creative commons
COMMONS DEED

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

dCollection

[UCI]I804:21031-200000600913

공학석사 학위논문

빌트인 냉장고의 적정 후면 방열 공간 제안을 위한 수치 시뮬레이션 연구

2022년 2월

부경대학교 일반대학원

냉동공조공학과

김 해 빈

공학석사 학위논문

빌트인 냉장고의 적정 후면 방열 공간 제안을 위한 수치 시뮬레이션 연구

Numerical Study for Proposing Proper Rear Heat Dissipation Space for Built-in Refrigerators

지도교수 금 종 수

이 논문을 공학석사 학위논문으로 제출함

2022년 2월

부경대학교 일반대학원

냉동공조공학과

김 해 빈

김해빈의 공학석사 학위논문을 인준함

2022년 2월 25일

위 원 장 공학박사 정 석 권 (인)

위 원 공학박사 손 창 효 (인)

위 원 공학박사 금 종 수 (인)

목 차

List of figures ····· ii

List of tables ····· iv

Abstract ····· v

제 1장 서 론 ····· 1

1.1 연구배경 ····· 1

1.2 선행연구 ····· 2

제 2장 본 론 ····· 4

2.1 실험장치 ····· 4

2.2 실험방법 ····· 6

2.3 실험결과 ····· 8

2.4 수치 시뮬레이션 모델 ····· 11

2.5 적정 후면 방열 공간 제안을 위한 시뮬레이션 ····· 17

제 3장 결 론 ····· 34

참고문헌 ····· 36

List of figures

Fig. 1 Installation of the refrigerator ····· 6

Fig. 2 Experimental schedule ····· 7

Fig. 3 Power consumption according to the rear heat dissipation space ····· 8

Fig. 4 Intergrated power consumption according to the rear heat dissipation space ····· 9

Fig. 5 Refrigerator cabinet modeling ····· 12

Fig. 6 Mesh of simulation modeling ····· 14

Fig. 7 The results of the 2 cm rear heat dissipation space simulation ····· 16

Fig. 8 The results of the 10 cm rear heat dissipation space simulation ····· 17

Fig. 9 Changes in power consumption according to the rear heat dissipation space(25℃, refrigerator for 1 to 2 people households) ····· 18

Fig. 10 The temperature changes of the refrigerator cabinet according to the rear heat dissipation space(25℃, refrigerator for 1 to 2 people households) ····· 19

Fig. 11 Changes in power consumption according to the rear heat dissipation space(32℃, refrigerator for 1 to 2 people households) ····· 22
Fig. 12 The temperature changes of the refrigerator cabinet according to the rear heat dissipation space(32℃, refrigerator for 1 to 2 people households) ····· 23
Fig. 13 Changes in power consumption according to the rear heat dissipation space(25℃, refrigerator for 3 to 4 people households) ····· 26
Fig. 14 The temperature changes of the refrigerator cabinet according to the rear heat dissipation space(25℃, refrigerator for 3 to 4 people households) ····· 27
Fig. 15 Changes in power consumption according to the rear heat dissipation space(32℃, refrigerator for 3 to 4 people households) ····· 30
Fig. 16 The temperature changes of the refrigerator cabinet according to the rear heat dissipation space(32℃, refrigerator for 3 to 4 people households) ····· 31

List of tables

Table 1 Measuring equipment ····· 4

Table 2 Power consumption and intergrated power consumption according to the rear heat dissipation space ····· 10

Table 3 Boundary conditions in simulations ····· 12

Table 4 Calculation and collection conditions ····· 13

Table 5 Information on the mesh ····· 14

Table 6 Result of comparing between simulation and experiment in the case of 2 cm ····· 15

Table 7 Result of comparing between simulation and experiment in the case of 10 cm ····· 16

PUKYONG NATIONAL UNIVERSITY 부경대학교

Numerical Study for Proposing Proper Rear Heat Dissipation Space for Built-in Refrigerators

Hae-Been Kim

Department of Refrigeration and Air-conditioning Engineering, The Graduate School, Pukyong National University

Abstract

The penetration of refrigerators is increasing and the energy consumed by refrigerators is increasing. Most studies on energy conservation in refrigerators focus only on factors that have the greatest impact, and only on built-in refrigerators with natural convection methods. Recently, however, refrigerators have been forced to convect using cooling fans. In addition, unlike ordinary refrigerators, the back heat dissipation space is more important because the left and right heat dissipation spaces are limited. Therefore, in order to save energy consumed in built-in refrigerators, this paper proposes an appropriate back heat

dissipation space. The paper consists of experiments and numerical simulations. Physical phenomena were identified by experiment and data necessary for numerical simulation were collected. As a result of the experiment, refrigerator operation time was 465 seconds and electricity consumption was reduced by 6 W during one cycle. In the case of integrated power consumption, 290 Wh can be saved. According to numerical simulation, appropriate rear heat dissipation space is proposed for refrigerators for 1~2 people and refrigerators for 3~4 people. According to numerical simulations, the appropriate back heat dissipation space for ‘refrigerators for 1~2 people’ is 9 cm, and the appropriate back heat dissipation space for ‘refrigerators for 3~4 people’ is 10 cm.

제 1장 서 론

1.1 연구배경

냉장고는 365일 24시간 항시 가동되는 기저 전력 가전제품이며 음식뿐만 아니라 화장품, 약품 등 저온에 보관하여야 하는 물품의 보관에도 쓰이고 있다. 냉장고의 보급률은 1.72대지만 매년 가구 수가 증가함에 따라 냉장고의 보급률과 냉장고에서 소비되는 에너지량은 증가하고 있다. 이에 가전업체에서는 시장에서 경쟁력을 확보하기 위하여 1등급 냉장고를 많이 출시하고 있으며 국가에서도 1등급 냉장고 구매 시 일부 구매금액 보조의 혜택을 제공하고 있다.[1)]

냉장고에서 소비되는 에너지를 절약하기 위해서는 에너지 효율 등급이 높은 냉장고를 사용하는 것도 중요하지만 일사가 미치지 않는 장소에 설치, 주변 온도가 낮은 장소에 설치 등과 같이 각 가구에서도 적절한 사용환경 조성이 중요하다.

최근 소비 트렌드의 변화로 디자인과 공간 활용도가 우수한 빌트인 냉장고가 선호되고 있으며 이에 최근 분양하는 건물의 경우 설계 단계에서 빌트인 냉장고장을 설계하고 제작하여 입주 시 옵션으로 제공하고 있으며 대부분 소비자는 선택하는 추세이다. 그러나 빌트인 냉장고의 경우 일반 냉장고와 비교하여 좌·우 방열 공간이 제한적이므로 후면 방열 공간에 크게 의존하고 있다.[2)] 만약 후면 방열 공간이 작을 경우 원활한 방열이 어려우므로 냉장고장 내부온도는 상승하게 되고 냉장고장 내부온도의 상승으로 인하여 응축기의 방열량이 감소하여 냉장고의 가동시간은 길어지며 단위 시간당 냉장고 제거할 수 있는 열량의 감소로 냉장고의 성능은 저하하게 된다.

1.2 선행연구

냉장고 사용 환경에 관한 연구는 다음과 같다.

Grimes[1] 등은 냉장고 온도설정, 주변 온도, 음식물 보관량, 문 개폐빈도, 상대습도의 5가지 인자 중 소비전력에 가장 큰 영향을 미치는 인자에 관해 연구하였으며 주변 온도가 가장 큰 영향을 미치는 인자임을 확인하였다.

Sadiur[2] 등은 반응표면분석법(RMS)을 사용하여 냉장고 온도설정, 주변 온도, 문 개폐빈도의 3가지 인자 중 소비전력에 가장 큰 영향을 미치는 인자에 관해 연구하였으며 실험결과를 바탕으로 소비전력 추정식을 제안하였다.

Gepper[3] 등은 냉장고 온도설정, 주변 온도, 음식물 보관량의 3가지 인자 중 소비전력에 가장 큰 영향을 미치는 인자에 관해 연구하였으며 주변 온도가 가장 큰 영향을 미치며 음식물 보관량과 온도설정은 소비전력에 큰 영향을 미치지 않는다는 것을 확인하였다.

Ramadan[4] 은 수치 시뮬레이션을 통해 자연 대류형 빌트인 냉장고의 적정 후면 방열 공간 등에 관해 연구를 진행하였으며 시뮬레이션 결과 자연 대류형 빌트인 냉장고의 경우 20 cm 이상의 후면 방열 공간이 가장 방열에 우수하다는 것을 확인하였다.

선행연구의 경우 가장 큰 영향을 미치는 인자를 확인하는 데 집중되어 있으며 제안한 추정식의 경우 실험에 사용한 냉장고에만 적용된다는 한계가 있다. 또한 냉장고 후면 방열 공간의 관한 연구는 부족한 실정이며 최근 대부분의 냉장고는 냉각팬을 이용한 강제 대류형 냉장고이므로 강제 대류형 냉장고에 관한 연구가 필요하다고 판단된다.

따라서, 본 연구에서는 강제대류 방식을 사용하는 빌트인 냉장고의 적정한 후면 방열 공간을 제안하기 위해 실험을 후면 방열 공간의 효과를

확인하였으며 수치 시뮬레이션에 필요한 데이터와 물리적현상을 확인하였다. 또한 수치 시뮬레이션을 통해 '1~2인 가구용 냉장고', '3~4인 가구용 냉장고'의 적정한 후면 방열 공간을 제안하였다.

PUKYONG NATIONAL UNIVERSITY
부경대학교

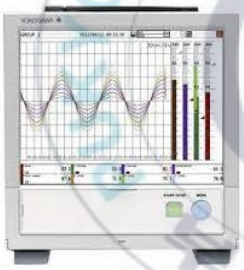
제 2장 본 론

2.1 실험장치

수치 시뮬레이션에 앞서 후면 방열 공간에 따른 본 연구에서 사용한 실험장치를 Table 1에 나타내었다. 실험에 사용한 냉장고는 L 사의 3~4인 가구용 냉장고를 선정하였다. 본 실험의 경우 일정한 온·습도 환경을 유지하는 것이 중요하므로 실험은 항온항습실에서 진행하였다. 냉장고 기계실 급·배기 풍량을 측정을 위하여 열선형 풍속계를 사용하였으며 냉장고 냉동사이클의 입·출구 온도, 냉장고장 상·하부 온도 그리고 냉장고 기계실 급·배기 온도 측정 및 수집을 위하여 데이터로거와 T 타입 열전대를 사용하였으며 소비전력 데이터 측정 및 수집을 위하여 파워미터를 사용하였다.

Table 1 Measuring equipment.

Measuring equipment picture	Equipment name	Purpose of use
	Refrigerator	Subject to experiment

	Chamber room	Maintain temperature & humidity
	Anemometer	Wind speed measurement
	Data logger (GP20)	Data collection
	T-type thermocouple	Temperature measure

	Power meter (CW-120)	Power consumption collection

2.2 실험방법

Fig. 1에 냉장고 설치모습을 나타내었다. 아이소핑크를 사용하여 업체가 권장하는 규격에 맞는 빌트인 냉장고장을 제작하여 항온항습실 중앙에 위치를 시켰으며 냉장고장에 실험에 사용할 냉장고를 위치시켰다. 항온항습실의 온·습도 조건은 일반 공조조건인 25℃, 50%로 유지하였다. 실험의 경우 냉장고장 상·하부 공간은 3 cm로 하였으며 후면 방열 공간을 2 cm, 10 cm로 변수조건으로 하였다.

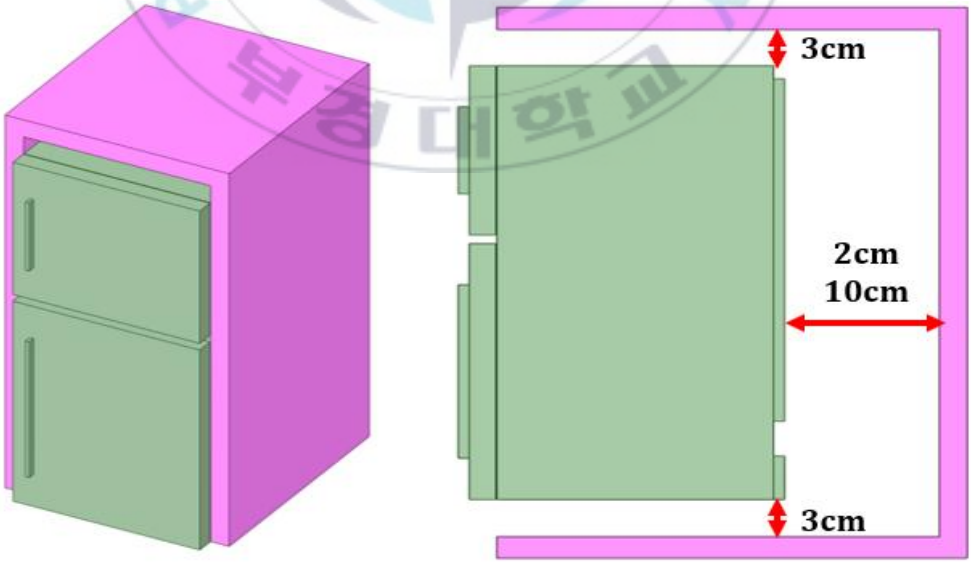


Fig. 1 Installation of the refrigerator.

Fig. 2에 실험 스케쥴을 나타내었다. 실험 전 항온항습기를 가동하여 온·습도 25℃, 50%의 환경을 구현하였으며 실험장치의 이상 유무를 확인하였다. 실험장치에 이상이 없고 항온항습실의 온·습도가 25℃, 50%가 유지되는 것을 확인한 후 냉장고 및 측정장비를 가동하여 데이터를 수집하였다. 15초 간격으로 24시간 데이터를 수집이 끝난 후 데이터수집을 종료하고 실험을 종료하였다.

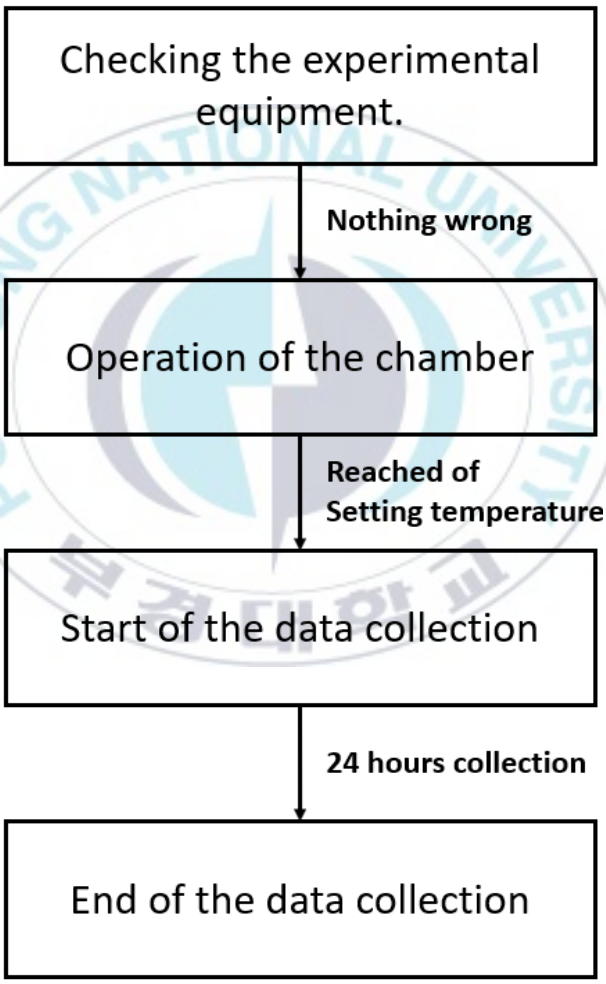


Fig. 2 Experimental schedule.

2.3 실험결과

1) 순간 소비전력의 변화

Fig. 3에 후면 방열 공간에 따른 소비전력의 1사이클 동안의 변화를 나타내었다. 후면 방열 공간이 커질수록 소비전력과 냉장고 가동시간은 감소하였다.

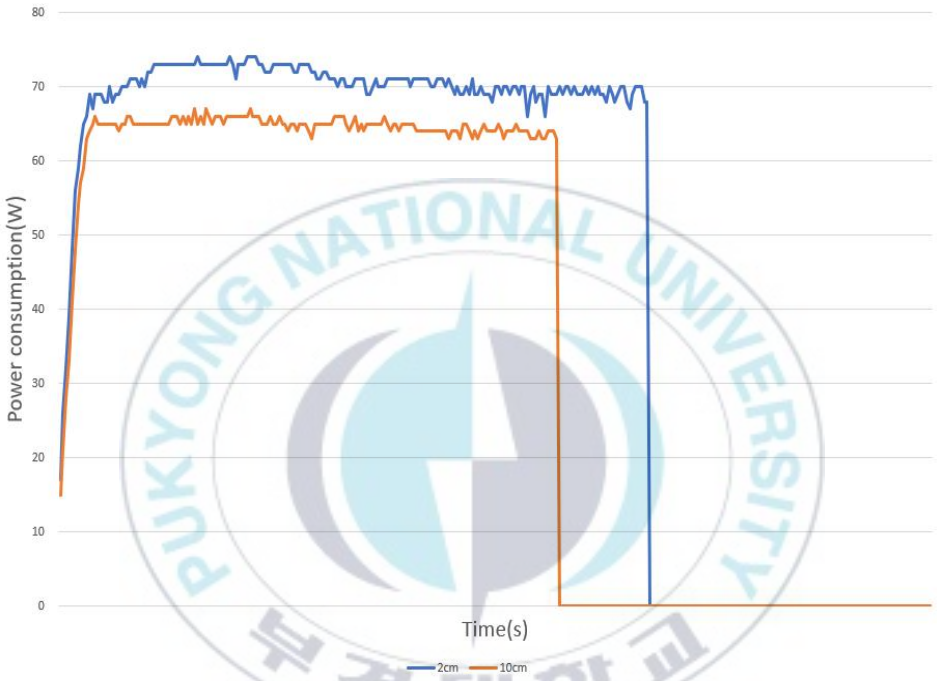


Fig. 3 Power consumption according to the rear heat dissipation space.

2) 적산 소비전력의 변화

Fig. 4에 후면 방열 공간에 따른 1일 적산 소비전력을 나타내었다. 후면 방열 공간이 커질수록 1일 적산 소비전력은 감소하였다.

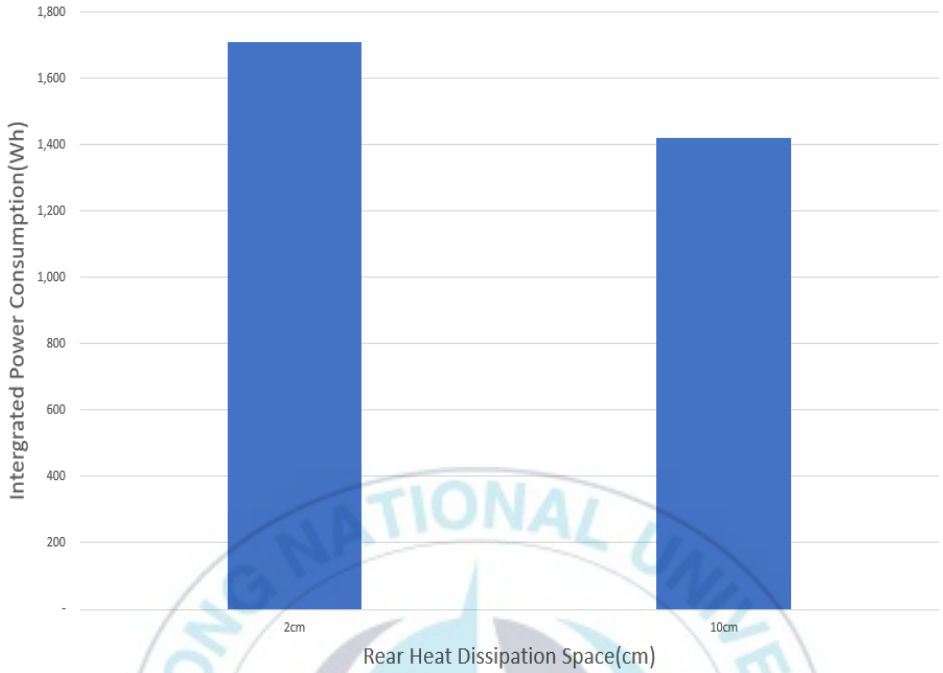


Fig. 4 Intergrated power consumption according to the rear heat dissipation space.

3) 정리

Table 2에 후면 방열 공간에 따른 1 사이클 동안의 소비전력, 1 사이클 동안의 냉장고 가동시간 그리고 1일 적산 소비전력과 그 차이를 나타내었다.

후면 방열 공간을 2 cm에서 10 cm로 확장할 경우 냉장고 가동시간은 3,030초에서 2,565초로 465초 감소하였다. 소비전력의 경우 69.5 W에서 63.5 W로 6 W 감소하였으며 1일 적산 소비전력의 경우 1,710 Wh에서 1,420 Wh로 290 Wh 감소하였다. 소비전력만 본다면 그 감소량은 미미하지만 후면 방열 공간이 넓어질수록 1일 동안 냉장고 가동시간이 감소하므로 1일 적산 소비전력에서는 큰 차이가 나타났다. 소비전력과 냉장고 가동시간이 감소한 이유는 후면 방열 공간이 넓어질수록 냉장고장 내부의

방열이 원활하게 되므로 냉장고장 내부온도는 저하하게 되고 냉장고 응축기에서도 원활하게 된다. 반면 냉장고장 내부온도가 높으면 압축기에서는 응축기와 주변 온도 사이에 일정한 온도 차를 유지하기 위하여 더 높은 압축일량으로 운전하게 되고 이 과정에서 소비전력이 증가하게 된다. 또한, 응축온도가 상승한다는 것은 응축압력과 증발압력이 상승하여 전체적인 냉동사이클 내의 압력이 상승하게 되는데 이는 단위 시간당 응축기에서 방열할 수 있는 열량이 감소하고 단위 시간당 증발기에서 흡열할 수 있는 열량이 감소함을 의미하므로 냉장고 가동시간이 증가하게 된다. 2020년 기준으로 집계된 가구의 수는 2,148만 가구로 모든 가구에서 후면 방열 공간을 10 cm로 변경할 경우 1일 약 6.2 GWh의 전력을 절감할 수 있으며 이는 1일 1 GWh의 전력을 생산하는 화력발전소의 약 6배의 미치는 결과이다.

실험을 통하여 후면 방열 공간이 냉장고 소비전력 절감에 큰 효과가 있음을 확인하였다. 또한, 냉장고장 내부에서 발생하는 물리적 현상을 파악하였으며 수치 시뮬레이션에 필요한 데이터를 수집하였다.

Table 2 Power consumption and intergrated power consumption according to the rear heat dissipation space.

	2 cm	10 cm	Difference
Operating time(Unit : s)	3,030	2,565	465
Power consumption(Unit : W)	69.5	63.5	6
Intergrated power consumption(Unit : Wh)	1,710	1,420	290

2.4 수치 시뮬레이션 모델링

2.4.1 수치 시뮬레이션 기본조건

본 연구에서는 수치 시뮬레이션 프로그램으로 널리 사용중인 Ansys Flunet(2020 R2)를 사용하였다.

시뮬레이션에 사용된 모델 및 경계조건은 각각 Fig. 5과 Table 3에 나타내었으며 수치 시뮬레이션 수렴조건을 Table 4에 나타내었다. 냉장고장 상·하부 배기의 경우 냉장고장 내부온도에 의해 유동양상이 결정되므로 각각 Pressure outlet과 Pressure inlet 조건을 부여하였다. 냉장고 기계실 급·배기 온도의 경우 냉장고 기계실 내부에 있는 냉각팬에 의한 강제대류이므로 각각 Massflow inlet과 Massflow outlet 조건을 부여하였다. 점성모델의 경우 Standard k-epsilon 모델을 선정하였으며 유체모델은 Ideal gas로 선정하였다. 방정식의 경우 온도에 따른 압력의 변화를 잘 반영할 수 있는 Coupled 방정식을 선정하였다. 수렴조건의 경우 연속성, 각 벡터의 속도, K, epsilon은 오차가 0.001 이하일 때 수렴한다고 결정하였으며 energy의 경우 1e-6 이하일 때 수렴한다고 결정하였다.

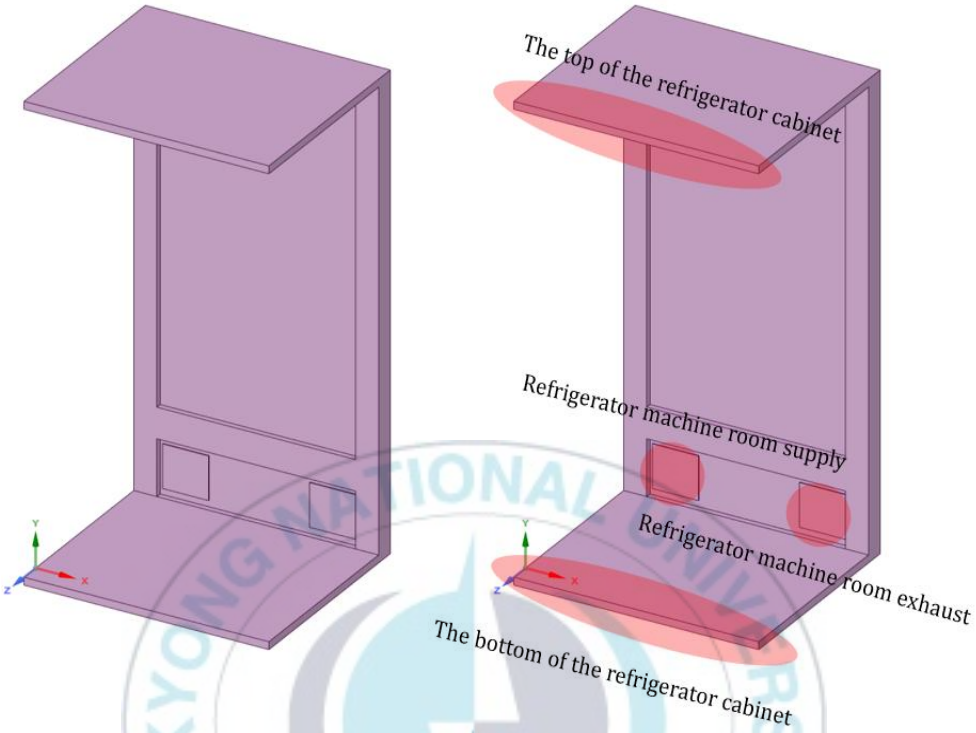


Fig. 5 Refrigerator cabinet modeling.

Table 3 Boundary conditions in simulation.

Boundary	Condition
The top of the refrigerator cabinet	Pressure outlet
The bottom of the refrigerator cabinet	Pressure inlet
Refrigerator machine room supply	Massflow outlet
Refrigerator machine room exhaust	Massflow inlet
Viscous model	Standard K-epsilon
Fluid model	Ideal gas
Solver	Coupled

Table 4 Calculation and collection conditions.

Residual	Absolute Criteria
Continuity	0.001
X-velocity	0.001
Y-velocity	0.001
Z-velocity	0.001
Energy	1e-06
K	0.001
Epsilon	0.001

2.4.2 수치 시뮬레이션 모델 격자 결정

Fig. 6에 수치 시뮬레이션에 사용한 수치 시뮬레이션 모델의 격자로 나타내었으며 Table 5에 격자에 대한 정보를 나타내었다.

격자의 기본 크기는 20 mm이며 격자의 형태는 기본 혼합 격자에 난류에 의한 벽체 표면에 미세한 유동양상을 잘 반영할 수 있도록 표면 격자를 10개층을 적용하였다. 그 결과 본 연구에서 사용된 수치 시뮬레이션 모델 격자의 수는 약 900,000 ~ 1,100,000개이다.

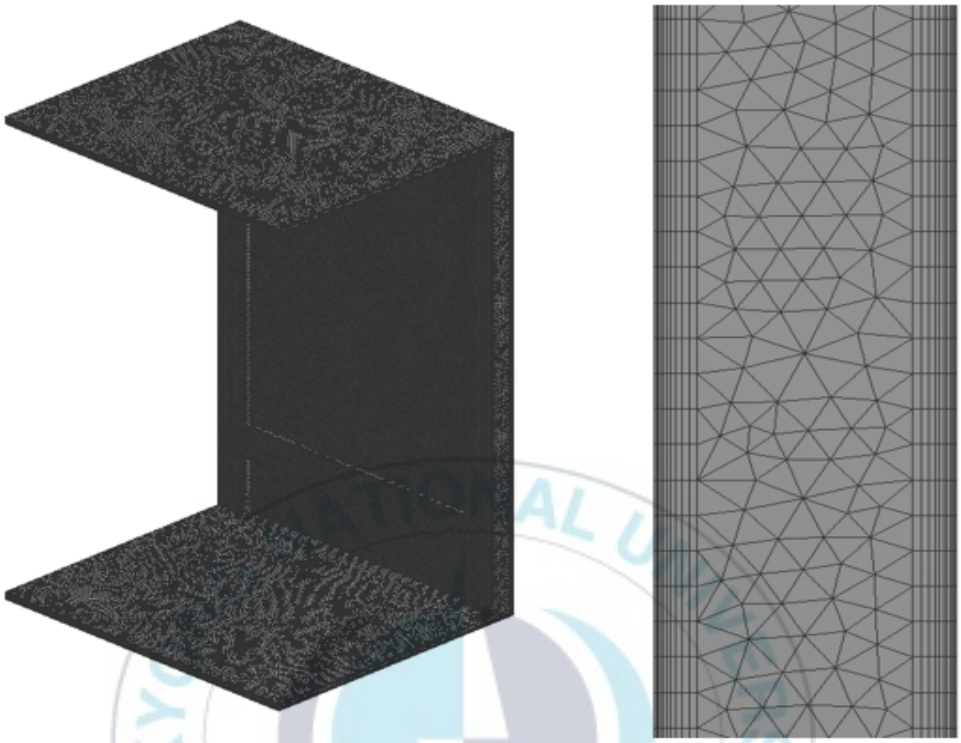


Fig. 6 Mesh of simulation modeling.

Table 5 Information on the mesh.

Boundary condition	Type and Value
Mesh shape	Mixed mesh, Surface Mesh
Mesh size	20mm
Number of mesh	900,000 ~ 1,100,000

2.4.3 수치 시뮬레이션 모델 검증 방법

수치 시뮬레이션 모델의 검토를 위해 2 cm, 10 cm의 실험결과와 수치 시뮬레이션 결과 중 냉장고 기계실 급·배기구 온도와 순간 소비전력을 비교하였다. 수치 시뮬레이션 모델의 타당성 기준은 실험과 시뮬레이션 오

차 10% 이내일 때 타당하다고 결정하였다.

2.4.4 수치 시뮬레이션 모델 검증

실험과 수치 시뮬레이션의 온도와 소비전력 비교 결과를 각각 Table 6과 Table 7에 나타내었으며 2 cm와 10 cm의 시뮬레이션 결과를 각각 Fig. 7과 Fig. 8에 나타내었다. 2 cm의 경우 냉장고 기계실 급기온도가 1.1℃ 높게 예측되었고 냉장고 기계실 배기의 경우 0.8℃ 낮게 예측되었으며 소비전력의 경우 0.2 W 높게 예측되었다. 10 cm의 경우 냉장고 기계실 급기온도가 0.2℃ 낮게 예측되었고 냉장고 기계실 배기의 경우 0.6℃ 낮게 예측되었으며 소비전력의 경우 차이는 없었다. 또한, 후면 방열 공간이 작을수록 냉장고장 내부온도는 높았으며 냉장고장 내부 기류의 유동은 하부 급기에서 상부 배기로 되는 물리적 현상까지 잘 반영되었다고 판단된다. 시뮬레이션 모델링이 실험케이스와 완벽하게 일치하지 않음에도 오차는 2.5% 이하이고 물리적 현상을 잘 반영하였으므로 본 연구에서 개발한 수치 모델은 타당하다고 판단된다.

Table 6 Result of comparing between simulation and experiment in the case of 2 cm

	Experiment	Simulation	Difference	Difference rate
Refrigerator machine room supply (Unit : ℃)	43.6	44.7	+1.1	2.5%
Refrigerator machine room exhaust (Unit : ℃)	37.8	37	-0.8	2.1%
Power consumption (Unit : W)	69.5	69.7	+0.2	0.3%

Table 7 Result of comparing between simulation and experiment in the case of 10 cm.

	Experiment	Simulation	Difference	Difference rate
Refrigerator machine room supply (Unit : ℃)	35.4	35.2	-0.2	0.6%
Refrigerator machine room exhaust (Unit : ℃)	30	29.4	-0.6	2%
Power consumption (Unit : W)	63.5	63.5	0	0%

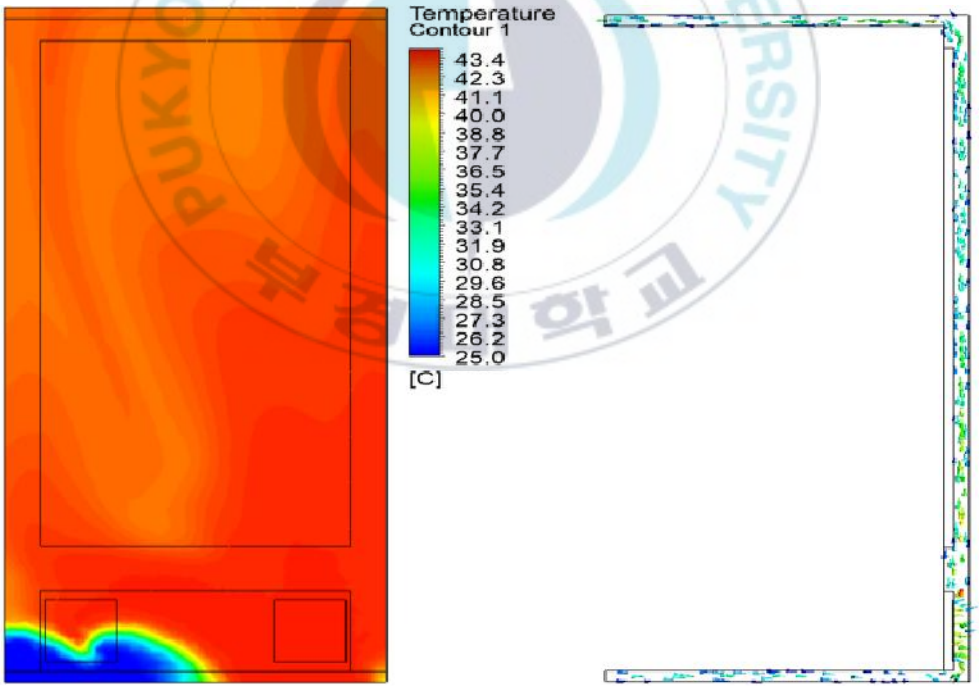


Fig. 7 The results of the 2cm rear heat dissipation space simulation.

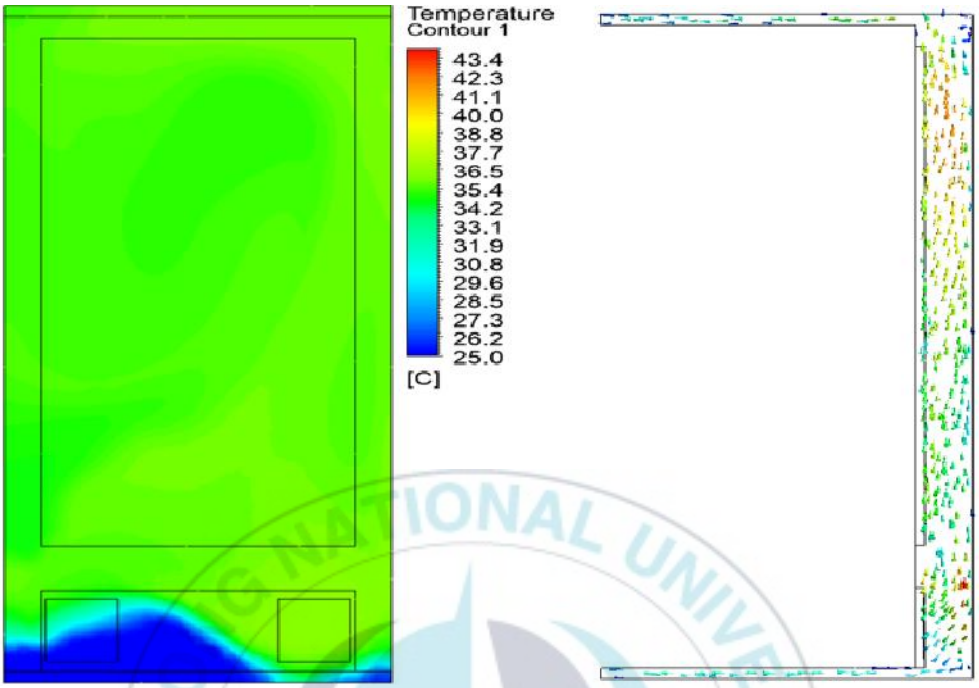


Fig. 8 The results of the 10cm rear heat dissipation space simulation.

2.5 적정 후면 방열 공간 제안을 위한 시뮬레이션

2.5.1 수치 시뮬레이션 방법

본 연구에서는 1~2인 가구용 냉장고와 3~4인 가구용 냉장고에 대해 수치 시뮬레이션을 진행하였으며 각 케이스별 실내온도 조건은 일반 공조환경에서의 온도인 25℃와 여름철 고온환경에서의 온도인 32℃에서 2 cm를 시작으로 후면 방열 공간을 1 cm씩 확장하여 진행하였다.

2.5.2 시뮬레이션 결과

1) 온도조건 25℃ 조건에서 1~2인 가구용 냉장고

Fig. 9에 온도 25℃ 조건에서 1~2인 가구용 냉장고의 후면 방열 공간에 따른 소비전력을 나타내었으며 Fig. 10에서 각 케이스별 냉장고장 내부 온도분포를 나타내었다. 4 cm일 때 소비전력은 가장 큰 폭으로 감소 하

였으며 8 cm 이상 이격시 소비전력 감소의 효과는 미미하였다. 냉장고장 내부온도의 경우 3 cm부터 5 cm까지 눈에 뜨게 감소하였으나 6 cm 이상 이격시 냉장고장 내부온도의 감소는 미미하였다.

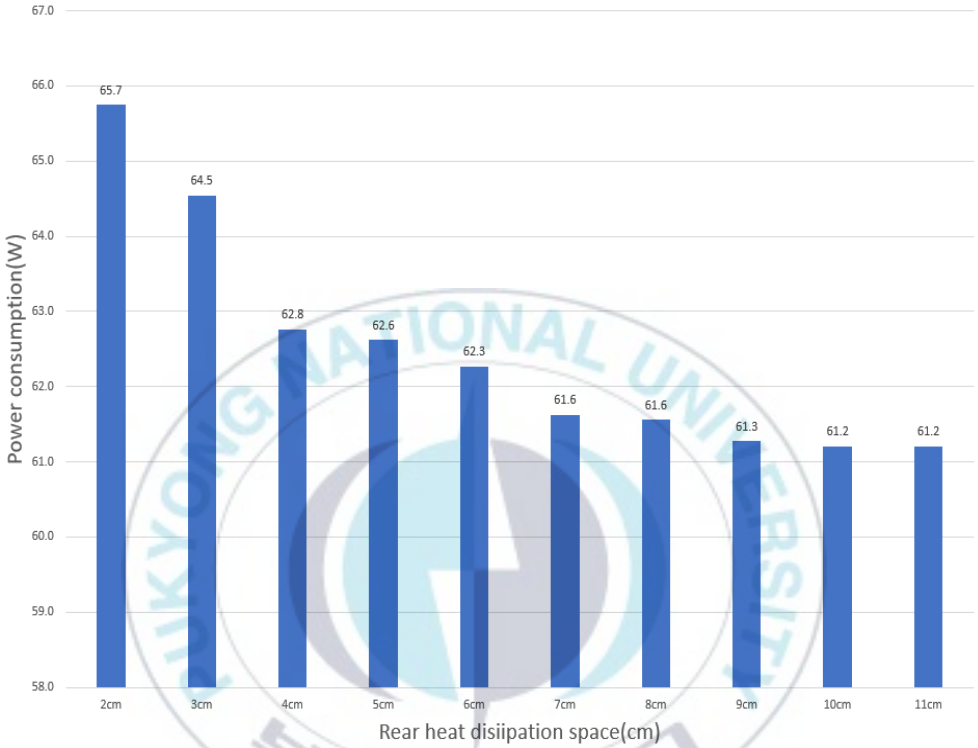
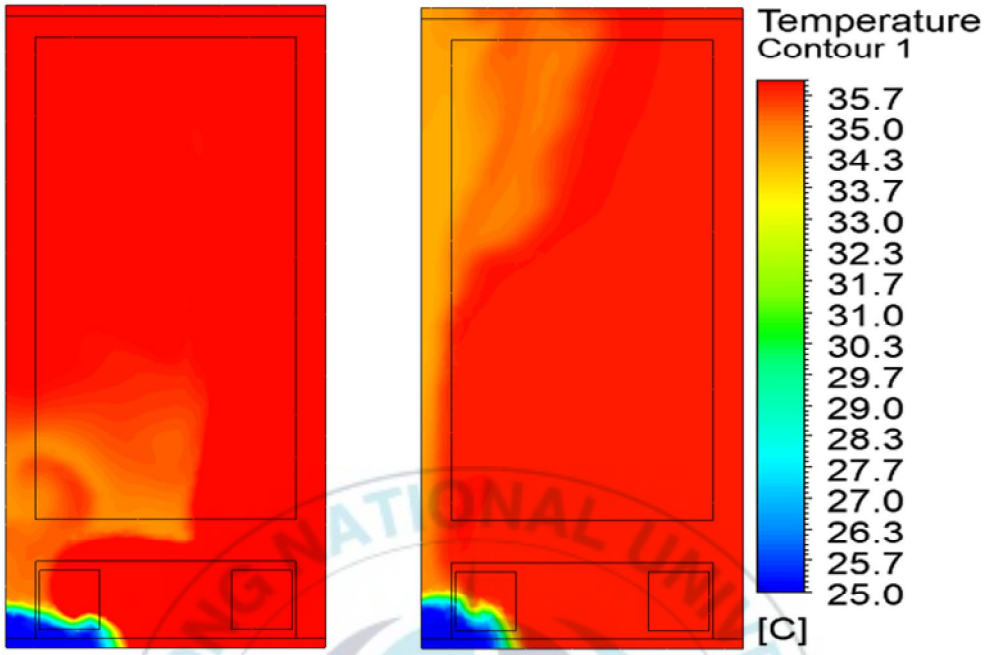
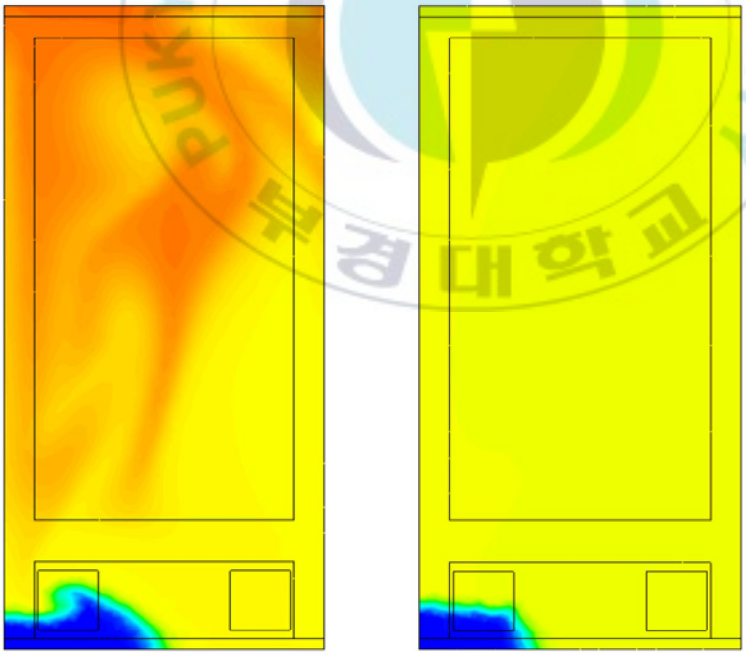


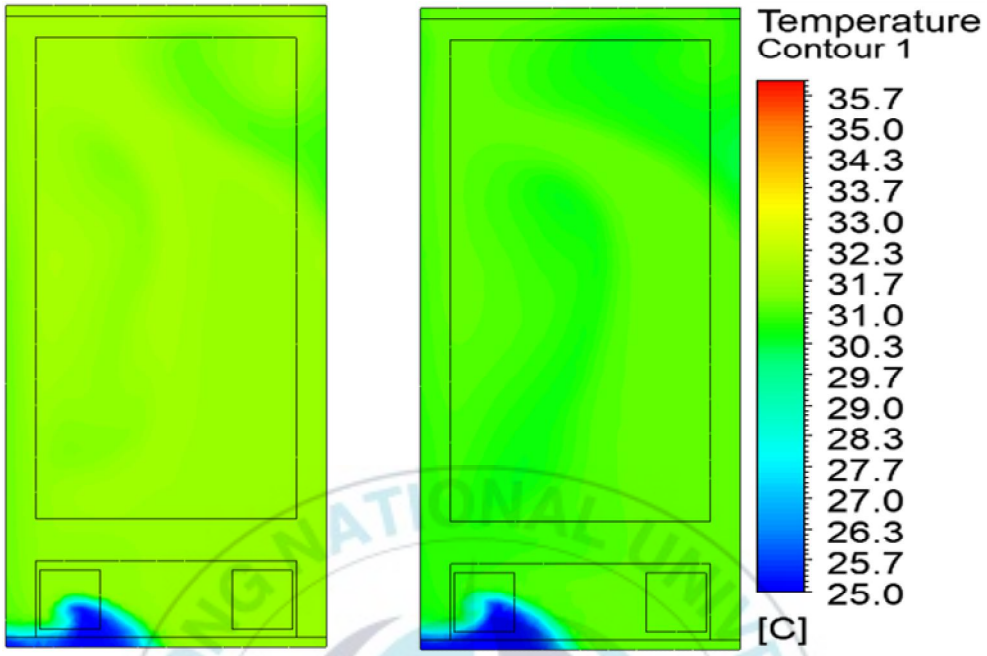
Fig. 9 Changes in power consumption according to the rear heat dissipation space(25℃, refrigerator for 1 to 2 people households).



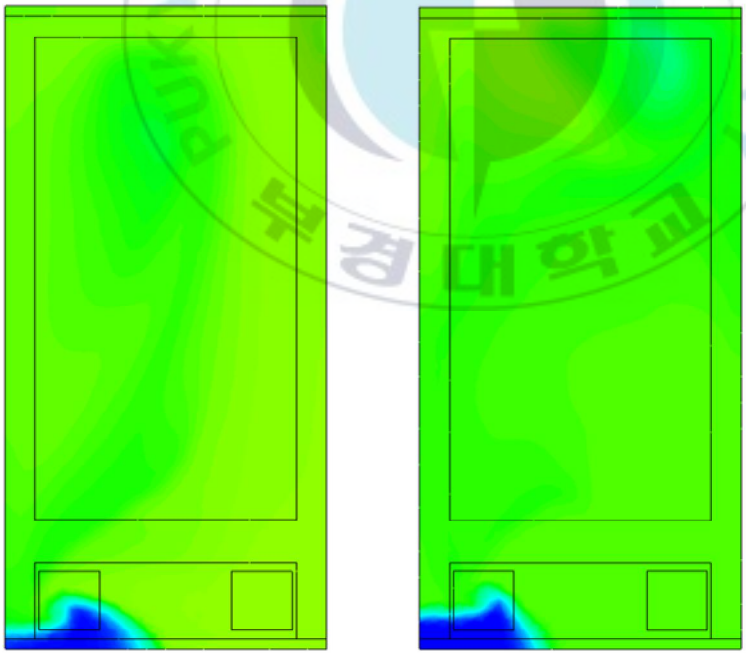
(a) 2 cm (b) 3 cm



(c) 4 cm (d) 5 cm



(e) 6 cm (f) 7 cm



(g) 8 cm (h) 9 cm

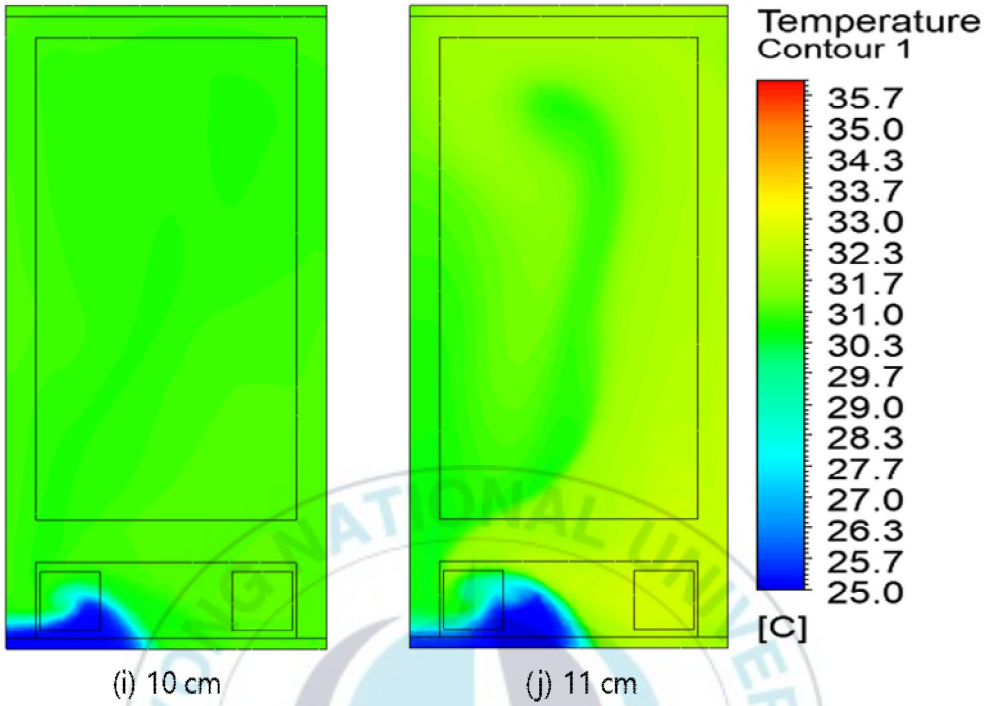


Fig. 10 The temperature changes of the refrigerator cabinet according to the rear heat dissipation space (25℃, refrigerator for 1 to 2 people households).

2) 온도조건 32℃ 조건에서 1~2인 가구용 냉장고

Fig. 11에 온도 32℃ 조건에서 1~2인 가구용 냉장고의 후면 방열 공간에 따른 소비전력을 나타내었으며 Fig. 12에서 각 케이스별 냉장고장 내부 온도분포를 나타내었다. 3 cm부터 소비전력은 꾸준히 감소하였으며 9 cm 이상 이격시 소비전력 감소의 효과는 미미하였다. 냉장고장 내부온도의 경우 5 cm부터 8 cm까지 눈에 뜨게 감소하였으나 9 cm 이상 이격시 냉장고장 내부온도의 감소는 미미하였다.

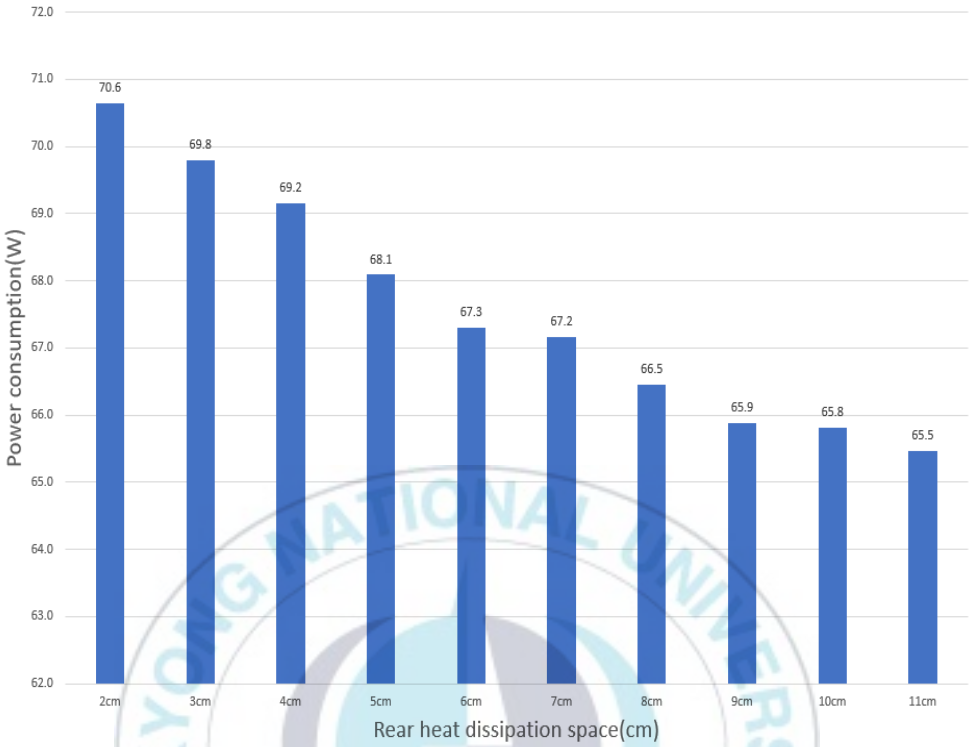
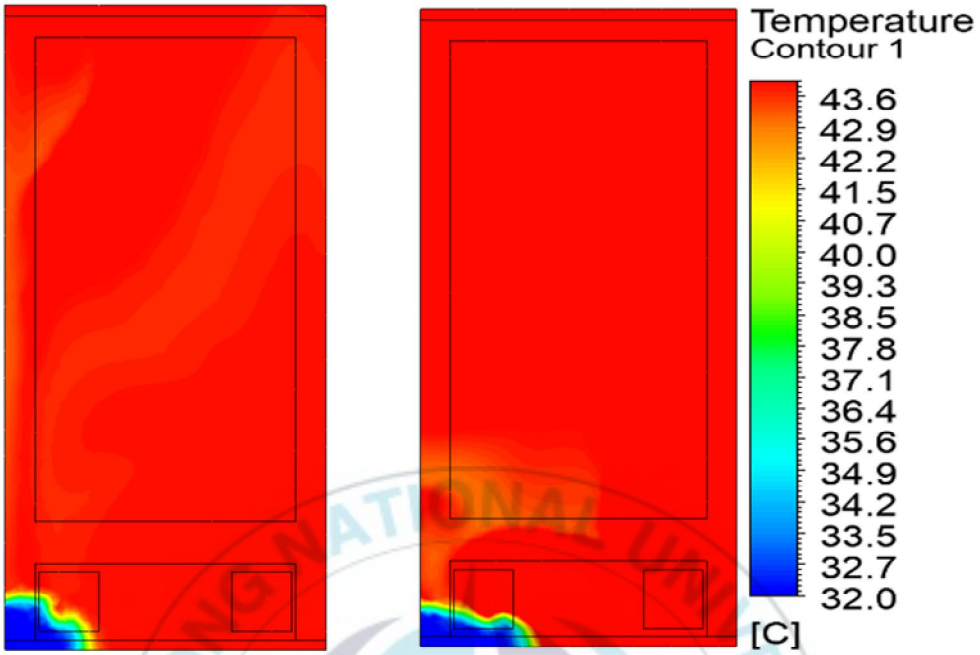
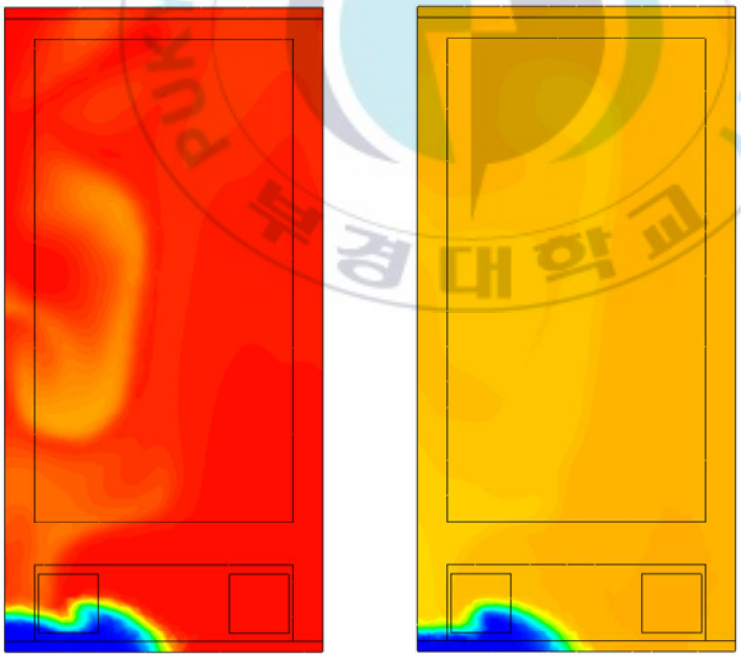


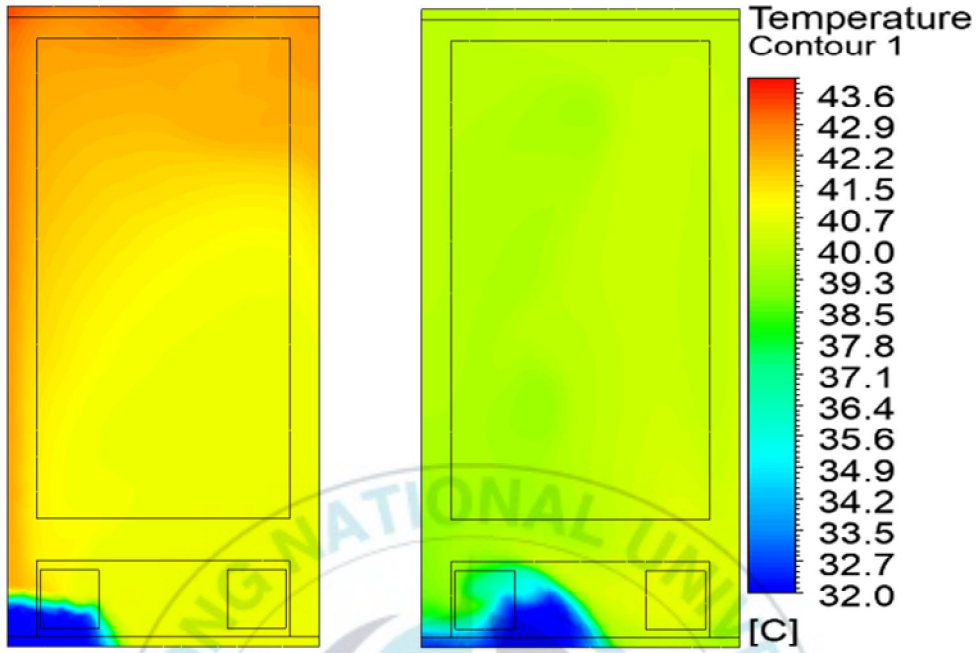
Fig. 11 Changes in power consumption according to the rear heat dissipation space(32℃, refrigerator for 1 to 2 people households).



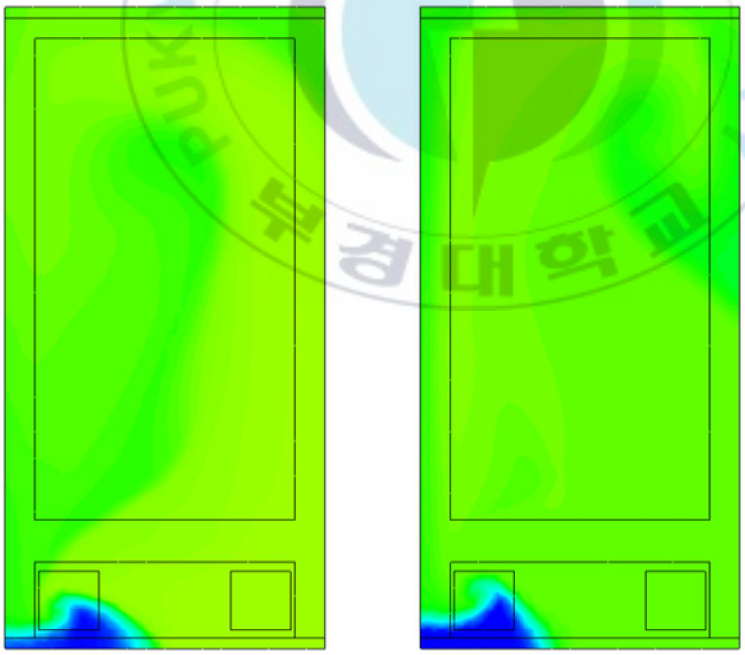
(a) 2 cm (b) 3 cm



(c) 4 cm (d) 5 cm



(e) 6 cm (f) 7 cm



(g) 8 cm (h) 9 cm

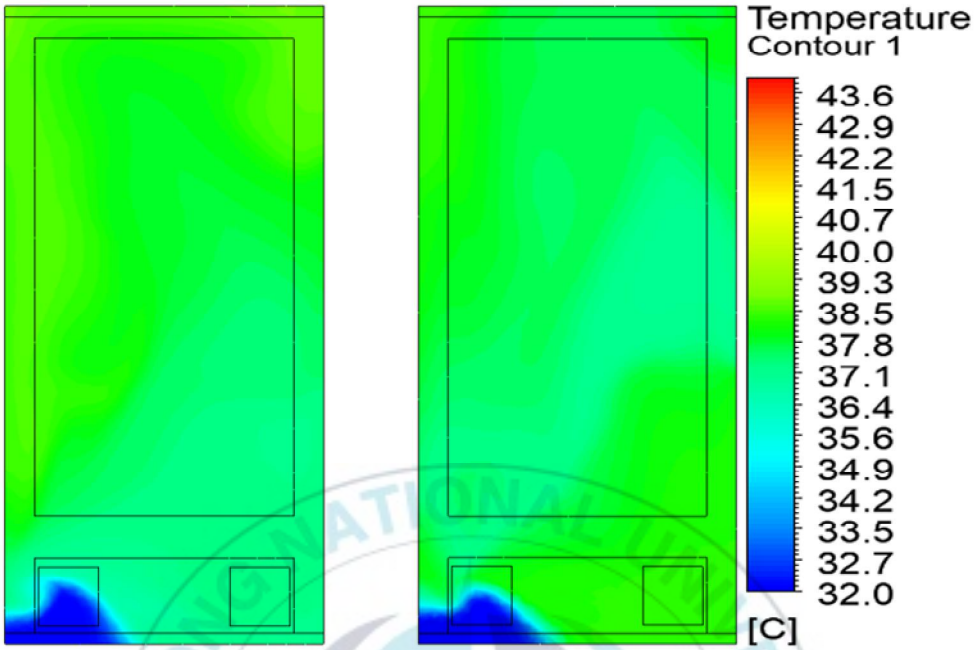


Fig. 12 The temperature changes of the refrigerator cabinet according to the rear heat dissipation space (32℃, refrigerator for 1 to 2 people households).

3) 정리

1~2인 가구용 냉장고의 경우 25℃, 32℃ 모두 3 cm부터 꾸준히 소비전력은 감소되었다. 25℃, 32℃ 모두 9 cm 이상 이격시 소비전력 감소량이 미미하였다. 냉장고장 내부온도의 경우 25℃의 경우 3~6 cm일 때 눈에 띄게 감소하였으나 7 cm 이상의 경우 더 이상의 냉장고장 내부온도 감소에는 효과가 미미하였다. 32℃의 경우 5~8 cm일 때 눈에 띄게 감소하였으나 9 cm 이상 이격시 내부온도 감소에는 효과가 미미하였다. 시뮬레이션 결과 9 cm 이상 이격시 소비전력 감소량은 미미하므로 적정한 1~2인 가구용 냉장고에서 적정한 후면 방열 공간은 9 cm로 판단된다.

4) 온도조건 25℃ 조건에서 3~4인 가구용 냉장고

Fig. 13에 온도 25℃ 조건에서 3~4인 가구용 냉장고의 후면 방열 공간에 따른 소비전력을 나타내었으며 Fig. 14에서 각 케이스별 냉장고장 내부 온도분포를 나타내었다. 3 cm 이하의 경우 소비전력의 저감이 미미하였으나 4 cm일 때 소비전력은 큰 폭으로 감소하였다. 그러나 7 cm 이상 이격시 소비전력의 감소는 미미하였으며 9 cm 이상의 경우 더 이상의 소비전력 감소는 없었다. 냉장고장 내부 온도의 경우 3 cm 이하의 경우 냉장고장 내부온도는 높았으며 4 cm부터 6 cm까지 눈에 띄게 감소하였으며 7 cm부터는 냉장고장 내부온도의 저감은 미미하였다.

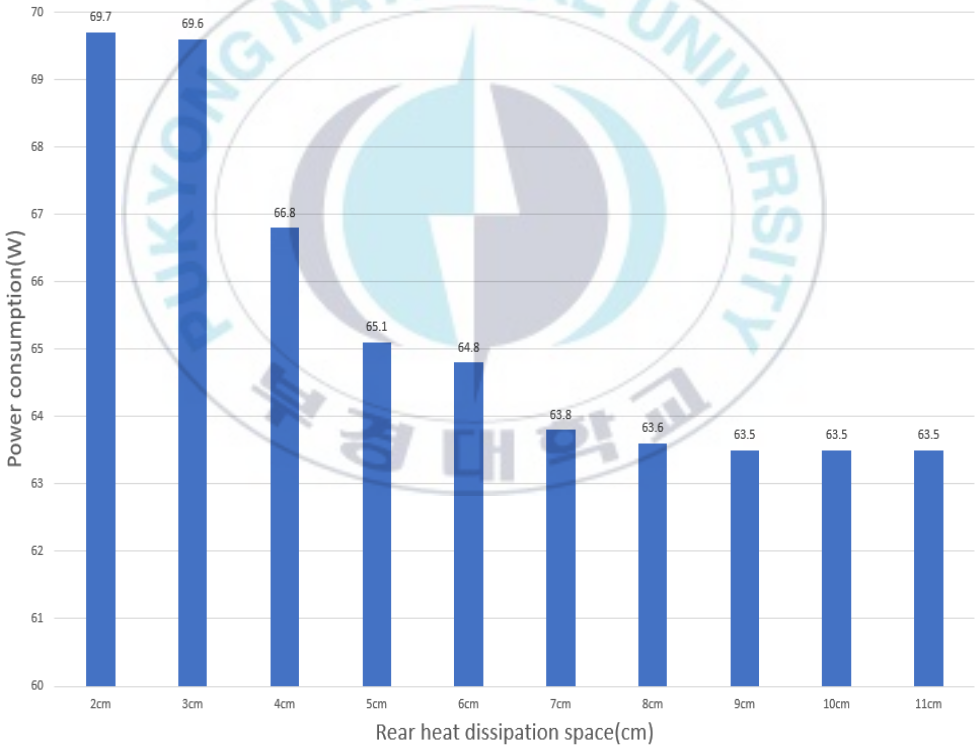
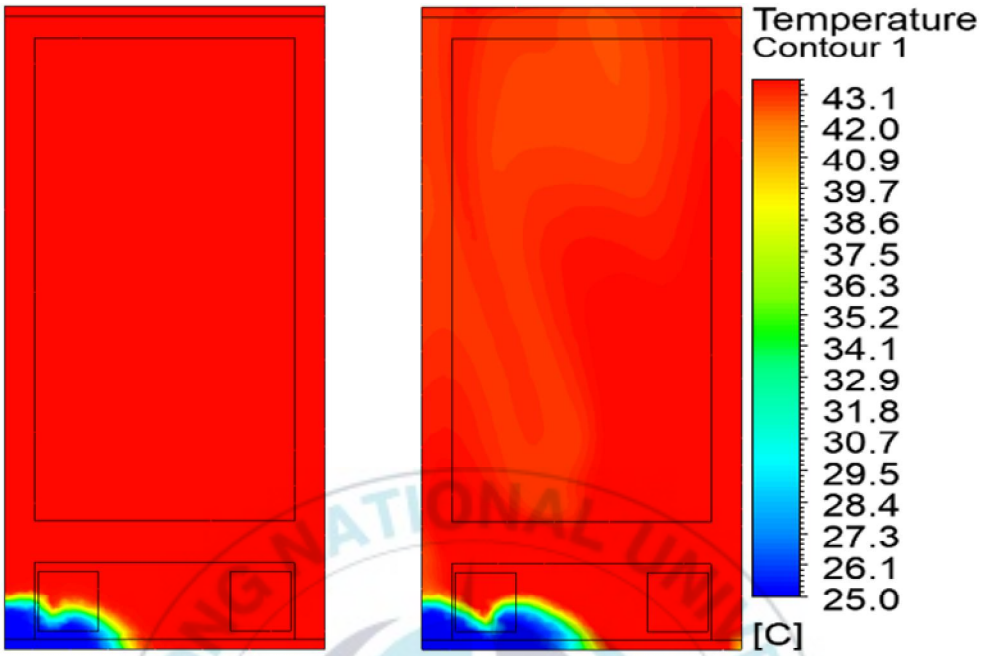
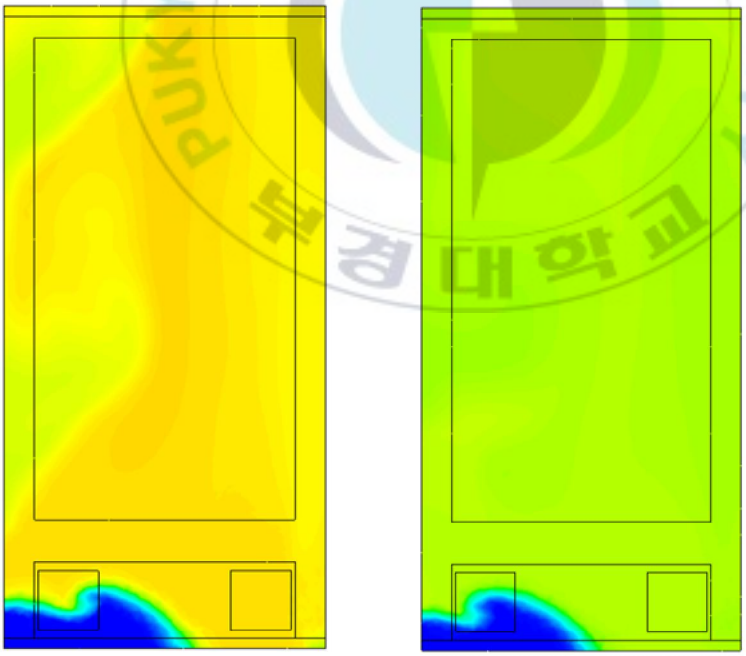


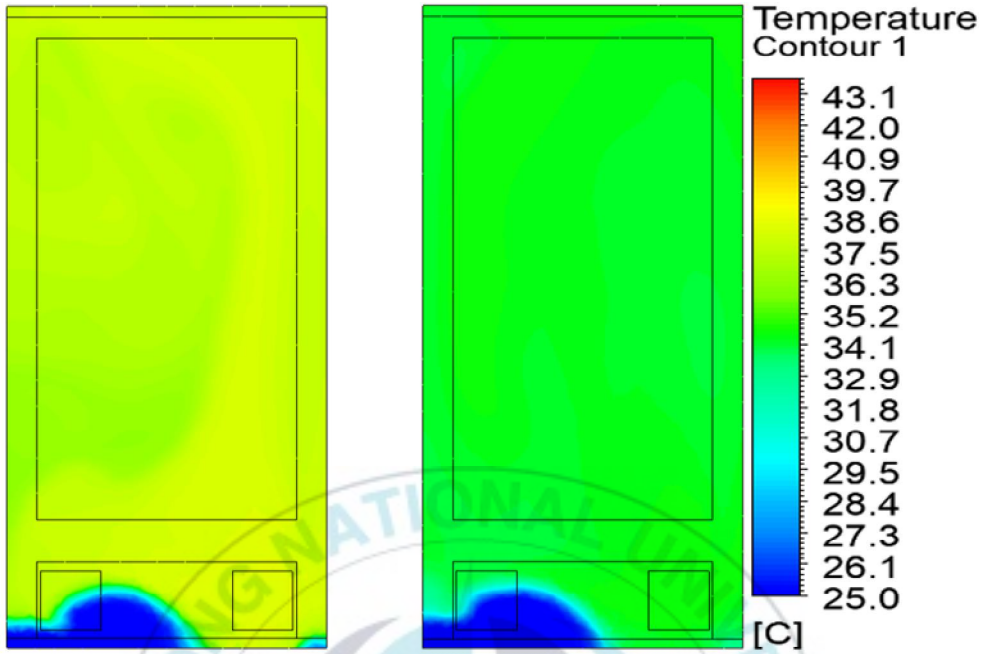
Fig. 13 Changes in power consumption according to the rear heat dissipation space(25℃, refrigerator for 3 to 4 people households)



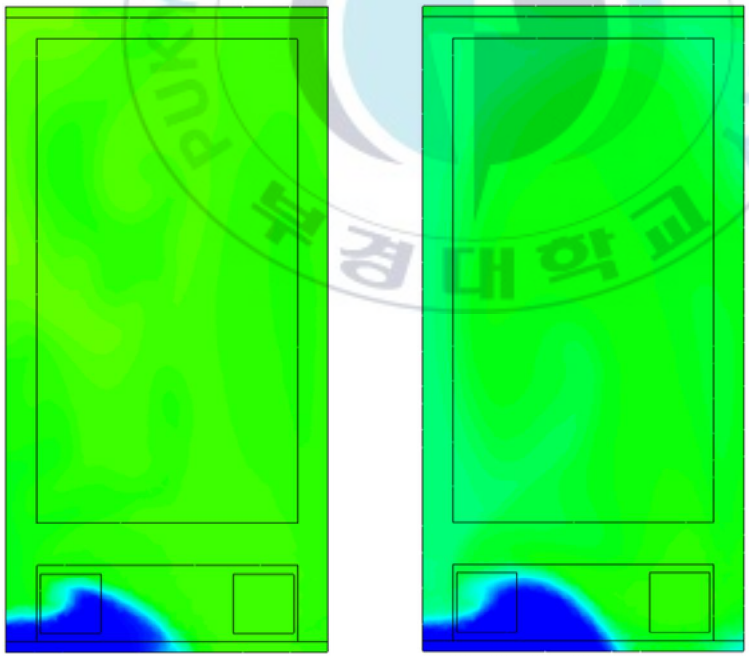
(a) 2 cm (b) 3 cm



(c) 4 cm (d) 5 cm



(e) 6 cm (f) 7 cm



(g) 8 cm (h) 9 cm

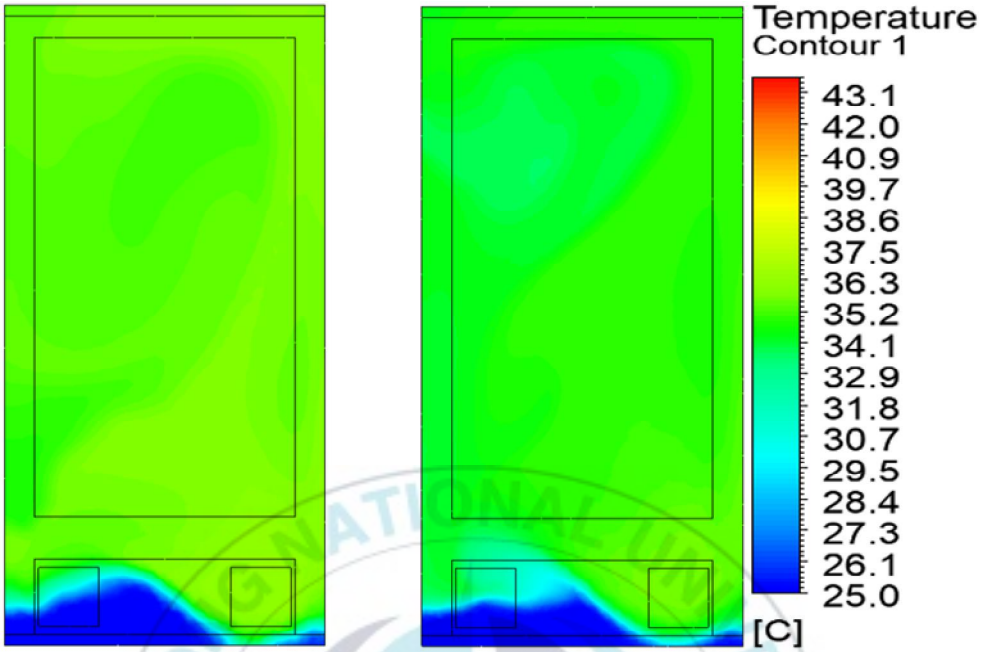


Fig. 14 The temperature changes of the refrigerator cabinet according to the rear heat dissipation space (25℃, refrigerator for 3 to 4 people households).

5) 온도조건 32℃ 조건에서 3~4인 가구용 냉장고

Fig. 15에 온도 32℃ 조건에서 3~4인 가구용 냉장고의 후면 방열 공간에 따른 소비전력을 나타내었으며 Fig. 16에서 각 케이스별 냉장고장 내부 온도분포를 나타내었다. 3 cm 이하의 경우 소비전력의 감소가 미미하였으나 4 cm일 때 소비전력은 큰 폭으로 감소하였다. 그러나 10 cm 이상 이격시 소비전력의 감소는 미미하였다. 냉장고장 내부 온도의 경우 3 cm 이하의 경우 냉장고장 내부온도는 높았으며 4 cm부터 6 cm까지 꾸준히 냉장고장 내부온도는 감소하였으며 9 cm부터는 냉장고장 내부온도의 저감은 미미하였다.

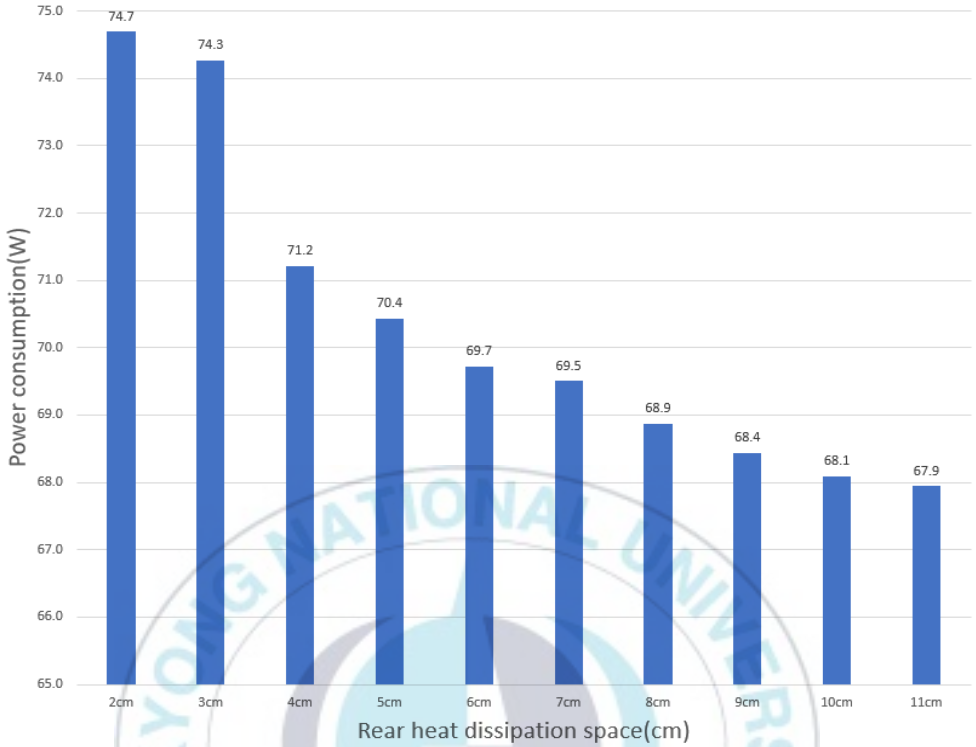
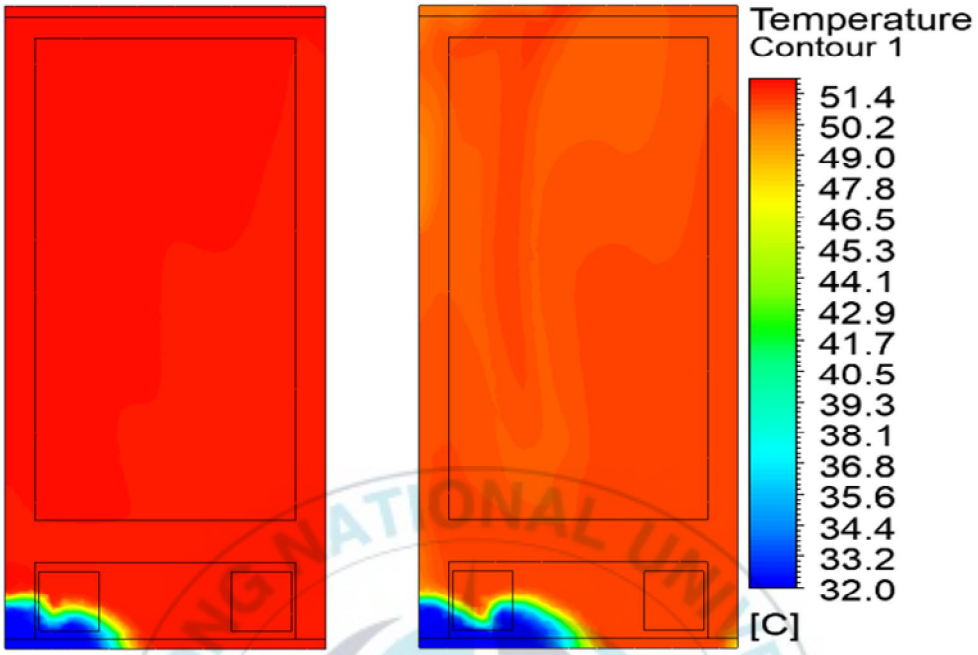
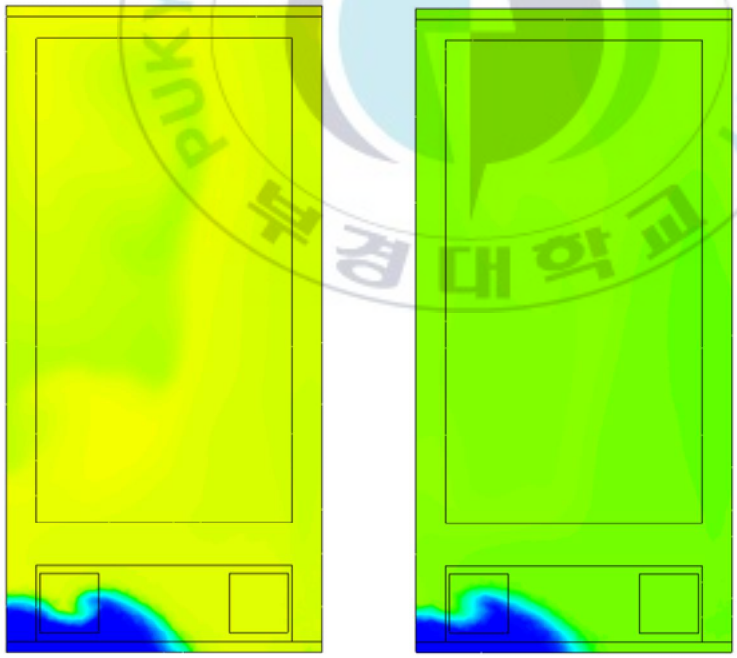


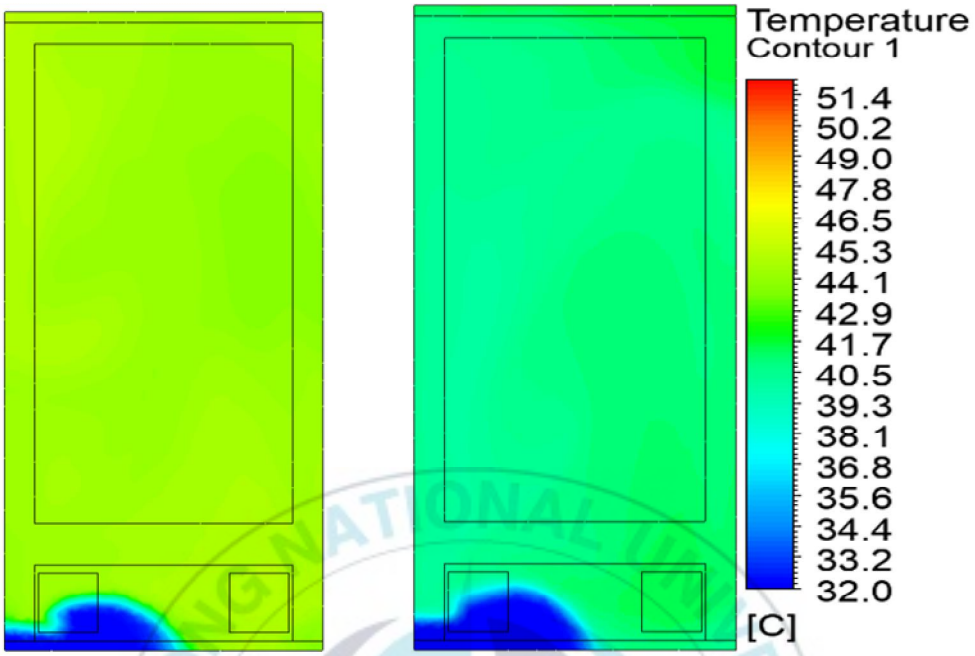
Fig. 15 Changes in power consumption according to the rear heat dissipation space(32℃, refrigerator for 3 to 4 people households)



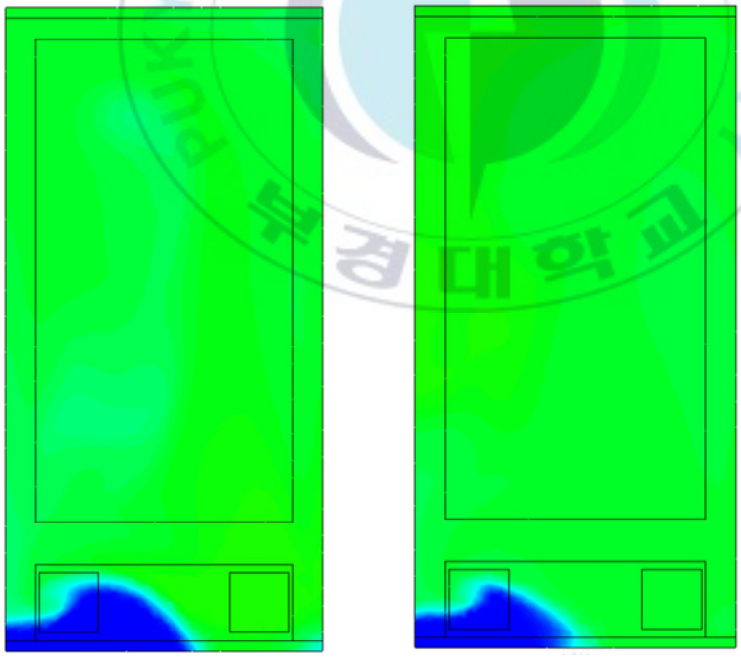
(a) 2 cm (b) 3 cm



(c) 4 cm (d) 5 cm



(e) 6 cm (f) 7 cm



(g) 8 cm (h) 9 cm

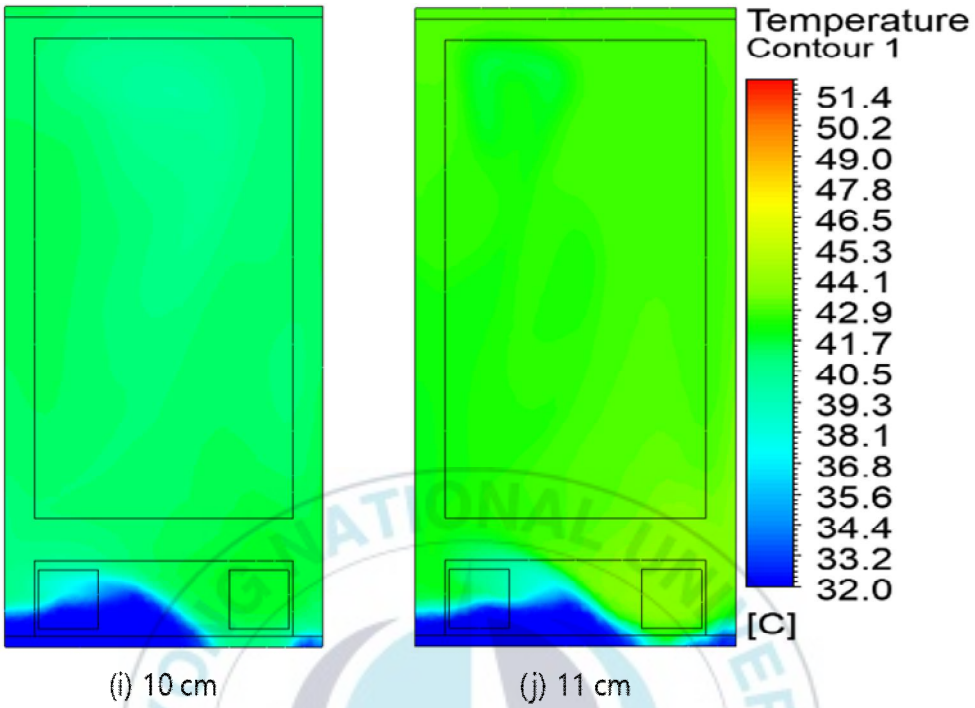


Fig. 16 The temperature changes of the refrigerator cabinet according to the rear heat dissipation space (32℃, refrigerator for 3 to 4 people households).

6) 정리

3~4인 가구용 냉장고의 경우 25℃, 32℃ 모두 3 cm 이하인 경우 소비전력의 개선은 미미하였으며 4 cm일 때 가장 큰 폭으로 소비전력이 개선되었다. 25℃의 경우 9 cm 이상 감소량이 미미하였으며 32℃의 경우 10 cm 이상일 때 감소량이 미미하였다. 냉장고장 내부온도의 경우 25℃, 32℃ 모두 4~6 cm일 때 눈에 띄게 감소하였으나 7 cm 이상의 경우 더 이상의 냉장고장 내부온도 감소에는 효과가 미미하였다. 시뮬레이션 결과 후면 방열 공간을 통해 소비전력 감소를 위해서는 최소한 4 cm 이상의 후면 방열 공간이 필요하다. 그러나 10 cm 이상 이격시 소비전력 감소량은 미미하므로 적정한 3~4인 가구용 냉장고에서 적정한 후면 방열 공간은 10 cm로 판단된다.

제 3장 결 론

본 연구에서는 빌트인 냉장고 소비전력 감소를 위하여 적정 후면 방열 공간에 대하여 연구하였다. 실험을 통해 후면 방열 공간의 효과 및 수치 시뮬레이션에 필요한 데이터와 물리적 현상을 확인하였으며 수치 시뮬레이션을 통해 '1~2인 가구용 냉장고', '3~4인 가구용 냉장고'에 대해 적정 후면 방열 공간을 제안하였으며 그 결론은 다음과 같다.

(1) 실험결과 후면 방열 공간이 2 cm에서 10 cm로 확장할 경우 1사이클 동안 냉장고 가동시간은 465초 감소하였으며 소비전력은 6 W 감소하였다. 1일 소비전력의 경우 290 Wh 감소하였으며 2020년 기준 집계된 2,148만 가구에서 하루 290 Wh의 소비전력을 감소시킬 경우 1일 6.2 GWh의 전력을 절감할 수 있다. 이는 1일 1 GWh의 전력을 생산하는 화력발전소의 약 6배에 미치는 결과이다. 실험을 통해서 후면 방열 공간의 효과를 확인하였으며 수치 시뮬레이션에 사용할 데이터와 물리적 현상을 확인할 수 있었다.

(2) 실험 데이터를 바탕으로 수치 시뮬레이션 모델의 타당성을 검증하였으며, 그 결과 오차는 3% 이내로 물리적 현상 또한 잘 반영되었으므로 수치 시뮬레이션 모델은 타당하다.

(3) 1~2인 가구용 냉장고의 경우 3 cm부터 소비전력은 꾸준히 감소하였으며 25℃, 32℃ 온도조건 모두 9 cm 이상 이격시 소비전력의 감소는 미미하였다. 또한, 냉장고장 내부온도의 경우 5~8 cm까지 눈에 띄게 감소하였으며 9 cm 이상 이격시 내부온도 감소의 효과는 미미하였다. 따라서, 1~2인 가구용 냉장고의 경우 적정한 후면 방열 공간은 9 cm로 판단된다.

(4) 3~4인 가구용 냉장고의 경우 25℃, 32℃ 모두 3 cm 이하의 경우 소비전력의 감소는 미미하였으며 4 cm일 때 가장 큰 폭으로 감소되었다. 25℃의 경우 9 cm 이상 이격시 소비전력의 감소는 미미하였으며 32℃의 경우 10 cm 이상 이격시 소비전력의 감소는 미미하였다. 냉장고장 내부온도의 경우 25℃, 32℃ 모두 4~6 cm일 때 꾸준히 감소하였으나 7 cm 이상 이격시 내부온도 감소효과는 미미하였다. 따라서 3~4인 가구용 냉장고의 경우 적정한 후면 방열 공간은 10 cm로 판단된다.

PUKYONG NATIONAL UNIVERSITY 부경대학교

참고문헌

1. Korea power exchange, 2014, Survey on household appliance penetration rate and household power consumption.
2. J. H. Kim,. 2016, Possibility study of fire acciendt arise from Built-in system – focused on refrigerator fire -, Magazine of Fire Investigation Socity of Korea, pp. 49-61.
3. J. W. Grimes, W. J. Mulroy, B. L. Shomaker, 1977, Effect of Usage Conditions on Household Refrigerator-Freezer and Freezer Energy Consumption, ASHRAE Transactions, Vol. 83.
4. R. Saidur, H. H. Masjuki, I.A Choudhury, 2002, Role of ambient temperature, door opening, thermostat setting position and their combined effect on refrigerator-freezer energy consumption, Energy Conversion and Management, Vol. 43, pp. 845-854.
5. J. Geppert, Rainer Stamminger, 2013, Analysis of effecting factors on domestic refrigerators' energy consumption in use, Energy Converstion and Management, Vol. 76, pp. 794-800.
6. Ra. Bassiouny, 2009, Evaluating the effect of the space surroungding the condenser of a household refrigerator, International Journal of Refrigeration, Vol. 32, pp. 1645-1656.
7. H. H. Masjuki, R. Saidur, I. A. Choudhury, T. M. I. Mahlia, A. K. Gahni, M. A. Maleque, 2001, The applicability of ISO household refrigerator freezer energy test specifications in Malaysia, Energy, vol. 26, pp. 723-737.
8. J. Y. Kim, S. H. Kim, T. H. Kim, S. M. Kwak, D. S. Hang, Y. H. Lee, Y. W. Lee, 2001, Characteristics of Heat Flow in a Machine Room of

Refrigerator, The Korean Society For Power System Engineering, pp. 99-104.

9. B. Y. Han, J. Y. Kim, T. H. Kim, Y. K. Kim, Y. W. Lee, 2002, Characterics of Heat Flow in a Machine Room of Refrigerator(Ⅱ), Journal of Advanced Marine Engineering and Technology, pp. 173-179.
10. B. Y. Han, Y. K. Kim, T. H. Kim, Y. W. Lee, 2002, Design of the machine room of a refrigerator for energy saving(Ⅰ), The Korean Society For Power System Engineering, pp. 31-36.
11. M. H. Song, J. S. Lee, M. R. Lee, G. K. Lee, 2015, Reduction of energy consumption rate for household refrigerator by optimizing thermal design of machine room, The Korean Society of Mechanical Engineers, pp. 280-281.
12. Y. N. Jang, Y. L. Lee, 2018, Effects of a Cooling Fan in ther Machine Room on ther Performance of a Compressor, Journal of Korean Society of Mechanical Technology, vol. 20, pp. 48-54.
13. ANSYS, 2009, FLUENT 12.0 Theory Guide.
14. ASHRAE Handbook, 1993 Fundamentals.