSITY' is written in a semi-circle. Below the shield, the year '1945' is inscribed. The outer ring of the seal contains the Korean text '한국해양대학교' (Korea Maritime University).

지도교수 방 광 현

2020년 2월

한국해양대학교 대학원

냉동공조공학과

이 대 겸

本 論文을 李垚兼의 工學碩士學位論文으로 認准함.

위원장 공학박사 황 광 일 

위 원 공학박사 유 삼 상 

위 원 공학박사 방 광 현 

2019년 12월

한국해양대학교 대학원

# CFD Analysis for the Evaluation of the Effects of Thermal Environment of Wired Remote Controller on the Heating Performance of Ceiling-Mounted Air Conditioner

Dae-Kyum Lee

*Department of Refrigeration & Air-Conditioning Engineering  
Graduate School of Korea Maritime and Ocean University*

## Abstract

As the demand of air conditioning for heating in winter season and the concern about the building energy consumption increases, many experimental and analytical investigations of the heating performance and operational characteristic of ceiling-type air conditioner have been carried out to increase the efficiency of the system. In earlier studies, the primary concerns were the operating algorithm, mechanical efficiency and physical factors like discharge angle and flow rate of indoor unit. There is no doubt that these efforts definitely have contributed to improve the performance of the systems. However, people's dissatisfaction on indoor thermal environment still exists because of the poor performance of air conditioner due to the abnormal control of the system. The abnormal control may occur by the influence of the thermal environment near the controller. The cold wall on which the controller is installed, for example, can affect the control temperature thus the desired comfort environment may not be achieved.

This study investigated two major factors that are closely related with the control temperature of ceiling-type air conditioner. The first is the air passage through the slit of controller that is located near the temperature sensor. The other is thermal inertia of the controller-mounted wall whose temperature drops down severely over the night. To investigate the effect of these two factors on the heating performance, transient CFD simulations using ANSYS CFX v.19 have been carried out for a small office room with ceiling-type air conditioner and wall-mounted controller. In these simulations, outdoor temperature was 0°C, the initial indoor temperature was varied between 0°C and 10°C. The set temperature for heating mode was 20°C.

The simulation results showed that the thermal environment near the controller strongly affects the indoor air current, indoor thermal environment, and the behavior of control temperature. Furthermore, its airflow field and the temperature distribution, and the relationship between the two factors and the control temperature were discussed. All the simulation results have been analyzed to get better understanding of room air conditioning and the role of control temperature.

**KEY WORDS** : Air-conditioner(에어컨), Heating(난방), Ceiling type(천장형), Computational Fluid Dynamics(전산유체역학)

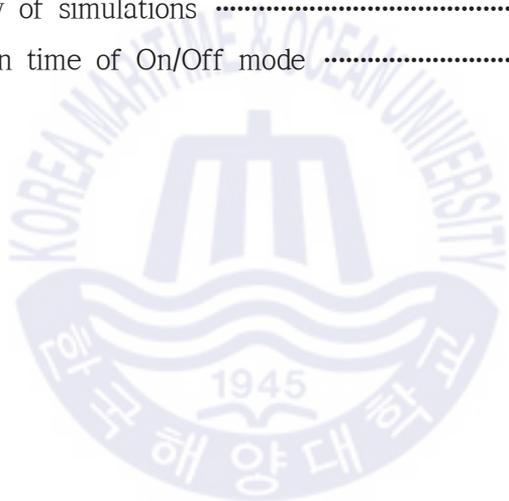
# 목 차

Abstract .....	i
List of Tables .....	v
List of Figures .....	vi
1. 서 론 .....	1
1.1 연구 배경 .....	1
1.2 연구 목적 .....	7
2. 선행연구 고찰 .....	8
2.1 서론 .....	8
2.2 HVAC 수치해석에 관한 고찰 .....	8
2.3 천장형 에어컨의 개요 .....	9
2.3.1 실내기 취출각도에 의한 영향 .....	9
2.3.2 유·무선 리모컨 온도센서 위치에 따른 영향 .....	10
2.3.3 제어 알고리즘에 대한 연구 .....	13
2.3.4 난류모델에 대한 영향 .....	13
3. 해석 모델 .....	15
3.1 지배방정식 .....	15
3.2 해석공간 및 격자생성 .....	15
3.3 경계조건 .....	16
3.3.1 컨트롤러의 경계조건 .....	16
3.3.2 내벽 및 외벽의 경계조건 .....	17
3.3.3 On/Off 제어 알고리즘 .....	18
3.4 시뮬레이션 개요 .....	19

4. 결과 및 고찰 .....	23
4.1 실내온도 분포 .....	23
4.1.1 실내온도 수직분포 .....	23
4.1.2 실내온도 수평분포 .....	24
4.2 Slit의 개폐여부에 따른 실내온도 .....	26
4.2.1 Slit이 닫힌 경우의 실내온도 영향 .....	26
4.2.2 Slit이 열린 경우의 실내온도 영향 .....	26
4.2.3 Slit에 의한 영향 비교 .....	26
4.3 내벽 온도의 영향 .....	27
4.3.1 내벽의 온도구배에 따른 실내온도 영향 .....	27
4.3.2 내벽의 초기온도에 따른 실내온도 영향 .....	28
4.4 컨트롤러 후면 단열 효과 .....	28
4.4.1 Slit이 닫힌 경우의 단열 추가에 따른 영향 .....	28
4.4.2 Slit이 열린 경우의 단열 추가에 따른 영향 .....	29
4.5 On/Off mode 운전시간 .....	29
4.5.1 Slit의 개폐여부에 따른 운전시간 비교 .....	30
4.5.2 내벽의 초기온도에 따른 운전시간 비교 .....	30
4.5.3 단열 추가에 따른 운전시간 비교 .....	31
5. 결론 .....	49
참고문헌 .....	51
감사의 글 .....	54

## List of Tables

<b>Table 1.1</b> Temperature design criteria of energy saving design of building .....	3
<b>Table 1.2</b> Domestic and international temperature standard for design ....	6
<b>Table 3.1</b> Boundary conditions .....	17
<b>Table 3.2</b> Material properties .....	18
<b>Table 3.3</b> Discharge air flow and temperature of On/Off mode .....	19
<b>Table 3.4</b> Summary of simulations .....	19
<b>Table 4.1</b> Operation time of On/Off mode .....	30



## List of Figures

Fig. 1.1	Temperature standard for design of energy saving design of building .....	3
Fig. 1.2	Temperature standard for design of energy use rationalization act .....	4
Fig. 1.3	Temperature standard for design of energy use rationalization of public institutions .....	4
Fig. 1.4	Summer and winter comfort zones of ASHRAE .....	5
Fig. 1.5	Operative temperature of ISO 7730 .....	6
Fig. 2.1	Vertical temperature contour in winter season .....	13
Fig. 2.2	Characteristic of mesh sensitivity and turbulence model .....	14
Fig. 3.1	Computational model of office room .....	20
Fig. 3.2	Designed mesh of office room .....	20
Fig. 3.3	Photograph of ceiling type air-conditioner .....	21
Fig. 3.4	Layout of ceiling type air-conditioner .....	21
Fig. 3.5	Photograph of wall-mounted remote controller .....	22
Fig. 3.6	Schematic of wall-mounted remote controller .....	22
Fig. 4.1	On-mode air velocity vector on X = 2 m vertical plane .....	32
Fig. 4.2	On-mode air velocity contour on X = 2 m vertical plane .....	32
Fig. 4.3	On-mode air temperature contour on X = 2 m vertical plane ·	33
Fig. 4.4	Off-mode air velocity vector on X = 2 m vertical plane .....	34
Fig. 4.5	Off-mode air velocity contour on X = 2 m vertical plane .....	34
Fig. 4.6	Off-mode air temperature contour on X = 2 m vertical plane ·	35
Fig. 4.7	Location of line 1, 2, 3 on vertical plane .....	36
Fig. 4.8	Location of line 1, 2, 3 on horizontal plane .....	36
Fig. 4.9	Case 1 On-mode - temperature of line 1, 2, 3 .....	37
Fig. 4.10	Case 1 Off-mode - temperature of line 1, 2, 3 .....	37

Fig. 4.11	Location of a1~b9 points on horizontal plane .....	38
Fig. 4.12	Location of a1~b9 points on vertical plane .....	38
Fig. 4.13	Case 1 temperatures of a1~a9 points at 1.1 m height .....	39
Fig. 4.14	Case 1 temperatures of b1~b9 points at 1.5 m height .....	39
Fig. 4.15	On-mode air velocity contour on Z = 1.1 m horizontal plane ·	40
Fig. 4.16	On-mode air velocity contour on Z = 1.5 m horizontal plane ·	40
Fig. 4.17	On-mode air temperature contour on Z = 1.1 m horizontal plane .....	41
Fig. 4.18	On-mode air temperature contour on Z = 1.5 m horizontal plane .....	41
Fig. 4.19	Off-mode air velocity contour on Z = 1.1 m horizontal plane	42
Fig. 4.20	Off-mode air velocity contour on Z = 1.5 m horizontal plane	42
Fig. 4.21	Off-mode air temperature contour on Z = 1.1 m horizontal plane .....	43
Fig. 4.22	Off-mode air temperature contour on Z = 1.5 m horizontal plane .....	43
Fig. 4.23	Case 1 - room and control temperatures .....	44
Fig. 4.24	Case 2 - room and control temperatures .....	44
Fig. 4.25	Discharge flow rates Case 1 and Case 2 for 1 h .....	45
Fig. 4.26	Discharge flow rates Case 1 and Case 2 for 10 h .....	45
Fig. 4.27	Case 1 - inner wall, thermostat and room temperature profiles .....	46
Fig. 4.28	Relationship between room and initial wall temperature for slit closed .....	47
Fig. 4.29	Relationship between room and initial wall temperature for slit open .....	47
Fig. 4.30	Room temperature with additional insulation for slit closed .....	58
Fig. 4.31	Room temperature with additional insulation for slit open .....	58

# 제 1 장 서론

## 1.1 연구배경

최근 경제 성장과 산업의 발달로 인하여 세계적으로 에너지 소비량은 꾸준히 증가하고 있는 추세이고, 이와 함께 건물에너지 소비량이 차지하는 비중도 증가하고 있으며, 건물에너지 소비량 중 약 50% 이상의 에너지가 실내공조의 목적으로 사용되고 있다 (Pérez, 2008). 이와 같이 전력사용량이 늘어남에 따라 에너지 절감에 대한 필요성과 사람들의 관심이 증가하게 되면서 각 국가 및 기관들이 냉난방 설계의 기준온도를 제안하게 되었다.

Fig. 1.1과 Table 1.1은 국내 건축물의 냉난방시 설계온도의 기준으로 국토교통부(Ministry of Land, Infrastructure and Transport, MOLIT)에서 제안하는 ‘건축물의 에너지절약설계기준 (MOLIT, 2018)’에 따른 설계온도를 나타낸 것이고, Fig. 1.2, 1.3은 산업통상자원부(Ministry of Trade, Industry and Energy, MOTIE)에서 제안하는 ‘공공기관 에너지이용 합리화 추진에 관한 규정 (MOTIE, 2017)’과 ‘에너지이용 합리화법 시행규칙 (MOTIE, 2018)’을 나타낸 자료이다. Fig. 1.4는 미국의 공조냉동공학회(American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, ASHRAE)에서 제안하는 ASHRAE Handbook-fundamentals (ASHRAE, 2001)에 따른 냉난방 설계온도를 나타내고, Fig. 1.5는 국제 표준화기구(International Organization for Standardization, ISO)에서 제안하는 ISO 7730 (ISO, 2005)에 따른 설계온도의 기준을 나타낸다. 기준으로 제안하여 건축물에서 소비되는 에너지를 절감하려는 노력을 하고 있다. Table 1.2는 국내·외 냉난방 설계에서 대표적으로 권장하는 냉난방 설계기준의 기준을 정리한 것이다.

현대사회에서 대부분의 사람들은 하루 중 80%이상의 시간을 주택이나 사무실과 같은 실내공간에서 생활하므로 실내환경이 재실자에게 미치는 영향은 매우 크다고 할 수 있다. 이러한 실내온열환경을 평가하기 위한 6가지 주요 온열평가인자로는 인체대사량, 착의량, 실내온도, 복사온도, 기류속도와 습도가 있

고, 그 중 인체대사량과 착의량은 재실자의 특성에 대한 요소이며, 나머지는 실내환경 조건에 따른 인자이다. Kim et al. (2008)은 Fanger에 의해 제안된 예상 평균온열감(Predicted Mean Vote, PMV)을 사용하여 재실자의 열적 쾌적감을 평가하였고, 앞선 6가지 주요 온열평가인자들 중 개인적 변수인 인체대사량과 착의량을 제외하였을 때, 제어가능한 요소인 실내온도 및 복사온도가 재실자의 열적 쾌적감에 영향을 미치는 가장 큰 영향인자임을 확인하였다. Moon. et al. (2008)은 실내환경이 작업자의 업무효율에 미치는 영향에 관한 조사를 통하여 실내 온·습도가 가장 큰 영향을 미치는 요소임을 확인하였고, Jung (2015)은 온열환경이 학생들의 주의력 및 학업성취도에 영향을 미치는 것을 확인하였으며, 온열환경의 제어변수로서 온도가 가장 큰 영향을 주는 인자임을 확인하였다. 이처럼 실내온도가 학생들의 학습능력 및 작업자의 업무효율 뿐만 아니라 재실자의 열적 쾌적성에 가장 큰 영향을 주는 요인이라는 점을 고려한다면 HVAC(Heating, Ventilating and Air-Conditioning)을 통해 재실자의 쾌적성을 만족시킬 수 있는 실내환경을 제공하는 것이 건축물의 냉난방 설계에 반영되어야 함은 당연하다고 할 수 있다. 이에 따라, 실내공조를 통하여 재실자에게 쾌적한 실내환경을 제공하여 쾌적성을 유지하면서도 에너지를 절감할 수 있는 방안에 대한 많은 연구들이 필요하게 되었다.

최근 그 수요가 증가하고 있는 실내공조 방법으로는 천장형 에어컨이 대표적이라고 할 수 있으며, 천장형 에어컨이 선호되는 이유는 스탠드형과 벽걸이형에 비해 거주공간에 영향을 미치지 않으면서 설치공간의 최소화에 따른 공간절약 및 에너지 절약 측면에서 유리한 장점을 갖고 있기 때문이다. 천장형 에어컨의 개별공조방식인 VRF(Variable Refrigerant Flow)시스템은 한 대의 실외기에 다수의 실내기를 연결한 것으로 냉매의 유량 제어를 통하여 부분부하에 대응하기 용이한 장점이 있을 뿐만 아니라, 기존의 VAV(Variable Air Volume)시스템에 비해 상대적으로 높은 효율을 갖고 있으며 초기 투자비 및 운영비 측면에서 유리한 것이 장점이라고 할 수 있다. 이러한 천장형 에어컨은 실내기 및 실외기 운전의 제어 알고리즘으로 설정온도제어(Set-Point Control)를 적용하고 있다. 설정온도제어는 컨트롤러의 온도센서에서 측정되는 건구온도만을 고려하

여 제어온도를 설정온도(Set-Temperature)에 도달하도록 취출온도 및 취출풍량을 조절하는 방식이고, 이는 제어온도가 실내 냉난방의 기준이 되는 가장 중요한 인자라는 것을 의미한다.

현재까지 실험 및 수치해석을 활용한 HAVC에 관한 많은 연구가 진행되어 왔으나, 실제 운전모드를 반영하기 위해서 컨트롤러의 온도센서 주변 열환경에 의해 영향을 받은 제어온도가 냉난방 운전 및 실내온열환경에 미치는 영향에 관한 연구가 부족한 실정이기에 본 연구를 진행하게 되었다.

국토교통부, '건축물의 에너지절약설계기준' 시행 2018. 9. 1	
제9조(기계부문의권장사항) 에너지절약계획서 제출대상 건물의 건축주와 설계자 등은 다음 각 호에서 정하는 사항을 제13조의 규정에 적합하도록 선택적으로 채택할 수 있다.	
1. 설계용 실내온도 조건	난방 및 냉방설비의 용량 계산을 위한 설계기준 실내온도는 난방의 경우 20℃, 냉방의 경우 28℃를 기준으로 하되(목욕장 및 수영장은 제외) 각 건축물 용도 및 개별 실의 특성에 따라 별표8에서 제시된 범위를 참고하여 설비의 용량이 과다해지지 않도록 한다.

Fig. 1.1 Temperature standard for design of energy saving design of building (MOLIT, 2018)

Table 1.1 Temperature design criteria of energy saving design of building (MOLIT, 2018)

[별표8] 냉·난방설비의 용량계산을 위한 실내 온·습도 기준			
용도	난방		냉방
	건구온도(℃)	건구온도(℃)	상대습도(%)
공동주택	20 ~ 22	26 ~ 28	50 ~ 60
학교(교실)	20 ~ 22	26 ~ 28	50 ~ 60
병원(병실)	21 ~ 23	26 ~ 28	50 ~ 60
관람집회시설(객석)	20 ~ 22	26 ~ 28	50 ~ 60
숙박시설(객실)	20 ~ 24	26 ~ 28	50 ~ 60
판매시설	18 ~ 21	26 ~ 28	50 ~ 60
사무소	20 ~ 23	26 ~ 28	50 ~ 60
목욕장	26 ~ 29	26 ~ 29	50 ~ 75
수영장	27 ~ 30	27 ~ 30	50 ~ 70

산업통상자원부, '에너지이용 합리화법 시행규칙' 시행 2018. 10. 1
제31조의2(냉난방온도의 제한온도 기준) 법 제36조의2제1항에 따른 냉난방온도의 제한온도(이하 "냉난방온도의 제한온도"라 한다)를 정하는 기준은 다음 각 호와 같다. 다만, 판매시설 및 공항의 경우에 냉방온도는 25°C 이상으로 한다.
1. 냉방 : 26°C 이상 2. 난방 : 20°C 이하 [본조신설 2009. 7. 30]

Fig. 1.2 Temperature standard for design of energy use rationalization act (MOTIE, 2018)

산업통상자원부, '공공기관 에너지이용 합리화 추진에 관한 규정' 시행 2019. 11. 12
제14조(적정실내온도 준수 등) ① 공공기관은 난방설비 가동 시 평균 18°C이하, 냉방설비 가동 시 평균 28°C 이상으로 실내온도를 유지하여야 한다. 다만, 다음 각 호의 경우에는 자체위원회 결정에 따라 탄력적으로 실내 온도를 유지할 수 있다.
1. 학교, 도서관, 교정시설, 교육시설, 콜센터, 민원실 등 일정 공간에 다수가 이용하는 시설 (단, 사무공간은 제외) 2. 의료기관, 아동 관련 시설(어린이집 등), 노인복지시설 등 적정 온도 관리가 필요한 시설 3. 미술품 전시실, 전산실, 식품관리시설(구역) 등 특정온도 유지가 필요한 시설 4. 공항, 철도·지하철 역사, 버스터미널 등 대중교통 시설 5. 수련원, 기숙사 등 숙박관련 시설 6. 계약전력 5% 이상의 에너지저장장치(ESS)를 설치한 시설 7. 별도의 냉난방 온도 조절이 가능한 휴게 공간(시·군·구 폭염 담당부서에서 지정한 "무더위 쉼터"를 포함한다) 8. 중앙집중식 냉난방 방식 중 설비의 노후화 등으로 냉난방의 불균일이 발생하는 시설 9. 공공기관 소유의 건축물 중 민간이 임차하여 사용하는 공간 10. 그 밖에 산업통상자원부장관이 인정하는 시설
② 제1항에도 불구하고 비전기식 개별 냉난방설비가 60% 이상 설치된 중앙집중식 냉난방 방식인 경우에는 평균 실내온도 기준을 2°C 범위 이내에서 완화하여 적용할 수 있다.

Fig. 1.3 Temperature standard for design of energy use rationalization of public institutions (MOTIE, 2018)

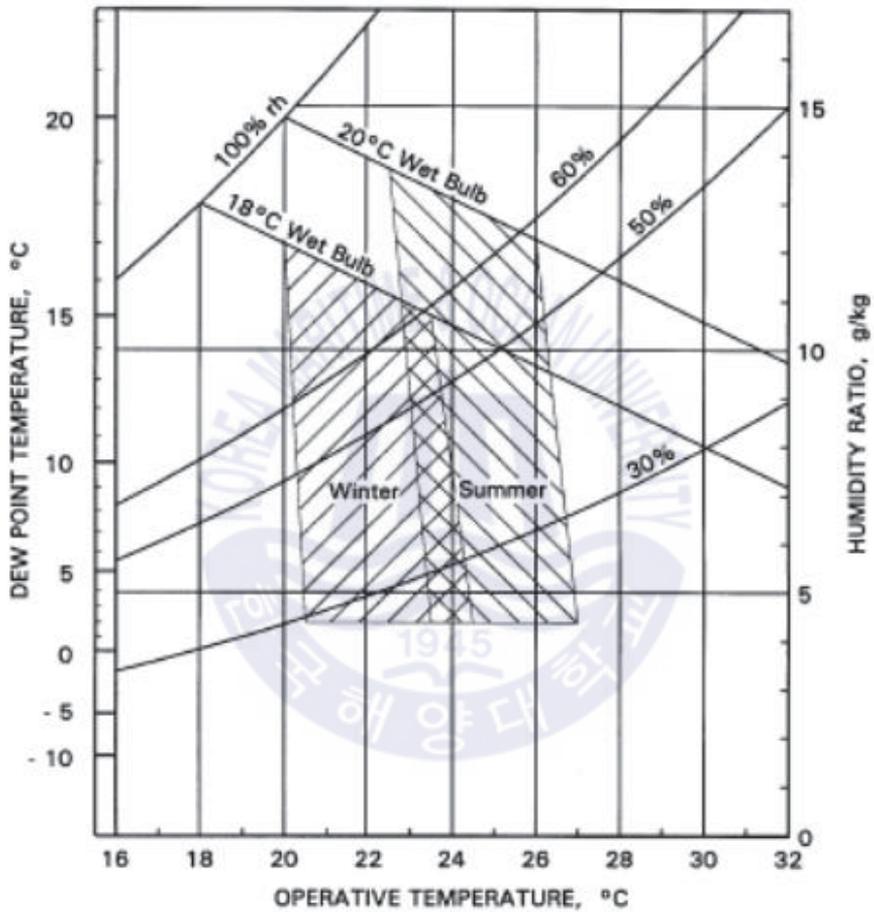


Fig. 1.4 Summer and winter comfort zones of ASHRAE (ASHRAE, 2001)

Type of building/space	Activity W/m <sup>2</sup>	Category	Operative temperature °C		Maximum mean air velocity <sup>a</sup> m/s	
			Summer (cooling season)	Winter (heating season)	Summer (cooling season)	Winter (heating season)
Single office Landscape office	70	A	24,5 ± 1,0	22,0 ± 1,0	0,12	0,10
Conference room Auditorium		B	24,5 ± 1,5	22,0 ± 2,0	0,19	0,16
Cafeteria/restaurant Classroom		C	24,5 ± 2,5	22,0 ± 3,0	0,24	0,21 <sup>b</sup>
Kindergarten	81	A	23,5 ± 1,0	20,0 ± 1,0	0,11	0,10 <sup>b</sup>
		B	23,5 ± 2,0	22,0 ± 2,5	0,18	0,15 <sup>b</sup>
		C	23,5 ± 2,5	22,0 ± 3,5	0,23	0,19 <sup>b</sup>
Department store	93	A	23,0 ± 1,0	19,0 ± 1,5	0,16	0,13 <sup>b</sup>
		B	23,0 ± 2,0	19,0 ± 3,0	0,20	0,15 <sup>b</sup>
		C	23,0 ± 3,0	19,0 ± 4,0	0,23	0,18 <sup>b</sup>

<sup>a</sup> The maximum mean air velocity is based on a turbulence intensity of 40 % and air temperature equal to the operative temperature according to 6.2 and Figure A.2. A relative humidity of 60 % and 40 % is used for summer and winter, respectively. For both summer and winter a lower temperature in the range is used to determine the maximum mean air velocity.

<sup>b</sup> Below 20 °C limit (see Figure A.2).

Fig. 1.5 Operative temperature of ISO 7730 (ISO, 2005)

Table 1.2 Domestic and international temperature standard for design

설계 제안 기준	냉방	난방
건축물의 에너지절약설계기준	28°C	20°C
에너지이용 합리화법 시행규칙	26°C 이상	20°C 이하
공공기관 에너지이용 합리화 추진에 관한 규정	26~28°C 이상	18~20°C 이하
ASHRAE Handbook-Fundamentals(2001)	23~26°C	20~24°C
ISO 7730-2005	24.5 ± 1°C	22.0 ± 1°C

## 1.2 연구목적

가장 이상적인 실내공조는 재실자의 온열 쾌적감을 유지하면서, 에너지를 과 소비하지 않는 것이라고 할 수 있다. 이를 만족하기 위해서는 우선적으로 재실자가 희망하는 온도에 주목하여야 한다. 일반적으로 냉난방 운전을 위해 사용자는 컨트롤러에 희망하는 온도를 설정하게 되는데, 이 때 입력한 설정온도를 냉난방시스템 운전 알고리즘의 기준온도로 하여 온도센서에서 측정되는 온도를 제어하는 방식으로 실내 냉난방을 하게 된다. 따라서, 컨트롤러의 제어온도는 실내공조를 위한 냉난방 운전의 기준이 되는 온도이므로 재실자가 느끼는 실내 온도를 적절히 반영할 수 있어야 한다. 하지만, 제어온도가 다른 외부요인들에 의한 간섭으로 실내온도를 제대로 반영하지 못하여 제어온도와 실내온도가 큰 차이를 갖는다면, 부적절한 냉난방 운전이 이루어지게 되어 재실자가 실내온도에 불만을 느끼게 되고 사용자가 직접 설정온도를 다시 변경해야 하는 번거로움으로 인한 불쾌감을 느낄 뿐만 아니라 불필요한 에너지 낭비 문제가 발생하게 되는 문제점이 존재한다.

기존의 CFD를 활용한 연구는 냉난방 제어 알고리즘의 기준이 되는 제어온도를 실내공간 1.1 m 높이에서의 평균온도로 사용하거나, 제어온도가 실내온도를 제대로 반영할 수 있는가에 대한 불확실도를 고려해주지 않은 상태로 시뮬레이션하는 경우가 많았는데, 이는 컨트롤러의 온도센서에서 측정된 온도에 의해 제어되는 실제 냉난방 운전과는 차이를 나타낼 것이 분명하다고 보여진다. 이러한 측면에서, 천장형 에어컨의 운전을 결정하는 가장 중요한 요소인 제어온도의 위치와 주변 열환경을 고려한 연구가 지금까지 상대적으로 미흡하였기에 온도센서에서 측정되는 제어온도의 불확실도를 고려해 줄 수 있는 조건에서의 연구가 필요하게 되었다.

본 연구는 수치해석적 방법을 통하여 제어온도에 영향을 미치는 컨트롤러 주변의 열환경으로서 컨트롤러 온도센서 주변 슬릿의 개폐여부와 내벽의 초기온도 조건에 따른 난방 운전의 결과로 실내온열환경과 운전시간을 비교 및 분석하고자 하였다.

## 제 2 장 선행연구 고찰

### 2.1 서론

냉난방설비의 수요가 늘어나고 에너지 절감에 대한 필요성이 증가함에 따라 개별분산공조시스템이라고 불리는 VRF시스템에 관한 많은 연구들이 진행되어 왔다. 기존에는 시스템 에어컨의 기계적인 성능을 향상시키기 위한 연구가 주를 이루었고, 에너지 절약을 위한 효율적인 기술들이 발전되어 왔으며, 최근에는 운영적인 측면에서 재실자의 쾌적감을 향상시키기 위한 제어 알고리즘을 개발 및 적용시키기 위한 연구를 하고 있다.

본 장에서는 천장형 에어컨에 관한 선행 연구자들의 연구 내용 및 결과들을 바탕으로 실내 냉난방시 보편적으로 나타나는 운전특성 및 공조환경에 관한 결과들을 고찰하여 앞으로 본 연구에서 소개할 실내공조 해석의 기초 자료로 사용하였다.

### 2.2 HVAC 수치해석에 관한 고찰

수치해석의 가장 큰 장점은 실제 실험을 통한 검증에 비해 시간적, 비용적 측면에서 유리하다는 것이다. 복잡한 현상에 대한 실험은 그 자체만으로도 어려움을 갖고 있고, 실험을 통해 다양한 변수에 대한 영향을 파악하고자 한다면 반복적인 실험으로 인한 많은 시간이 소요될 수 밖에 없지만, 이를 수치해석적 방법으로 접근한다면 손쉽게 더 다양한 경우에 대한 결과를 얻어낼 수 있고, 추가적인 계측장비 필요없이 해석공간 내에서 원하는 데이터를 손쉽게 얻어낼 수 있다는 장점이 있다. 최근 50년간의 실내공조에 대한 CFD해석을 분석한 연구(Peter, 2015)에 따르면 컴퓨터가 발전됨에 따라 계산속도의 증가와 더불어 비용이 감소되었고, CFD는 물리적인 현상을 분석해내기에 용이할 뿐만 아니라 난류모델이 개발되어감에 따라 해석의 신뢰도가 높아져 수치해석적인 방법으로 기류를 예측하고, 실내환경을 평가하고자 하는 많은 연구들이 진행되어 왔다.

CFD의 발달에 따라 공조해석을 포함한 많은 분야에서 그 신뢰성과 활용도가 높아지고 있지만 CFD가 항상 긍정적인 측면만을 갖는 것은 아니다. Kim (2016)은 CFD를 활용한 연구의 결과에 대한 불확실성을 주목하였으며, 사용자의 전문지식과 해석 경험에 따라 같은 현상에 대한 시뮬레이션일지라도 모델링 과정 및 입력조건들이 바뀔 수 있다는 점에서 이에 따른 불확실도가 해석결과에 큰 오차를 발생시켜 결과에 대한 불신을 높이는 요인이 될 수 있으므로 건물에너지 해석에 기준이 될 수 있는 입력조건의 필요성을 제기하였다.

이러한 이유로 수치해석 결과의 신뢰성을 확보하기 위하여 일반적으로 실험과 해석 결과를 비교하여 수치해석의 타당성을 검토하게 되는데, 그 이유는 물리적 현상이 복잡해질수록 많은 가정을 필요로 하게 되고 이로 인한 해석의 난이도가 증가하기 때문이다.

## 2.3 천장형 에어컨의 개요

### 2.3.1 실내기 취출각도에 의한 영향

Ahn. et al. (2005)은 냉방 및 난방시 학교 교실 공간에서 천장형 에어컨의 취출기류가 천장면과 이루는 취출각도  $15^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $60^\circ$ 에 따른 온열환경을 수치해석적 결과를 통하여 비교하였다. Fig. 2.1은 동절기 난방시 취출각에 따른 수직온도분포를 나타낸다. 취출각도가  $15^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $45^\circ$ 인 경우에는 재실자의 호흡선인 1.1 m 높이에서의 온도분포가 균일한 것을 확인하였으며, 취출각이  $60^\circ$ 인 경우에는 취출기류가 재실자의 머리 부분에 직접 도달하여 열적 불편감을 유발하고, 호흡선 높이에서의 온도분포가 불균일할 뿐만 아니라 취출기류가 흡입부로 재취득되는 현상이 발생하여 난방에 불리한 것을 확인하였으며, Fig. 2.1은 토출각도에 따른 실내 수직온도 분포를 나타낸다. 결론적으로 난방시 취출각도가 클수록 거주영역에서의 온도가 불균일해지고, 취출기류가 흡입부로 재취득되는 양이 증가하여 난방에 불리한 특성을 나타내는 것과 취출각도가 작을수록 거주영역의 온도는 균일해지지만 수직온도차가 크게 발생하는 문제가 발생하는 것을 확인하였다. 이 연구는 계절별 취출각도에 따른 천장형 에

어컨의 기류특성 및 온열환경을 분석하고자 시도한 연구라고 볼 수 있다.

Lee. et al. (2006)은 천장형 에어컨 보급의 확대 및 사용공간이 다양화됨에 따라 일반적인 천장 높이인 2.7 m의 공간이 아닌 3.6 m의 대공간에 대하여 난방시 천장형 에어컨의 취출각도 45°, 50°, 55°, 60°에 따른 온열환경을 수치해석적 방법으로 분석하였다. 평가지표로는 공기확산성능지수(Air Diffusion Performance Index, ADPI) 및 유효드래프트온도(Effective Draft Temperature, EDT)를 활용하였으며, 취출각도가 증가함에 따라 착석상태인 재실자의 호흡선 1.1 m 높이에 해당되는 실내온도분포의 균일도가 낮아지고, EDT지표의 불쾌영역이 증가하는 것을 확인하였으며, 수치해석 결과 취출각도가 45°인 경우 최적의 열쾌적성을 나타내는 것을 확인하였다.

### 2.3.2 유·무선 리모컨 온도센서 위치에 관한 연구

Kim (2016)은 유선 리모컨을 사용하지 않고, 무선 리모컨을 사용하는 장소에서의 난방성능 불만족에 주목하였다. 천장형 에어컨의 운전을 제어하기 위한 방법으로는 유선 리모컨 내부 온도센서를 제어온도로 활용하여 냉난방 운전을 제어하는 방법과 실내기 내부의 온도센서를 제어온도로서 활용하는 방법이 있는데, 실내기 내부의 온도센서는 천장형 에어컨의 운전특성상 온도성층화가 발생하여 실내온도를 적절히 반영하기에 무리가 있으므로 일반적으로는 유선 리모컨의 사용을 권장하고 있다. 하지만, 이 연구에서는 유선 리모컨 없이 무선 리모컨만을 사용하는 장소에서는 제어온도로서 실내기 내부의 온도센서만을 사용하여야 한다는 점에서 제어온도가 갖는 문제를 개선하기 위하여 설정온도제어의 기준이 되는 thermostat의 On/Off 작동 온도 조건을 천장 높이에 따라 보완하여 변경하였는데, 수치해석 프로그램인 Flunet 15.0을 활용하여 기존의 문제가 개선이 가능하다는 것을 확인하였고, 무선 리모컨 장소에서 재실자의 난방 불만족을 해결하고자 하였다. 이는 불가피하게 유선 리모컨의 온도센서를 사용할 수 없는 장소에서 실내기 온도센서가 실내온도를 반영함에 있어서의 한계를 파악하고 온도성층화에 의해 실내기 내부 온도센서가 갖는 문제점을 천장 높이를 고려하여 개선하고자 시도한 연구라고 할 수 있다.

Lee et al. (2008)은 실제 실내공간에서 0 m, 1.5 m, 3m의 높이의 벽면에 유선센서를 부착하여 실험 데이터를 얻었고, 실내기 내부 온도센서와 서로 다른 위치의 온도센서를 각각 제어온도로 사용하여 상용 CFD코드인 Fluent를 활용하여 비정상상태에 대한 수치해석적 연구를 수행하였다. 이 연구에서는 총 1000초 동안의 냉방운전 결과를 통해 실내기 내부 온도센서에서 측정되는 온도와 서로 다른 위치에 부착된 유선 리모컨 내부 온도센서에서 측정되는 온도가 재실자가 느끼는 실내온도와 차이가 존재하여 재실자의 불만족을 유발한다는 점을 주목하였다. 특히, 유선 센서를 사용하는 경우가 실내기 내부 온도센서를 사용하였을 경우보다 실내온도를 유사하게 반영하는 것을 확인하였다. 이 연구는 실험과 해석결과를 비교하여 서로 다른 위치에 있는 온도센서 중 어느 위치가 실내온도를 잘 반영할 수 있는지를 확인하고자 시도한 연구라고 볼 수 있다. 하지만, 고정 취출온도와 취출풍량을 적용하였고 1000초라는 짧은 해석시간 동안 On/Off 제어모드가 미적용 되었음을 고려한다면 이를 보완하여 장시간 동안의 시스템 에어컨의 운전모드에 따른 실내공조환경과 온도센서 위치의 영향 평가의 필요성이 보인다.

Li (2006)는 학교 건물을 대상으로 상용 CFD코드인 STAR-CD를 활용하여 온도센서의 위치에 따른 교실의 온열환경을 분석하였다. 실내기 내부 온도센서를 제어온도로 활용하여 30분 동안 On/Off mode가 적용된 비정상상태 해석을 수행한 결과, 실내기 내부 온도센서가 실내온도를 반영하기에 적절하지 못하다는 것을 확인하였으며, 실내온도를 반영할 수 있는 제어온도의 위치를 찾기 위해 온도센서를 복도측 벽면 및 인접 공조실 벽면에 부착하여 수치해석적 방법으로 유선 리모컨의 최적위치를 찾고자 하였다. 이 연구는 온도센서의 위치에 따른 실내온열환경을 분석 및 비교하여 최적의 위치를 찾아내고 실내환경을 개선하고자 시도한 연구라고 할 수 있다. 하지만, 제어온도에 영향을 미치는 불확실한 요인으로는 온도센서의 위치 뿐만 아니라 여러 요소들이 있으므로 제어온도에 영향을 미치는 불확실성을 갖는 추가적인 요소들에 대한 영향을 고려해줄 필요가 있어 보인다.

### 2.3.3 제어알고리즘에 대한 연구

Won (2017)은 국내 시스템에어컨 시장 규모가 증가함에 따라 증가하는 냉방 에너지 소비를 절감시키기 위하여 개별 냉방시스템의 특성을 반영한 쾌적범위 제어(Comfort Range Control) 알고리즘을 제안하였고 기존의 설정온도제어와 차이를 비교하였다. 두 알고리즘의 분석으로는 건물 에너지 해석 프로그램인 TRNSYS 17을 사용하였고, 쾌적범위제어가 설정온도제어에 비해 약 28~35%의 에너지 절감효과를 나타내는 것과 PPD분석 결과로 불만족율이 약 18% 감소하여 쾌적도 및 에너지 측면에서 성능이 향상된 것을 확인하였다. 이 연구는 시스템 에어컨의 기계적인 측면이 아닌 운영적인 측면을 주목하여 제어방법을 통해 에너지 절감 효과를 도모하고자 시도한 연구라고 할 수 있다. 하지만, 쾌적범위제어를 적용하기 위해서는 실내의 습도가 제어에 반영되어야 하므로 이는 실사용 측면에서 실내습도에 대한 데이터를 실시간으로 측정하기 위한 계측장비의 추가설치에 따른 공간적 제약 및 습도계가 실내습도를 적절히 반영할 수 있는가에 대한 불확실성이 존재하므로 이에 대한 추가적인 연구가 필요하다고 보여진다.

### 2.3.4 난류 모델에 대한 영향

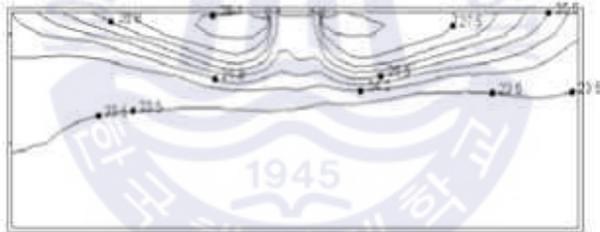
Park (2017)은 상용코드인 Fluent 17.0를 활용하여 실내 환기 성능평가를 수행하여, 각 난류모델 및 격자수에 따른 실내 수직온도분포의 정확도를 확인하였다. 정상상태 해석을 통해  $k-\epsilon$ , RNG  $k-\epsilon$ , SST 난류모델 및 해석 격자수에 따른 영향을 실제 실험과 비교하여 격자수가 많아질수록 실험값과 수치해석 값이 비슷한 경향을 나타내는 것과 SST 난류모델이 가장 유사한 결과를 나타내는 것을 확인하였다. 이 연구는 실험과 수치해석 결과의 신뢰성을 입증해내는 것뿐만 아니라 격자 및 난류모델에 의한 영향을 확인하고자 시도한 연구라고 할 수 있다. Fig. 2.2는 실험결과와 격자정밀도 및 난류모델에 따른 해석결과의 실내 수직온도분포를 비교하여 나타낸 그림이다.



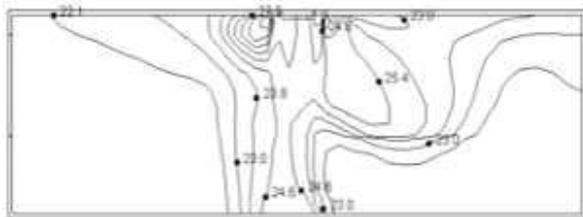
(a) 토출각도  $\theta=15^\circ$



(b) 토출각도  $\theta=30^\circ$



(c) 토출각도  $\theta=45^\circ$



(d) 토출각도  $\theta=60^\circ$

Fig. 2.1 Vertical temperature contour in winter season (Ahn. et al., 2005)

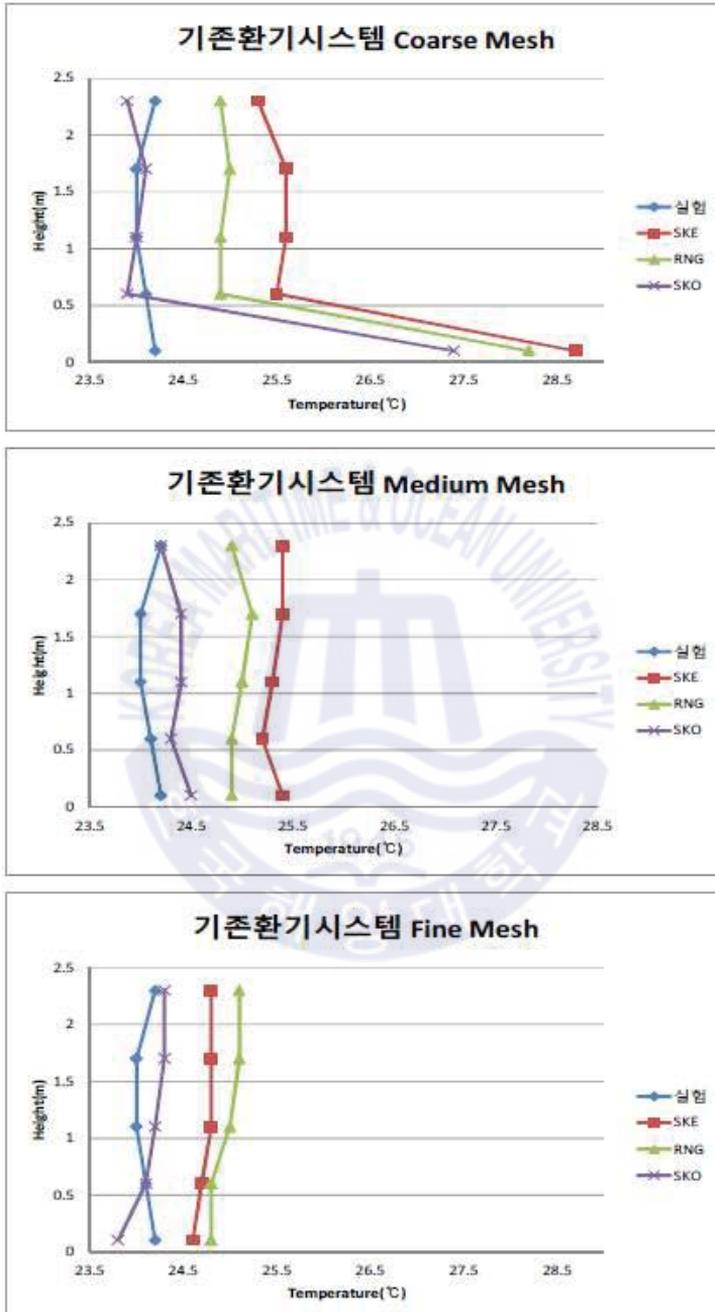


Fig. 2.2 Characteristic of mesh sensitivity and turbulence model (Park, 2017)

## 제 3 장 해석 모델

### 3.1 지배방정식

수치해석에 사용된 지배방정식은 아래와 같다 (ANSYS, 2017).

- 연속 방정식

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho U) = 0 \quad (3.1)$$

- 운동량 방정식

$$\frac{\partial(\rho U)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho U \otimes U) = -\nabla p + \nabla \cdot \tau + S_M \quad (3.2)$$

$$\tau = \mu(\nabla U + (\nabla U)^T - \frac{2}{3}\delta \nabla \cdot U) \quad (3.3)$$

- 에너지 방정식

$$\frac{\partial(\rho h_{tot})}{\partial t} - \frac{\partial p}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho U h_{tot}) = \nabla \cdot (\lambda \nabla T) + \nabla \cdot (U \cdot \tau) + U \cdot S_M + S_E \quad (3.4)$$

### 3.2 해석공간 및 격자생성

본 연구에서 수치해석에 사용된 공간은 내벽을 포함한 총 바닥면적이 26.4 m<sup>2</sup> 이고, 천장의 높이는 2.7 m의 소형 사무실이며, Fig. 3.1은 해석공간을 나타낸 그림이다. Fig. 3.2는 해석 대상의 격자를 나타낸 것으로 가장 큰 격자의 크기는 50 mm×50 mm×50 mm으로 거주영역 및 대부분의 실내기류가 지나는 공간에 배치하였고, 격자의 grow rate는 1.2를 초과하지 않도록 하여 가장 작은 격자의 크기는 5 mm×5 mm×3 mm로 컨트롤러가 부착된 내벽 및 컨트롤러 주변에 조밀한 격자를 형성하였다. Fig. 3.3은 방의 크기에 알맞은 용량을 갖는

A사의 실내기 모델을 선정한 것이고, Fig. 3.4는 해당 실내기 모델의 취출부에 해당되는 Inlet과 흡입부를 나타내는 Outlet을 모델링한 것이다. 실내 중앙을 중심으로 천장형 4-way 카세트 타입의 에어컨을 설치하였으며 VRF시스템을 적용한 공간의 특성상 환기량은 없는 것으로 하였고 칩기울 또한 없는 것으로 가정하였다.

격자생성은 ANSYS meshing을 사용하여 정렬격자(Hexa mesh)로만 생성하였으며, 전체 격자 요소수는 1,046,272개, 노드수는 1,074,122개이다.

### 3.3 경계조건

본 연구에 사용된 전산유체역학 프로그램으로는 상용코드 ANSYS CFX(R19.1)를 이용하였다. 수치해석의 이산화기법으로는 유한체적법(FVM, Finite Volume Method)이 사용되었고, Navier-Stokes 방정식 및 압력을 계산하기 위한 SIMPLE 알고리즘이 적용되었으며, implicit method로 매 iteration 계산을 수행하였고, 난류모델로는  $k-\epsilon$  모델을 사용하였으며, 수치해석의 time step은 1초로 하여 비정상상태 해석을 수행하였다.

#### 3.3.1 컨트롤러의 경계조건

Fig. 3.5는 A사의 유선 리모컨을 나타낸 것이며, Fig. 3.6은 컨트롤러 내부 온도센서를 고려하여 격자를 생성 및 제어온도를 구현할 수 있도록 모델링 하였다. 컨트롤러는 일반적으로 사용자의 접근성 및 편의성을 위하여 시공시 출입문 옆 벽면, 그리고 약 1.5m의 높이에 설치되는 것이 일반적이다. 본 연구에서는 정렬격자생성의 용이성을 위하여 바닥면으로부터 1.49 m 높이의 복도측 벽면에 컨트롤러를 부착하였으며, 출입문으로부터 0.54 m의 거리만큼 떨어진 곳에 부착하였다. 컨트롤러는 Thermostat이 위치한 공간을 air로 가정하였고, 그 외의 공간은 커버 재질인 ABS(Acrylonitrile butadiene styrene)로 구성하였다. 또한, 커버 두께는 2 mm로 하여 설계하였으며, Thermostat의 우측면 슬릿과 아래측면 슬릿이 모두 닫힌 경우를 close case, 모두 열린 경우는 open case로 분류하였다.

### 3.3.2 내벽 및 외벽의 경계조건

열손실은 외벽측과 내벽측에서 주요하게 일어나는 것으로 가정하였고, 주변 경계조건으로는 좌우 인접공조실 및 상하층은 동일공조로 가정하여 단열조건을 적용하였다. 해석에 필요한 벽체의 조건으로 내벽의 경우 단일 Solid Domain을 구현하여 내벽의 물성치에 따른 열관류율을 갖게 하였고, 외벽의 경우 Solid Domain이 존재하지 않지만, 외벽의 구성요소인 구운 벽돌, 모르타르, 공기층, 비드법 보온판, 시멘트 벽돌 및 실외표면열전달계수를 고려한 총괄열전달계수의 대표값을 산정하여 적용하였다. 이 때, 경계조건으로 사용된 열관류율, 각 열전달 계수와 물성치 값은 Table 3.1, 3.2와 같다. (McQuiston. et al., 2004; Michael, 2012; Vijayalakshmi. et al., 2006)

본 해석에서는 단일 열관류율을 적용한 외벽측과 달리 내벽측에는 Solid domain을 구현하였는데, 내벽에 의한 열손실을 외벽과 같이 단일 열관류율로 적용하지 않은 이유는 비정상상태 해석에서 내벽의 Solid domain이 반무한 고체로서 열전달 측면에서 시간에 따른 열용량 및 전도열전달의 영향을 관찰할 수 있는 중요한 요소이기 때문이다.

Table 3.1 Boundary conditions

위치		열관류율 [W/m <sup>2</sup> /K]	
외벽측	외벽	0.259	
	창문	3.01	
내벽측	복도측	내벽	solid domain
		문	solid domain
	인접공조실		adiabatic
상하층		adiabatic	
실내표면열전달계수		34	
실외표면열전달계수		8.29	

Table 3.2 Material properties

	밀도 [kg/m <sup>3</sup> ]	비열 [J/kg/K]	열전도도 [W/m/K]
ABS	1470	1400	0.2
Burnt Brick	1820	880	0.811
Mortar	1648	920	0.719
비드법 보온판	-	-	0.03
공기층	-	-	0.025
시멘트벽돌	-	-	0.6

### 3.3.3 On/Off 제어 알고리즘

설정온도는 ‘건축물의 에너지절약설계기준’을 따라 사무실 공간의 난방 설계기준 온도에 해당되는 20℃를 설정하였고, 설정온도가 20±1℃가 되었을 때 On/Off 동작 제어가 작동되도록 하였다. On/Off 운전의 기준이 되는 제어온도는 아래 Fig. 3.6에 나타난 컨트롤러의 thermostat이 위치하는 공간의 평균온도를 적용하였다.

Table 3.3은 On/Off 제어모드에 따른 실내기 운전상태를 나타낸 것으로서 난방시 해석 대상 시스템의 천장면과 취출기류가 이루는 취출각도를 너무 작게 설정하게 된다면 열성층화가 발달하여 과도한 난방이 이루어지게 되고, 취출각도를 크게 설정하게 된다면 취출기류가 흡입부로 재취득되는 현상이 발생하게 되어 에너지 소비측면에서 불리한 운전이 일어날 뿐만 아니라 직접적인 취출기류의 도달로 인해 재실자가 불쾌감을 느끼게 된다. 이러한 취출각도에 의한 부정적인 영향을 줄이기 위하여 취출각도를 중간값인 45°로 설정하였으며, 취출풍량은 A사의 실내기 모델의 용량을 적용하였다.

On-mode의 경우 취출온도는 천장형 에어컨의 흡입부에 해당되는 Fig. 3.4의 Outlet이 위치한 부분에서의 흡입온도와 외기조건에 따라 난방능력이 달라지는 해당 모델의 난방운전성능표에 따른 난방용량을 참고하여 실내기 취출부에 해당되는 Inlet에 적용하였으며, Off-mode에서는 취출온도를 흡입온도와 동일한 온도로 적용하였다.

**Table 3.3** Discharge air flow and temperature of On/Off mode

	제어모드	
	On-mode	Off-mode
취출각도	45°	
취출풍량	18 CMM	4 CMM
취출온도	$T_i = T_o + q$	$T_i = T_o$
	$T_i$ = Inlet temperature [°C] $T_o$ = Outlet temperature [°C] $q$ = Heating capacity [kW]	

### 3.4 시뮬레이션 개요

Table 3.4은 본 연구에서 분석하고자 하는 해석 Case들을 정리한 것으로, Fig. 3.6에 나타난 thermostat 주변 슬릿의 개방여부, 컨트롤러와 내벽사이의 단열정도 및 복도와 내벽의 초기온도를 주요한 변수로 고려하여 난방운전시 제어온도에 미치는 영향과 실내온열환경을 분석하고자 한다.

**Table 3.4** Summary of simulations

Case	온도센서 슬릿의 개방여부	단열여부 [mm]	Initial Temp. (Outdoor/Aisle/Initial) [°C]
1	Close	-	0/5/5
2	Open	-	0/5/5
3	Close	3	0/5/5
4	Open	3	0/5/5
5	Close	10	0/5/5
6	Open	10	0/5/5
7	Close	-	0/0/0
8	Close	-	0/10/10
9	Open	-	0/0/0
10	Open	-	0/10/10

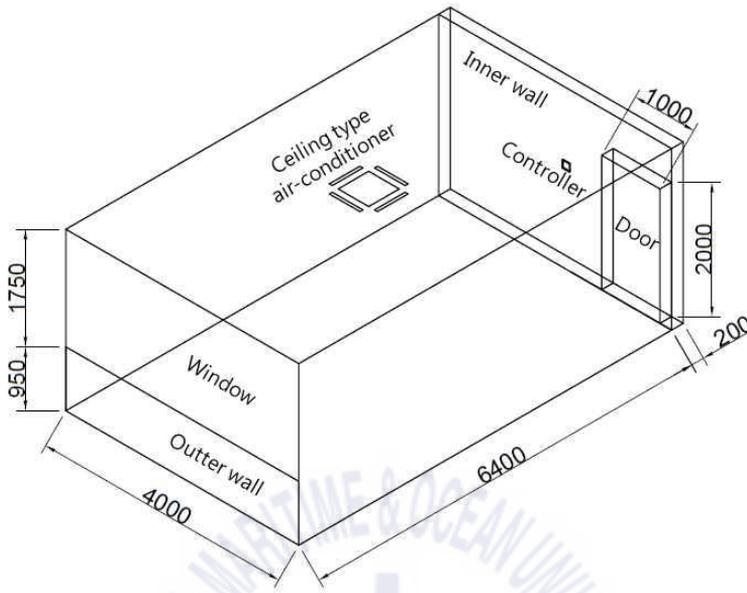


Fig. 3.1 Computational model of office room

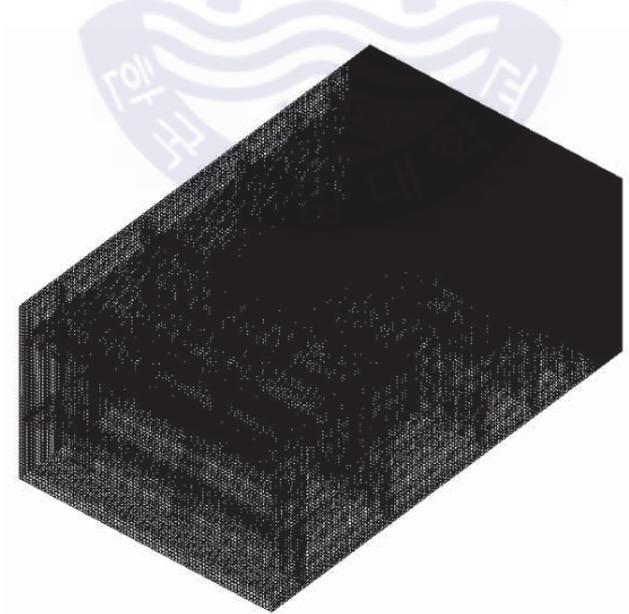


Fig. 3.2 Designed mesh of office room

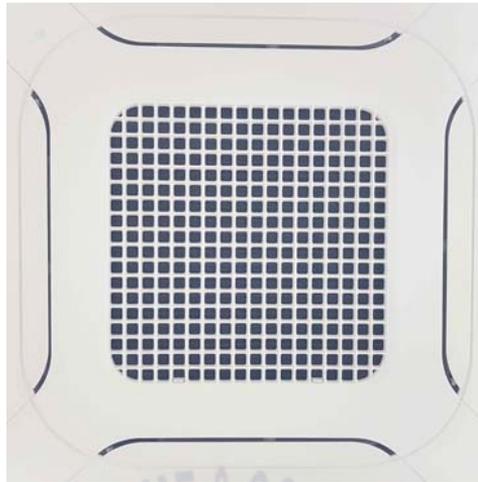


Fig. 3.3 Photograph of ceiling type air-conditioner

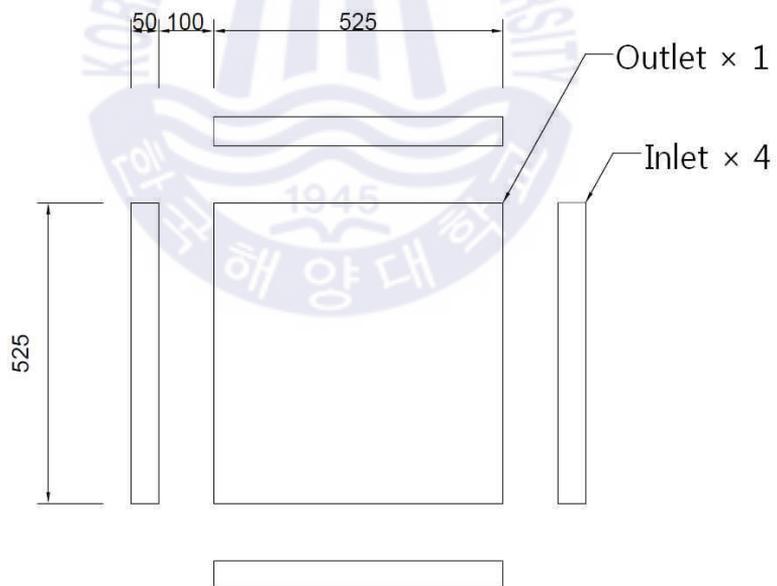


Fig. 3.4 Layout of ceiling type air-conditioner



Fig. 3.5 Photograph of wall-mounted remote controller

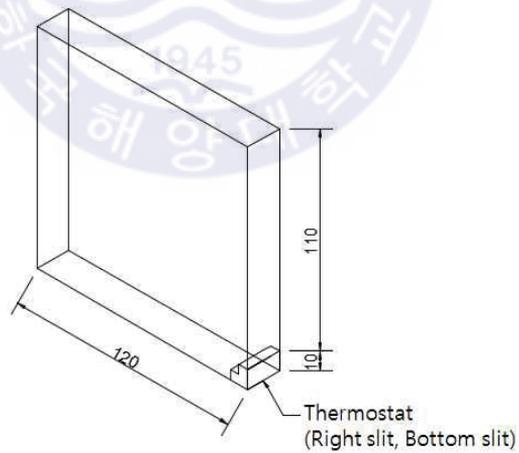


Fig. 3.6 Schematic of wall-mounted remote controller

## 제 4 장 결과 및 고찰

### 4.1 실내온도 분포

#### 4.1.1 실내온도 수직분포

Fig. 4.1은 Case 1의 약 10시간의 On-mode가 충분히 진행된 시점에서  $X = 2$  m 위치의 수직면에 대한 속도벡터를 나타내며, Fig. 4.2, Fig. 4.3은 동일한 시점 및 위치에서의 속도장과 온도장을 나타낸다. On-mode의 경우에는 취출풍량이 18 CMM으로 취출부에서 최대 약 3.76 m/s의 속도를 나타내며 난방시 흡입부에서 실내기의 난방능력만큼 가열되어 취출부에서 나온 취출기류가 온도차에 의한 밀도차로 인하여 상승기류의 특성을 갖는 것을 확인할 수 있으며, 기류가 직접적으로 도달하지 못하는 하층부에서는 온도성층화가 발생하는 것을 볼 수 있다.

Fig. 4.4는 Case 1의 약 10시간의 Off-mode가 충분히 진행된 시점에서  $X = 2$  m 위치의 수직면에 대한 속도벡터를 나타내며, Fig. 4.5, Fig. 4.6은 동일한 시점 및 위치에서의 속도장과 온도장을 나타낸다. Off-mode의 경우에는 취출풍량이 4 CMM으로 취출부에서 최대 약 0.88 m/s의 속도를 나타내며, On-mode에 비해 취출풍량이 감소하여 취출기류의 수직도달거리가 줄어들게 되어 온도성층화가 더 발달하는 모습을 볼 수 있고, 취출부에서는 흡입부와 동일한 온도로 취출기류가 나오므로 전체적인 실내의 온도가 낮아지는 모습을 볼 수 있다.

Fig. 4.7과 4.8은 방의 1/2 지점에 해당되는 Line 1과 1/4 지점에 해당되는 Line 2 및 내벽에서 0.1 m 떨어진 Line 3의 위치를 각각 수직면, 수평면에 나타낸 그림이다. 각 지점에서의 수직온도를 비교하여 열성층화의 영향으로 인한 수직온도차와 위치에 따른 영향을 파악하여 분석하고자 한다.

Fig. 4.9는 Case 1의 약 10시간 직전 지점에서 On-mode가 시작하는 순간인 Line 1-1, 2-1, 3-1에서 On-mode가 끝나는 순간인 Line 1-2, 2-2, 3-2의 온도변

화를 나타낸다. On-mode에서 Line 1은 수직온도차가 가장 적게 나타났는데, 이는 해당 위치의 상층부에 위치하고 있는 실내기의 흡입부를 통하여 실내에서 빠져나가는 기류가 존재하는 구간에 의한 영향으로 인한 것이다. 약 1.4 m 높이를 기준으로 Line 2, 3의 경우 위쪽은 취출된 난방기류 및 상승기류에 의한 영향으로 높은 수직온도차를 나타내었고, 아래쪽은 취출기류에 의한 영향보다는 열성층화의 발달에 따른 난방이 이루어져 낮은 수직온도차를 나타내었다. 또한, Line 3의 경우 Line 1, 2에 비하여 차가운 내벽에 의한 영향을 받아 상대적으로 낮은 온도를 보였다.

Fig. 4.10은 동일한 시점에서의 Off-mode가 시작하는 순간과 Off-mode가 끝나는 순간의 Line 1, 2, 3의 온도를 나타내는 그림이다. Off-mode에서는 Line 1, 2, 3 모두 약 1.4 m를 기준으로 취출기류의 영향을 받은 상층부의 수직온도차가 하층부보다 높게 나타났으나, 낮은 송풍량에 의한 영향으로 인하여 전체적으로 수직온도차가 On-mode에 비하여 적게 발생하였으며, Line 1과 Line 2가 비슷한 온도분포를 갖는 반면에, Line 3의 경우 내벽에 의한 영향으로 상대적으로 낮은 온도 분포를 나타내었다.

결론적으로, On/Off mode 운전상태에 따른 수직온도차를 분석한 결과 약 1.4 m 높이를 기준으로 상층부는 취출기류에 의한 영향이 지배적이고, 하층부는 열성층화에 의한 온도분포가 지배적인 것으로 나타났으며, 차가운 내벽 근처의 Line 3의 경우 전체적인 수직온도분포가 약 2°C 정도 낮게 나타나 위치에 따른 영향이 존재함을 확인하였다.

#### 4.1.2 실내온도 수평분포

Fig. 4.11은 재실자가 느끼는 실내온도 및 수평면의 온도분포를 고려하기 위하여 거주영역에 균일하게 분포된 a1~a9 및 b1~b9 지점의 위치를 수평면에 나타낸 그림이며, Fig. 4.12는 착석시 재실자의 호흡선에 해당되는 1.1 m 높이에 위치한 a1~a9 지점과 컨트롤러의 온도센서가 위치한 1.5 m 높이에 위치한 b1~b9 지점의 위치를 나타낸 것으로 a1~a9, b1~b9 지점에서의 수평온도를 비교 및 분석하고자 한다.

Fig. 4.13은 Case 1의 경우에 대한 1.1 m 높이의 a1~a9 지점에 대한 시간에 따른 온도변화를 나타낸 그래프이며, Fig. 4.14는 1.5 m 높이인 b1~b9 지점에서의 온도변화를 나타낸 것으로 두 경우 모든 지점에서 유사한 온도분포를 나타내는 것을 볼 수 있다.

Fig. 4.15와 4.16은 Case 1의 약 10시간 시점의 On-mode 운전시 1.1 m, 1.5 m 에서의 수평면에 대한 속도장을 나타내는 그림이며, Fig. 4.17과 4.18은 동일한 조건에서의 온도장을 나타낸다. 1.5 m의 높이의 경우에는 1.1 m의 높이보다 취출기류에 의한 영향을 크게 받아 평균 속도 및 온도가 높게 나타났으나, 두 경우 모두 거주영역에서의 속도가 약 0.1 m/s 이하로 나타났으며, 이는 재실자가 기류에 의한 드래프트를 느끼지 못하는 풍속으로 기류가 거의 존재하지 않는다고 볼 수 있다. 또한, 거주영역 대부분의 온도가 균일하게 나타나는 것을 확인할 수 있고, 높이에 따라 열성층화에 의해 약 2~3°C 정도의 낮은 수직온도차를 나타내는 것을 볼 수 있다.

Fig. 4.19, 4.20과 Fig. 4.21, 4.22는 Case 1의 약 10시간 지점의 Off-mode 운전시 1.1 m 및 1.5 m 높이에 대한 수평면 속도장과 온도장을 나타내는 그림이다. Off-mode에서는 취출풍량이 감소하여 기류에 의한 영향이 거의 존재하지 않고 온도성층화에 의한 영향을 지배적으로 받기 때문에 1.1 m와 1.5 m 높이 모두 균일한 수평면 속도분포 및 온도분포를 나타내는 것을 볼 수 있다.

결론적으로, 난방시 취출된 공기의 상승기류로 인하여 1.1 m 높이에서는 On-mode와 Off-mode 두 경우 모두 기류의 영향이 매우 적게 나타나 대부분의 영역에서 기류의 속도가 거의 존재하지 않거나 매우 낮은 속도를 갖는 것을 확인하였으며, 창문이 존재하는 좌측의 국부적인 영역을 제외하고 대부분의 공간에서 약 2°C 이내의 균일한 온도장이 형성되는 것을 관찰하였다. 1.5 m 높이에서는 On-mode의 경우가 Off-mode에 비해 취출기류에 의한 영향이 크게 나타났으며 두 경우 모두 균일한 온도장을 나타내었다. 평균적으로 1.5 m 높이에서 1.1 m보다 기류의 속도 및 온도가 다소 높게 나타났으나 큰 차이를 나타내지 않았으며, 1.1 m와 1.5 m 높이에서 두 경우 모두 취출기류에 의한 영향보다 열성층화에 의한 영향을 크게 받는 것으로 나타났다.

## 4.2 Slit의 개폐여부에 따른 실내온도

### 4.2.1 Slit이 닫힌 경우의 실내온도 영향

Fig. 4.23은 Fig. 3.6의 우측 및 아래측면의 슬릿이 닫힌 Case 1의 경우에 대한 시간에 따른 제어온도와 a5 지점에서의 실내온도를 나타낸다. 설정온도 20°C에 대하여 제어온도가 19~21°C에서 On/Off 동작이 이루어지고 있는 반면에, 실내온도는 약 25~27.5°C이므로 약 5°C 이상의 온도차이가 발생하는 것을 볼 수 있는데, 이를 통하여 슬릿이 닫힌 경우 컨트롤러의 온도센서가 실내기류보다 상대적으로 차가운 내벽에 의한 영향을 크게 받게 되어 제어온도가 실내온도를 정확히 반영할 수 없음을 의미한다.

### 4.2.2 Slit이 열린 경우의 실내온도 영향

Fig. 4.24는 우측 및 아래측면의 슬릿이 모두 열린 Case 2의 경우에 대한 그림으로 설정온도 20°C에 대해 실내온도가 약 20.5~24.5°C을 나타내어 설정온도와 약 2°C 이상의 차이가 존재하는 것을 보여준다. 슬릿이 열린 경우에는 슬릿이 닫힌 경우에 비해 상대적으로 내벽에 의한 영향이 줄어들게 되어 실내온도가 낮아지는 모습을 보였지만, 여전히 내벽에 의한 영향이 존재하여 설정온도보다 다소 높은 실내온도를 유지하는 난방이 이루어지고 있음을 볼 수 있다.

### 4.2.3 Slit에 의한 영향 비교

Fig. 4.25는 Case 1과 Case 2의 취출풍량을 1시간 동안 나타낸 그림이다. Case 2의 경우 슬릿을 지나는 실내공기의 기류에 의해 Case 1보다 상대적으로 실내공기에 의한 영향이 커지므로 최초의 On-mode가 빠르게 작동하는 것과 차가운 내벽의 영향이 상대적으로 감소하게 되어 On-mode의 운전시간이 비교적 짧게 나타나는 것을 확인할 수 있다. 앞선 Case 1과 Case 2의 실내온도 결과를 비교해보았을 때, 슬릿의 개폐여부가 제어온도에 영향을 끼치는 불확실성을 갖는 요소라는 것과 제어온도가 실내온도를 반영하기 위해 슬릿이 열린 경우가

달한 경우보다 유리하다는 것을 확인하였다.

### 4.3 내벽 온도의 영향

#### 4.3.1 내벽의 온도구배에 따른 실내온도 영향

Fig. 4.27는 Case 1의 구간 A, B, C의 온도를 보여준다. 구간 A(0~200 mm)는 내벽의 온도를 나타내며, B(200~218 mm)는 컨트롤러의 온도센서가 위치한 구간으로 제어온도를 나타내고, C(218~300 mm)는 실내공기의 온도를 나타낸다. 모든 시점에서 모든 시점에서 제어온도가 존재하는 B구간의 온도가 실내공기의 온도인 C지점보다 약 10°C 이상 낮은 모습을 볼 수 있는데, 이는 차가운 내벽의 온도가 온도센서에 영향을 주기 때문이고, 천장형 에어컨의 운전모드를 결정하는 제어온도에 내벽의 영향이 존재한다는 것을 알 수 있다.

또한, 벽과 컨트롤러가 만나는 지점의 온도가 초기 5°C에서 점차 증가하여 약 10시간 지점에서는 12.5°C를 나타내는 것을 볼 수 있는데, Case 1의 초기 약 1시간 지점에서 실내온도가 약 29.5~32°C이었으나, 내벽의 온도구배가 점차 발달함에 따라 제어온도에 비해 과도하게 높았던 실내온도가 감소하는 경향으로 내벽이 선형적 상태에 도달하였다고 보여지는 약 8시간 이후 실내온도가 25~27.5°C에 수렴하는 것을 볼 수 있다.

Fig. 4.26는 시간에 따른 Case 1, 2의 취출풍량을 10시간 동안 나타낸 것으로 시간이 경과함에 따라 On/Off 주기가 느려지는 것을 볼 수 있다. 이는 초기에 상대적으로 차가웠던 내벽에 의한 영향을 받은 제어온도로 인해 잦은 On-mode 운전이 이루어져 On/Off 주기가 빠르게 나타났으나, 내벽의 온도가 충분히 발달하여 제어온도에 미치는 영향이 감소함에 따라 On/Off 주기가 느려지고 Off-mode 운전시간이 증가하였음을 볼 수 있다.

결론적으로, 난방운전이 지속됨에 따라 내벽의 온도구배가 점차 발달하게 되고, 컨트롤러 후면과 만나는 벽면의 온도가 초기보다 상승하게 되어 실내 난방 운전 및 실내온열환경에 변화를 가져올 수 있음을 확인하였다.

### 4.3.2 내벽의 초기온도에 따른 실내온도 영향

Fig. 4.28은 Case 1, 7, 8의 실내온도 분포를 나타낸다. Case 7은 실내 및 내벽의 초기온도와 복도측 온도를 각각 0℃로 바꾸어 Case 1보다 추운 공간을 해석한 것이고, Case 8은 10℃인 경우에 대해 Case 1보다 따듯한 공간을 해석한 경우이다. Case 7과 Case 8의 결과를 통해 내벽의 온도가 낮을수록 제어온도가 차가운 내벽의 영향을 크게 받아 과도한 난방운전으로 실내온도가 증가하는 것과 내벽이 온도가 높을수록 제어온도에 미치는 내벽의 영향이 줄어들어 적은 난방운전을 통해 실내온도가 감소하는 경향을 볼 수 있다. 이를 통하여 내벽의 온도가 제어온도에 불확실한 요소를 미치는 요소임을 알 수 있다. Fig. 4.29는 Case 2, 9, 10의 실내온도를 나타내며, 슬릿이 열린 경우에서도 마찬가지로 내벽의 온도가 낮아질수록 실내온도가 높아지는 경향을 나타내는 것을 볼 수 있다.

이와 같은 결과를 통하여, 내벽의 초기온도가 슬릿의 개폐여부와 관계없이 제어온도에 영향을 준다는 것을 확인하였다.

## 4.4 컨트롤러 후면 단열 효과

천장형 에어컨의 운전에 가장 중요한 요소인 제어온도가 차가운 내벽에 의한 영향을 받아 실내온도보다 낮게 측정되어 과도한 난방을 일으키는 문제가 발생하였다. 이러한 제어온도가 갖는 문제점을 보완하기 위하여 컨트롤러의 온도센서와 내벽 사이에 단열효과를 추가하여 내벽에 의한 영향을 줄이고자 하였다. 단열효과를 추가하기 위한 방법으로는 컨트롤러가 내벽과 만나는 부분에 해당되는 컨트롤러 커버 두께를 늘리는 방식으로 하였고, 이러한 이유로 컨트롤러 커버 재질인 ABS를 단열소재로 선정하였으며, 단열을 통해 내벽에 의한 영향을 줄였을 때 온도센서와 실내온도의 관계를 파악하고자 한다.

### 4.4.1 Slit이 닫힌 경우의 단열 추가에 따른 영향

Fig. 4.30은 Case 1, 3, 5의 시간에 따른 실내온도를 나타낸 그림이다. Case 3

의 경우 컨트롤러와 내벽 사이에 ABS 3 mm를 추가하였고, 단열을 추가하지 않았던 Case 1의 실내온도 약 29.5~32°C에 비해 약 0.5°C의 실내온도가 감소하는 것을 볼 수 있고, Case 5의 경우 ABS 10 mm를 추가하여 기존 Case 1의 실내온도보다 약 2°C의 실내온도가 감소한 약 28~30°C의 실내온도를 나타내었다. 따라서, 컨트롤러 후면의 단열 추가로 제어온도가 갖는 내벽에 의한 영향이 개선되었음을 확인하였다.

#### 4.4.2 Slit이 열린 경우의 단열 추가에 따른 영향

Fig. 4.31은 Case 2, 4, 6의 시간에 따른 실내온도를 나타낸 그림이다. Case 4의 경우에는 기존의 Case 2에 대하여 단열효과로 ABS 3 mm를 추가하였으며, Case 5는 ABS 10 mm 두께의 단열을 추가한 경우이고, 3가지 경우 모두 실내온도가 약 20.5~24°C 내에 존재하는 것을 볼 수 있다. 슬릿이 열려있는 경우에는 단열을 추가하였음에도 여전히 실내온도와 제어온도가 약 2°C 정도의 차이를 갖고 있으며 단열추가에 의한 큰 개선효과를 나타내지 못하였는데, 이는 제어온도에 미치는 내벽에 의한 영향보다 실내기류에 의한 영향이 지배적이기 때문으로 보인다.

#### 4.5 On/Off mode 운전시간

실내공조에서 재실자의 열적 쾌적성을 만족시키면서, 에너지 절감 측면을 고려한 난방 운전이 최적의 HVAC 설계라고 할 수 있다. On-mode에서 실외기의 압축기 소요동력과 실내기의 송풍기 소요동력이 Off-mode에 비해 상대적으로 크다는 것과 앞서 해석한 모든 해석결과들에서 사용자가 설정한 설정온도보다 높은 실내온도를 나타냄을 고려하였을 때, 슬릿의 개폐여부, 내벽의 초기온도 조건 및 컨트롤러 후면의 단열 효과에 따른 과도한 난방운전의 개선여부를 확인하고자 각 Case에 대하여 On/Off mode 운전시간을 비교해보고자 한다. Table 4.1은 초기 1시간 동안의 모든 Case에 대한 On/Off 운전시간을 나타낸다.

Table 4.1 Operation time of On/Off mode

Case	0~1h 운전시간 [s]	
	On-mode	Off-mode
1	1488	2112
2	554	3046
3	1438	2162
4	544	3056
5	1384	2216
6	591	3009
7	2340	1260
8	844	2756
9	826	2774
10	374	3226

#### 4.5.1 Slit의 개폐여부에 따른 운전시간 비교

슬릿이 닫힌 경우인 Case 1, 3, 5의 경우, 동일한 조건에서 slit이 열린 경우인 Case 2, 4, 6에 비해 전체적으로 On-mode 운전시간이 크게 길다는 것을 볼 수 있다. 대표적으로 Case 1의 경우 1시간 동안 On-mode 운전시간이 1488s인 것에 비해 Case 2의 경우 On-mode 시간이 554s이므로 Off-mode에 비해 On-mode에서의 소요동력이 크다는 것을 고려하였을 때, 상대적으로 운전시간이 적은 슬릿이 열린 경우가 닫힌 경우에 비해 에너지 소비측면에서 유리하다는 것을 확인하였다.

#### 4.5.2 내벽의 초기온도에 따른 운전시간 비교

Case 7은 실내 및 내벽의 초기온도와 복도측 온도를 각각 0℃ 및 로 바꾸어 Case 1보다 더 추운 공간을 해석한 것이고, Case 8은 실내 및 내벽의 초기온도와 복도측 온도가 10℃인 경우에 대하여 Case 1보다 더 따뜻한 공간을 해석한 경우이다. 상대적으로 추운 환경을 갖는 0℃ 조건의 Case 7의 1시간 동안의 On-mode 운전시간은 2340s였고, 5℃ 조건의 Case 1의 경우에는 1488s, 상대적으로 따뜻한 환경을 가진 10℃ 조건의 Case 8은 844s의 On-mode 운전시간을 보였으며, 마찬가지로 초기 5℃인 Case 2의 경우를 초기온도를 0℃로 낮춘 Case 9의 경우 운전시간이 826s로 증가하였고, Case 10과 같이 10℃로 초기온

도를 높인 경우에는 374s로 감소하여 내벽의 온도가 슬릿의 개폐여부에 상관없이 운전시간에 큰 영향을 주는 것을 확인하였다.

결론적으로, 내벽 및 복도의 초기온도가 낮을수록 On-mode 동작시간이 증가하였고, 내벽과 복도의 온도가 천장형 에어컨의 운전모드를 결정하는 컨트롤러의 제어온도에 영향을 주는 것을 확인하였다.

#### 4.5.3 단열 추가에 따른 운전시간 비교

슬릿이 닫힌 경우인 Case 1의 경우 1시간 동안 On-mode 운전시간이 1488s이었고, 컨트롤러 후면에 단열을 3 mm 추가한 Case 3의 경우 1438s, 단열을 10 mm 추가한 Case 5의 경우에는 1384s로 단열이 증가함에 따라 On-mode 운전시간이 감소하는 것을 볼 수 있다. 이를 통하여 슬릿이 닫힌 경우에는 단열 추가를 통하여 제어온도에 영향을 미치는 차가운 내벽의 효과를 감소시킴으로써 과도한 난방운전을 줄여 실내온도 및 에너지 소비 측면에서 개선이 가능하다는 것을 확인하였다.

슬릿이 열린 경우인 Case 2의 경우 1시간 동안 On-mode 운전시간이 554s이었고, 단열을 3 mm 추가한 Case 4의 경우 544s, 단열을 10 mm 추가한 Case 6의 경우에는 591s로 단열의 정도와 운전시간의 관계가 무관하게 나타났다. 이는 해석대상의 초기 1시간 동안 내벽의 온도가 충분히 발달하지 못하였고, 제어온도가 갖는 내벽에 의한 영향보다 실내기류에 의한 영향이 지배적이어서 갖은 On-mode 동작이 일어난 결과로 보여진다. 이러한 해석의 불안정성을 보완하기 위하여 슬릿이 열린 경우에는 내벽의 온도구배가 충분히 발달할 수 있는 충분한 시간 동안의 운전 및 결과에 대한 검토가 필요하다고 여겨진다.

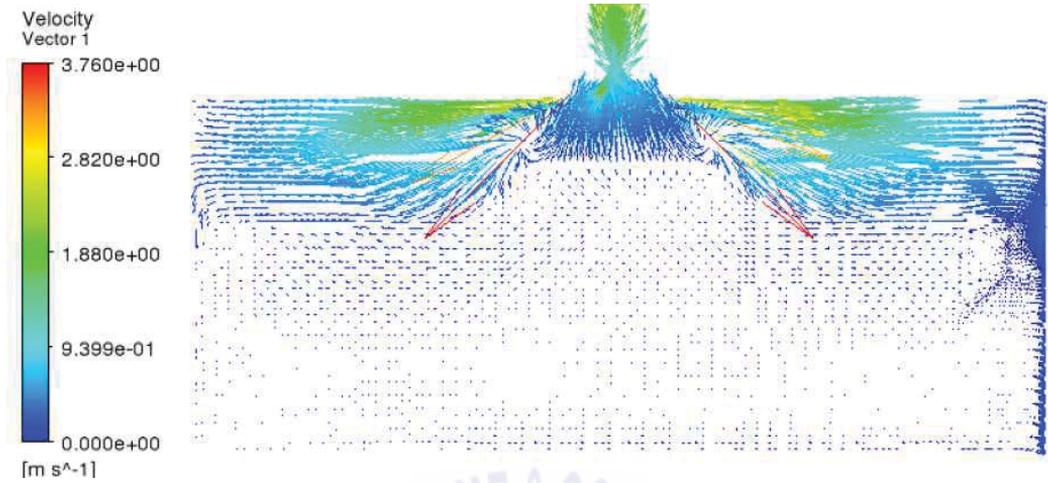


Fig. 4.1 On-mode air velocity vector on X = 2 m vertical plane

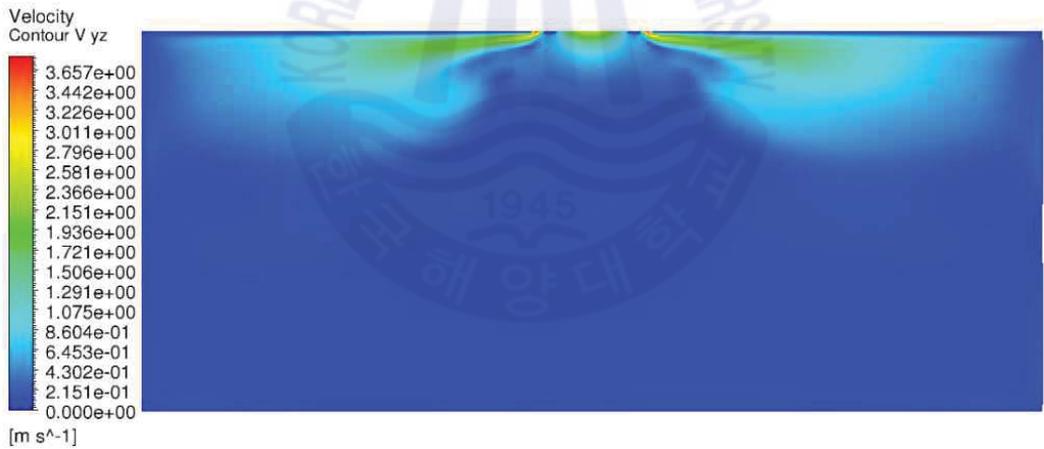


Fig. 4.2 On-mode air velocity contour on X = 2 m vertical plane

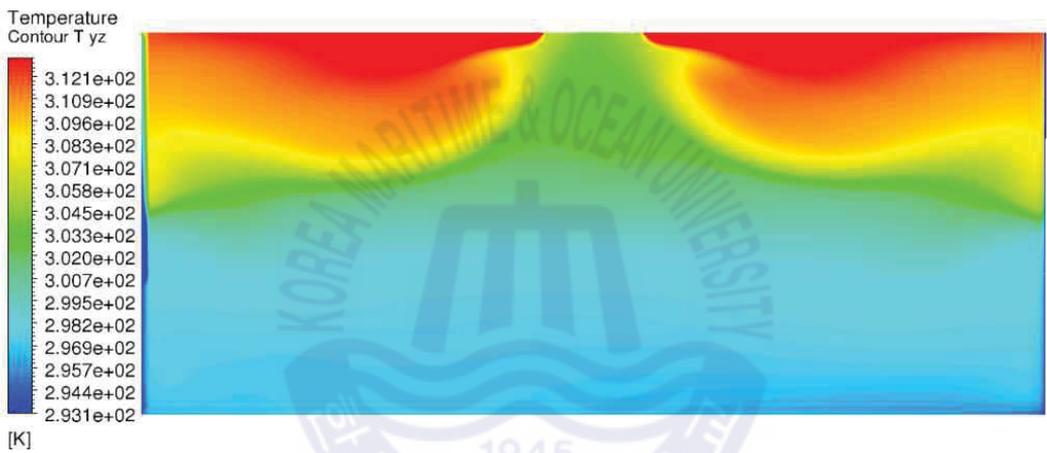


Fig. 4.3 On-mode air temperature contour on X = 2 m vertical plane

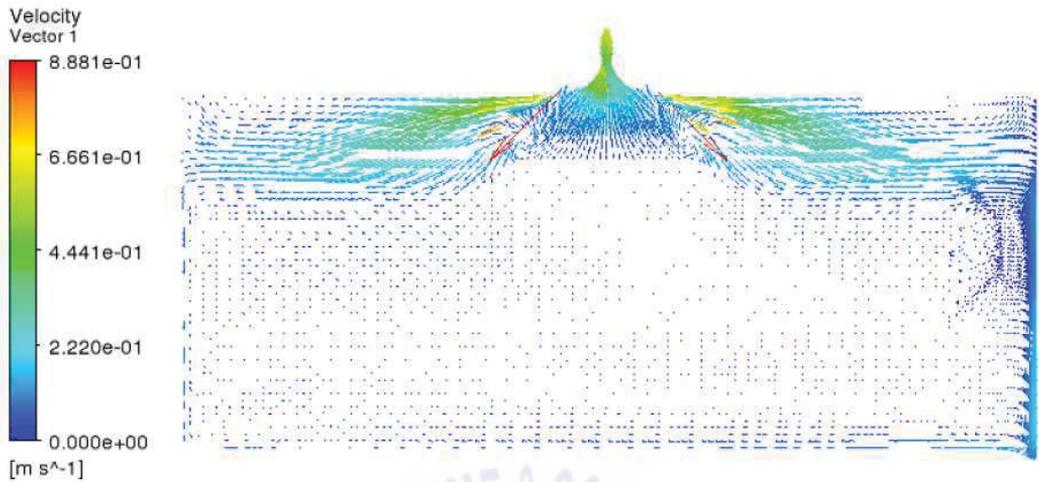


Fig. 4.4 Off-mode air velocity vector on X = 2 m vertical plane



Fig. 4.5 Off-mode air velocity contour on X = 2 m vertical plane



Fig. 4.6 Off-mode air temperature contour on  $X = 2$  m vertical plane

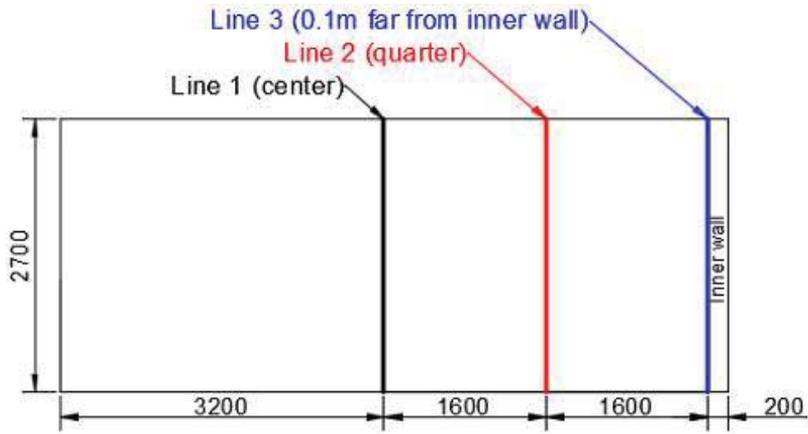


Fig. 4.7 Location of line 1, 2, 3 on vertical plane

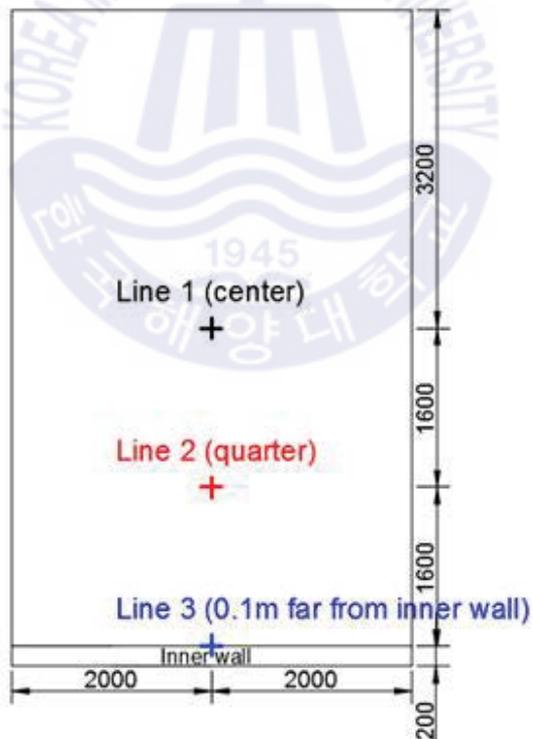


Fig. 4.8 Location of line 1, 2, 3 on horizontal plane

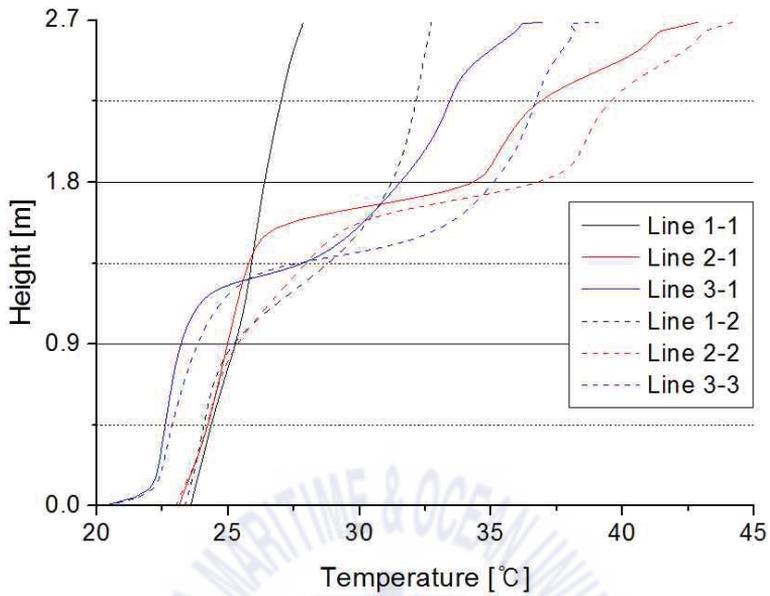


Fig. 4.9 Case 1 On-mode - temperature of line 1, 2, 3

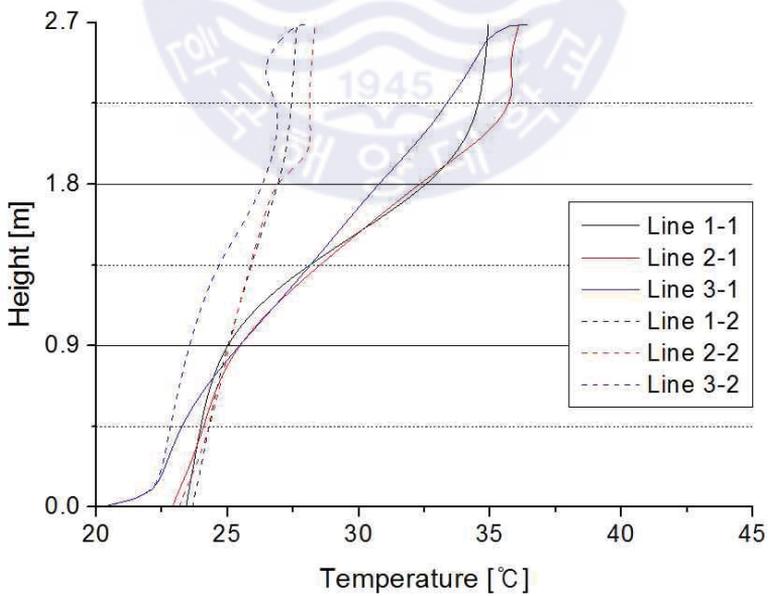


Fig. 4.10 Case 1 Off-mode - temperature of line 1, 2, 3

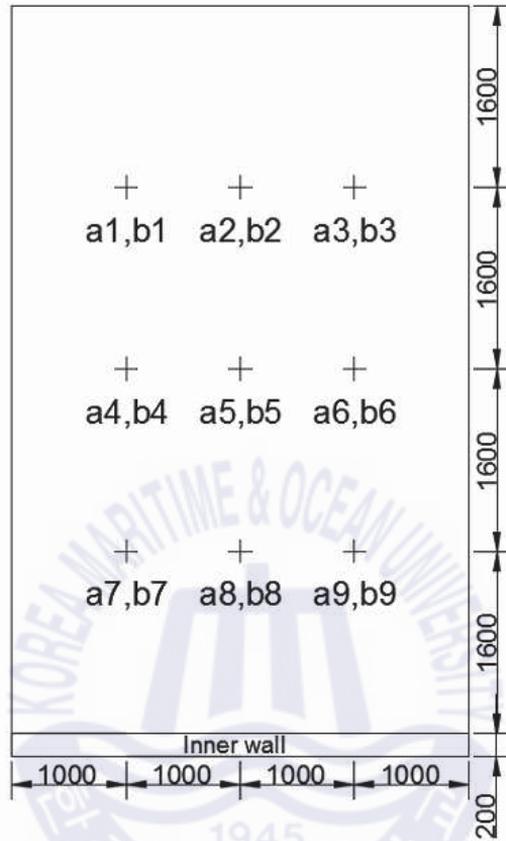


Fig. 4.11 Location of a1~b9 points on horizontal plane

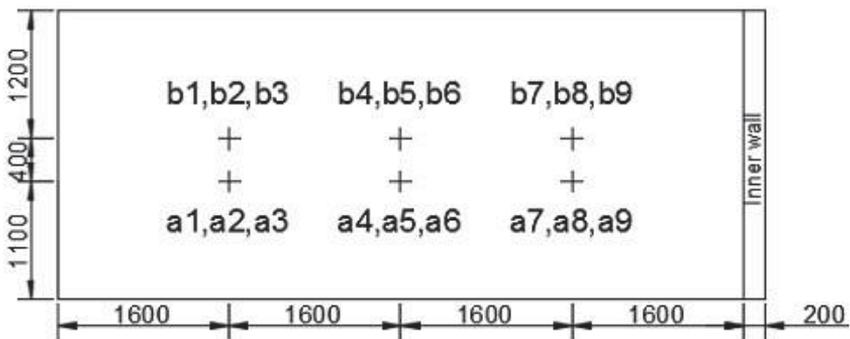


Fig. 4.12 Location of a1~b9 points on vertical plane

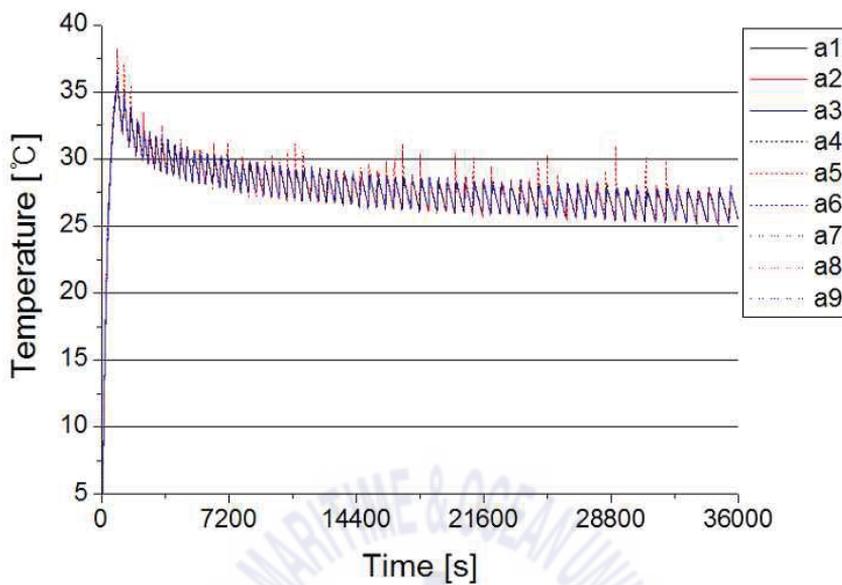


Fig. 4.13 Case 1 temperatures of a1~a9 points at 1.1 m height

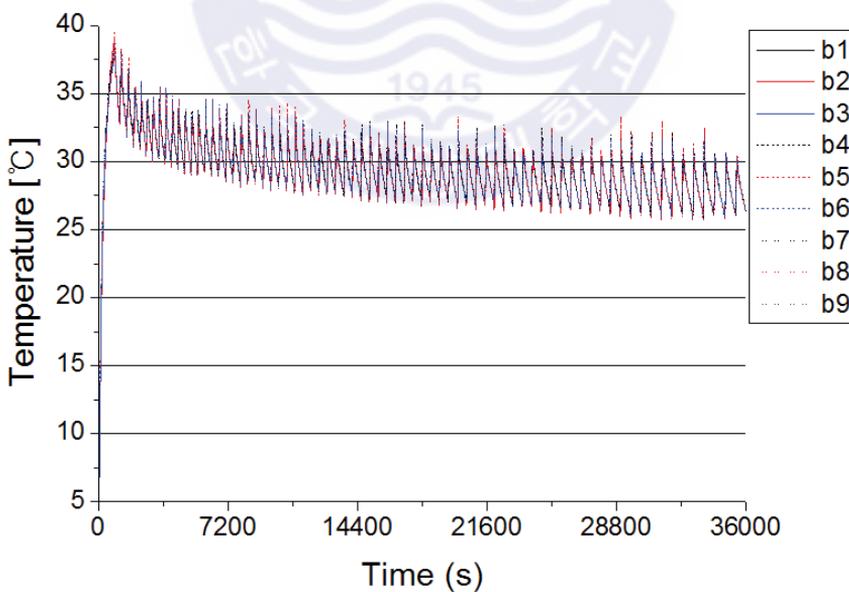


Fig. 4.14 Case 1 temperatures of b1~b9 points at 1.5 m height

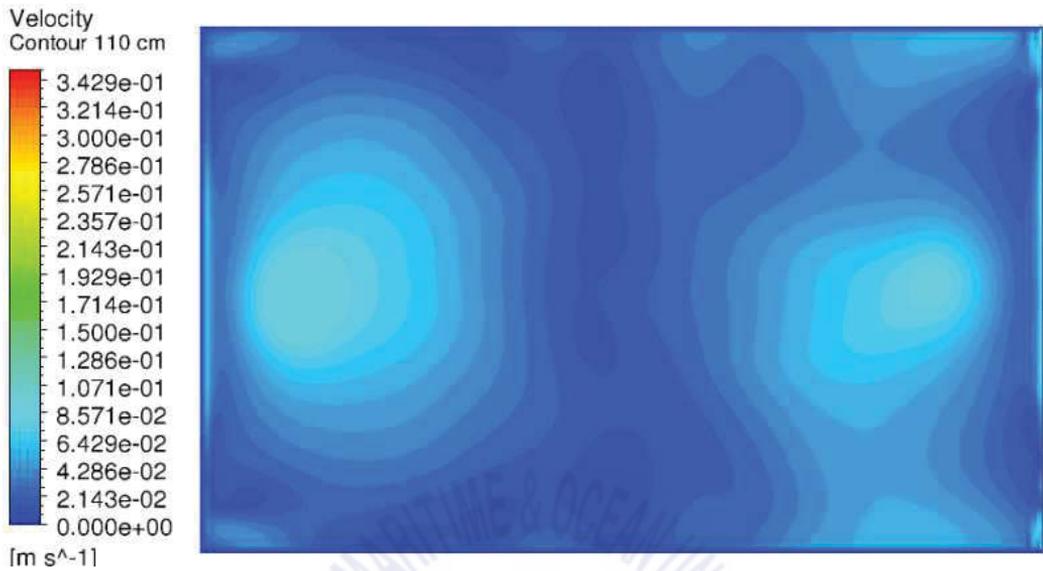


Fig. 4.15 On-mode air velocity contour on Z = 1.1 m horizontal plane

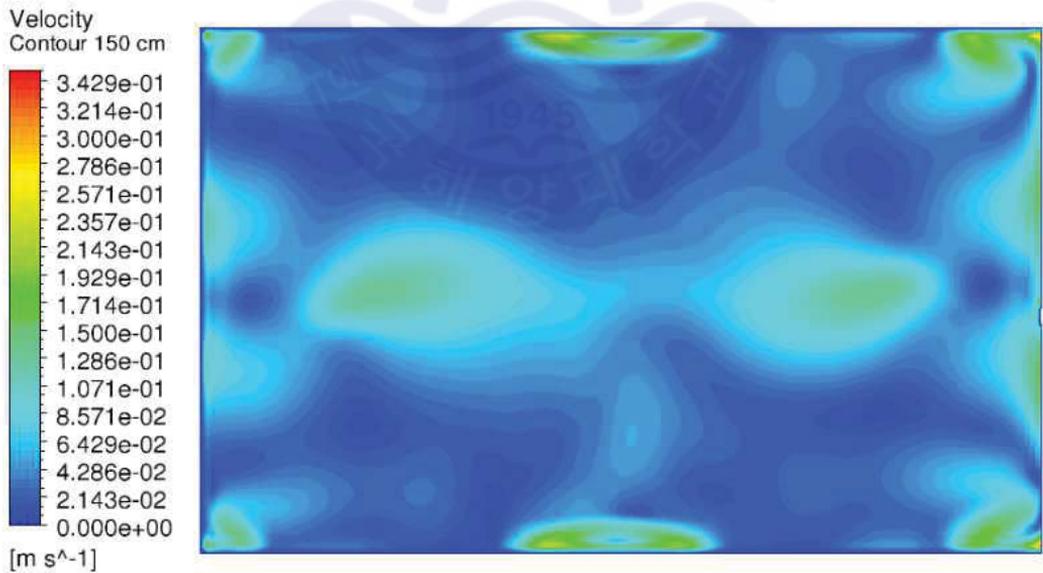


Fig. 4.16 On-mode air velocity contour on Z = 1.5 m horizontal plane



Fig. 4.17 On-mode air temperature contour on  $Z = 1.1$  m horizontal plane

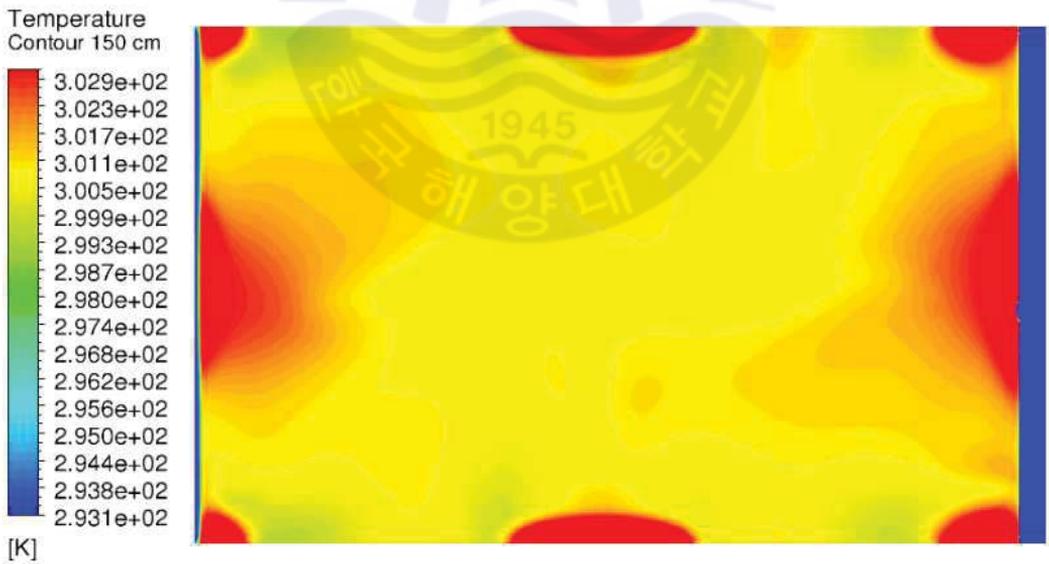


Fig. 4.18 On-mode air temperature contour on  $Z = 1.5$  m horizontal plane



Fig. 4.19 Off-mode air velocity contour on Z = 1.1 m horizontal plane



Fig. 4.20 Off-mode air velocity contour on Z = 1.5 m horizontal plane



Fig. 4.21 Off-mode air temperature contour on  $Z = 1.1$  m horizontal plane



Fig. 4.22 Off-mode air temperature contour on  $Z = 1.5$  m horizontal plane

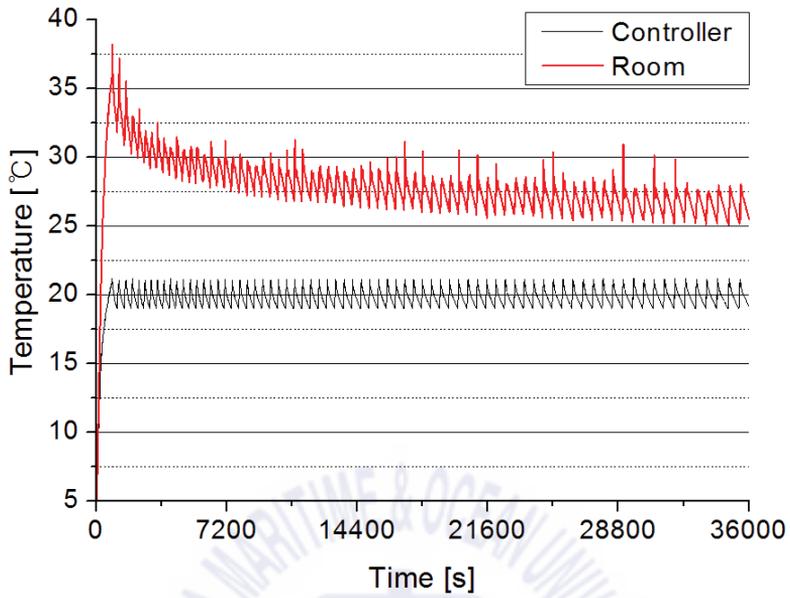


Fig. 4.23 Case 1 - room and control temperatures

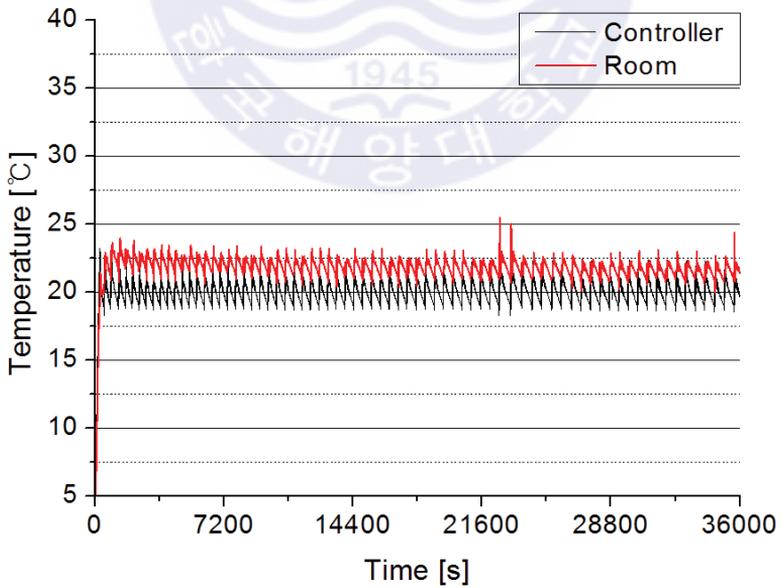


Fig. 4.24 Case 2 - room and control temperatures

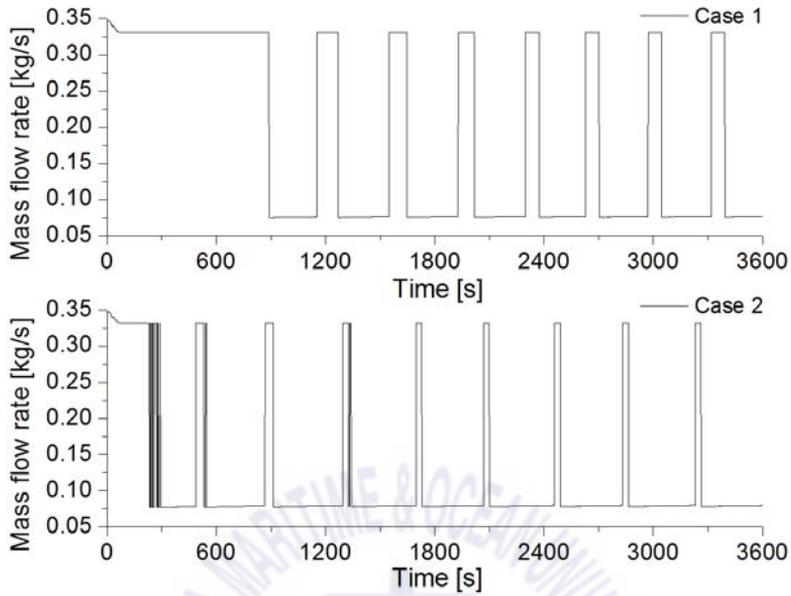


Fig. 4.25 Discharge flow rates of Case 1 and Case 2 for 1 h

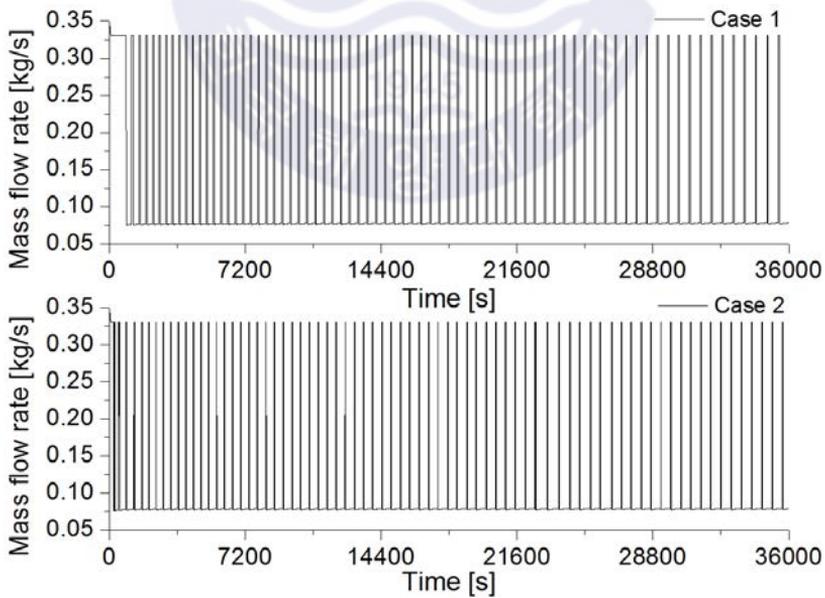


Fig. 4.26 Discharge flow rates of Case 1 and Case 2 for 10 h

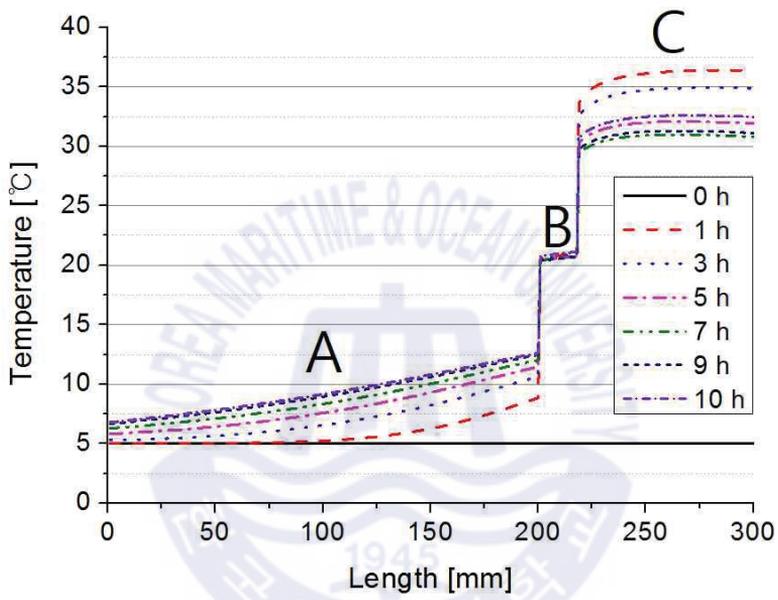


Fig. 4.27 Case 1 - inner wall, thermostat and room temperature profiles

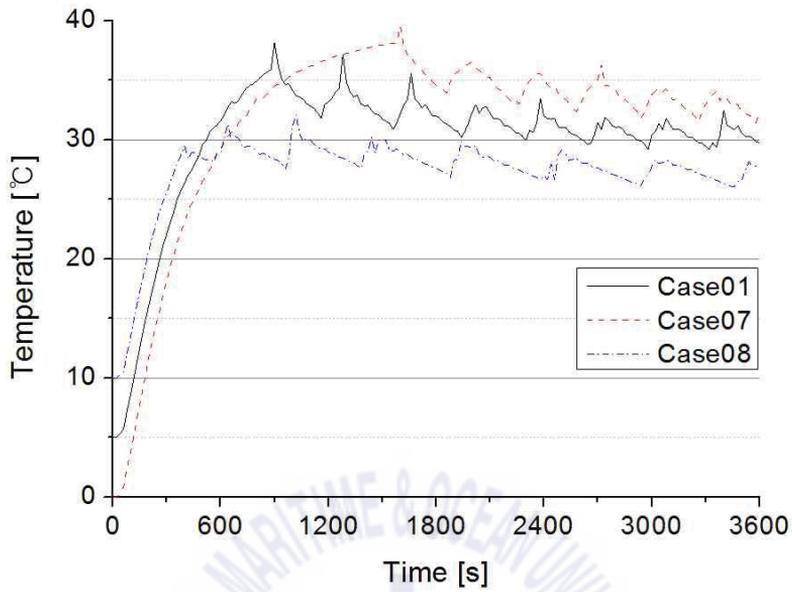


Fig. 4.28 Relationship between room and initial wall temperature for slit closed

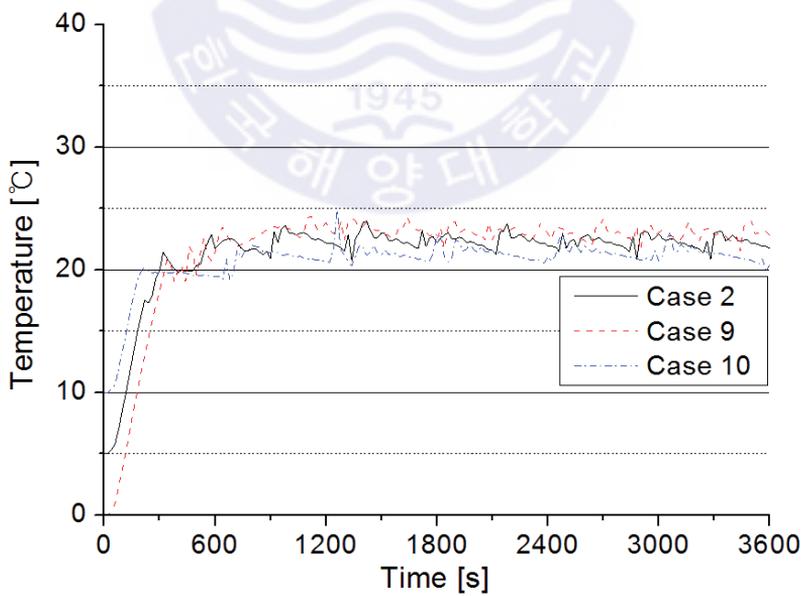


Fig. 4.29 Relationship between room and initial wall temperature for slit open

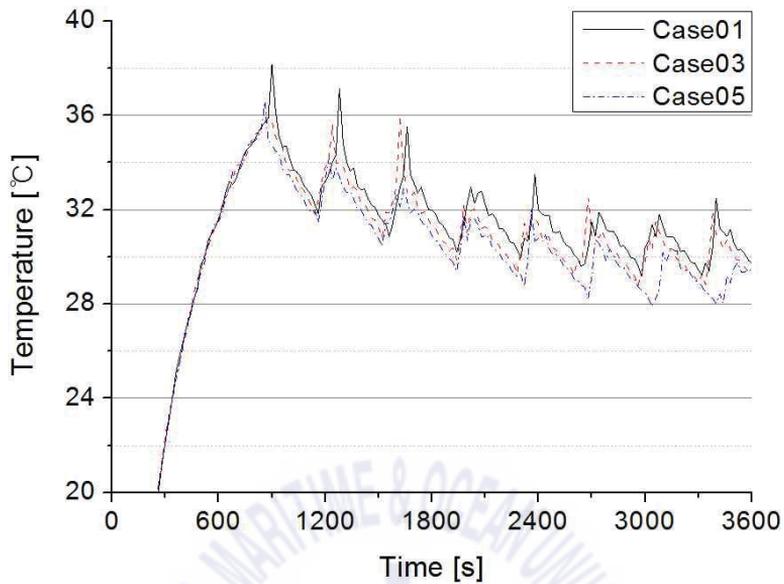


Fig. 4.30 Room temperature with additional insulation for slit closed

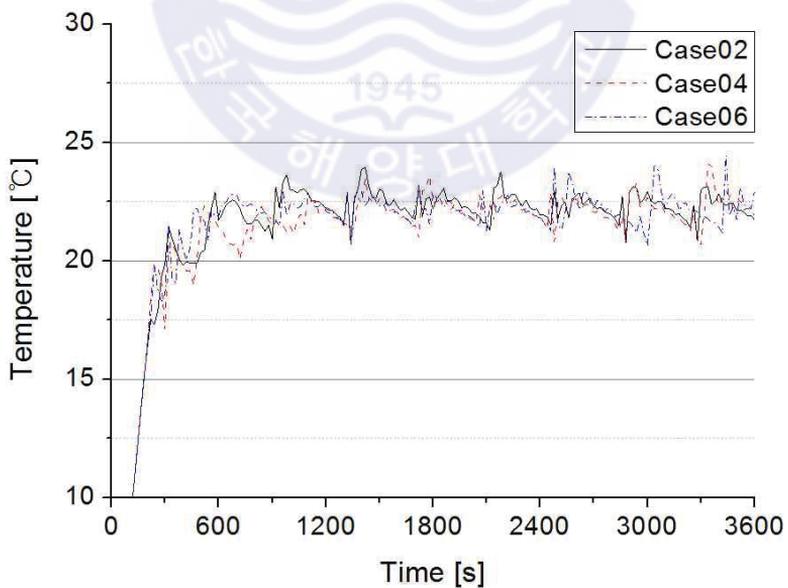


Fig. 4.31 Room temperature with additional insulation for slit open

## 제 5 장 결론

본 연구에서는 천장형 에어컨의 운전모드를 결정하는 제어온도의 불확실성을 유발하는 컨트롤러 온도센서 주변 슬릿의 개폐여부와 내벽의 초기 온도에 따른 제어온도 및 실내온열환경 영향을 CFD 해석을 통하여 고찰하였다.

본 연구에서 확인한 천장형 에어컨이 설치된 장소에서 난방운전시 컨트롤러 주변 열환경이 제어온도에 미치는 영향에 대한 특성은 다음과 같다.

1. 난방시 천장형 에어컨 취출기류가 갖는 상승기류의 영향으로 실내공간에 열성층화가 발생하여 약 1.4 m 높이를 기준으로 상층부는 취출기류의 영향에 의한 수직온도분포 특성을 나타내며, 하층부에서는 열성층화의 영향에 의한 수직온도분포를 나타냄을 확인하였다.
2. 호흡선 1.1 m 높이와 컨트롤러 1.5 m 높이의 수평면에서 두 경우 모두 기류에 의한 영향이 적게 나타났으며, 수평면 온도분포가 균일하게 나타났다.
3. Slit이 닫혀있는 경우에는 실내기류에 의한 영향보다 내벽에 의한 영향이 크게 나타났고, Slit이 열려있는 경우에는 내벽에 의한 영향보다 실내기류에 의한 영향이 지배적으로 나타났다.
4. 난방운전이 지속되어 내벽의 온도구배가 발달함에 따라 내벽이 제어온도에 미치는 영향이 점차 감소하는 것을 확인하였고, 내벽의 초기온도가 낮을수록 On-mode 운전시간 증가에 따른 과도한 난방운전으로 인하여 실내온도가 증가하는 경향을 보였으며, 컨트롤러가 부착된 내벽의 온도가 낮을수록 실내 난방에 불리함을 확인하였다.
5. Slit이 닫혀있는 경우에는 컨트롤러 후면에 단열을 추가할 경우, 제어온도에 대한 내벽의 영향을 감소시켜 실내 난방성능이 개선되었으나, Slit이 열려있는 경우에는 내벽에 의한 영향보다 실내기류에 의한 영향이 지배적이어서 단열 추가에 의한 효과가 미비하였다.

본 연구에서는 컨트롤러의 온도센서가 슬릿의 개폐여부 및 내벽의 초기온도

조건에 따라 큰 영향을 받게 되어 제어온도가 주변 열환경에 민감하게 반응하는 것을 확인하였다. 결론적으로, 제어온도가 주변 열환경에 간섭을 받게 되면 재실자가 희망하는 설정온도와 달리 부적절한 난방운전을 야기할 수 있으므로, 재실자의 열적 쾌적성 향상 뿐만 아니라 에너지 절약 측면에서 난방 운전 성능을 개선하기 위하여 컨트롤러 설치 위치 및 주변 열환경에 주의가 필요하다고 본다.



## 참고문헌

- Ahn, C.L. et al., 2005, Thermal Environment Analysis by the Diffusion Direction with Ceiling Type Air Conditioner of the Classroom. Journal of Fisheries and Marine Sciences Education, 17(2), pp. 145-154.
- American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE), 2001, ASHRAE HANDBOOK FUNDAMENTALS. SI Ed.
- ANSYS, 2017, ANSYS CFX-Solver Theory Guide.
- International Organization for Standardization (ISO), 2005, ISO 7730-Ergonomics of the thermal environment.
- Jung, J.W., 2015, Study on the Impact Assessment Technique of Thermal Environment. Ph.D. Incheon National University.
- Kim, H.G. et al., 2008, A study on sensitive analysis of thermal comfort parameters in an office building. Conference of Architectural Institute of Korea, 28(1), pp. 535-538.
- Kim, J.T., 2016, Improvement of Dissatisfaction of Heating Performance in Ceiling Cassette Air Conditioner where used Wireless Remote Controller. M.E. Pusan National University.
- Kim, S.B., 2016, A Study on the Uncertainty of Domestic Building Energy Simulation. M.S. Daejeon University.
- Lee, J.H. et al., 2006, Evaluation of Indoor Thermal Comfort for Ceiling Type System Air-Conditioner with Various Discharge Angles. Conference of The Society of Air-Conditioning and Refrigerating Engineers of Korea, Vol. 2006, No. 6, pp. 1180-1185.
- Lee, S.W. et al., 2008, A study on Characteristics of Indoor-Air-Quality in

- Interior Space Equipped with System Air-Conditioner. *Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol. 20, No. 5, pp. 304-313.
- Li, M.H., 2006, Thermal Environment Analysis of a Classroom by CFD Simulation for Resolving Optimal Temperature Sensor Position in Ceiling Type Air-Conditioning System. M.E. Pukyong National University.
- McQuiston, F.C. Parker, J.D., Spitler, J.D., 2004, Heating, Ventilating, and Air Conditioning: Analysis and Design, 6th Ed. WILEY.
- Michael, F.A., 2013, Materials and Environment: Eco-informed Material Choice. 2nd Ed. Bytterworth Heinemann.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MOLIT), 2018, Energy Saving Design of Building.
- Ministry of Trade, Industry and Energy (MOTIE), 2017, Energy Use Rationalization of Public Institute.
- MOTIE, 2018, Energy Use Rationalization Act.
- Moon, S.W., Kim, T.W. & Hong, W.H, 2008, A study on the evaluation of work productivity according to the indoor environment in office buildings. Conference of Korea Institute of Architectural Sustainable Environment and Building Systems, pp. 79-83.
- Park, J.K., 2017, A Study on the Ventilation Efficiency Evaluation of the Combined Air-Diffuser Ventilation System Using CFD. M.S. Yeungnam University.
- Pérez-Lombard, L., Ortiz, J. & Pout, C., 2008, A review on buildings energy consumption information. *International Journal of Energy and Buildings*, Vol. 40, pp. 394-398.
- Nielsen, P.V., 2015, Fifty years of CFD for room air distribution. *International Journal of Building and Environment*, Vol. 91, pp. 78-90.

Vijayalakshmi, M.M., Natarajan, E. & Shanmugasundaram, V., 2006, Thermal Behaviour of Building Wall Elements, International Journal of Applied Sciences, 6(15), pp. 3128-3133.

Won, J.K., 2016, A study on the application of comfort domain control in individual cooling system for energy saving. M.S. Sungkyunkwan University.



## 감사의 글

어렵고 힘들게만 느껴지던 대학원 생활을 마무리하며 부족하지만 한편의 논문을 완성하기까지 도움을 주신 많은 분들을 기억하며 짧은 글을 통해 감사의 마음을 전하려 합니다.

많이 부족했던 저를 제자로 받아주시고, 공학도로서의 마음가짐과 세상을 살아가는 방법을 가르쳐주신 방광현 교수님께 항상 진심으로 감사드립니다. 그리고, 학부과정과 석사과정 동안 본 논문의 밑거름이 될 수 있도록 가르침을 주신 김동혁 교수님, 도덕희 교수님, 윤상국 교수님, 김유택 교수님께 감사드리며, 바쁘신 와중에도 논문 지도와 더불어 대학원 생활에 많은 가르침을 주신 유삼상 교수님과 소중한 충고와 조언을 아끼지 않으셨던 황광일 교수님께도 깊은 감사를 드립니다.

무엇보다도 저를 믿고 학업에 열중할 수 있도록 물심양면으로 지원해주신 아버지, 어머니와 누나들에게 감사의 말을 전합니다.

마지막으로 일일이 언급하지 못했지만 그동안 도움을 주신 모든 분들께 다시 한번 진심으로 감사드립니다.