# 대한기계확회 주최

# 제11회 전국학생설계경진대회(2021년)

# 설계 최종 보고서

참가부	대학부				
참가분야	공모주제 ( o ) / 자유주제 ( )				
참가팀명	르알(Recycle A Leak)				
설계제목	실외기 폐열을 이용한 에너지 절약 시스템				
지도교수/교사	(소속)인천대혁	<sup>낚교</sup> (성명)박동삼			
대표자	성명 소속 연락처 (휴대폰) E-mail 주소				
(신청인)	박세훈	인천대학교 기계공학과			

# 참가팀원 인적사항

NO	성명	소속 / 학년	E-MAIL
1	박세훈	인천대학교 기계공학과 / 3학년	
2	김민제	인천대학교 기계공학과 / 3학년	
3	김원중	인천대학교 기계공학과 / 3학년	
4	김현준	인천대학교 기계공학과 / 3학년	
5	박홍근	인천대학교 기계공학과 / 3학년	
6	김형준	인천대학교 기계공학과 / 2학년	

# 설계 요약문

참가분야	공모주제 ( o ) / 자유주제 ( )				
참가팀명	르알(Recycle A Leak)				
설계제목	실외기 폐열을 이용한 에너지 절약 시스템				
대표자명	박세훈				
요약문	전 세계적으로 폐열을 이용하고자 하는 움직임이 나타나고 있다. 또한 빗물을 재사용하는 기술이 많이 발전한 미국, 호주 등에 비해 국내에서는 관 주도의시범사업이 대부분이라 빗물 이용의 초기 단계 수준이라 볼 수 있다.우리나라의 연평균 강수량은 1,300mm(1986~2015)로 세계 평균의 1.6배이고수자원 총량은 1,323억 $m^3$ /년이지만, 높은 인구밀도로 인해 1인당 연 강수총량은 연간 2,546 $m^3$ 로 세계 평균의 약 1/6에 불과하다. 또한 방대한 빗물 양의 25% 정도만 댐이나 지하수를 통해서 재활용하고 있으며, 나머지는 대부분강이나 바다로 흘려보낸다. 본 설계에서는 버려지는 열을 일상생활에 접목하며 버려지는 빗물을 활용하는 시스템을 개발한다.  조경용수팔용  조경용수팔용  조경용수팔용  조건용수팔용  조건용수				
설계프로젝트의					
입상 이력	X				

- □ 본 설계보고서가 최종 입상할 경우 기술과 교육(대한기계학회논문집C)에 투고됨을 동의함.
- ※ 투고된 논문의 심사 및 출판은 본 경진대회 심사와는 별개로 진행됨.
- ※ 설계 요약문은 공개될 예정이며, 제출 시 이에 동의하는 것으로 간주함.
- ※ 제공된 개인정보는 심사과정에만 사용되며, 제출 시 이에 동의하는 것으로 간주함.

# 실외기 폐열을 이용한 에너지 절약 시스템

박세훈\*·김원중\*·김민제\*·김현준\*·박홍근\*·김형준\*·박동삼\***†** \*인처대학교 기계공학과

# Energy conservation system using waste heat of outdoor unit of an air-conditioner

Se Hoon Park\*, Won Joong Kim\*, Min Je Kim\*, Hyeon Jun Kim\*, Hong Geun Park\*,
Hyung Jun Kim\* and Dong Sam Park\*†

\* School of Mechanical Engineering, Incheon National University

Key Words: Waste Heat(폐열), Recycle Rainwater(빗물 재사용), Automation(자동화), Pipe Flow(관유동), Heat Transfer(열전달), Heat Loss(열손실), Head Loss(수두손실), Pump(펌프)

초록: IOT 시스템이 결합된 빗물회수통을 통해 빗물을 재활용한 뒤, 에어컨 실외기에서 나오는 페열을 이용하여 빗물에 열전도를 시킨다. 이후 보일러 물탱크로 보내, 보일러 예열에 필요한 에너지를 절약하게 된다. 에어컨 실외기 상단에 빗물회수통을 설치함으로써 고열에 의한 화재 예방의 효과와 더불어 실외기의 효율이 증대하는 효과 또한 사료된다.

Abstract: After recycle the rainwater through Rainwater Recovery Container combined with the IOT system, heat transfer is performed on rainwater using waste heat coming from outdoor unit of an air-conditioner. After that, it is sent to the boiler water tank to save energy needed for preheating the boiler. Therefore we can expect the effect of increasing the efficiency of the outdoor unit and the effect of preventing fire accidents due to high heat by installing the Rainwater Recovery Container on the top of the outdoor unit of an air-conditioner.

# 1. 서 론

석유를 태워 다른 에너지로 전환할 때, 실질적으로 사용되는 에너지는 50% 이하이고 나머지 50% 이상의 열에너지가 낭비된다. 외부로 버려지는 열을 기존의 연구<sup>(1)</sup>에서는 폐열이라고 정의한다. 최근 Covid-19로 재택근무와 사회적 거리두기가 확산되면서, 데이터 사용량이 급격히 증가하였다. 넷플릭스 같은 VOD 스트리밍 사이트는 물론 구글, 애플, 페이스북과 같은 글로벌 IT기업 뿐만 아니라 국내 통신사, 포털 사이트까지 데이터 센터를 증설하고 있는데, 데이터 센터에서 발생하는 폐열의 양 또한 상당하여 지구온난화 가속에 영향을 미치고 있다.<sup>(2)</sup>

<sup>†</sup> Corresponding Author, dspark@inu.ac.kr

<sup>© 0000</sup> The Korean Society of Mechanical Engineers



Fig. 1 Data Center(Amazon)

우리 생활 속에서도 이러한 폐열을 관찰할 수 있는데, 바로 에어컨 실외기에서 방출되는 열이다. 실외기는 외부에 설치돼 있을 뿐만 아니라 가동 시, 자체에서 높은 열을 뿜어낸다. 에어컨 실외기 안에 있는 압축기가 기체(냉매)를 압축해서 액체로 만들어 주고 이 과정에서 외부에 많은 열을 방출하게 되는 것이다. 이러한 경우에 화재로 이어지기도 한다.

폐열들을 이용하는 기술들은 또한 다양한 분야에서 개발되고 있다. 폐열이 활용되는 예로, 미국 캘리포니아 버클리대(UC버클리) 연구진은 기계 장치에서 방출되는 폐열을 이용하여 전기를 생산하는 기술을 개발했다. 연구진은 이처럼 열을 방출하는 물체에 부착해 에너지를 생성하는 얇은 필름 형태의 시스템을 새로 개발하였다고 국제학술지 'Nature Materials' 2018년 4월 16일에 발표했다. 연구팀이 개발한 박막시스템은 초전성 에너지변환(pyroelectric energy conversion)이라는 방식을 활용한다. 이는 100℃ 이하의소위 '질 낮은 폐열(low-quality waste heat)'을 활용하는 데 적합하다.(3)

폐열과 같이 버려지는 또 다른 에너지 자원을 살펴보면 빗물을 빠뜨릴 수 없다. 우리나라의 연평균 강수량은 1,300mm( $1986\sim2015$ )로 세계 평균의 1.6배이고 수자원 총량은 1,323억  $m^3$ /년이지만, 높은 인구 밀도로 인해 1인당 연 강수 총량은 연간  $2,546m^3$ 로 세계 평균의 약 1/6에 불과하다. 게다가 방대한 빗물 양의 25% 정도만 댐이나 지하수를 통해서 재활용하고 있으며, 나머지는 대부분 강이나 바다로 흘려보낸다.(4)



#### • 주요국가별 강수량 및 1인당 강수량

구분	한국	일본	미국	영국	多号	캐나다	세계방교
연방균 강수당(m/년)	1,300	1,668	715	1,220	645	537	813
1인당 감수량(㎡/년)	2,546	4,964	21,791	4,663	4,345	150,929	15,044

<sup>(</sup>주) 1인당강수량(#/M) = 면명균감수광×교육면적(인구수

Fig. 2 Precipitation per person and Precipitation by Major Countries.

과거 산업사회의 발전은 수자원의 공급 감소와 수요 증가를 초래해 "21세기의 가장 중요한 자원은 석유가 아닌 물이 될 것"이라는 포춘지의 예측처럼 물은 현재 지구촌에서 가장 중요성을 가지고 있는 자원의 하나가 되었다. 빗물 이용의 해외사례를 살펴보면, 상수도 보급이 보편화된 미국은 일부 건조한 사막 지역과 괌, 카틀린 군도, 마살군도, 푸에르토리코등의 빗물 의존도가 높은 섬 지역에서 빗물 이용시

설이 일반적으로 이용되고 있다. 또한, 하와이의 경우 농업지역이나 상수관로 보급이 어려운 지역에서 가정용 빗물 탱크에 저장된 빗물을 음용수를 포함한 모든 가정용수로 이용한다. 호주는 상수도 보급이 어렵고 지하수도 이용이 부적합한 농업지역에서 빗물을 주된 수원으로 이용하고 있다, 최근에는 환경보호와 지속적인 개발에 대한 인식 증대와 더불어 도시지역도 수자원을 보존하기 위해 빗물 이용이 증가하면서 일반 생활용수로 사용하기 위한 지붕 유출수의 이용은 전국적으로 일반화되고 있다. 또한 친환경적인 올림픽을 위해 건설된 시드니 2000년 올림픽 경기장도 화장실 용수로 빗물을 이용할 수 있는 시설을 갖추고 있다. 국내의 빗물 이용 단계는 민간 부분까지 적극적으로 빗물을 이용하는 모범적인 해외사례에 비해 정부와 공공기관 등 관 주도의 시범사업이 대부분이어서 빗물 이용의 초기 도입 단계라 할수 있다.

따라서 본 프로젝트의 목적은 버려지는 열을 일상생활에 접목하며 버려지는 빗물을 활용하는 것이다. 즉, 본 설계는 빗물회수통을 통해 빗물을 재활용한 뒤 에어컨 실외기에서 나오는 폐열을 이용하여 빗물에 열전도 시켜 보일러 물탱크로 보내, 보일러 예열에 필요한 에너지를 줄이는 것이다. 또한 이때 IOT 시스템을 결합하여 해당 과정들을 자동 제어한다. 에어컨의  $\frac{T_2}{T_1-T_2}(T_1=$  등축된 냉매의 온도,  $T_2=$ 기화된 냉매의 온도)에서  $T_1$ 의 값을 빗물에 열전도 시켜 실외기 내부온도를 낮춤으로써 에어컨의 효율 또한 올릴 수 있다.

## 2. 설계 핵심 내용

# 2.1 설계 문제 정의2.1.1 에어컨 실외기 원리

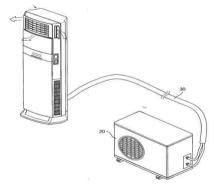


Fig. 3 Section View of Outdoor System

에어컨 실외기는 압축기가 기체 상태의 냉매를 끌어들여서 강한 압력을 가한다. 이를 통해 냉매는 분자 충돌 현상으로 발생한 열에너지를 통해 뜨거워진다. 이러한 고온 고압 상태의 냉매는 구불구불한 관로를 지나면서 온도가 급격히 낮아지고, 응축 및 액화하게 된다. 그리고 응축하는 과정에서 뜨거운 열을 외부로 방출하는데, 이를 통해 실외기에서 뜨거운 바람이 나오는 이유를 설명할 수 있다. 이후 응축한액체 냉매는 관로가 매우 좁은 팽창밸브를 통과한다. 좁은 팽창밸브를 통과한 직후 관로가 넓어지면서일시적으로 밀도와 압력이 낮아지는데, 이는 냉매의 흐름을 제한하여 압력을 낮게 유지함을 통해 냉매가 쉽게 증발하도록 해준다. 이후 증발기를 지나면서 더운 공기의 열을 빠르게 흡수함을 통해 액체 냉매는 기체 상태로 증발한다.

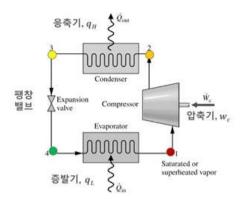


Fig. 4 Air Conditioning - Outdoor System Schematic Diagram

이를 통해 주변의 열을 흡수하고, 주변 공기가 차가워지면 냉각팬이 실내로 분사해 에어컨에서 시원한 바람을 나오게 한다. 그리고 증발한 기체는 다시 압축기로 들어가서 앞의 과정을 반복한다. 이때 에어컨 냉매 가스관은 기밀 상태에서 계속 순환하므로 정상적인 에어컨은 냉매 가스를 보충할 필요가 없다

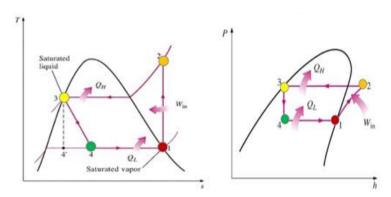


Fig. 5 T-s Diagram & P-h Diagram

기존 에어컨-실외기 시스템의 계통도(Fig. 4 Air Conditioning - Outdoor System Schematic Diagram)는 다음과 같은 T-s 선도와 P-h 선도(Fig. 5 T-s Diagram & P-h Diagram)의 개형을 보이는데 이를 식으로 나타낸 것이 COP(Coefficient of Performance)이다. COP는 수식 (1)과 같이 냉동 사이클에서 냉동능력과 소비된 압축기 일량의 비이다. 외부온도가 실외기 온도보다 높을 때 역으로 열이 유입된다. 따라서 실외기의 프로펠러가 수식 (2)와 같이 외부로 열을 전달시키기 위해서는 내부온도가 외부온도보다 높아야만 한다. 이번 프로젝트의 아이디어를 정리해보면, 수식 (3)과 같이 빗물을 이용할 때, 물 온도가 외부 공기온도와 같더라도 대류 전달계수 h의 향상에 의한  $Q_h$  향상을 기대할 수 있고 이를 통한 열역학적 이득이사료된다.

$$COP_{(R)} = \frac{Q_L}{W_c} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \tag{1}$$

$$Q_b \propto (T_c - T_{out}) \tag{2}$$

$$Q_{b} = h(T_{c} - T_{out}) : Heat Transfer Rate$$
(3)

### 2.1.2 설계 원리

실외기에서 밖으로 배출하는 폐열을 보일러 예열에너지로 이용하는 시스템이다.

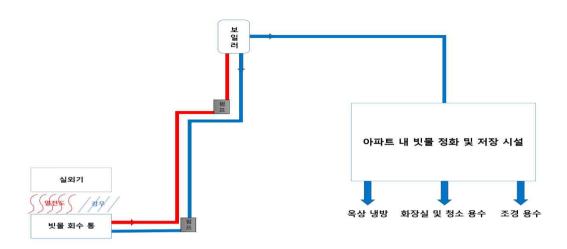


Fig. 6 Overall Design

열전도를 적용하여 시스템을 구성하게 되는데, 이를 위해서는 매개체가 필요하다. 하지만, 공기는 다른 매개체에 비해 비열이 낮아 폐열을 이용하기 적합하지 않다. 따라서 비열이 높은 다른 매개체의 사용이 필요하다. 따라서 공기보다 비열이 높은 물을 통해 열교환을 용이하게 만들 수 있다. 여름에는 비가 많이 오는 특성을 이용하여 생활용수 대신 버려지는 빗물을 회수하여 열전달 매개체로 이용하여 물또한 절약할 수 있다.

# 2.1.3 기대효과

첫 번째는 폐열을 매개체인 빗물에 열전도를 시키면 실외기의 전력 소비를 줄일 수 있다. 보통 에어컨 전력의 70% 이상이 실외기에서 소모된다<sup>(6)</sup>. 실외기의 프로펠러가 실외기 내부의 온도에 따라 회전함으로써 열을 배출하는데, 빗물을 통해 폐열회수를 함으로써 프로펠러의 역할을 분담할 수 있다. 따라서, 실외기의 내부 온도, 즉 응축기의 온도를 낮추면 전력 소비를 줄이는 효과를 기대할 수 있다.

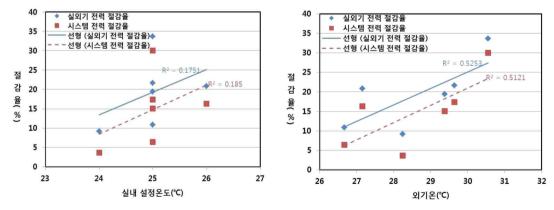


fig. 7 Changes in Power Saving Rate according to Indoor setting Temperature and Outdoor Temperature

미스트 분무형 실외기 논문<sup>(7)</sup>의 실내 설정온도 및 외기온에 따른 전력 절감률(fig. 7 Changes in power saving rate according to indoor and outdoor temperatures) 그래프에서 볼 수 있듯이 일반 실외기 대비 미스트 분무형 실외기의 최대 전력 절감률은 33.7%, 최소 전력 절감률은 21.3%이며, 평균 절감률은 19%이다. 그래프를 살펴보면, 실내 설정온도는 절감률에 큰 영향이 없는 것으로 판단된다. 하지만 외부 설정온도는 온도가 높아질수록 절감률이 높아지는 것을 알 수 있으며, 이는 미스트 분무를 통한 공기의 온도가 낮아져 저온의 외기 도입으로 인해 실외기의 효율이 향상된 것으로 사료 된다. 더욱이 냉방기 외

기온이 높아질수록 미스트 분무형 실외기의 사용이 전력량 절감에 효과가 있을 것으로 판단되므로 실외 기 내부의 온도가 낮아질수록 같은 효과가 있을 것으로 예상된다.

또한 빗물회수통 설치로 인하여 햇빛 차단 효과로 인하여 직간접적으로 실외기 내부 온도를 낮출 수 있다. 실제로 사람들은 차양막 설치를 통해 실외기의 효율을 높임으로써 소비전력을 낮추고 있다. 아래의 Table 1(Expectation effectiveness coming from installing the awning screens in temperature and power consumption)은 차양막 설치를 통해 햇빛 차단 효과가 실외기 내부온도와 소비전력에 어떠한 영향을 미치는지 실험한 데이터이다.

Table 1 Expectation Effectiveness coming from Installing the Awning Screens in Temperature and Power Consumptions

Sortation	Temperature	Power Consumption		
Before installing the awning screens	35℃	1,750 W		
After installing the awning screens	29℃	1,590 W		
Characteristics	- Installation the awning screens can cool the heat above 11°C Installation the awning screens can save 0.1~0.2kW per hour. (Save 3,000~5,000 won per month in terms of cost)			

두 번째는 실외기 관련 화재 예방의 효과이다. 여름철 빈번히 발생하는 실외기 화재 사고는 소방청에서 발표한 통계<sup>(8)</sup>에 따르면 최근 3년(2018~2020년)간 에어컨 화재는 706건으로 대부분 과열, 과부하에따른 전선 단락 등 전기적 요인(76%)으로 발생했다. 또한 폭염으로 에어컨을 완전히 가동한 상태에서실외기에 직사광선이 지속적으로 가해질 경우 과열 위험은 더욱 커진다.



Fig. 8 Fire Accidents related to Air-Conditioner over the Last Five Years

본 시스템을 통해 빗물회수통의 차양막 효과로 실외기 과열로 인한 화재 예방은 물론, 화재 발생 시 빗물회수통의 빗물을 이용하여 상시 화재진압 효과 또한 도출할 수 있다.

### 2.1.4 사전 기술 조사

아이디어의 시작은 효율적인 폐열회수방식을 선정하는 것에서 시작하였다. 이를 위해 사전에 특허를 위반하지 않는지 시장조사를 진행하였고, 아래와 같은 세 가지 기술 및 제품, 특허와 비교해 볼 수 있 다.

첫 번째는 지열 에너지이다. 지표면의 얕은 곳에서부터 수 Km 깊이에 뜨거운 물과 돌을 포함하고 있

는 지반의 에너지를 이용하는 냉·난방시스템, 지열냉난방시스템<sup>(9)</sup>은 여름철에는 실내의 높은 온도를 지중으로 방출하고, 겨울철에는 지중으로부터 열을 흡수하여 난방을 수행할 수 있다. 태양열의 약 47%가지표면을 통해 지하에 저장된다. 이렇게 태양열을 흡수한 땅 속의 온도는 지형에 따라 다르지만, 지표면에 가까운 곳은 대략 10℃~20℃정도를 유지하기 때문에 열펌프를 사용하는 냉난방시스템에 이용할 수 있다.

두 번째는 ㈜레파엔지니어링의 '냉동기 폐열회수기(Fre-Heater)'이다. Fre-Heater의 경우 냉동 시스템 특성상 압축기에서 고압으로 압축하여 발생한 고온의 열이 실외기를 통해 외부로 버려지는 현상에 초점을 맞추어 제작되었다. 냉동 시스템에서 발생하는 폐열을 Fre-Heaters에 통과시켜 응축 열량의 60%를 회수하여 온수를 추가 비용 없이 활용할 수 있게 설계되었다. 보조열원이 필요로 하지 않고 냉동 시스템에 간단하게 라인만 연결하여 폐열을 회수함으로 에너지 절약 효과가 크며 친환경 기기로 명시되었다. 응축기 전단에서 열을 회수함으로써 응축기의 용량 증대 및 효율이 높아지고, 또한 기존 응축기 FAN 가동시간 절감과 압축기 동력을 감소하여 이에 따른 별도의 에너지 절약 및 소음 감소의 효과가 관측된다. 이는 냉동 시스템 동력 5~8% 정도로 사료된다. 온수를 생산하기 위하여 전기 및 가스가 필요하지 않아 이에 따른 탄소(C02) 절감 효과가 크며, 이는 국가적 차원의 온실가스 감축에 기여한다고 한다. 본 아이디어와의 접점이 존재하지만, 폐열을 회수하는 방안에서의 차이점을 보인다. Fre-Heater의 온수 생산 운전 방법(fig. 9 The way to operate hot water production of Fre-Heater)은 아래와 같다.

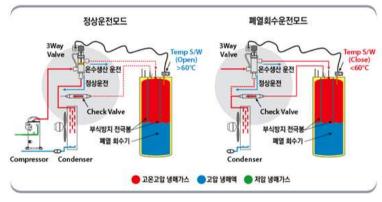


fig. 9 The way to operate hot water production of Fre-Heater

세 번째는 ㈜LG전자의 '하이드로 킷 시스템(10)'이다. 2011년 LG전자에서는 에어컨 냉방 과정에서 모아진 열을 난방이나 온수 공급 용도로 활용할 수 있는 '하이드로 킷 시스템'을 선보였다. 현재 이 시스템은 현재 가정용보다는 사무시설, 문화 '집회시설, 학교 등 실내의 냉 '난방과 온수시설이 요구되는 현장과 숙박시설, 목욕탕, 기숙사, 병원 등 바닥 난방과 온수시설 등에 적용된다. 이는 폐열을 이용하고 있는 대표적인 예시이다. 하이드로 킷 시스템은 히트펌프식 급탕장치와 관련된 기술로, 실내기 제어부를 이용하여 실내기 외측에서 온도가 하강된 냉매가 실내기 측으로 유입되는 것을 방지함으로써, 급탕유닛 또는 난방유닛의 온도저하를 막는다. 이를 통해 소비자로 하여금 난방성능의 감성품질을 향상시키는 히트펌프식 급탕장치이다.

# 2.1.5 차별성 및 회피전략

본 시스템의 차별성은 다음과 같다. 지열냉난방시스템의 경우 지반의 열 온도차를 이용해 실내에서 발생한 열을 지열 히트펌프가 흡수하여 지중의 열교환기를 통해서 땅속으로 방출하여 냉방을 하는 것이다. 하지만 지열냉난방시스템은 건물의 냉난방 해소를 위해서는 초기 투자비와 전기 사용량도 너무 많아 문제가 제기되고 있다. 게다가 지하수 오염과 지반 침하와 같은 또 다른 환경문제를 유발하고, 동·하절기 과다한 전기 소비까지 야기하는 문제가 있다. 본 시스템은 지열냉난방시스템과 폐열회수의 목적성이 비슷하지만 그 원리는 확연히 다르다. 하지만 지열냉난방시스템보다 친환경적이고 경제적으로 설계

하는 것을 목적으로 한다.

㈜레파엔지니어링의 '냉동기 폐열회수기(Fre-Heater)'와 비교했을 때, 냉방 시스템의 응축기에서 발생하는 폐열을 빗물을 이용하여 감소시키는 것뿐만 아니라, 추가로 응축기의 폐열을 이용하여 가열된 빗물을 보일러로 이동시키는 과정을 통해 보일러의 예열에너지를 줄일 수 있다는 점이다. 또한 본 설계에서는 추가적으로 실외기 폐열회수를 이용하여 실외기 효율증대 효과 뿐만 아니라 빗물을 이용함으로써 친환경적이고 화재 사고를 예방할 수 있다는 장점이 있다

하이드로 킷 시스템은 히프펌프식 급탕장치로 우선적으로 실내기 제어부를 이용하여 실외로부터 하이드로 킷 열전달부로 유입되는 냉매를 바이패스 유로를 이용하여 사전에 그 유입을 차단함에 중점을 두었다. 이를 통해 온도가 하강된 냉매가 유입되어 난방 능력이 감소되는 것을 방지할 수 있는 히트펌프식 급탕장치를 제공하는 것을 그 목적으로 하는 것이다.

앞선 세 가지 기술과 본 시스템의 차별성을 다시 한번 확인하여 보면, 빗물을 활용하여 폐열회수에 이용하다는 점, 그리고 이를 통해 보임러 예열에너지로 이용하다는 점에서 확실한 차이점을 보인다.

### 2.1.6 설계 목표

이번 설계는 기존에 있는 기술들을 바탕으로 폐열회수 및 빗물 에너지 절약에 초점을 맞춰 가정 내에서 시스템 구축을 통해 장기적으로 에너지를 회수 및 절약할 수 있으면서 IOT를 통해 자동화되게끔 설계하도록 목표로 한다.

- 정상운전모드: 기본적인 에어컨 실외기의 운전모드이다.
- 폐열회수모드: 빗물회수통에 장착되어있는 수위감지센서를 이용하여 적정 수위량 이상일 경우, 냉매관의 밸브 조절을 통해 에어컨 냉매가 빗물회수통 냉매관에 공급되어 폐열회수를 진행하는 모드이다.
- •보일러예열모드: 폐열회수모드를 통해 빗물회수통에 있는 빗물이 설정온도 이상이 되었을 경우, 냉매관을 통한 에어컨 냉매 공급이 중단되고, 배관을 통해 보일러실에 있는 빗물 통으로 이동하는 모드이다.
- 빗물재공급모드: 강수량의 부족으로 인해 적정 수위에 도달하지 못할 경우를 대비하여 보일러실에 있는 빗물 통에서 열전도가 끝난 빗물 용수를 재공급하는 모드이다.



Fig. 10 Remote Controller Of AC

# 2.2 하드웨어 설계 2.2.1 빗물 통 설계

강수량에 따른 빗물회수통에 쌓이는 시간당 빗물의 양은 "빗물회수통의 면적 × 시간당 강수량"으로 계산된다. 연중 지역별 강수량은 중부지방 1,200~1,500mm, 남부지방 1,000~1,800mm이다. 경북지역은 1,000~1,300mm이며, 경남 해안 일부 지역은 1,800mm 정도, 제주도지방은 1,500~1,900mm이다. 계절적으로는 연 강수량의 50~60%가 여름에 내린다. 다시 말해, 우리나라는 여름철 연평균 대략 1,000mm 정도의 비가 내리는 것이다. 기상청 통계자료에 따르면<sup>(11)</sup> 2020년 기준 인천과 서울의 강수량(Table 2 Precipitation of Incheon in 2020, Table 3 Precipitation of Seoul in 2020)은 다음과 같다.

Table 2 Precipitation of Incheon in 2020

Table 3 Precipitation of Seoul in 2020

<b>D</b> \ <b>M</b>	5월	6월	7월	8월	<b>D</b> \ <b>M</b>	5월	6월	7월	8월
1일		0.4	0.1	38.2	1일		0.4	0.0	39.1
2일	0.0	2.7		21.6	2일	0.0	2.0		31.4
3일	0.1	0.0	0.8	50.5	3일	0.0		0.1	102.6
4일		0.9	0.5	1.7	4일		0.2	1.6	3.9
5일	0.0	0.0		15.2	5일				18.5
6일				59.4	6일				75.7
7일			0.0	0.1	7일			0.0	0.0
8일	2.9	0.0		18.2	8일	2.3			19.1
9일	24.1			103.8	9일	24.4			50.3
10일	0.8	9.4	1.7	20.1	10일	1.3	6.2	2.2	44.6
11일	2.6			106.6	11일	3.4	0.0		97.0
12일	0.3		2.7	0.1	12일	0.7		2.9	
13일			50.6	0.0	13일		0.0	47.6	
14일		0.2	9.2	0.1	14일		1.1	11.5	0.4
15일	10.4		0.0	27.3	15일	12.0			69.0
16일	1.7				16일	2.5			
17일	0.1				17일	0.0		0.0	
18일	35.7				18일	29.8			
19일	4.7	0.1	22.0		19일	19.0	0.1	29.1	
20일			2.3		20일	0.0		3.6	
21일	0.0			0.4	21일			0.0	2.5
22일	0.0	0.0	25.0	0.4	22일	0.0		11.5	42.6
23일	0.1	0.0	101.8		23일	0.0	0.0	103.1	
24일	15.9	23.5	7.8		24일	14.5	37.6	2.9	
25일 26일	1.5	6.9 1.6	0.0	0.5	25일 	1.5	13.3 2.1	0.0	0.6
20 달  27일	1.3	0.0	4.9	12.4		1.3	0.0	2.2	8.7
28일		0.0	0.1	8.7	28일	0.0	0.0	0.4	13.6
29일		22.0	13.8	0.3		0.0	11.9	50.1	13.6
30일		32.5	0.2	0.8	30일		64.7	0.1	42.5
31일	0.3	23.0	0.0	0.0	31일	1.0	,	1.5	0.0
합계	101.2	100.2	243.5	486.4	합계	112.4	139.6	270.4	675.7
н ,					H . 11			=	

따라서 빗물회수통에 받을 수 있는 시간당 빗물의 양을 늘리기 위해서는 설계할 빗물회수통의 면적을 늘려야 한다. 하지만, 빗물의 양이 많아지면 폐열을 회수하는 과정에서 오랜 시간이 걸리므로 면적과 적정 높이에 대한 최적 조건의 부피를 선정해야 한다. 본 설계에서는 보일러 예열을 위한 최소 물의 양과실외기가 버틸 수 있을 정도의 무게를 고려하여 일반적인 실외기의 면적과 동일한 가로길이 80cm, 세로길이 33.3cm 높이는 20cm로 선정하였다. 시중에 나와 있는 일반적인 실외기의 면적은 세로 27~30cm 가

로 90cm 이하로 본 발명품의 빗물 통 높이가 20cm임을 통해 연평균 대략 5번 정도 가득 찰 정도의 높이 일 것으로 사료된다.

### 2.2.2 빗물회수통 재료 선정

빗물회수통에 적합한 다양한 재료들이 있지만, 열전도와 빗물의 특성을 고려하여 소재를 선정해야 한다. 재료 선정 방법으로는 먼저 가장 많이 사용되는 4가지의 재료를 선정하여 Table 4에 물리적성질, 기계적성질과 특성을 정리했다. 두 번째로 가장 많이 사용하는 4가지의 재료인 알루미늄, 동판, 플라스틱, 스테인리스 강 중 빗물회수통에 필요한 특징인 내식성, 가격, 열에 의한 변형, 밀도를 중심으로 비교하여 점수가 가장 낮은 것을 선정하기로 결정했다.

Table 4 Physical properties, mechanical properties and characteristics of 4 frequently used materials

Material	Advantages	disadvantages
Aluminum	<ul> <li>Very good heat conduction.</li> <li>Machine processing is easy, so processing is easy depending on the purpose.</li> <li>Lifespan is semi-permanent.</li> </ul>	<ul> <li>Because of low strength, easily deformed.</li> <li>The price is expensive.</li> <li>It is a relatively corrosive metal.</li> </ul>
Copper	<ul><li>Can be used semi-permanently.</li><li>High thermal conductivity.</li><li>Excellent mechanical stability.</li></ul>	<ul><li> The price is very expensive.</li><li> It is easily oxidized.</li></ul>
Plastic	<ul> <li>Small specific gravity and light weight.</li> <li>Does not rust or rot.</li> <li>Good machinability.</li> <li>Excellent insulation.</li> </ul>	The durability of the material is weak.  It has a high coefficient of thermal expansion, so its shape can be changed.
Stainless Steel	<ul> <li>Excellent corrosion resistance.</li> <li>It is possible to reduce the weight with high strength.</li> <li>It is suitable as a fireproof material.</li> </ul>	Weak to scratches

Table 5 Relative Comparison of Four Commonly used Materials

	Aluminum	Copper	Plastic	Stainless Steel
corrosion resistance	2	3	1	1
price	2	4	1	3
deformation by heat	X	X	0	X
density	2	4	1	3
sum	6	11	3	7

Table 5에 의하면 플라스틱이 빗물회수통의 재료로 선정되어야 하나 가장 중요한 열에 의한 변형이 되므로 제외하고 그다음으로 낮은 알루미늄을 빗물회수통의 재료로 선정하였다.

Table 6 Characteristics of Alloys of Aluminum

Kinds	Characteristic		
1000 series	As pure aluminum, it has good corrosion resistance and excellent light reflectivity		
1000 Series	and heat conductivity. Although the strength is low, welding and molding are easy.		
	It is a heat-treated alloy containing magnesium and the like with copper as the main		
2000 series	additive component. Depending on the heat treatment, the strength is high, but		
	corrosion resistance and weldability are often poor.		
	It is a non-heat-treated alloy with various properties by cooling processing using		
3000 series	manganese as the main additive component. Compared to pure aluminum, it has		
	higher strength and good weldability, corrosion resistance and formability.		
4000 series	It is a non-heat-treated alloy with silicon as the main additive component. It is		
4000 series	mainly used as a welding material.		
5000 series	It is a non-heat-treated alloy with high strength with magnesium as the main		
5000 series	additive. Good weldability and good corrosion resistance in seawater.		
	It is a heat-treated alloy with magnesium and silicon as main additive components. It		
6000 series	has good weldability and corrosion resistance and is widely used in structures such		
	as profiles and pipes.		

알루미늄을 빗물회수통에 더 적합하게 만들기 위해 합금을 사용한다. Table 6에서 특징을 비교한 결과 회수통과 3000계열의 알루미늄 합금을 사용하기로 했다. 3003 알루미늄 합금은 오늘날 시장에서 가장 널리 보급된 알루미늄 중 하나이다. 우수한 마무리, 성형성, 용접성, 강도, 부식에 강하며 알루미늄의 특성으로 인하여 재활용 또한 용이하다. 이러한 특성으로 인해 이 금속은 다양한 응용 분야에서 성공할수 있으며 가장 인기 있는 범용 알루미늄 합금으로 간주된다. 3003 알루미늄은 3xxx 시리즈이며, 주요합금 성분은 망간이며, 화학 성분은 0.12 % Cu, 1.2 % Mn 및 98.6 % Al이다. 3003 알루미늄의 밀도는 2.73 g / cm³ (0.0986 lb / in³)이며 순수 알루미늄과 거의 같으며 열처리 공정에 반응하지 않는다. 대신이 합금은 강도를 높이기 위해 변형 경화 될 수 있으며 일반적으로 3003-H18 및 3003-H22 템퍼로 제공된다. 3003 알루미늄은 특별히 강하지는 않지만, 식품 / 화학 시장에서 많은 응용 분야를 보유하고 있으며 매우 유연하지만 내성이 있는 재료로 유용하다.

# 2.2.2 빗물회수통 덮개 설계

빗물회수통에 입자가 큰 이물질이 들어가게 되면, 배관이나 수질에 영향을 미치게 된다. 따라서 빗물회수통 덮개를 설치해야 한다. ANSYS(CAD Modeling)을 이용해 설계한 초기 도안은 다음과 같다. (fig. 11 Blueprint for Cover of Rainwater Recovery Container(3d))



fig. 11 Blueprint for Cover of Rainwater Recovery Container(3d)

빗물회수통 덮개는 탱크와 연결된 배관을 막을 정도의 크기가 큰 이물질의 크기만 걸러내면 되기 때문에 여과 필터의 크기에 대한 적절한 값이 필요하고, 그 값은 파이프를 막지 않는 크기인 20mesh로 선

정하였다. 또한 덮개를 설치함으로서 폐열회수 과정에서 빗물의 온도가 낮아지는 것을 방지하고, 빗물의 양을 조절하기 위해 IOT 개폐식 장치를 삽입하였다.

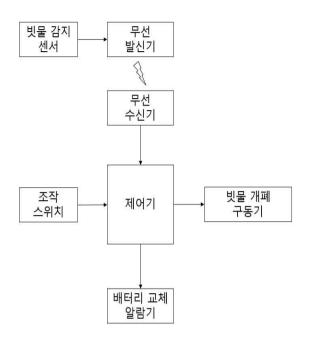


fig. 12 Principle of Switching Control according to Water Level

IOT 개폐식 장치의 알고리즘은 다음과 같다. 수위감지센서를 이용해 빗물회수통에 빗물이 적정량 이상 차게되면 빗물덮개의 개폐시스템이 자동으로 작동하도록 설정하였다. 이로 인해서 빗물이 넘치거나 불필요하게 폐열회수를 방해하는 것을 미연에 방지하고 이물질이 들어가지 않게끔 조절할 수 있다.

### 2.2.3 냉매관 설계

냉매관 안의 에어컨 냉매를 이용하여 빗물에 열전달하기 위해서는 적정량의 초기값이 필요하다. 우선, 빗물의 초기 온도와 에어컨 냉매의 온도, 빗물회수통에 담긴 빗물양을 이용하여 열전달 공식을 통해 목 표시간 값과 목표온도 값을 도출할 수 있다. 우리는 냉매관을 빗물회수통과 연결하여, 에어컨 냉매 온도 를 이용해 빗물에 열전달을 함으로써 폐열회수를 활용할 예정이다.

### • 빗물 초기 온도

고도 0m(지표)일 때, 기상청에서 발표한<sup>(12)</sup> 대기압 1atm 하 서울의 여름 기준 대기 온도(fig. 13 Average Temperature of Outdoor in 2020)를 살펴보면 약 26도이고 빗물이 지표면에 있는 빗물회수통으로 떨어져 흐를 때의 순간 온도는 빗물회수통의 주변환경에 따라 달라진다. 태양열로 뜨겁게 달구어져 있을 때는 빗물회수통의 온도에 영향을 받아 온도가 올라갈 수 있지만, 소나기성 비가 아니고 비가 계속 내리면 빗물회수통의 온도도 대기 온도와 평형을 이룬 빗물 온도에 의해 점차 빗물 온도와 같은 26도 정도로 유지할 것으로 보인다. 따라서 시뮬레이션에서 빗물 초기 온도를 대기 온도와 같은 26도로 설정하였다.



fig. 13 Average Temperature of Outdoor in 2020

### • 에어컨 냉매 온도

에어컨은 기화열을 이용해 공기를 차갑게 한다. 에어컨이 작동하기 위해서는 기체를 액체로, 액체를 기체로 바꿀 수 있는 물질, 즉 냉매(에어컨 가스)가 필요하다. 에어컨을 가동하면 압축기가 기체 상태의 냉매를 압축시켜 온도를 80~100℃까지 올린다. 본 시스템에서는 냉매관을 빗물회수통과 연결하여, 냉매온도를 이용해 빗물에 열전달을 함으로써 폐열회수를 진행할 예정이다.

$$\Delta Q = K \times \Delta t \times A \times \frac{\Delta T}{\Delta r} \tag{4}$$

△*Q* : 흡수에너지 (cal)

 $\Delta t$  : 접촉시간

△*T* : 온도 차이 (°C)

A : 접촉면적

K : 물의 열전도도  $\Delta x$  : 냉매관과의 거리

 $Q = mc(t_2 - t_1) \tag{5}$ 

 Q
 : 흡수에너지 (cal)

 m
 : 물질의 무게 (g)

c : 물질의 무게 (=비열) (cal)

 $t_2$  : 도달 온도 (°C)  $t_1$  : 시작 온도 (°C)

수식 (4)과 수식 (5)는 각각 열전달량 공식과 열손실량을 통한 온도변화량 계산식이다. 위 식들을 바탕으로 빗물 초기 온도, 실외기 냉매관의 초기 온도를 기준으로 빗물회수통에 있는 강수량별 빗물의 양과 폐열회수가능 온도, 걸리는 시간 데이터를 구한다. 데이터를 산출할 때, 빗물의 양, 냉매관의 면적 등을 다르게 설정하여 그에 따른 최적의 빗물회수통의 형상 및 냉매관의 모양, IOT 시스템을 설계한다. 냉매관은 D=2.8cm, 두께 t=0.14cm, h=12cm로, 접촉시간을 1초로 설정하고, 냉매관 주변의 열전달을 계산해보았다.  $\Delta Q = -921.3536\ W/S(J) = -220.06\ cal,\ Q = cm\Delta T$ , 물의 비열 c = 1, 물통의 2/3만큼 물이 차있을 때 작동한다고 가정하면, 최소 물의 무게는 35,520g이고 여기서 냉매관의 부피를 빼면 35,429g이다. 따라서, 계산해보면 1초에 0.00621 오를 것으로 예상된다. 에어컨 가동시간을 고려하여 빗물의 온도를 올리기에는 부족한 양이므로 다른 대안을 찾아보았다. 가열 온도에 걸리는 적정 시간을 선정하기 위해

서 초기 빗물회수통의 값과 온도에서 빗물의 양과 접촉면적을 고려하여 데이터를 산출하였다.

Table 7 Heating Time according to Amount of Rainwater

Amount of Rainwater (cm <sup>3</sup> )	Contact Surface (cm <sup>2</sup> )	Initial Temperature / Heating Temperature (℃)	Time (min)
5,000	123	26 / 60	75
10,000	123	26 / 60	151
20,000	123	26 / 60	303
30,000	123	26 / 60	455
40,000	123	26 / 60	606
50,000	123	26 / 60	758

Table 8 Heating Time according to Contact Surface

Amount of Rainwater (cm <sup>3</sup> )	Contact Surface (cm <sup>2</sup> )	Initial Temperature / Heating Temperature (°C)	Time (min)
30,000	123	26 / 60	455
30,000	246	26 / 60	296
30,000	369	26 / 60	201
30,000	492	26 / 60	152
30,000	615	26 / 60	122
30,000	738	26 / 60	102

빗물의 양이  $50,000\,cm^3$ 에 달할 때, 초기 온도  $26\,^{\circ}$ 은 기준으로 가열온도  $60\,^{\circ}$ 에 도달하는데 걸리는 시간은 758분으로, 이는 평균적으로 에어컨을 가동하는 시간을 훨씬 넘어서는 수준이다. 그렇기 때문에 시간을 줄이기 위해서는 빗물의 적정량과 냉매관의 접촉면적을 최대한 늘려 열전도하는 속도를 빠르게할 필요가 있다. 물 위에 바닥과 수평으로 위치시킨다면 접촉시간이 길어지는 것은 물론 접촉 면적 또한 넓어지게 된다. 물이 냉매관에 닿는 면적을 늘리기 위해 빗물회수통에 냉매관의 크기를 고려하여 다음과 같이 설계한다면 접촉면적은 초기 모델에 비해 24배 넘게 증가한다.

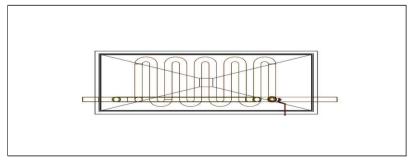


Fig. 14 Plan of Refrigerant Pipe(2D)

빗물의 양을  $30,000cm^3$ ,  $50,000cm^3$ , 접촉면적은 초기 $cm^3$  값의 24배로 설정하고, 초기 온도 26  $\mathbb{C}$ 를 기준으로 가열온도에 도달하는데 걸리는 시간을 계산해보았다. 이때, 보일러 열전도를 위해서 온도는

50~70℃가 적절하다고 판단하였지만 다양한 변수를 고려하게 된다면 90℃까지 사용해야 할 가능성도 존 재한다. 따라서 이를 감안하여 다양한 데이터를 산출해보았다.

**Table 9** Heating Time according to Heating Temperature(1)

Amount of Rainwater (cm <sup>3</sup> )	Contact Surface (cm <sup>2</sup> )	Initial Temperature / Heating Temperature (℃)	Time (min)
30,000	3,000	26 / 50	18
30,000	3,000	26 / 60	25
30,000	3,000	26 / 70	33
30,000	3,000	26 / 80	40
30,000	3,000	26 / 90	48

Table 10 Heating Time according to Heating Temperature(2)

Amount of Rainwater (cm³)	Contact Surface (cm <sup>2</sup> )	Initial Temperature / Heating Temperature (°C)	Time (min)
50,000	3,000	26 / 50	24
50,000	3,000	26 / 60	34
50,000	3,000	26 / 70	44
50,000	3,000	26 / 80	54
50,000	3,000	26 / 90	65

접촉면적을 3,000 $cm^2$ 로 두고 빗물을 가열하면 30,000 $cm^3$ 를 기준으로 18분만에 초기 온도 26℃에서 5 0℃까지 올라가는 것을 볼 수 있으며, 90℃까지도 약 48분 걸리는 것을 볼 수 있다. 접촉면적을 3,000  $cm^2$ 로 두고 빗물을 가열하면 50,000 $cm^3$ 를 기준으로 24분 만에 초기 온도 26℃에서 50℃까지 올라가며, 90℃까지도 약 65분 걸리는 것을 볼 때, 에어컨 평균 가동시간 내에 폐열회수가 가능함을 알 수 있다.

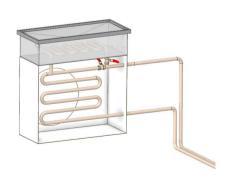


Fig. 15 Blueprint of Rainwater Recovery Container, cover, and Refrigerant Pipe(3D)

위와 같은 빗물회수통 구조 바닥에 냉매관을 설치하고 실외기 냉매관과 연결시켜 밸브를 통해 냉매의 입•출입을 조절한다고 가정한다. 동일한 조건 하에 냉매관 면적만 다르게 실험을 진행하여 보았다. 냉매관 주변의 열전달을 계산해보면, 접촉 면적이 2297.29 $cm^2$ 이 나오게 되고, 약 19.8배 증가하였다.

 $\Delta Q$ =-6059.59 W/S(J) = -1447.31 cal, 부피는 23,284.1g이다. 따라서, 1초에 0.12  $^{\circ}$  오르고 1분에 7.2  $^{\circ}$  오른다. 즉, 목표 설정온도인 60  $^{\circ}$   $^{\circ}$  까지 도달하는데 약 4.72분 걸리는 것이다. 결과적으로 기존보다 훨씬 적은 시간 내에 폐열을 회수할 수 있다.

### 2.2.4 배관 설계

### 파이프 소재 선정

빗물회수통에는 두 가지 배관이 설계되어야 하는데, 하나는 폐열회수가 완료된 빗물을 보일러통으로 보내는 배관이고, 다른 배관은 보일러통에서 열전도가 끝난 빗물이 빗물통에 담겨있다가 필요할 경우 다시 빗물회수통으로 재공급되는 배관이 설계되어야 한다.

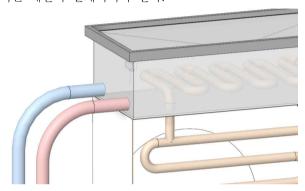


Fig. 16 Pipe and Rainwater Recovery Container Design Diagram

재료로는 최소한의 열손실을 갖는 파이프의 소재를 선정해야 한다. 또한 약산성을 띄는 빗물이 흐르기 때문에 내부식성과 내마모성을 갖는 소재를 선정해야 한다. 파이프의 소재를 스테인리스 강으로 선정하였고, 스테인리스 강의 특징은 앞의 Table 4에서 정리해놓았다. 스테인리스 강의 이러한 특징 중 내부식성, 즉 부식에 대한 저항성이 강하며 내산화성이 크다는 장점들이 우리의 설계에 가장 적합하다고 판단하여 파이프 소재로 선정하였다.

또한 가열된 빗물을 이동하는 과정에서 외부의 접촉을 최소화하여 온도를 유지해야 한다. 따라서 단열재 및 보온재 사용을 고려하였다. 보온재는 배관을 보온하여 열손실을 방지함과 동시에 뜨거운 배관에 의한 화상 방지의 역할을 하게 된다. 보온재의 종류를 살펴보면 Table 11과 같다.

Table 11 Types and Properties of Insulation Materials

Types	Properties			
Artiron Insulation	It is relatively inexpensive and easy to handle.			
THUISH HIBWANISH	• Plumbing above 120°C cannot be used due to deformation.			
(Silver Leaf Insulation)	<ul> <li>The foil is easily peeled off, precise taping is required.</li> </ul>			
Foamed Rubber	• It is generally used mainly for steel pipes as heat resistant insulating material.			
10411104 11410001	Relatively Expensive.			
Insulation	• There is shrinkage and expansion accoroding to temperature, so finish with bond.			
Glass Fiber Insulation	• It can withstand up to 350°C and is mainly used for steam pipe and hot pipe.			
	• Fire safety is good because it is a non-fireable material.			
(Glass-wool)	<ul> <li>It is dense and has excellent insulation properties.</li> </ul>			

파이프 안을 흐르는 유체의 온도는 100℃ 이하이므로 본 설계의 단열재로는 아티론 단열재가 적합할 것으로 사료된다.

### • 파이프 내 유동에서의 열손실량 계산

열전달과 관련하여, 열손실량 공식은 수식 (6)과 같다.

$$Q = 2\pi KL(t1 - t2) / \ln(r2 - r1)$$
(6)

 K
 : 파이프 재료의 열전달계수

 L
 : 유체가 이송되는 파이프 길이

t1 : 파이프 내부의 온도 ( = 유체의 온도)

t2 : 파이프 외부의 온도 ( = 파이프 외부 공기의 온도)

r1: 파이프의 내부 반경r2: 파이프의 외부 반경

수식 (5)와 수식 (6)을 바탕으로 파이프를 통해 이동하는 빗물의 열손실량 데이터를 구한 후, 다음 단계인 수두손실과 관련한 데이터를 고려하여 이를 바탕으로 최종적으로 빗물탱크에 도달하는 빗물의 온도를 구할 수 있다. 데이터를 산출할 때, 입구로 들어오는 빗물의 온도, 즉 유체의 온도를 다르게 설정하여 그에 따른 열손실량의 관계를 도식화한다.

# • 파이프 내 유동에서의 수두손실 계산

관수로 유동에서는 수두손실을 동반하고 있다. 최종적으로 스테인리스 강 관을 통과하여 빗물 탱크로 도달하는 빗물의 온도는 초기 온도에서 열손실량과 유체 유동에 의한 수두손실을 뺀 값으로 산정한다.

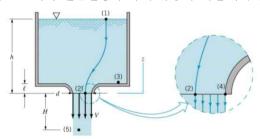


Fig. 17 Head loss of Fluid in pipe (13)

$$V = \sqrt{2g(H+h)} \tag{6}$$

$$Q = VA \tag{7}$$

$$h_{L} = major_{loss} + \min_{loss} r_{loss}$$

$$= f \frac{l}{D} \frac{V^{2}}{2g} + K_{L} \frac{V}{2g}$$
(8)

 f
 : 마찰 계수

 I
 : 파이프의 길이

 D
 : 파이프의 직경

 V
 : 파이프 내 유속

 g
 : 중력가속도

 $K_L$  : 손실 계수

수식 (6), (7), (8)은 수두손실 관련 계산식이다. 여기에서 Major loss에서 f는 마찰 계수로 Reynolds수와 상대 거칠기의 값을 구하여 Moody chart를 이용해 f를 구한다.

Minor loss에서  $K_L$ 은 손실계수로 빗물회수통 파이프의 모양 형성, 부품에 따라 값이 달라진다.

# • 빗물배관은 열전도율이 작으면서 내마모성과 내부식성을 갖는 소재의 관으로, 스테인리스 강 관을 선정하였다.

이 과정에서 계산해야 하는 값들은 열손실량과 유체 유동에 의한 수두손실 값이다. 열손실량의 경우 Programming을 통하여 Fig. 18 Heat Loss Graph according to Inner Temperature of Pipe와 같이 데이터를 축적 및 계산, 그래프화 하였고, 데이터를 정리한 값은 아래의 Table 12과 같다. Table 13은 이와 같이 산출된 데이터를 통하여 유체 온도에 따른 열손실량, 즉 온도 손실을 도출한 값이다. 이때 수식 (5)를 이용한다.

**Table 12** Heat Loss in Stainless Steel Pipe (L=8m, V=4.85m/s, Outer Temperature  $T_2$ =26 °C)

Temperature	Amount of Heat Loss	Conversion to Work
(℃)	(Kcal)	(J, 1cal=4.186J)
50	2.9924	12,526.18
60	4.2392	17,745.29
70	5.4861	22,964.81
80	6.7329	28,183.92
90	7.6981	32,224.25

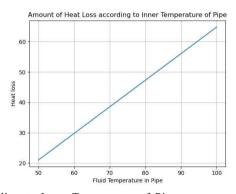


Fig. 18 Heat Loss Graph according to Inner Temperature of Pipe

Table 13 Calculation of Temperature Loss according to Amount of Rainwater (m:2~4kg, c= 1cal/g·°C)

Weight (kg) Temperature (°C)	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
50	1.496	1.197	0.998	0.855	0.748
60	2.12	1.696	1.213	1.211	1.060
70	2.743	2.194	1.829	1.568	1.372
80	3.367	2.693	2.244	1.924	1.683
90	3.849	3.079	2.566	2.200	1.925

유체 유동은 크게 세 가지로, 층류 유동, 난류 유동, 천이 유동으로 나뉘어진다. 우리가 본 설계의 파이프를 통과할 유동을 예측해 보면, 난류 유동이 통과할 것이다. Table 14의 Reynolds Number를 통해서

본 유동이 난류 유동임을 보여주고 있다. 또한 유체 유동에 의한 수두손실은 Table 14과 같다. 이때 발생하는 수두손실은 직관 손실과 부차적 손실을 더한 값이다. 이를 통해 도출한 수두손실 값은 압력손실로 나타난다. 본 설계에 적용하기 위해서는 이를 온도와 관련한 데이터로 변환해야 하는 문제점에 도달하게 되었다.

열손실량을 온도변화량으로 바꾸었던 수식 (5)를 적용하여 수두손실에 따른 빗물이 이동할 때 발생한 값들을 통해 온도변화량을 도출할 수 있었다. 이와 같은 데이터는 아래의 Table 15와 Table 16, Table 17, Table 18에서 나타내고 있다.

Table 14 Calculation Data of Head Loss

Temperature (°C)	Pressure of Water $(P = \rho gh)$	Reynolds Number	Friction Coefficient, f	Major Head Loss(m)	Minor Head Loss
50	9,683.38	220,800	0.0164	12.52	
60	9,645.19	257,600	0.0160	12.18	
70	9,529.22	295,600	0.01576	12.00	0.575
80	9,533.80	334,800	0.01553	11.82	
90	9,468.59	388,400	0.01527	11.62	

Table 15 Calculation of Major Head Loss

Temperature (°C)	$\Delta$ p( $N/m^2$ )	F(N)	Q(cal)
50	122,221.42	60.96	116.502
60	119,240.41	59.47	113.655
70	117,451.80	58.58	111.954
80	115,737.72	57.73	110.330
90	113,800.06	56.76	108.476

Table 16 Temperature Loss according to Major Head Loss (Control Initial Temperature, amount of rainwater)

Weight (kg) Temperature (°C)	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
50	0.116	0.093	0.077	0.066	0.058
60	0.113	0.091	0.075	0.065	0.057
70	0.111	0.089	0.073	0.064	0.056
80	0.110	0.087	0.072	0.063	0.055
90	0.109	0.085	0.070	0.062	0.054

Table 17 Calculation of Minor Head Loss

Temperature (℃)	$\Delta$ p( $N/m^2$ )	F(N)	Q(cal)
50	5,578.22	2.78	14.61
60	5,550.56	2.77	14.56
70	5,520.07	2.75	14.45
80	5,486.20	2.74	14.40
90	5,449.50	2.72	14.30

Table 18 Temperature Loss according to Minor Head Loss (Control Initial Temperature, amount of rainwater)

Weight (kg) Temperature (°C)	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
50	0.0146	0.0116	0.0097	0.0083	0.0073
60	0.0145	0.0116	0.0097	0.0083	0.0073
70	0.0144	0.0115	0.0096	0.0082	0.0073
80	0.0143	0.0115	0.0096	0.0082	0.0072
90	0.0142	0.0114	0.0095	0.0081	0.0071

### 2.2.5 보일러 물탱크 설계

# • 빗물탱크에서 보일러 물탱크로의 열전도 비율(물의 양에 따라 계산)

고온의 빗물이 축적된 탱크에서 보일러 물탱크로 열전도 시키는 과정은 보통의 가정집에서 온수난방을 하는 방법과 비슷한 방법을 선택했다. 가열된 빗물은 열전도가 용이한 파이프 관을 지나가며, 보일러물탱크에서 열전도를 일으킨다. 이를 구현하기 위한 최적 소재의 관으로 무산소 동관을 채택하였다. 무산소 동관의 특징을 살펴보면 다음과 같다.

Table 19 Characteristics of Anaerobic Copper Pipe

Materials	Characteristic
	Excellent corrosion resistance and long durability.
	Smooth inner surface of the tube : there is less friction loss and less scale
	generation.
Anagrahia Connor	Excellent ductility: easy to process and construct piping.
Anaerobic Copper Pipe	High reliability and flexibility : safe from vibrations and earthquakes, strong
ripe	against freeze breakage.
	Less risk of contamination due to corrosion.
	High thermal conductivity and electrical conductivity.
	Thin and light: lighten the installation

여기서 적용되는 열전도성과 관련한 공식은 수식 (6)에서 설명한 내용과 같다. 열손실이 발생한 만큼 외부로 열전도가 발생한다. 다음 그림은 보일러 내부 구조를 2D 캐드를 이용해 나타낸 것이다.(Fig. 19 Internal Structure Of Boiler (2D)) 보일러예열모드 작동 시 빗물회수통에서 폐열을 회수한 빗물이 보일러물탱크 내부의 물에 열전도 한다. 열전도가 끝난 빗물은 보일러 빗물 저장통에 잠시 저장된다. 빗물재공급모드 사용시 일정량의 빗물은 재사용을 위해 다시 빗물회수통으로 이동하고, 나머지 빗물은 아파트회수통으로 이동하게 된다. 이를 통해 강수량이라는 제약조건과 상관없이 사용이 가능하다.

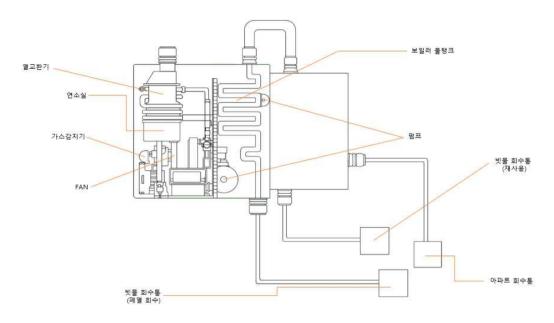


Fig. 19 Internal Structure Of Boiler (2D)

### 2.3 소프트웨어 설계

### 2.3.1 데이터 수집 장비

수위감지센서와 온도측정센서로 데이터를 수집한 후에 RFID식 무선발신기를 이용하여 서버에 송신하여 계산된 결과값으로 모드 설정 시 빗물 개폐구동기, 빗물밸브, 냉매밸브, 펌프를 조절할 수 있다. 또한, 에어컨 LED와 리모컨에 나타냄으로써 사용자가 육안으로 확인 가능하게 할 수 있다.

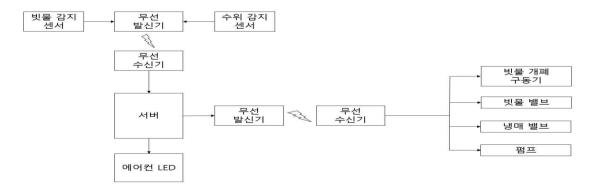


Fig. 20 Algorithm of Data Collecting Tool

# 2.3.2 제어 알고리즘 (IOT)

전체적인 구성 알고리즘은 다음과 같다.

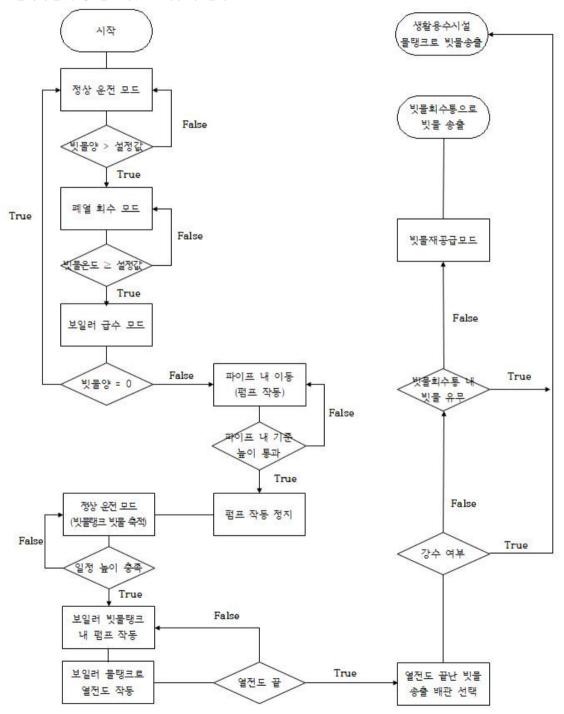


Fig. 21 Algorithm of Entire System

## 3. 결과 및 토의

## 3.1 최종 결과물 그림과 시뮬레이션 데이터 분석

# 3.1.1 최종 설계 결과물 그림 및 작동 원리

본 설계 전체적인 시스템은 다음 그림(Fig. 22 Picture of Entire System)과 같다. 작동 원리를 살펴보면, A의 빗물회수통에서 빗물을 회수하게 된다. 일정량의 빗물이 축적되면 IOT 시스템을 통해 폐열회수모드를 작동하여 실외기의 냉매관에서의 폐열회수를 진행한다. 일정 조건을 충족하게 될 경우, 보일러급수모드로 변환하여 외부에 설치된 빗물배관을 통해 B의 보일러에 부착된 빗물통으로 이동하게 된다. 이 과정의 빗물유동을 돕기 위해 펌프가 작동하게 된다. 빗물통에서 폐열이 회수된 빗물을 바로 펌프를 이용하여 보일러 물탱크 내부의 관으로 보내준다. 이 과정을 통해 보일러 물탱크 내부의 물을 예열함으로써 보일러 예열에 필요한 에너지를 아낄 수 있게 된다. 열전도가 끝난 빗물은 보일러 외부에 부착된 또 다른 배관을 통하여 생활용수 물탱크와 실외기 위에 설치된 빗물회수통으로 다시 보내게 된다.

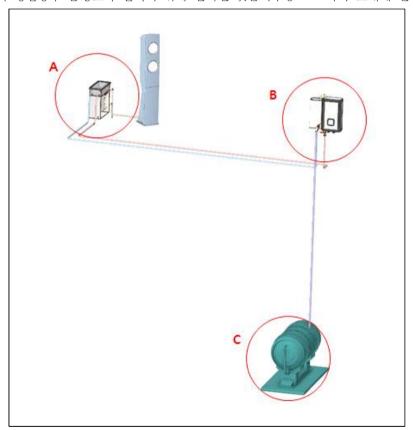


Fig. 22 Picture of Entire System

### 3.1.2 ANSYS를 활용한 냉매관 데이터 분석

냉매가 냉매관을 통해 흐른다고 했을 때 그림(Fig. 23 Simulation Data of Refrigerant Pipe using ANSYS)을 보면 관에서 여러 색깔을 보인다. 이는 냉매가 기체이기 때문에 분포가 액체에 비해 고르지 않아 다음과 같은 결과로 나타나는 것으로 해석된다. 온도를 기준으로 처음 90℃에서 5s 동안 냉매관을 지나게될 때, 냉매관 온도가 88.115℃까지 낮아지는 것을 확인할 수 있다.

냉매관 구조를 살펴보면 관이 꺾이는 부분에서 발생하는 수두손실 및 관 내부에서의 벽면 거칠기 및

주변 환경 온도의 영향으로 냉매의 온도가 낮아지면서 냉매관의 온도 변화가 나타나는 것을 확인할 수 있다. 이후 냉매관에 의한 빗물의 온도 변화를 알아보면 냉매관 파이프와 빗물의 접촉면적을  $3,000\,cm^2$ 로 두고 빗물의 양을  $30,000\,mm^3$ 로 설정하면 18분만에 초기 온도 26℃에서 50℃까지 올라가는 것을 볼수 있으며, 90℃까지도 약 48분 걸리는 것을 볼수 있다. 빗물의 양을  $50,000\,mm^3$ 으로 설정하면 24분 만에 초기 온도 26℃에서 50℃까지 올라가며, 90℃까지도 약 65분 걸리는 것을 볼 때, 모두 에어컨 평균가동시간 내에 폐열 활용이 가능함을 알 수 있다.

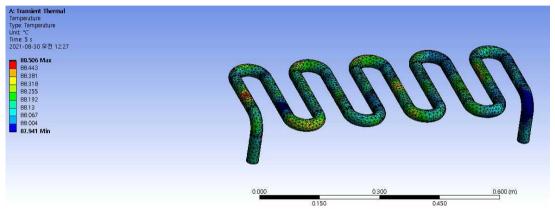


Fig. 23 Simulation Data of Refrigerant Pipe using ANSYS

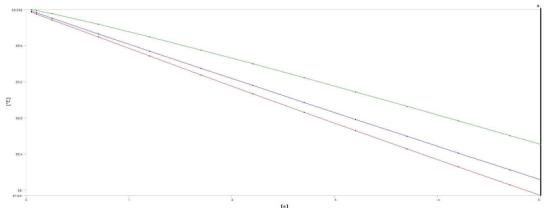


Fig. 24 Graph Data of Refrigerant Pipe using ANSYS

	Time [s]	✓ Minimum [°C]	✓ Maximum [°C]	✓ Average [°C]
1	5.e-002	89.971	89.996	89.98
2	0.1	89.947	89.988	89.96
3	0.25	89.882	89.954	89.901
4	0.7	89.695	89.836	89.728
5	1.2	89.484	89.696	89.536
6	1.7	89.274	89.549	89.346
7	2.2	89.066	89.398	89.158
8	2.7	88.861	89.243	88.97
9	3.2	88.658	89.086	88.783
10	3.7	88.457	88.927	88.597
11	4.2	88.257	88.766	88.411
12	4.7	88.059	88.604	88.226
13	5.	87.941	88.506	88.115

Fig. 25 Tabular Data of Refrigerant Pipe using ANSYS

앞에서 설명한 데이터를 그래프와 표로 뽑아낸 것이 바로 Fig. 24 Graph Data of Refrigerant Pipe using ANSYS와 Fig. 25 Tabular Data of Refrigerant Pipe using ANSYS이다. 본 데이터들을 통해 시간에 따른 냉매관 속 열전달량을 확인할 수 있고, 아이디어의 타당성을 확인할 수 있다.

### 3.1.3 ANSYS를 활용한 빗물배관 데이터 분석

### • 유동에 의한 온도변화

배관을 지나면서 빗물의 온도가 어떤 식으로 변화하게 될지 ANSYS 프로그램을 사용하여 결과를 분 석했다. 빗물의 초기 온도가 50℃이고 4.85m/s의 속도를 가진 상태에서 30s 동안 배관을 통과한다고 가 정하였을 때, Fig. 26 Temperature Data of inner Rainwater Pipe using ANSYS은 배관 내부에서 빗물이 흘 러가는 과정에서의 온도를 나타내준 것이다. 내부의 온도 손실을 그림으로 분석해보면 처음 배관 입구 에서 323K(50℃)의 온도로 빗물이 흘러가다가 배관 출구 부분에서 322K(49℃)의 값을 가지는 것을 확인 할 수 있다. 즉, 빗물이 배관 내부를 흘러가면서 약 1℃의 온도 손실이 발생했을 것으로 예상해 볼 수 있는 것이다. 다음 데이터를 살펴보면 Fig. 27 Simulation Data of Rainwater Pipe using ANSYS (Initial Temperature data)와 같이 배관의 색상이 빨간색으로 나타난다. 이는 50℃인 것을 직관적으로 나타낸 그 림이다. 이후 30초가 지났을 때, Fig. 28 Simulation Data of Rainwater Pipe using ANSYS (Final Temperature data)과 같이 배관의 색상이 파란색으로 나타나며, 그림 속 좌측 상단의 수치를 확인해보면 파란색일 때 배관은 49.512℃의 값을 가진다는 것을 확인할 수 있다. 이는 30초간 빗물이 배관을 이동한 다고 할 때 약 0.5℃의 온도 손실이 발생한다는 것을 의미한다. Fig. 29 Graph Data of Rainwater Pipe using ANSYS (Temperature data) of Rainwater Pipe using ANSYS (Temperature data) Tabular Data of Rainwater Pipe using ANSYS (Temperature data) 에서는 시간에 따른 온도변화의 최대·최솟값 및 평균값을 확인할 수 있는 수치가 나타나 있다. 이론으로 계산한 값과 비교를 해보면, 이론에서 직관적 손실과 부차적 손실로 인해 발생하는 총 온도 손실값이 약 0.2℃ 발생했다. 그러나 ANSYS 프로그램을 이용한 열손실을 계산해보았을 때, 1℃정도의 온도 손실 이 발생한 것을 확인할 수 있다. 프로그램에서 발생한 온도 손실의 이유로는 빗물이 배관을 지날 때 벽 면 거칠기에 의한 영향, 비압축성 유동, 증기압, 표면 장력 등에 의한 영향으로 인해 시간이 지남에 따 라 온도 손실이 발생했을 것으로 해석된다.

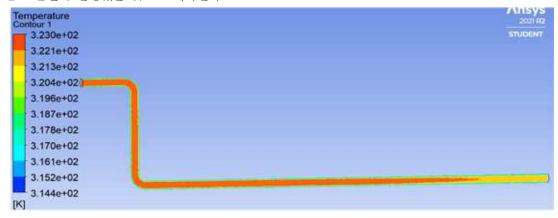


Fig. 26 Temperature Data of inner Rainwater Pipe using ANSYS

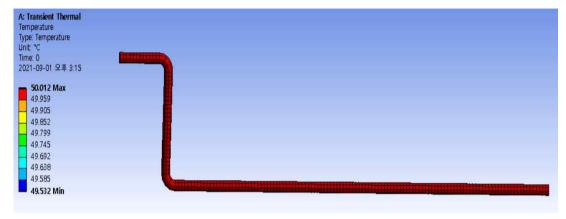


Fig. 27 Simulation Data of Rainwater Pipe using ANSYS (Initial Temperature data)

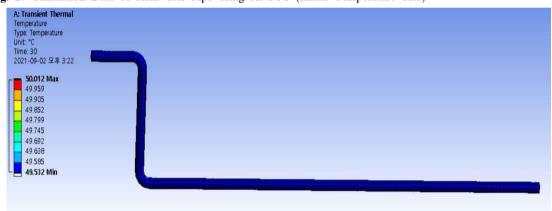


Fig. 28 Simulation Data of Rainwater Pipe using ANSYS (Final Temperature data)

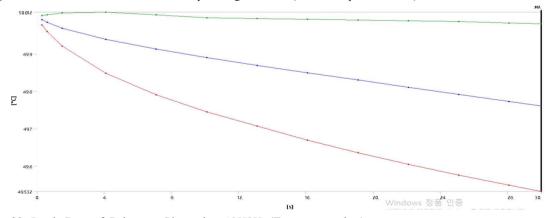


Fig. 29 Graph Data of Rainwater Pipe using ANSYS (Temperature data)

	Time [s]	✓ Minimum [°C]	✓ Maximum [°C]	✓ Average [°C]
1	0.3	49.979	50.003	49.992
2	0.6	49.961	50.005	49.985
3	1.5	49.921	50.01	49.969
4	4,0963	49.849	50.012	49.939
5	7.0963	49.791	50.005	49.913
6	10.096	49.745	49.997	49.891
7	13,096	49.707	49.995	49.87
8	16.096	49.669	49.993	49.85
9	19.096	49.636	49.991	49.83
10	22.096	49.605	49.989	49.811
11	25.096	49.576	49.987	49.792
12	28,096	49.549	49.983	49.773
13	30.	49.532	49.981	49.761

Fig. 30 Tabular Data of Rainwater Pipe using ANSYS (Temperature data)

### • 손실수두에 따른 온도변화

Fig. 31 Simulation Data of Rainwater Pipe using ANSYS (Head Loss Data - Velocity & Wall Shear Y)를 살펴보면, 모두 배관이 꺾이는 부분에서 변화가 나타나는 것을 확인할 수 있다. 왼쪽의 속도 실험 사진을 분석할 때, 배관의 다른 부분과는 다르게 꺾이는 부분에서 빨갛게 보이는 현상이 관측되는데, 박리된 유동으로 인해 발생한 현상으로 속도가 급격히 증가한다고 해석된다. 박리란 유동의 흐름이 떨어져 나가 발생하는 현상으로 압력을 구성하는 양력과 항력 중 항력이 급격히 증가하여 나타나게 된다. 다시말해 물체의 후반부의 압력이 물체의 전반부 압력보다 낮아지면서 뒤쪽의 흐름이 앞으로 흐르려는 역흐름(Reverse flow)현상을 동반하면서 소용돌이(eddy)가 발생하는 것이다. 박리현상이 커질수록 이에 의한수두손실 역시 증가하게 된다. 즉, 배관의 꺾이는 부분에 의해 손실수두가 발생하게 되고 이 부분이 빗물의 온도가 감소하는데 영향을 준다는 것을 확인할 수 있다. 다음 압력 그래프(Fig. 32 Graph Data of Rainwater Pipe using ANSYS (Pressure Data))를 살펴보면 파이프 입구 부근에 급격한 변화가 일어나는 부분들을 확인해 볼 수 있는데, 이 부분이 손실로 인해 압력의 변화폭이 커진다고 해석된다. 이 부분에서 수두손실이 발생한다는 것이고, 이후 그래프의 후반에서는 linear 한 형상으로 조금씩 감소하면서 온도손실이 조금씩 가진다는 것을 보여준다.

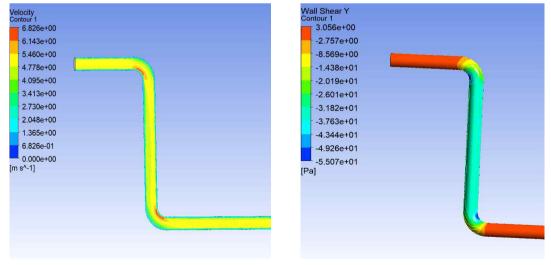


Fig. 31 Simulation Data of Rainwater Pipe using ANSYS (Head Loss Data - Velocity & Wall Shear Y)

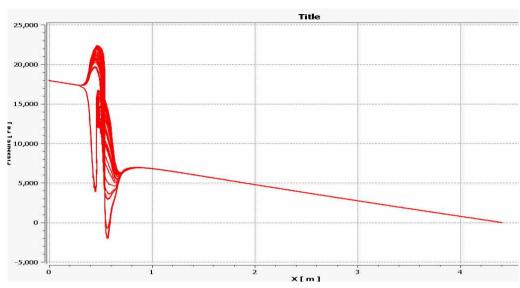


Fig. 32 Graph Data of Rainwater Pipe using ANSYS (Pressure Data)

### 3.1.4 ANSYS를 활용한 펌프 데이터 분석

이번 실험에서 사용한 펌프의 성능을 확인해보면(Fig. 33 Efficiency of Pump) 회전수는 1,800rpm, 토출유량은  $300m^3/hr$ , 펌프의 밀도는  $1,100kg/m^3$ , 양정은 45m, 입구 유동 각은  $90^\circ$ 이다. 펌프의 성능 결정은 시중에서 많이 사용되는 펌프들의 성능을 확인해보고 이번 실험에 적합한 값들을 선정하여 펌프 성능을 결정하게 되었다. 펌프 작동이 자동으로 된다고 설정하였을 때, 수압의 효율은 87.4%, 체적 측정시 효율은 97%, 기계적 요소는 94.8%, 펌프로서 효율은 80%를 가지는 것을 확인해 볼 수 있다.

또한 펌프의 소요동력은 49.4kW의 값을 가지게 된다. 여기서 소요 동력은 '축동력 $\times$ (1+a)[a: 여유율]'으로 이때 소요동력의 값이  $19\sim55k$ W에서 값을 가지므로 a=0.15의 값을 가지게 되며, 소요 동력은 49.4/1.15 = 43kW가 된다. 즉 실험을 통해 구한 펌프는  $300m^3/hr$ , 45mH, 49kW의 사양을 가진다는 것을 확인할 수 있다. 빗물 통에 담긴 빗물을 보일러 옆 빗물 보관함까지 이동하는데 충분한 사양을 가질 것으로 판단된다.

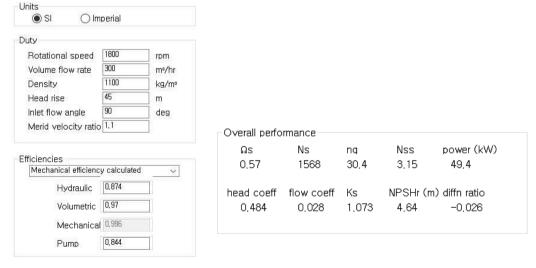


Fig. 33 Efficiency of Pump

빗물이 펌프를 통해 이동할 때 역시 손실수두가 발생하고 그로 인한 온도 손실이 발생할 것으로 예상된다. 유체가 임펠러로 유입될 때 충돌에 따른 속도 변화로 손실이 발생할 것으로 예상되는데 아래의 Fig. 34 Pressure Data about Efficiency of Pump (Graph & Graphic Data)와 같이 처음 유체가 입·출구에서 압력이 다르다는 사실을 확인해볼 수 있다. 또한 베어링에 의한 마찰 손실 및 펌프에서 발생할 수 있는 부차적 손실로 인한 손실 역시 고려해볼 수 있지만, 펌프를 통해 배관을 빠르게 통과하기 때문에 펌프내에서 온도 손실의 값은 크지 않을 것으로 판단된다.

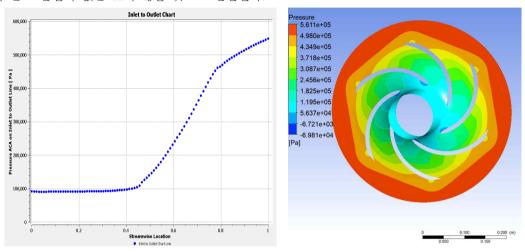


Fig. 34 Pressure Data about Efficiency of Pump using ANSYS (graph & graphic data)

다음은 위에서 설정한 펌프의 성능을 나타내주는 Pump Performance Curve와 그래프에 관한 값을 표로나타낸 것이다. Fig 35 왼쪽은 Langley venture CC에서 사용하는 펌프 곡선 데이터이고 오른쪽 표는 이번실험에서 사용된 펌프의 성능을 대입한 것이다. 기업에서 사용되는 펌프와 이번 실험에서 사용되는 펌프 간의 성능 격차가 어느 정도 발생할 것인지 비교하기 위해 두 가지 표를 사용하게 되었다. 이후 최종적으로 Fig 36. Graph Data about Pump Using Ansys의 그래프를 도출할 수 있게 되었다. 그래프를 분석해보면 양정이 감소할수록 펌프의 효율이 점차 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 그리고 이번 실험에서설정한 유량과 양정, 효율, 축동력이 표와 동일한 값을 가진다는 것을 나타내주고 있다. 효율적인 측면에서 유량이  $300m^3/hr$ 일 때 BEP(Best Efficeincy Point)는 아니지만 BEP인 지점과 효율 차이는 크게 나타나지 않는다는 것을 확인할 수 있다.

Manufacturers Pump Curve data				Pump Curv	es for Nev	v Conditions				
SG	1.0				SG	1.00			System cur	ve ref point
Viscosity	.0.5	cPoise			Viscosity	0.5	cPoise		m³/hr	m reqd
Speed	1800	rpm			Speed	1800	rpm		320.0	4.9
Impeller	313.7	mm			Impeller	313.7	mm			
Flow	Head	Efficiency	Hyd Power	ВНР	Flow	Head	Efficiency	Hyd Power	ВНР	System
m³/hr	m	%	kW	kW	m³/hr	m	%	kW	kW	m
100.0	54.0	74.0	14.70	19.86	100.0	54.0	63.1	14.70	23.29	0.5
200.0	51.0	76.0	27.77	36.54	200.0	51.0	83.1	27.77	33.41	1.9
250.0	48.0	78.0	32.67	41.88	250.0	48.0	84.9	32.67	38.47	3.0
300.0	45.0	80.0	36.75	45.94	300.0	45.0	84.4	36.75	43.52	4.3
320.0	42.0	82.0	36.59	44.62	320.0	42.0	80.3	36.59	45.55	4.9
340.0	39.0	84.0	36.10	42.97	340.0	39.0	75.9	36.10	47.57	5.5

Fig. 35 Tabular Data about Pump (Manufacturers Pump Curve Data & Pump Curves for New Conditions)

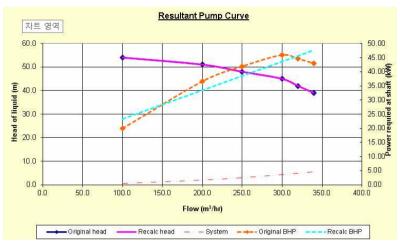


Fig. 36 Graph Data about Pump using ANSYS (Resultant Pump Curve)

# 3.1.5 ANSYS를 활용한 보일러 빗물관 데이터 분석

### • 유동에 의한 온도변화

보일러 빗물관 역시 앞서 했던 냉매관, 배관과 동일한 방법으로 실험을 진행하였다. 배관을 통해 빗물이 보일러 빗물통에 도착하고, 이때 통 내부에 존재하는 빗물관의 내외부 온도 변화를 파악한다. 우선외부의 온도는 배관을 통해 빗물이 50℃에서 49.716℃까지 떨어진 것을 가정하고 실험을 진행하였다. 30 s동안 빗물관을 통해 빗물이 이동 할 때 빗물관의 온도를 아래의 그림 및 표, 그래프를 통해 데이터를 자세히 분석해보면 처음 49.7℃에서 물이 흘러가기 시작했으나 마지막에 49.102℃까지 떨어진 것을 확인할 수 있었다. 내부의 그림을 살펴보면 빗물관 내부의 온도는 초기 약 49.716℃의 온도로 지속되다가 점차 위로 빗물이 올라올수록 최대 2℃ 이상의 온도변화가 나타나는 것을 확인할 수 있다.

앞선 실험과 같이 온도 손실의 원인으로는 3.1.3에서 이야기하였듯이 벽면에서 발생하는 표면 거칠기, 빗물의 비압축성 유동, 증기압, 표면장력 등의 영향으로 손실이 발생했다고 해석된다.

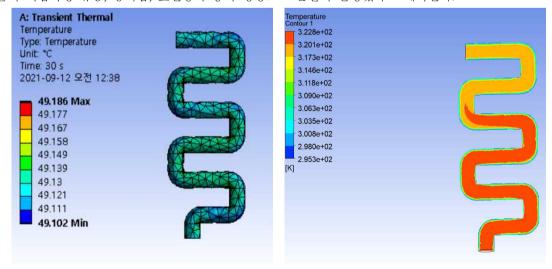


Fig. 37 Simulation Data of Heat-Transfer Pipe in Boiler using ANSYS (Transient Thermal & Temperature)

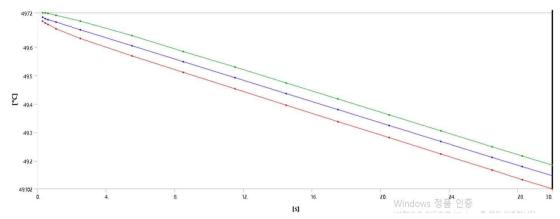


Fig. 38 Graph Data of Heat-Transfer Pipe in Boiler using ANSYS

	Time [s]	✓ Minimum [°C]	✓ Maximum [°C]	▼ Average [°C]
1	0.3	49.691	49.72	49.704
2	0.45689	49.685	49.72	49.701
3	0.61378	49.679	49.718	49.697
4	1.0844	49.664	49.712	49.688
5	2.4964	49.63	49.692	49.661
6	5.4964	49.569	49.64	49.605
7	8.4964	49.511	49.585	49.549
8	11.496	49.453	49.529	49,493
9	14.496	49.396	49.474	49.436
10	17.496	49.339	49.418	49.38
11	20.496	49.282	49.362	49.324
12	23.496	49.225	49.306	49.268
13	26.496	49.168	49.251	49.212
14	28.248	49.135	49.218	49.18
15	30.	49.102	49.186	49.147

Fig. 39 Tabular Data of Heat-Transfer Pipe in Boiler using ANSYS

### • 보일러 빗물관내에서 발생하는 수두손실

다음은 보일러 빗물관의 수두손실에 관한 실험 데이터이다. 아래와 같이 Pressure 값과 Eddy viscosity를 사용하여 손실수두를 도식화하였다(Fig. 40 Simulation Data of Heat-Transfer Pipe in Boiler using ANSYS (Pressure & Eddy Viscosity)). 두 가지 그림을 보면 빗물관이 꺾이는 부분에서 각각 색깔의 변화가 두드러진 것을 확인할 수 있다. 이 영역들에서 박리된 유동이 발생하고 이로 인한 유동의 변화로 손실수두가 발생하였다. 여기서 Eddy Viscosity는 난류에서 발생하는 소용돌이인 eddy의 점도로, eddy가 많이 발생한 것은 그만큼의 박리된 유동이 많이 발생했단 뜻이며 이는 수두손실의 값이 커진다는 것을 뜻하기도 한다.

아래의 그래프는 높이에 따른 압력변화를 나타낸 것이다(Fig. 41 Graph Data of Heat-Transfer Pipe in Boiler using ANSYS (Pressure Data)). 그래프를 전반적으로 분석해보면 x축은 배관 속 물의 높이를, y축은 해당 압력을 나타낸다. Y(높이)의 값이 커질수록 전반적인 압력이 줄어들기는 하나, 중간중간 압력 값들이 크게 요동치는 부분이 있는 것을 확인할 수 있다. 이는 앞서 설명하였던 eddy와 크게 연관이 있으며 압력 값의 편차가 큰 부분들이 곧 빗물관에서 각각 꺾이는 부분이라는 것을 알 수 있다.

이를 통해 본 설계에서 원하는 보일러 물탱크로의 예열에너지 전도 또한 용이하게 이루어질 것으로 나타난다.

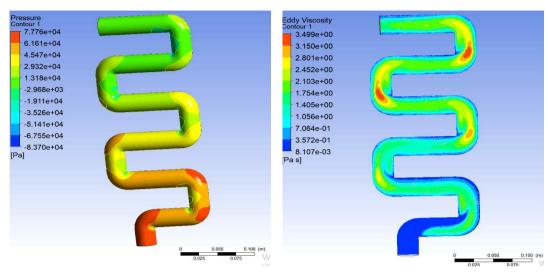


Fig. 40 Simulation Data of Heat-Transfer Pipe in Boiler using ANSYS (Pressure & Eddy Viscosity)

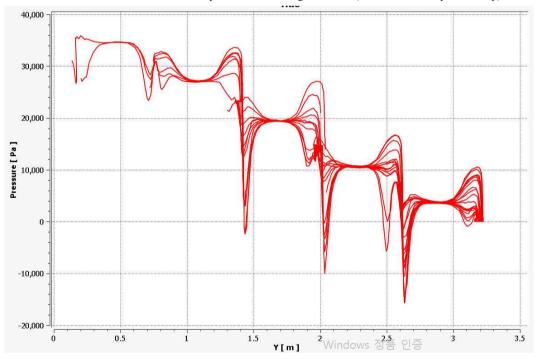


Fig. 41 Graph Data of Heat-Transfer Pipe in Boiler using ANSYS (Pressure Data)

# 3.2 최종 설계 결과물의 장단점 및 의의

본 설계의 장점은 낭비되는 빗물을 재사용한다는 점이다. 최근, 석유, 석탄, 천연 가스 등의 기존 자원이 부족해지면서 새로운 에너지원 또는 기존의 자원을 절약하는 방안이 대두되고 있다. 낭비되는 자원으로 여겨졌던 빗물의 재활용을 통해 에너지를 절약하고 경제적 장점을 높일 수 있다. 또 다른 장점으로는 에어컨 차양막, 스프링 쿨러 등과 달리 보일러 예열에 필요한 에너지를 추가적으로 줄일 수 있다는 점, 기존의 에어컨 실외기 및 보일러 구조를 크게 바꾸지 않고 사용 가능하기 때문에 초기비용이 많이 들지 않는다는 점이 있다. 또한, 실외기 화재 예방에 도움이 된다. 실외기 화재의 경우 지난 3년간 7

06건 발생하였으며, 대부분 과열, 과부하에 따른 전선 단락 등 전기적 요인(76%)으로 발생했다. 또한 폭염으로 에어컨을 완전히 가동한 상태에서 실외기에 직사광선이 지속적으로 가해질 경우 과열 위험은 더욱 커진다. 본 설계를 이용한다면 실외기의 과열을 막을 수 있고, 직사광선도 피할 수 있기 때문에 화재 예방에 도움이 될 것이다.

단점으로는 비가 오지 않으면 시스템을 사용하지 못하며 에어컨 실외기가 건물 내부에 있는 경우 사용할 수 없다는 점이 있다. 그러나 생활 용수를 사용하거나, fig. 19의 아파트 회수통을 사용하여 물을 공급한다면, 이 또한 극복 가능하다.

# 3.3 활용 방안 및 기대효과

본 설계의 기대효과는 다음과 같다. 첫째, 보일러 예열 시 필요한 에너지를 감소시킬 수 있다. 폐열회수에 의한 급수의 예열온도가 높으면 높아질수록 연료 절감, 즉 에너지 절약이 된다. 여름철 보일러를 가동하지 않을 때의 보일러 물탱크 내부 온도는 약 20℃이고, 여름철 보일러 온수의 적정 온도는 38℃이다. 일반적으로 급수의 온도가 6~7℃가 상승하면 연료 사용량의 약 1%를 절약할 수 있다. 본 설계에서는 폐열을 사용하여 가열된 빗물을 보일러 예열에 사용 시 약 60℃의 빗물로 보일러 예열을 하게 된다. 따라서, 연료 사용량의 2~3%를 절약할 것으로 예상된다.

둘째, 에어컨 실외기의 온도를 빗물을 이용하여 낮춤으로 도시의 열섬현상을 예방하고 실외기의 사용 전력을 낮추며, 실외기 화재 사고를 예방할 수 있다. 실제로, 실외기 차양막, 스프링 쿨러 등 실외기 외 부의 온도를 낮추는 제품들이 많이 있다. 그러나, 우리의 시스템을 이용하면 실외기의 온도를 높이는 가 장 큰 요인인 실외기 압축기의 온도를 근본적으로 낮출 수 있다. 5℃ 정도 낮춰진 응축기의 냉매가 실 외기에 주입된다면 에어컨 효율을 30% 정도 향상시킨다. 하루 5시간씩 3개월 동안 에어컨을 사용한다면 1년에 9만 원 정도 전기료를 줄일 수 있다.

셋째, 낭비되는 자원인 빗물을 이용한다는 점이다. 빗물 이용은 전 세계적인 이상 기후 현상과 더불어 한층 심각해지고 있는 물 부족 문제를 해결할 수 있는 친환경적 대안으로 떠오르고 있다. 그러나, 국내 의 빗물 이용의 위치는 아직 도입 단계에 불과하다. 본 설계를 통해 국내 빗물 상용화를 기대할 수 있다.



Fig. 42 Four Characteristics of Rainwater System and Recovery Waste Heat

### 3.4 비용적 측면

지열 냉난방의 경우 kW당 126~145만원의 설치비가 필요하다. 지열냉난방(1,063kW, 73%)의 장비(2억 4,380만원) 및 공사비(10억 7,100만원)을 합쳐 13억 1,480만원이 사용되는데 여기에다 의무비율 외 나머지 부문의 냉난방(27%)을 위해 별도의 EHP(399kW) 설치에 따른 기기비용(9,150만원)과 설치비(8,610만원)까지 합쳐 총 14억 9,200만원 이상의 초기투자비가 소요된다. Table 40의 지열냉난방시스템과 기존냉

난방시스템의 운전비용 분석을 비교해 보면 투자비 회수기간이 3~8년 정도가 될 것이다.

Table 40 Examination of Operational Costs of Geothermal System and Ordinary System(Boiler & Air-conditioner)

Sortation		Ordinary System I (Diesel Boiler & Air-conditioner system)		Ordinary (LNG Boiler & Sys	Geothermal System	
		Power	Diesel	Power	LNG	Power
		Consumption	Consumption	Consumption	Consumption	Consumption
			(1)	(kwh)	$(mm^2)$	(kwh)
Summer (Air Conditioning)		204,465	-	204,465	-	151,158
Winter (Heating)		-	102,609	-	89,927	324,315
Sum (Yearly)		204,465	102,609	204,465	89,927	475,473
Operational	Price(₩)	146,794,931		81,952,968		45,911,675
costs (Yearly)	comparison	320		179		100
Installation Charge (₩1,000)		300,000		300,000		530,000
The Pay-back Period of		Approximately 2.28 years		Approximately 6.38 years		
Investment Costs in the		Compared to Diesel Boiler &		Compared to LNG Boiler &		-
Geothermal System		Air-conditioners		Air-conditioners		

본 페열회수 및 빗물 시스템의 경우에는 알루미늄 회수통 등 재료들의 가격과 별도의 기기비용과 공사비 및 설치비를 계산하여도 한 세대당 200만원이 넘지 않을 것이다. 지열냉난방시스템이 한 세대에 1,200~1,400만원정도의 초기비용이 되는 것을 생각하면 대략 1/6정도 가량 되는 비용이다.

Table 41 Probable Cost of Our System

List of Items	Amount	Price(₩)
Cover of Rainwater Recovery Container	1	56,000
Aluminum Rainwater Recovery Container over outdoor unit of an air-conditioner	1	80,000
Aluminum Rainwater  Recovery Container which in Boiler	1	60,000
Sum of Stainless pipe, Copper pipe, valve	3	300,000
Pump	3	200,000
Sum of Water level sensor, Thermometer	1	150,000
Sum of Wireless transmitter, Wireless receiver	-	200,000
Sum of Construction cost, Installation cost	-	500,000
Sum	-	1,546,000

시스템을 가동하는데 전기에너지만 사용된다. 본 시스템은 연간 전기사용료가 7,900만원이고 여기에 연간 ehp 운전비에 따른 전기사용료가 3,530만원이 소요되며, 총 연간 전기사용료가 1억 1,430만원이 소요된다. 하지만 한 세대당 수위감지기와 온도측정기, 밸브 및 펌프의 작동, 무선 송수신기에 사용되는 전력을 예상하여 계산하면 동일 면적, 하루 2시간 사용, 330세대를 기준으로 연간 전기사용료가 24,969,6 20원 정도로 지열냉난방시스템보다 1/5 정도의 전기사용료가 소요된다.

Table 42 Estimated electricity cost of our system per household

List of Items	Power Consumption per hour	Operating Time	Energy Charge (₩/kwh)
Control part of the cover	70.4W	0.01	-
Pump	12.5W	0.1	-
Temperature Sensor	46~54W	1	-
water level sensor	28W	1	-
Sum of Wireless transmitter, Wireless receiver	80W x 8	1	-
Sum	Under 300kWh / 2k		

# 4. 결론

결론적으로 "실외기 폐열을 이용한 에너지 절약 시스템"은 외부에서의 리모컨 제어를 통해 자동제어가 가능하고, 특히 빗물 활용을 이용하여 버려지는 자원에 중점을 둔 시스템이다. 본 설계의 시스템은 기존 실외기에서 발생하는 고열로 인한 화재와 실외기 성능이 떨어지는 문제점을 개선하였다. 또한 아파트 옥상에 설치된 빗물회수통 및 생활 용수 등을 통해 물을 공급하여 건물 외벽에 부착된 실외기뿐만 아니라 내부에 설치되어 있는 실외기에도 적용이 가능한 방식으로 가정용에 국한되는 것이 아닌, 범사회적으로의 적용을 기대할 수 있다. 또한 서론에서 이야기했던 데이터 센터의 폐열을 회수하는 과정에서의 에어컨 실외기 시스템에도 적용할 수 있어 관련 사업으로의 확장도 기대할 수 있다. 강수량이 많은 여름철 외의 계절에는 사용하기 어렵다는 초기 설계제안서의 제약조건을 데이터 센터와 접목시켜 계절에 상관없이 실외기 폐열을 회수할 수 있는 시스템을 구축할 수 있고 이를 통해 보일러 예열 에너지를 절감하여 미래사회의 에너지 절약에 한 발자국 더 나아가기를 기대한다.

# 후 기

빗물회수통을 이용한 폐열회수 시스템을 직접 설계하고 시뮬레이션 데이터를 도출 및 해석하면서 이와 관련한 유체역학 및 열역학 지식들을 다시금 이해할 수 있었다. 특히 열전달과 관련하여 아직 배우지 못한 ANSYS 프로그램을 팀원들과 함께 독학하여 다루면서 우리에게 필요한 데이터들을 뽑아내고 해석함을 통해 펌프와 파이프 관 내 유동, 열전도 현상에 대해 실제로 어떻게 적용하고 분석하는지 더잘 알게 되었다. IOT 시스템을 통해 자동 제어 시스템을 제작하고, 그래프 도출 과정에서는 비교적으로 코딩을 많이 접하지 않았던 기계과 학부생으로서 적지 않은 어려움에 봉착했는데, 이를 극복하고 성공했을 때의 뿌듯함은 배가 되었고, 이번 프로젝트를 통해 Python을 비롯하여 ANSYS, CAD와 같은 설계 프로그램에 대해 더 공부하고 다른 분야로도 견문을 넓힐 수 있는 계기가 되었던 것 같아 만족스럽다.

팀을 구성하여 프로젝트를 진행하면서 봉착하게 된 학부생의 수준에서 실험 구성에 대한 어려움들과 예산적 한계 등과 같은 다양한 고난이 있었지만, 협동력을 배울 수 있었고 각자의 책임감과 강점들, 또 자신 있는 분야들을 알게 되어 각자 직무선정에 대해서도 조금 더 다가갈 수 있는 계기가 되었다.

### 참고문헌

- [1] Naver, "Waste Heat", from https://terms.naver.com/entry.naver?cid=40942&docId=5758975&categoryId=32233
- [2] Kim, H. J., 2020, "Data-center that consumes Power, Utilize Waste Heat", Energy Center, from http://www.energycenter.co.kr/news/articleView.html?idxno=1106
- [3] Bertt, 2018, "Thin film converts Heat from Electronics into Energy", Berkeley News, from https://news.berkeley.edu/2018/04/16/thin-film-converts-heat-from-electronics-into-energy
- [4] Naver, "Precipitation by major countries and Precipitation per person", from https://emoo2358.tistory.com/35
- [5] Ko, B. H., 2010, "A Study on the Scheme to Activate Rainwater Use: Focused On Seoul", Unpublished Master's thesis, University of Seoul, Seoul, pp. 14 ~ 25
- [6] Park, J. M., 2019, "If you leave the Outdoor unit of an Air-conditioner in the shade, you can save 10% of the electricity.", Kookje News, from http://www.kookje.co.kr/news2011/asp/newsbody.asp?code=1600&key=20190822.22019008156
- [7] Kim, M. S., Kim, H. M. and Song, Y. H., 2017, "An Examination of Energy Saving Effect according to Indoor and Outdoor Condition using Mist Spray Outdoor Unit",대한건축학회 2017 춘계학술발표대회 논문집, 2017-04, Vol. 23, No. 1, pp. 487 ~ 488
- [8] National Fire Agency "Fire Accident Statistics", from https://www.nfds.go.kr/stat/theme.do
- [9] Korea Energy Agency, "Introduction of Geothermal Energy", from https://www.knrec.or.kr/energy/geothermal\_intro.aspx
- [10] Kang, B. C., LG Electronics, 2012, "히트펌프식 급탕장치" 공개특허 10-2012-0083139
- [11] Korea Meteorological Administration, "Precipitation Statistics in Incheon, Seoul in the summer of 2020", from https://www.weather.go.kr/w/index.do
- [12] Korea Meteorological Administration "The Average Air Temperature in Seoul in the Summer of 2020", from https://data.kma.go.kr/stcs/grnd/grndTaList.do?pgmNo=70-기상청
- [13] Phillip M. Gerhart, Andrew L. Gerhart, John I. Hochstein, 2018, "Munson's Fluid mechanics", No 8, Wiley, pp. 378~419