

고려대학교 탄소중립계획

C A R B O N N E U T R A L



2022. 3.



고려대학교

1. 들어가며	1
가. 탄소중립 추진배경	1
나. 고려대학교의 역량	7
2. 탄소중립계획 요약	9
가. 탄소중립 개념	9
나. 탄소중립과 지속가능발전목표(SDGs), 그리고 ESG(Environment, Social and Governance)	10
다. 탄소중립계획 요약	11
3. 탄소중립 세부계획	12
가. 온실가스 배출현황(2019년, 2020년) 분석	12
나. 온실가스 세부 감축계획	15
4. 흡수원 관리 및 적응	32
가. 흡수원 관리	32
나. 적응(adaptation)과 기후탄력성(resilience) 증진	34
5. 탄소중립 클러스터와 창업 활성화	36
6. 탄소중립 문화와 리더십	39
가. 탄소중립 교육 및 인력양성	39
나. 폐기물 관리	40
다. 탄소중립 문화 및 리더십	44
7. 이행체계 구축	49
붙임 1 고려대학교 온실가스 배출량 상세	51
붙임 2 에너지 효율화 기술(①~⑥) 및 탄소 제로 에너지 시스템 기술(⑦~⑧)	61
붙임 3 고려대학교 흡수원 현황	70
붙임 4 전기 충전기 종류	73
붙임 5 서울캠퍼스 건물별 분류 및 온실가스 감축 잠재량	74

표 1. 2050 탄소중립 시나리오: 2018년 대비 2050년 온실가스 배출량 총괄표	5
표 2. 2030 NDC 온실가스 부문별 감축목표(상향안)	6
표 3. 고려중앙학원 배출원별 온실가스 총배출량(2020)	12
표 4. 온실가스 배출원 분류	13
표 5. 서울캠퍼스 건물 분류 예시	16
표 6. 건물 유형 분류에 사용한 주요 결정 영향요소(major determinants)	17
표 7. 에너지 소비패턴 영향인자	20
표 8. 건물 에너지 효율 개선 통한 온실가스 배출량 저감 예측 분석 결과: 본관	22
표 9. 건물 에너지 효율 개선 통한 온실가스 배출량 저감 예측 분석 결과: 정경관	23
표 10. 건물 에너지 효율 개선 통한 온실가스 배출량 저감 예측 분석 결과: 하나스퀘어	24
표 11. 건물 에너지 효율 개선 통한 온실가스 배출량 저감 예측 분석 결과: 하나과학관	25
표 12. 건물 에너지 효율 개선 통한 온실가스 배출량 저감 예측 분석 결과: 화정체육관	26
표 13. 고려대학교 소유 차량 현황(2020)	27
표 14. 고려대학교 흡수원 현황	32
표 15. 흡수원 관리 대안 요약	32
표 16. 환경친화적 학교행사 가이드라인	47
표 17. 고려중앙학원 15개 기관 온실가스 총 배출량(2011~2020)	51
표 18. 3개 부속병원 온실가스 배출량(2019, 2020)	53
표 19. 주요 대학별 온실가스 배출량(2019, 2020)	58
표 20. 서울캠퍼스 주요 건물 온실가스 배출량(2019, 2020)	59
표 21. 서울캠퍼스 주요 건물 단위면적당 온실가스 배출량(2019, 2020)	59

그림 1. 산업화 이전 대비 관측된 전 지구 월평균 지표 온도 변화	2
그림 2. 제26차 기후변화협약 당사국 총회(COP26)	2
그림 3. 폭염일수와 온열질환자 발생의 상관관계	3
그림 4. 태풍 및 호우로 인한 연도별 피해액	3
그림 5. 1.5℃ 와 2℃ 온난화가 발생했을 때의 영향 비교	4
그림 6. 고려대학교 2030 Vision	8
그림 7. 탄소중립 개념	9
그림 8. 고려대학교 탄소중립 비전(환경-탄소중립-SDGs-ESG 연계)	10
그림 9. 온실가스 단계별 감축계획(목표연도 2045년)	11
그림 10. 고려중앙학원 온실가스 배출량 추이(2011~2020)	12
그림 11. 고려대학교 유형별 배출량 비중(2020년)	13
그림 12. 고려대학교 서울캠퍼스 배치도	14
그림 13. 고려대학교 일반 현황(2021년도 공시자료)	14
그림 14. BESTA 분석 화면	15
그림 15. 건물 유형별 통계(건물 수 기준, 창호구조/창호비/준공연도/사용 용도)	18
그림 16. 건물 에너지 소비패턴 분석 예시(건물: 국제관)	19
그림 17. 고려대학교 서울캠퍼스 건물 지붕 위성사진	28
그림 18. 조치-분석-행동 사이클	31
그림 19. 고려대 탄소중립 클러스터 전략	36
그림 20. 크림슨 창업지원단 조직 및 주요업무	38
그림 21. 고려대학교 폐기물 발생 및 처리 현황(2013.01.~2021.10.)	40
그림 22. 일회용컵 분리수거함 예시(좌) 및 자원순환 사이클(우)	42
그림 23. 플라즈마 가스화를 이용한 복합사이클 에너지 회수 모델링 예시	43
그림 24. 서울캠퍼스 주차장 현황(인문사회계/자연계/녹지)	44
그림 25. 전기차 전환 추진 계획(현재~2035)	45

그림 26. 고려대학교 물 사용량(2019~2021.10.)	46
그림 27. 고려중앙학원 온실가스 배출량 추이(2011~2020)	52
그림 28. 고려대학교 배출 유형 배출량 비중(좌: 2개의 캠퍼스, 우: 3개의 부속병원)	52
그림 29. 3개 부속병원 단위면적당 온실가스 배출량	53
그림 30. 월별 전기 사용량(2019, 2020)	54
그림 31. 주요 대학별 월별 전기사용량(2019, 2020)	54
그림 32. 주요 대학별 단위면적당 전기 사용량(2019, 2020)	55
그림 33. 주요 대학별 전기 사용량 구성 비율(2020)	55
그림 34. 월별 도시가스 사용량(2019, 2020)	56
그림 35. 주요 대학별 월별 도시가스 사용량(2019, 2020)	56
그림 36. 주요 대학별 단위면적당 도시가스 사용량(2019, 2020)	57
그림 37. 주요 대학별 도시가스 사용량 구성 비율(2020)	57
그림 38. 주요 대학별 온실가스 배출량 비율(좌: 2019년, 우: 2020년)	58
그림 39. 주요 대학별 단위면적당 온실가스 배출량(2019, 2020)	58
그림 40. 건물 유형별 통계(창호 구조)	76
그림 41. 건물 유형별 통계(창호비)	76
그림 42. 건물 유형별 통계(준공연도)	76
그림 43. 건물 유형별 통계(사용용도)	77
그림 44. 건물 에너지 소비 패턴 유형별 통계(건물의 냉난방 부하 민감도)	77
그림 45. 건물 에너지 소비 패턴 유형별 통계(기저부하)	77
그림 46. 건물 에너지 소비 패턴 유형별 통계(제어 수준)	78
그림 47. 건물 에너지 소비 패턴 유형별 통계(흡수식 냉방)	78

고려대학교 탄소중립계획

C A R B O N N E U T R A L

1

들어가며

가. 탄소중립 추진배경.....	1
나. 고려대학교의 역량.....	7



1. 들어가며



고려대학교의 연구, 재정, 집행 역량을 결집하여 2045년 이전에 탄소중립을 실현한다. 탄소중립은 학교운영 전반의 근본적 변화를 요구하며, 대학교 최고의사결정자의 지속적인 관심 그리고 교수, 교직원, 학생 등 모든 구성원들의 적극적인 참여가 있어야 실현 가능하다.

가 탄소중립 추진배경

(1) 기후변화의 현실

산업혁명 이후 인간활동에서 기인한 대기중 온실가스 농도 증가는 지구표면온도¹ 상승과 기후변화를 야기하였다. 그 결과 지구촌 곳곳에서 해수면 상승, 집중호우, 쓰나미, 폭염 등 다양한 이상(異常)기후 현상이 발생하고 있다. 이상기후가 유발하는 막대한 재산적 피해와 함께 생물다양성의 급격한 파괴와 생태계의 붕괴(collapse of ecosystems)를 우려하는 목소리가 커지고 있다. 우리가 알지 못하는 기후변화의 임계점(threshold)을 넘을 경우 상상하기 어려운 악영향이 발생할 수 있다는 과학자들의 암울한 전망이 있다.



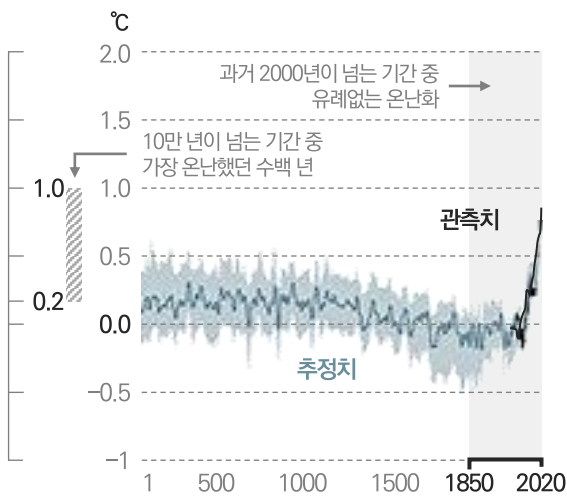
¹ Global Mean Surface Temperature (GMST)



1. 들어가며

이제 기후변화는 오늘날 인류가 해결해야하는 가장 큰 숙제가 되었다. 2021년 발간된 IPCC²(기후변화에 관한 정부간 협의체) 제6차 평가보고서(The Sixth Assessment Report, AR6)에 따르면, 산업화(1850~1900) 이전과 비교하여 2011~2020년 동안 전 지구 표면온도는 1.09°C 상승했다. 이는 대부분 화석연료 사용에 따른 대기중 온실가스 농도 증가와 이로 인한 온실효과 때문이다.

a) 지구 표면온도 변화(10년 평균) 추정치(1~2000년)와 관측치(1850~2020년)



b) 지구 표면온도 변화(연평균) 관측치와 인간 및 자연적 요인과 자연적 요인만 고려한 모의 결과(1850~2020년)

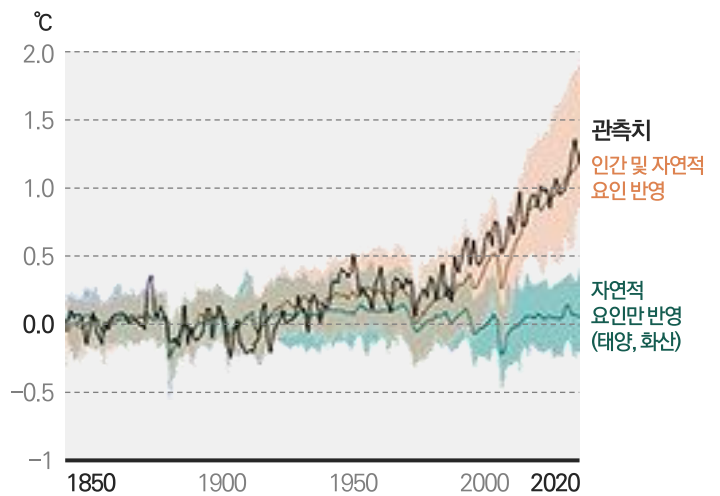


그림 1 | 산업화 이전 대비 관측된 전 지구 지표 온도 변화

출처: 기상청. (2021). 기후변화 2021 과학적 근거 정책결정자를 위한 요약본. p.7

기후변화에 대한 국제사회의 우려 또한 커지고 있다. 2021년 11월 영국 글래스고우(Glasgow)에서 개최된 제26차 기후변화협약 당사국 총회(COP 26, Glasgow, UK)에 모인 전 세계 국가 대표단, 과학자, 민간단체 참가자 등은 지속되는 평균기온 상승에 긴박한 우려(alarm and utmost concern)를 표명하고 있다.³



그림 2 | 제26차 기후변화협약 당사국 총회(COP26)

출처: UNclimatechange(<https://www.flickr.com/photos/unfccc/sets/7215772008688594/>)

² Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)

³ Expresses alarm and utmost concern that human activities have caused around 1.1 °C of global warming to date and that impacts are already being felt in every region; (Glasgow Climate Pact)



1. 들어가며

참고 >> 이상기후 사례

2020년 발생한 미국 서부 산불은 역사상 최악의 산불이다. 3개월에 걸친 산불로 총 33,145km²의 면적이 불에 탔다. 산불의 원인으로 학자들은 2020년에 발생한 슈퍼 라니냐(La Niña)⁴를 꼽는다. 라니냐로 인해 북극의 기온이 상승하여 편서풍이 강해지면서 미국 서부에 40°C 이상의 고온 건조한 기후를 만들어냈다. 한반도에 때이른 더위와 호우 등 이상현상을 야기한바 있다.



우리나라도 예외는 아니다. 지난 50여 년 동안 폭염일수가 증가했고, 호우일수는 증가 추이가 뚜렷하다. 폭염일수와 온열질환자 및 사망자 발생은 상관관계가 크다. 앞으로 극한 고온현상이 뚜렷이 증가하고 극한 강수현상도 현재 대비 증가할 것으로 예상된다. 태풍과 호우 발생은 경제적 피해를 기하급수적으로 증가시킨다.⁵

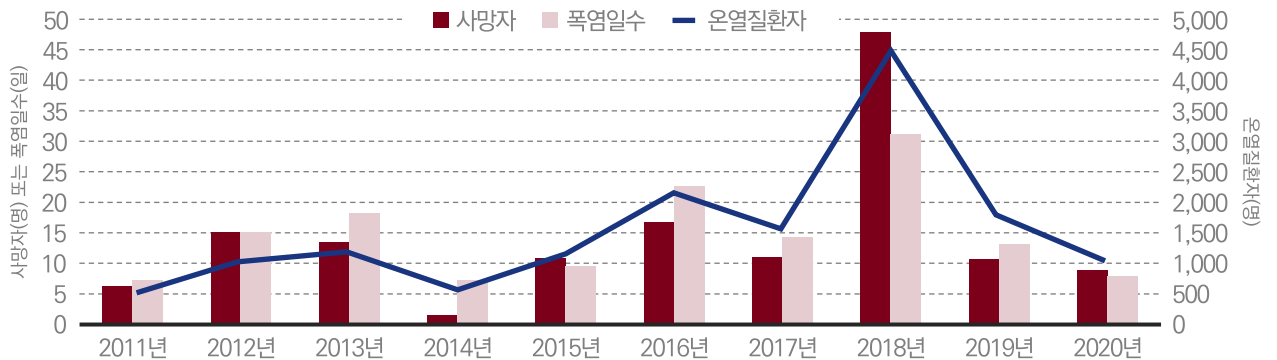


그림 3 | 폭염일수와 온열질환자 발생의 상관관계

출처: 질병관리청 (2020), 2020년도 폭염으로 인한 온열질환 신고현황 분포

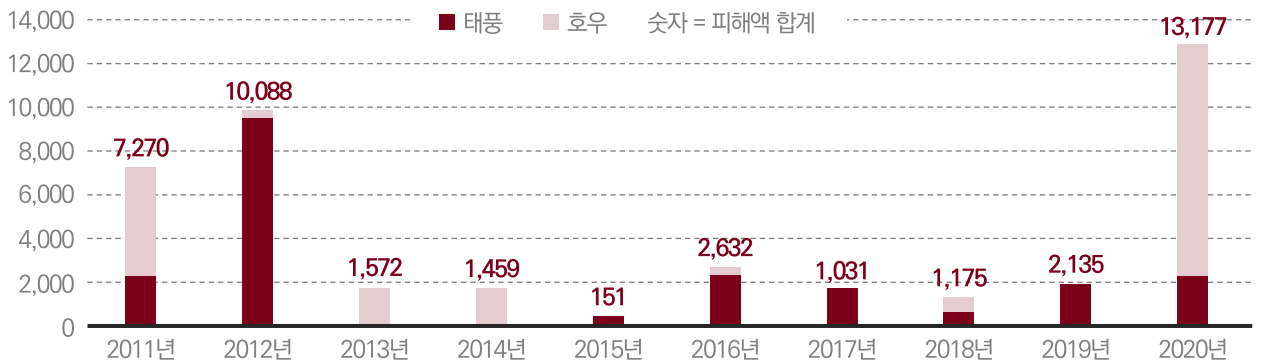


그림 4 | 태풍 및 호우로 인한 연도별 피해액

출처: 행정안전부 (2021), 2020 재해연보

⁴ La Niña: 서태평양(필리핀, 호주 등)의 해수 온도가 상승하면서 동태평양(페루, 에콰도르 등)의 수온이 낮아지는 현상

⁵ 국립기상과학원. (2021). 『남한상세 기후변화 전망보고서: SSP1-2.6/SSP5-8.5에 따른 기후변화 전망』



1. 들어가며

(2) 국제사회의 대응

2015년 12월 12일 합의 후 2016년 11월 4일에 발효된 파리협정은 기후변화에 대응하기 위한 국제사회의 약속이다. 우리나라를 비롯해서 협정에 참여한 국가는 국제사회의 일원으로서 파리협정의 규정을 충실히 이행하여야 한다. 파리협정의 규정대로 지구의 기온상승 폭을 산업화 이전 대비 2°C 훨씬 아래(well below), 나아가 1.5°C로 제한하려는 노력에 동참하여야 한다(파리협정 제2조제1항).

2018년 10월 6일, 우리나라 송도에서 승인된 IPCC 지구온난화 1.5°C 특별보고서(『Global Warming of 1.5°C』, 2018)에 따르면, 2100년에 지구 기온의 상승 폭을 1.5°C 미만으로 제한하기 위해서는 인간활동에 기인한 전 지구 CO₂ 순배출량을 2030년까지 2010년 대비 최소 45%까지 감소시키고, 2050년에는 순배출량 '0'(net zero)에 도달해야 한다.

장기 온실가스 감축목표를 1.5°C로 억제할 경우 기후변화의 영향이 훨씬 약화된다. 극한 온난일, 극한 한랭야, 해수면 높이, 생태계(산호초), 어획량, 종다양성 감소 등 인간계와 자연계 전반에 걸쳐 피해가 줄어든다. 이 사실은 제26차 글래스고우 당사국총회에서 다시 한번 확인되었다.⁶

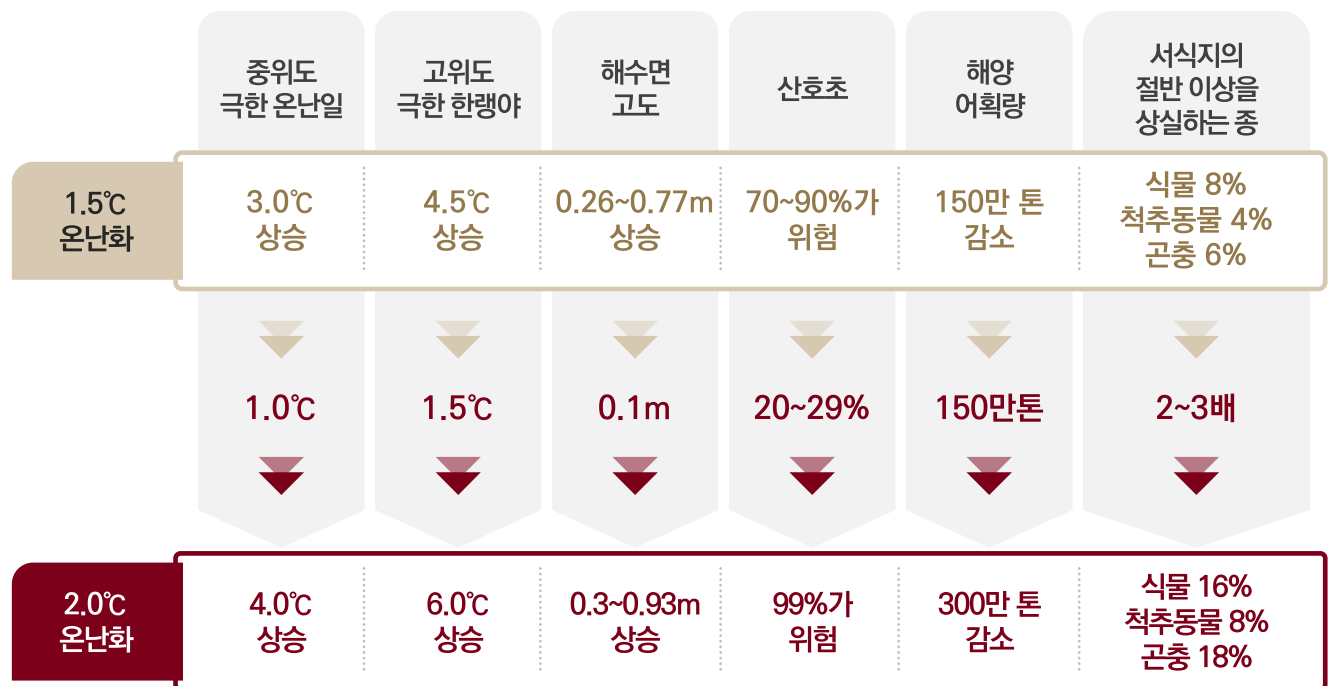


그림 5 | 1.5°C 와 2°C 온난화가 발생했을 때의 영향 비교.

출처: 기상청. (2020). 「기후변화 1.5°C 특별보고서」 해설서.

⁶ Recognizes that the impacts of climate change will be much lower at the temperature increase of 1.5 °C compared with 2 °C, and resolves to pursue efforts to limit the temperature increase to 1.5 °C (Glasgow Climate Pact).



1. 들어가며

(3) 국가의 정책방향(National Policy Context)

대한민국은 국제사회에 2050년까지 탄소중립을 달성하겠다고 약속하였다. 탄소중립은 발전, 수송, 산업, 건물, 농업, 폐기물, 흡수원 등 경제체제 전반의 혁신적 전환과 함께 사회구조, 문화, 가치관의 성찰과 변화를 요구하는 과제이다.

» 2050 탄소중립 선언(2020. 10. 28. 대통령 시정연설)

3대 정책방향과 10대 과제를 이행하여 2050년까지 탄소중립을 실현한다. 이를 실현하기 위한 그린뉴딜은 코로나19로 인한 경제적 어려움의 회복과 온실가스 감축이라는 목표를 동시에 달성하기 위한 정부의 재정투입 사업이다.

표 1 2050 탄소중립 시나리오: 2018년 대비 2050년 온실가스 배출량 총괄표

- A안** 화력발전 전면 중단, 수전해 수소(그린 수소) 생산 등 온실가스 배출을 최대한 줄여 순배출 제로 달성
- B안** A안보다 온실가스 배출량이 많으나 CCUS 등을 적극 활용하여 순배출 제로 달성

(단위: 백만톤CO₂-eq)

구분	부문	2018년	A안	B안
	배출량	686.3	0	0
배출	전환	269.6	0	20.7
	산업	260.5	51.1	51.1
	건물	52.1	6.2	6.2
	수송	98.1	2.8	9.2
	농축수산	24.7	15.4	15.4
	폐기물	17.1	4.4	4.4
	수소	-	0	9
	탈루	5.6	0.5	1.3
흡수 및 제거	흡수원	-41.3	-25.3	-25.3
	이산화탄소 포집 및 저장·활용(CCUS)	-	-55.1	-84.6
	직접공기포집(DAC)	-	-	-7.4

출처: 2050 탄소중립시나리오. (2021). 2050탄소중립위원회, p.32 표 3-2

» 기후위기 대응을 위한 탄소중립 녹색성장 기본법(탄소중립기본법) 제정(2021.9.24.)

기후위기 대응의 기본원칙을 ‘세대간 형평과 지속가능발전의 원칙’, ‘과학적 분석과 예측에 기반한 포괄적 감축과 적응’, ‘기후위기의 책임과 이익의 균형 분배(기후정의)’, ‘오염자부담 원칙’, ‘민주적 참여’로 정하고, 산업화 이전 대비 최대 1.5°C로 제한하기 위한 국제사회의 노력에 적극 동참한다고 규정하고 있다.



1. 들어가며

» 2030 국가결정기여 온실가스 감축목표(NDC)⁷ 상향(2021. 12)

파리협정에 따른 국가의 온실가스 감축목표를 2018년(728백만tCO₂-eq⁸) 대비 40%(291백만tCO₂-eq) 감축으로 상향하였다. 종전 목표인 18년 대비 26.3% 보다 크게 상향된 것이다. 연평균 감축률 4.17%/년으로 EU, 미국, 일본 등 주요국에 비해 도전적인 목표이다(2021.11.18. 관계부처 합동).

표 2 2030 NDC 온실가스 부문별 감축목표(상향안)

(단위: 백만tCO₂-eq)

구분	부문	2018년	2030 NDC 상향안	2018년 대비 감축률
배출량		727.6	436.6	40%
배출	전환	269.6	149.9	44.4%
	산업	260.5	222.6	14.5%
	건물	52.1	35.0	32.8%
	수송	98.1	61.0	37.8%
	농축수산	24.7	18.0	27.1%
	폐기물	17.1	9.1	46.8%
	수소	-	7.6	
	기타(탈루 등)	5.6	3.9	30%
흡수	흡수원	-41.3	-26.7	
	CCUS		-10.3	
	국외 감축		-33.5	

출처: 관계부처 합동. (2021). 2030 국가 온실가스 감축목표(NDC) 상향안.

기후위기 극복이라는 시대적, 지구적 과제 해결에 동참하기 위해 탄소중립 목표설정과 실행이 필요하다. 이는 탄소중립법과 온실가스 감축목표(NDC) 상향 등 국가의 감축노력에 부합된다. 탄소중립과 감축목표 상향은 모든 사회주체의 연대와 협력, 그리고 이 과정에서 시너지를 만들어 낼 때 가능하다. 이에 대한민국 리더 대학인 고려대학교가 중심 역할을 해야 한다.

⁷ NDC(Nationally Determined Contribution)는 파리협정(제4조)에 따라 지구적 온실가스 감축에 기여하기 위하여 5년 단위로 국가가 제출하는 온실가스 감축목표이다.

⁸ Carbon dioxide equivalent emission. 온실가스 배출량을 대표적인 온실가스인 이산화탄소로 환산한 양. 배출량×온난화지수(GWP)

⁹ CCUS(Carbon Capture, Utilization, Storage): 이산화탄소 포집, 저장, 활용 기술



1. 들어가며

나 고려대학교의 역량

» 대학의 사명

대학은 교육, 연구, 봉사의 사명을 가지고 있다. 고려대학교는 지속가능한 세계를 만드는데 기여하는 지식, 기술, 이해를 갖춘 인재를 양성하고자 한다. 또한, 지구촌과 우리 사회가 당면한 기후위기에 해법을 제공하는 창의적이고 야심적인(ambitious) 연구에 매진할 것이다. 고려대학교는 탄소중립시대에 탁월한 환경성과(outstanding environmental performance)로 타의 모범이 되고자 한다.

» 고려대학교 건학이념

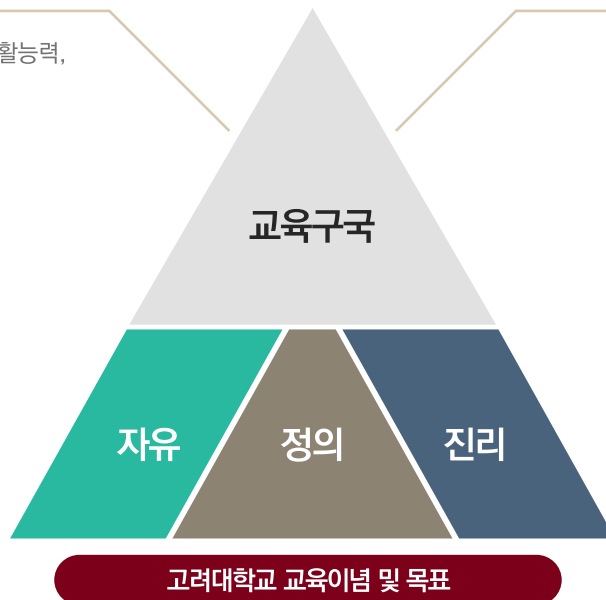
고려대학교는 우리 민족과 국가가 처한 위기의 시대마다 교육구국(教育救國)의 건학이념에 충실해 왔다. 인류와 생태계의 생존을 위협하는 기후변화에 직면한 지금 지구촌과 국가가 요구하는 바가 무엇인지는 명확하다. 화석연료(탄소) 기반의 세계에서 최고수준의 제조업 역량을 일구어 낸 대한민국에게 탈(脫)탄소, 탄소중립사회로의 전환은 국가경제에 심대한 영향을 미치는 도전이자 위기이다. 이에 고려대학교는 다시 한번 구국의 자세로 앞장서고자 한다.

국가 교육이념과 목표

홍익인간 육성, 인격도야, 자주적 생활능력,
민주시민의 자질, 인간다운 삶 영위,
민주국가발전과 인류공영 실현

고등교육의 목적

인격도야, 학술의 교수와 연구
국가와 인류사회에 공헌





1. 들어가며

» 우수한 인재의 배움터이자 세계 최고 수준의 연구역량

고려대학교는 최고의 인재가 모인 교육의 장(場)이자 연구의 터전이다. 20,000명의 학부생, 9,500명의 석사/박사, 1,500명의 교수진이 학업, 교육, 연구에 열중하고 있다. 고려대학교는 2021년 영국 대학 평가기관 QS(Quacquarelli Symonds)에서 발표하는 QS 세계대학평가(QS World University Rankings)¹⁰에서 74위를 기록했으며, QS 아시아대학평가(QS Asia University Rankings)¹⁰에서는 686개 대학 중 13위, 국내 대학 2년 연속 1위를 기록했다.¹¹

고려대학교 2030 Vision

2030 Vision

창의적 미래 인재를 양성하고 세계를 변화시키는 대학

발전 목표

Global Top 50 by 2030

전략 목표

KU 4.0 혁신플랫폼 고도화를 통한 지능 정보사회 선도

KU 4.0 혁신플랫폼 3대 전략



참여소통형 네트워킹 혁신

산학협력 글로벌
사회공헌



미래선도형 인프라 혁신

행정 I T
캠퍼스



창의 융합형 콘텐츠 혁신

교육 연구

그림 6 | 고려대학교 2030 Vision

출처: 기상청. (2020). 「기후변화 1.5°C 특별보고서」 해설서.

¹⁰ QS 세계대학평가 지표는 학계 평가(40%), 논문 피인용 수(20%), 교수 1인당 학생수(20%), 졸업생 평판도(10%), 외국인 교수 비율(5%), 유학생 비율(5%)에 따라 결정된다.

<https://www.topuniversities.com/university-rankings/world-university-rankings/2022>
<https://www.topuniversities.com/universities/korea-university>

¹¹ 고려대, 2년 연속 QS 아시아대학평가 국내 1위 쾌거. (2021.11.05). 머니투데이
<https://theleader.mt.co.kr/articleView.html?no=2021110522277897462>

고려대학교 탄소중립계획

C A R B O N N E U T R A L

2

탄소중립계획 요약

가. 탄소중립 개념.....	9
나. 탄소중립과 지속가능발전목표(SDGs), 그리고 ESG(Environment, Social and Governance).....	10
다. 탄소중립계획 요약.....	11



2. 탄소중립계획 요약



기후변화의 현실과 국제사회의 대응, 우리나라의 정책방향을 살펴보았을 때 탄소중립은 반드시 가야 할 길이다. 대학의 기본사명과 고려대학교의 역량, 건학이념에 비추어 보면 당위성은 더욱 분명해진다.

가 탄소중립 개념

과학자들이 정의한 'Net-Zero'란 특정기간 동안 대기중으로 배출되는 인위적인 온실가스의 양과 인위적으로 제거하는 온실가스의 양이 균형을 이루는 것이다. 이때 온실가스 종류별 온실효과 정도에 따라 배출량을 다르게 산정한다. '탄소중립'이란 대기중으로 배출되는 온실가스 중 CO₂의 배출을 Net-Zero로 유지하는 것이다.¹³

대한민국 탄소중립기본법은 탄소중립을 다음과 같이 정의하고 있다.

“탄소중립”이란 대기 중에 배출·방출 또는 누출되는 온실가스의 양에서 온실가스 흡수의 양을 상쇄한 순배출량이 영(零)이 되는 상태를 말한다.

- 기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법 제2조 3호 -

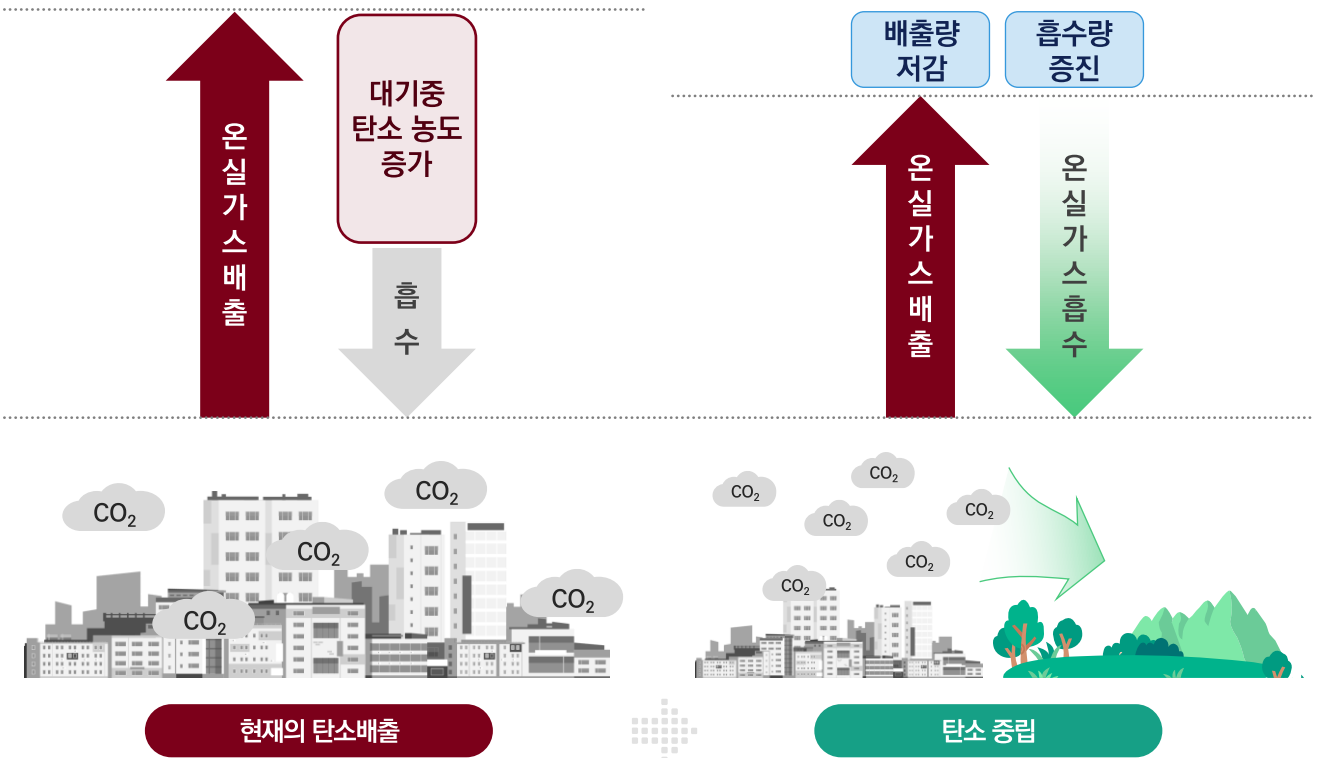


그림 7 | 탄소중립 개념

¹² 지구온난화 지수(GWP: Global Warming Potential)

¹³ IPCC. (2018). 지구온난화 1.5°C 특별보고서(Special Report on Global Warming of 1.5°C).



2. 탄소중립계획 요약

나 탄소중립과 지속가능발전목표(SDGs), 그리고 ESG(Environment, Social and Governance)

고려대학교의 탄소중립은 지속가능발전목표(Sustainable Development Goals) 및 ESG와 긴밀한 연계 하에 추진된다. 탄소중립은 SDGs 17개 목표 중 목표13(기후행동)에 해당한다. 탄소중립을 실행할 경우 목표1(빈곤 종식), 목표 3(건강과 복지), 목표7(깨끗한 에너지), 목표8(일자리와 경제성장), 목표9(산업, 혁신, 인프라), 목표11(지속가능한 도시), 목표12(지속가능한 소비와 생산), 목표14(지속가능한 해양자원 이용), 목표15(육상생태계 보전)의 실현에 직간접으로 도움을 준다.



고려대학교는 총장 직속의 ESG 위원회를 구성하여 운영하고 있다. 고려대학교는 탄소중립계획, SDGs, ESG의 비전과 목표를 교내 연구기관(예, 오정리질리언스연구원, 지속가능발전연구소), 의사결정 협의체(예, ESG위원회), 사회공헌원 간 소통, 연계, 융합 하에 추진한다.

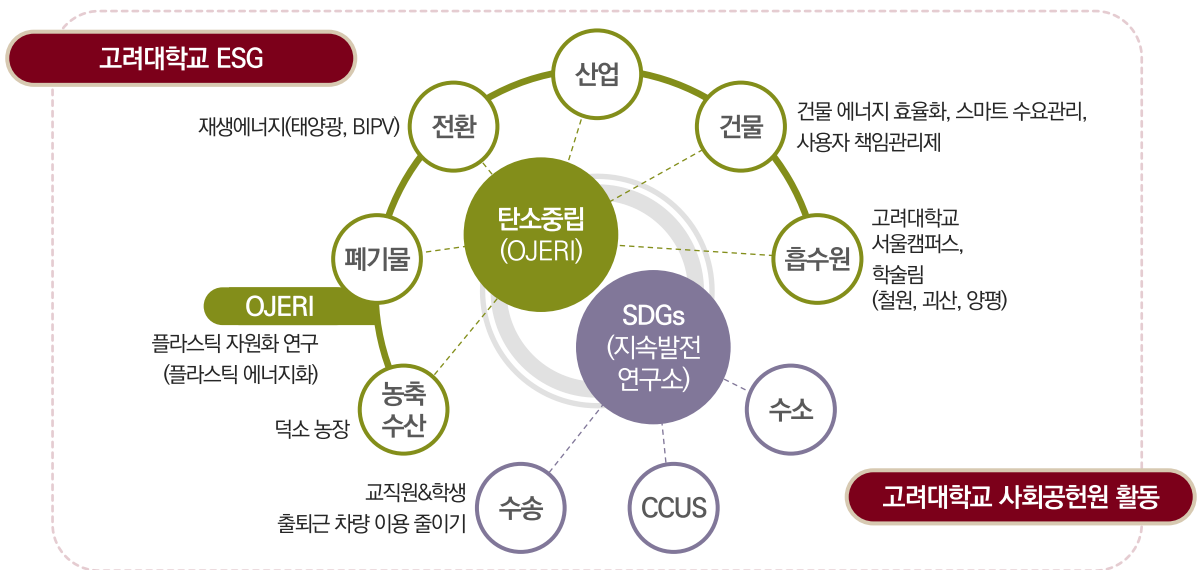


그림 8 | 고려대학교 탄소중립 비전(환경-탄소중립-SDGs-ESG 연계)



2. 탄소중립계획 요약

다 탄소중립계획 요약

고려대학교의 탄소중립은 전기사용 등에서 배출되는 온실가스의 양과 교내 흡수원에서 흡수/저장하는 탄소의 양이 균형(순배출 '0')을 이룰 때 달성된다. 탄소중립 과정은 크게 두 단계로 진행된다. 1단계인 2030년까지는 에너지 이용을 효율화해서 온실가스 배출량을 현재 배출량 기준으로 35% 줄이고, 태양광과 흡수원을 활용해서 추가로 온실가스 배출을 5% 줄인다. 1단계에서 온실가스 배출량은 40% 감소한다. 태양광 발전량은 대학 캠퍼스의 전기소비에 우선 활용하되 시간별, 계절별로 남는 전기는 지역공동체에 공급하여 지역 온실가스 배출저감에 기여하도록 한다.

2045년에서의 2단계에서는 1단계 탄소중립계획 실행을 통해 감축되고 남은 에너지 요구량을 온실가스 무배출 에너지 공급원으로 충당하는 것으로, 수소연료전지를 새로 설치하고 태양광 시설을 확대한다. 캠퍼스에 마이크로그리드 시스템(에너지저장시설 도입)을 설치하고, 이를 활용해서 추가적인 에너지 효율화를 유도하며 에너지 수요와 공급을 동기화하여 혁신적인 에너지독립과 탄소제로를 동시에 실현한다.

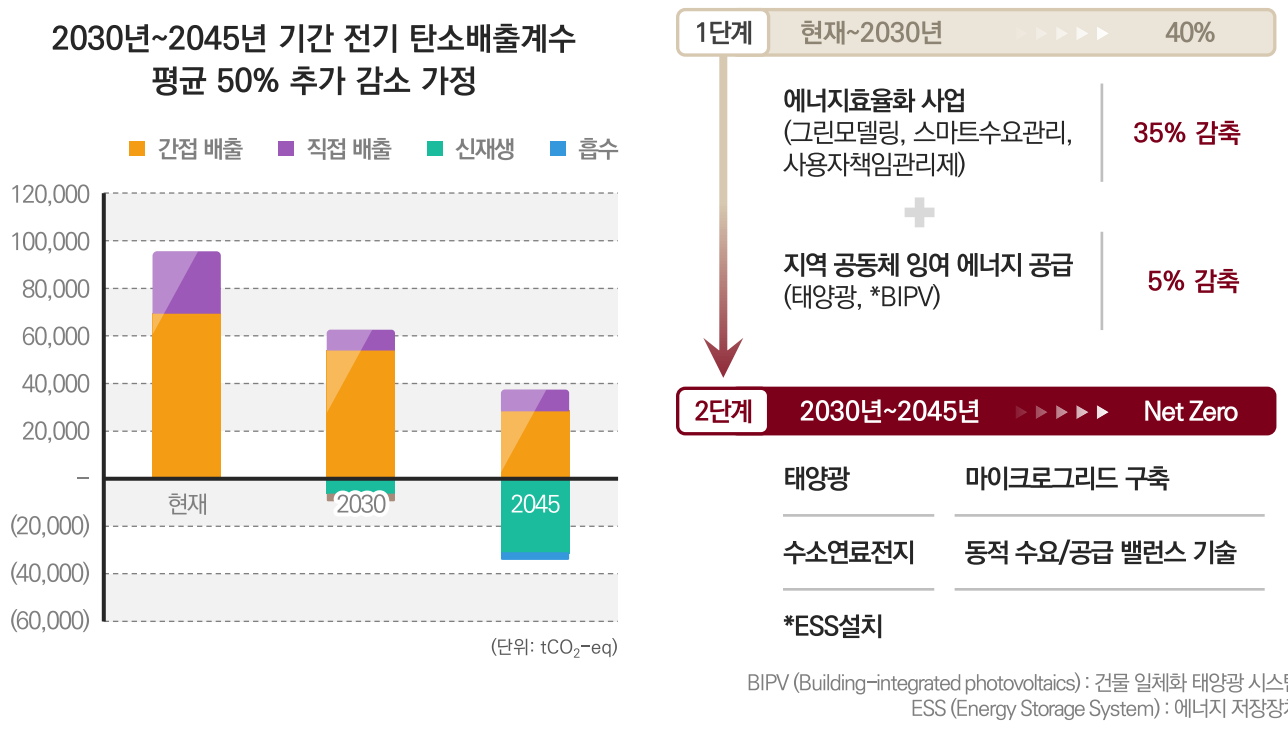


그림 9 | 온실가스 단계별 감축계획(목표연도 2045년)

고려대학교 탄소중립계획

C A R B O N N E U T R A L

3

탄소중립 세부계획

가. 온실가스 배출현황(2019년, 2020년) 분석	12
나. 온실가스 세부 감축계획	15



3. 탄소중립 세부계획

가 온실가스 배출현황(2019년, 2020년) 분석

(1) 고려대학교 총배출량 변화추이

고려대학교가 소속된 고려중앙학원은 모두 15개 기관(시설)으로 구성되어 있다. 주요 배출원은 2개의 캠퍼스(서울, 세종)와 3개 병원(안암, 구로, 안산)이다. 캠퍼스가 52%, 병원이 41%를 배출한다.

표 3 고려중앙학원 배출원별 온실가스 총배출량(2020)

구분	배출량(tCO ₂ -eq)	비고
총계	101,504(100%)	
캠퍼스	52,591(52%)	서울캠퍼스(수련원 포함) 43,704, 세종캠퍼스 8,874
의료원	42,074(41%)	안암병원 16,041, 안산병원 10,844, 구로병원 15,187
기타시설	3,124(3%)	교우장학회 2,264, 장례식장 831
중고등학교	3,715(4%)	사대부속 중고교, 중앙중고교

고려중앙학원의 전체배출량은 2014년 이후 2019년까지 연평균 2.5%씩 상승하다가 2020년에는 코로나19의 영향으로 상당히 감소(2019년 대비 약 5.9%) 하였다. 다만 안암병원과 구로병원은 2020년에도 배출량이 소폭 증가하였다

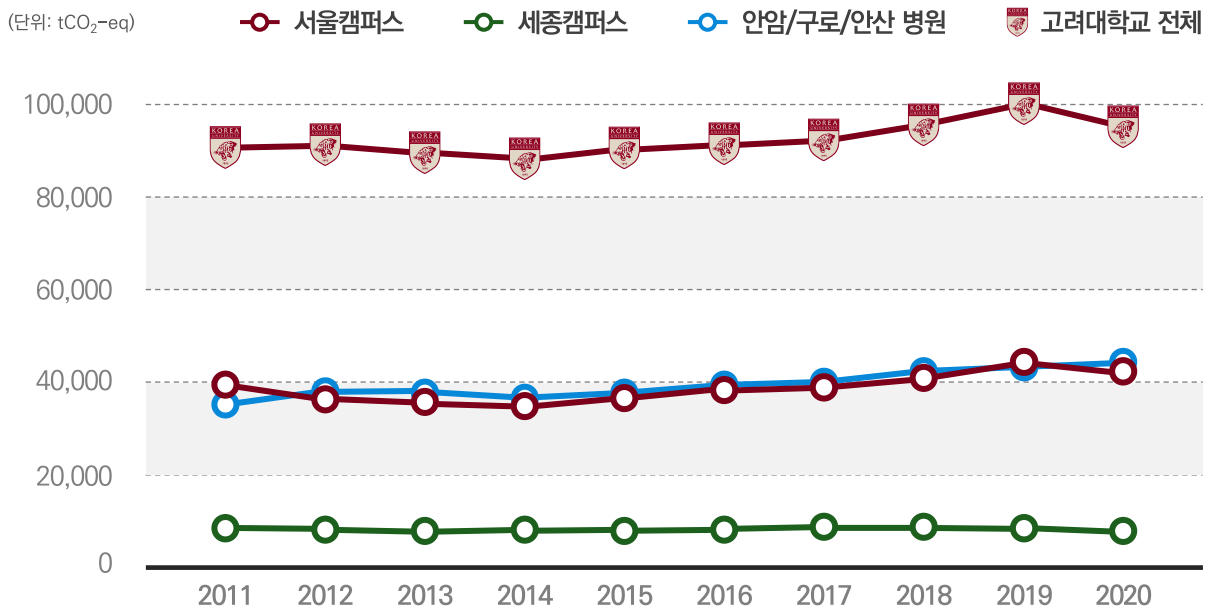


그림 10 | 고려중앙학원 온실가스 배출량 추이(2011~2020)



3. 탄소중립 세부계획

(2) 직접배출과 간접배출 비중

온실가스 배출량을 산정하는 방법으로 Scope 개념을 활용한다. Scope은 감축계획을 세우는데 유용한 분류방법이다. Scope 1(직접배출)은 고려대학교가 소유한 시설이나 장비 사용에서 직접배출되는 온실가스로 대학의 직접적인 관리책임 하에 있다. 이에 비해 전기나 스팀(Scope 2, 간접배출)은 대학의 외부에 있는 시설(예, 발전소)에서 배출하므로 대학은 전기 사용량을 줄임으로써 간접적으로 온실가스 배출을 줄일 수 있다. Scope 3(간접배출)은 대학이 소유, 운영, 통제하지 못하는 배출원이다. 학교에서 사용하는 물품, 교직원의 차량이용 등이 이에 해당한다.

고려대학교가 산정하는 온실가스 배출량은 Scope 1과 Scope 2인데, 이 중 22%가 직접배출(Scope 1)이고 나머지 78%가 간접배출(Scope 2)이다. Scope 3에 해당하는 간접배출은 탄소중립 문화와 기후리더십 활동을 통해 줄여 나가도록 한다.

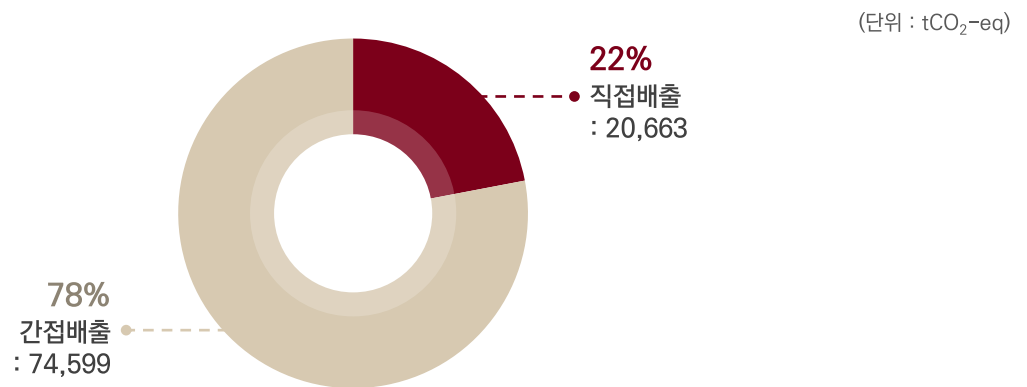


그림 11 | 고려대학교 유형별 배출량 비중(2020년)

표 4 온실가스 배출원 분류

구분	내용
Scope 1 직접배출	배출원(대학)내 냉난방이나 에너지 이용을 목적으로 연료를 연소할 때 배출하는 온실가스(고정연소), 학교가 소유한 차량 등 이동수단이 배출하는 온실가스(이동연소), 공장의 공정에서 배출/누출하는 온실가스
Scope 2 간접배출	학교에서 구입하여 사용하는 전기와 스팀을 만드는 과정에서 외부 생산시설에서 발생하는 온실가스. 예를 들면, 모든 전기사설이 소비하는 전기는 발전소에서 연료를 연소하여 생산하고 이 과정에서 배출되는 온실가스
Scope 3 간접배출	Scope 1과 2에 속하지 않으면서 배출원의 활동에 수반되어 발생하는 모든 온실가스. 학생, 교직원의 출퇴근, 교내에서 발생하는 폐기물의 외부처리과정 및 학교에서 구매하는 각종 물품의 생산과정에서 배출되는 온실가스 지리적 경계를 벗어난 배출원이나 실질적인 배출량 관리권한을 가지는 배출원(예를 들면, 지방의 연수원, 휴양지 등)



3. 탄소중립 세부계획

참고 >> 고려대학교 서울캠퍼스 배치

분석의 편의를 위해 서울캠퍼스를 문과대학, 경영·사범대학, 생명과학대학, 공과대학, 부속시설로 구분한다.

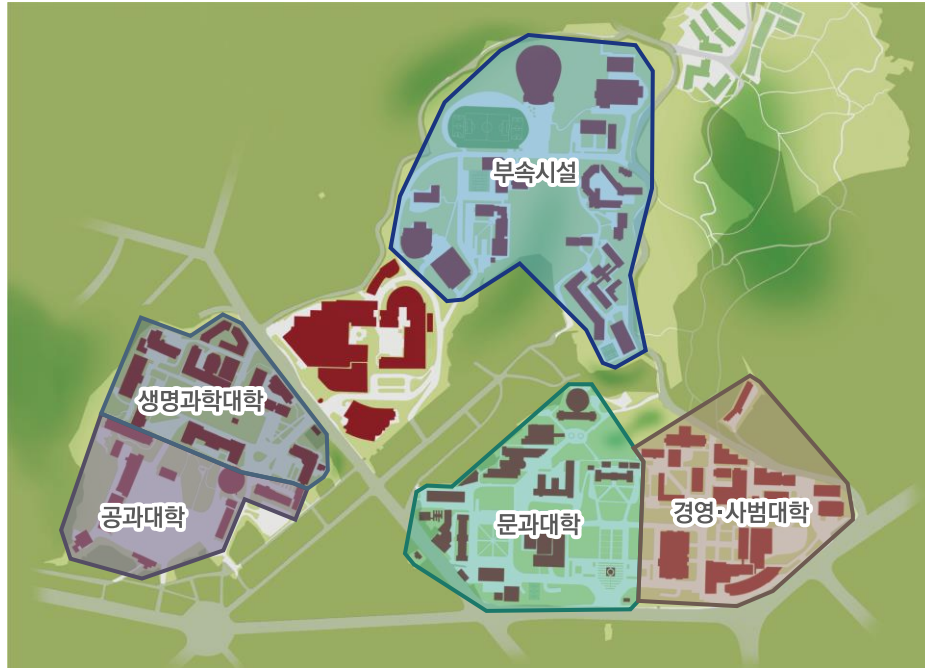


그림 12 | 고려대학교 서울캠퍼스 배치도

>> 고려대학교 일반현황

고려대학교의 전체 면적은 1,465,463m²이다. 전체 학생 수는 총 37,053명이며, 이중 서울캠퍼스가 약 80%를 차지한다.

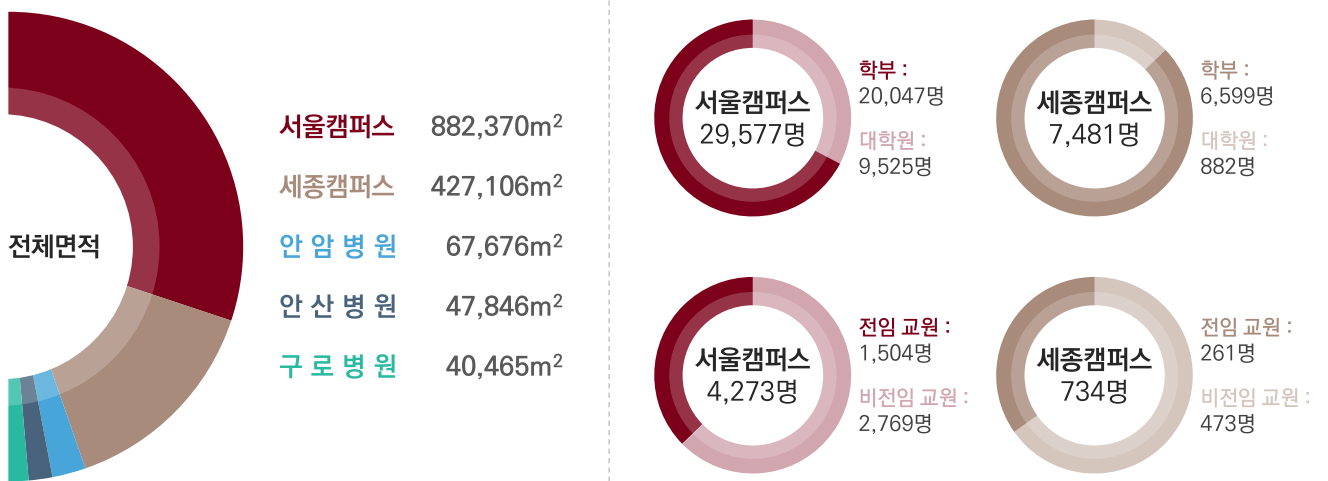


그림 13 | 고려대학교 일반 현황(2021년도 공시자료)



3. 탄소중립 세부계획

나 온실가스 세부 감축계획

고려대학교의 온실가스(99% 이상)는 건물의 에너지(전기와 가스) 소비과정에서 배출된다. 이동배출원(대학 소유 차량)에서 배출되는 온실가스의 양은 매우 적다. 따라서 건물에서 사용하는 에너지를 어떠한 방법으로 제로화 할지가 온실가스 감축과 탄소중립 실현의 관건이다. 감축 전략은 투자 대비 효과를 고려하여 상용화되고 검증된 기술들을 우선 도입하고 미래의 기술들은 시간을 두고 안정성을 평가하면서 본격적인 도입시기를 결정한다.

(1) 1단계 감축계획(2022~2030)

탄소중립계획의 1단계(2030년까지)에서는 건물의 에너지 효율을 극대화하여 건물에서 낭비하는 에너지의 양을 최대한 줄인다. 에너지 효율화 수단은 비용 대비 절감효과가 가장 높은 것으로 선정하도록 한다. 에너지 효율 개선의 잠재량을 파악하기 위해 서울캠퍼스에 위치한 건물의 유형과 에너지 사용패턴을 건물 구조, 용도, 에너지 소비 특성별로 분석하고, 그 결과를 바탕으로 건물의 특성에 맞는 에너지 효율기술을 우선순위에 따라 선택한다. 건물 별로 도입되는 에너지 효율기술의 성능에 따른 감축 잠재량은 그린 리모델링 사용 에너지 성능 진단 툴인 BESTA¹⁴를 활용하여 시뮬레이션 기법으로 산정한다.



건축물명		본관	
소재지	시도	시군구	읍면동
건축일	허가일	1934-08-31	사용승인일
연관류	외벽	1.05	0.24
	지붕	1.05	0.15
	바닥	1.74	0.20
	창	3.49	1.30
	단	3.49	1.30
주용도	건축구조		
면적	대지면적		m ²
	건축면적	948.76	m ²
	연면적	3,223.14	m ²
	유도사용률	100%	연면적대비 실사용률 입력
층수 및 높이	지상층수	6	층
	높이		m
창	창호성능	2. 복층창	SHGC
	창유형	2. 띠창_Band	0.65
			창면적비
			50%
설비	냉방	1. 터보식	시스템 COP
			3.0
	공조	1. 정동량	시스템 효율(COP)
			0.9
	제어방식	1. 중앙제어	폐열회수
			3. 없음
			1. 제어없음
기타부하사용비율		5%	(급탕, 환기, EV등)

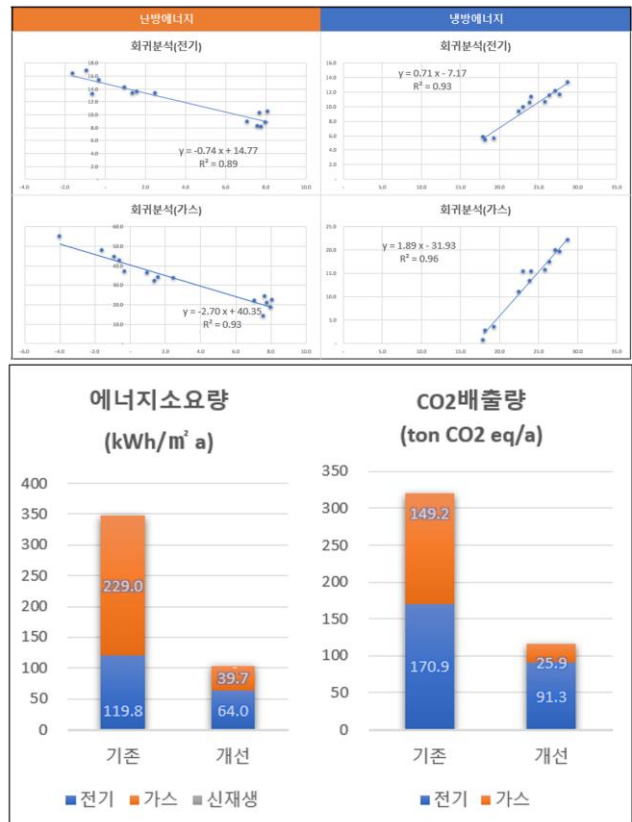


그림 14 | BESTA 분석 화면

¹⁴ 건물에너지 선별검사 툴(BESTA: Building Energy Screening Test Apparatus) 건물 에너지 해석 알고리즘을 사용한 건물에너지 부하 영향인자의 민감도 분석(대한 설비공학회 2012 하계학술발표대회 논문집 pp. 892_898)과 유럽 건물 에너지 제어 시스템 절감 효과 표준 EN15232를 기반으로 개발되었다. 건물 에너지의 성능 분석과 감축 잠재량을 주요 영향인자의 정량수치를 입력하여 산출한다.



3. 탄소중립 세부계획

» 건물 유형 분석

건물 유형 구분은 건물의 에너지 성능과 소비 패턴에 영향을 주는 주요 결정 영향요소(major determinants)인 창호구조, 창호비, 건물의 노후정도, 사용 용도를 기준으로 하였다. 창호구조에 따라 공기밀폐성과 일사 차단효과가 다르므로 전면창, 차양, 틈새, 무창호 건물로 구분하였다. 외벽에서 창호의 면적 비율에 따라 전면창호, 반면창호, 무창호나 지하건물로 구분하였다.

창호 구조의 구분 기준은 일사 차폐 효과, 침기 효과 등 복합적 에너지 성능부문과 그린 리모델링시 설계와 시공측면을 고려하여 외관의 육안 관찰만으로 판단한 것이다. 보다 정밀한 에너지 성능 분석을 위해서는 세부적인 데이터 수집과 정량적 측정값을 근거로 특성 정의를 해야 할 것이다.

건물은 승인연도에 따라 건축법상 다른 기준을 적용 받는다. 오래된 건물일수록 건물의 외피 단열성이 떨어진다고 볼 수 있다. 1980년과 2013년을 기준으로 오래된 건물, 중간 건물, 새 건물로 분류하였다. 마지막으로 건물이 어떠한 용도로 쓰이는지가 중요하다. 특히, 사무실과 실험실은 에너지 사용량과 패턴이 상당히 다르다. 이에 이번 분석에서는 전체 건물을 주요 용도에 따라 업무, 연구, 강의, 실험, 기숙사, 서비스 시설로 분류하였다.

표 5 서울캠퍼스 건물 분류 예시

건물 명칭 및 사진	창호 구조	창호비	승인 연도	사용 용도
본관 	차양, 틈새	반면창	고	업무
우정정보관 	전면창	반면창	중	연구, 실험실
중앙광장 	무창호	무창호	중	서비스 시설
CJ인터내셔널하우스 	차양	반면창	중	기숙사
하나과학관 	차양	반면창	현	업무, 연구, 강의실



3. 탄소중립 세부계획

표 6 건물 유형 분류에 사용한 주요 결정 영향요소(major determinants)

구분	설명	약자	해설
창호 구조	창호의 설치 구조, 공기밀폐성, 일사 차단성과 연관된 특성	전	(전)면 창호 구조로 거의 100% 창. 밀폐성이 높음
		차	(차)양 효과가 있는 창호로 설치 구조상 안쪽으로 들어가 있어 수직 수평 차양효과.
		틈	(틈)새 바람(침기)이 많을 가능성이 있는 창틀 구조와 창호 개폐 방식이며 창호가 차양없이 햇빛에 노출된 구조
		무	(무) 창호가 거의 없거나 지하에 있는 건물
창호비	건물외피에서 창호가 차지하는 비율로서 창호의 비율이 크면 외부환경에 영향을 받아 겨울엔 춥고 여름엔 더운 냉난방이 취약한 건물임	전	(전)면창 구조로 창호 면적 비율이 거의 70~100%
		반	(반) 정도의 면적이 창호로 구성되어 있으며 외벽면 창호 배치가 격자 혹은 띠형.
		무	(무) 창호가 거의 없거나 지하에 있는 건물
승인 연도	건물 승인날을 기준으로 그 시기 건축법상 외피 단열 기준이 달라지는 것을 고려함.	고	1980년 1월 1일 이전
		중	1980~2013년 9월1일 사이
		현	2013년 9월 1일 ~ 현재
사용 용도	재실자가 사용하는 시간과 밀도에 따라 전기 및 가스 소비량이 정해짐. 대학 건물 별 주요 용도를 기준으로 가장 많은 비율부터 순서대로 조합하여 건물 특성을 정의(예, 연구실과 강의실이 있고 실험실이 있는 경우 '연강실')	업	업무 위주 (09:00~18:00, 주 5일 근무)
		연	연구실(교수 및 대학원생 사용 공간. 대개 주 5일 이상 불규칙함)
		강	강의실(09:00~18:00 주 5일, 방학기간 사용안함)
		실	실험실(고용량 전기 소비, 24 시간 운영)
		기	기숙사 (방학 중 거주율 감소)
		서	서비스 시설(06:00~24:00 혹은 24시간) 도서관, 학습실



3. 탄소중립 세부계획

캠퍼스 내 건물들의 유형별 통계는 다음과 같다.

- 1) 창호구조의 경우 전면창 17%, 차양 18%, 틈새 61%로 나타났다.
- 2) 건물의 창호비율을 보면 과반수 이상(60%)의 건물이 반(半)면창 형태로 되어 있고, 에너지 효율이 낮은 전면창은 28%이다.
- 3) 대부분의 건물(71%)이 1980년과 2013년 사이에 준공된 건물이며, 오래된 건물(1980년 이전 준공)이 16%이고 비교적 신축 건물(2013년 이후 준공)이 13%로 나타났다.
- 4) 건물의 주된 사용용도는 연구용 건물 23%, 업무용 건물 24%, 강의실 23%, 실험실 13%, 기숙사 6%, 도서관과 같은 서비스시설이 11%이다.

건물 유형 분석의 세부 내용은 붙임 5를 참고한다.

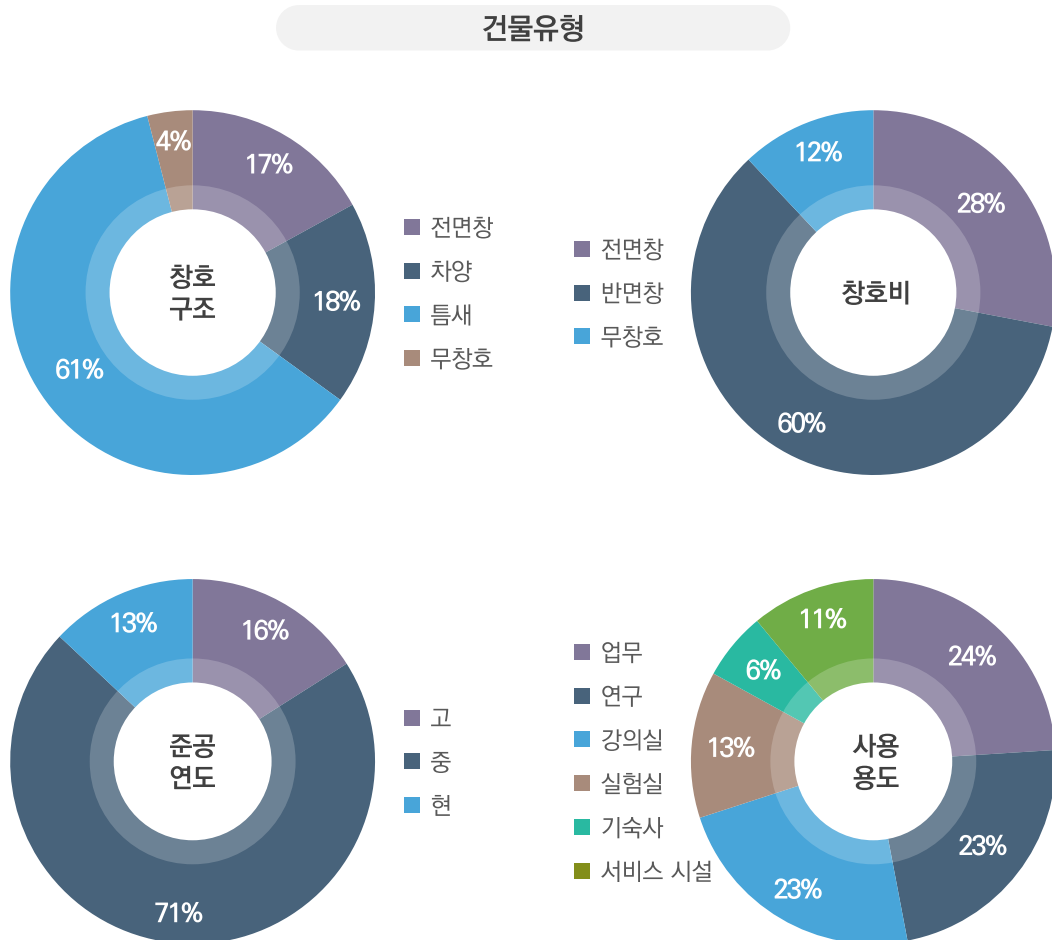


그림 15 | 건물 유형별 통계(건물 수 기준, 창호구조/창호비/준공연도/사용 용도)



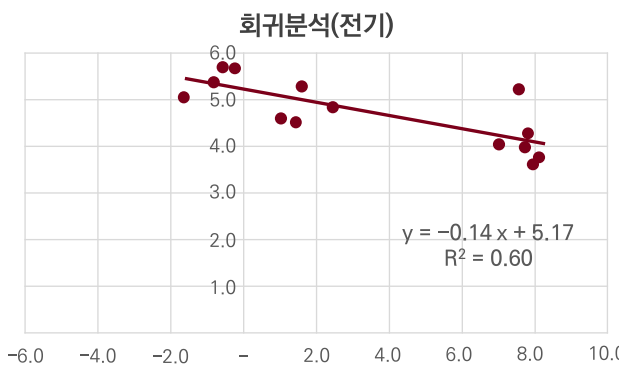
3. 탄소중립 세부계획

» 건물의 에너지 소비패턴 분석

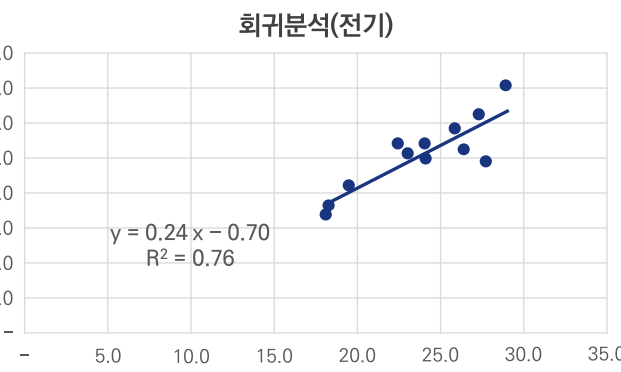
건물의 에너지 소비패턴을 분석하면 건물의 에너지 관리상태를 가늠할 수 있다. 건물의 구조가 외기온도의 변화에 민감하게 반응하는지, 에너지 시스템 관리가 잘 되고 있는지, 에너지 기저부하의 양은 얼마나 되는지 파악하는 것이다. 이번 분석에서는 건물의 냉난방 부하, 제어수준, 기저부하를 각각 세 단계로 나누었다. 월별 전기/가스 사용량을 건물의 바닥면적으로 나눈 값(바닥면적 당 사용량)을 종속변수로 하고, 외기온도를 독립변수로 하는 회귀식을 사용하였다.

예를 들면 아래 전면창호 형태, 연구실 위주 건물인 국제관의 에너지 소비패턴의 경우 회귀선의 기울기는 냉난방 부하가 외기온도에 민감하게 반응하는 정도를 나타낸다. 아래의 그림을 보면, 국제관은 전기보다 가스에 민감하게 반응하고 있으며 냉난방 에너지원으로 가스를 쓰고 있음을 알 수 있다. 측정 값이 회귀선으로부터 분산되어 있는 정도는 결정계수(R²)로 나타난다. 회귀선으로부터 적게 흩어져 있을 수록, 즉 R² 값이 높을수록 건물의 에너지 통제가 잘 되고 있는 것이다. 마지막으로 전기사용량 회귀선의 Y축 절편 값(b)이 높을수록 기저부하가 높다는 의미이다. 이 값이 클수록 기후와 관련없이 일상적으로 에너지(전기/가스)를 많이 사용하는 건물이다 (예, 실험실, 서비스시설, 데이터 센터 등).

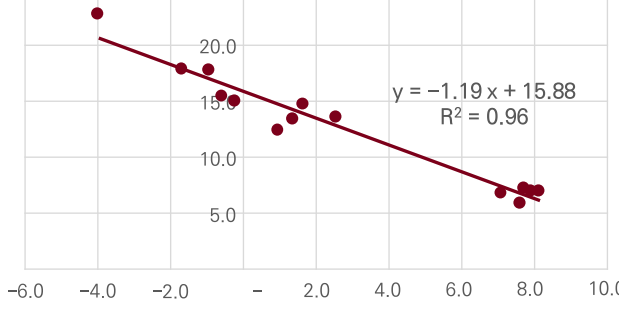
난방



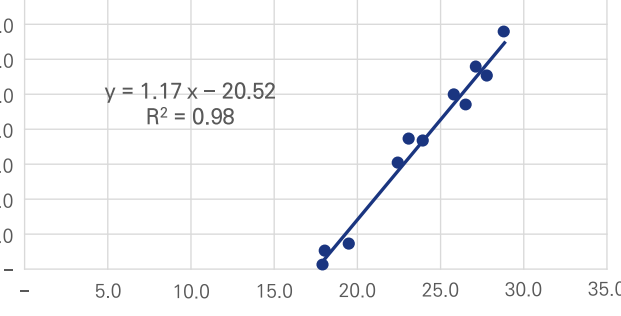
냉방



난방



냉방



X축: kWh/m² year / Y축: 월별 평균 외기온도 (°C)

그림 16 | 건물 에너지 소비패턴 분석 예시(건물: 국제관)



3. 탄소중립 세부계획

표 7 에너지 소비패턴 영향인자

영향인자	설명	분류 기준	
냉난방부하	냉난방 부하가 외기 변화에 민감하게 반응하는 건물인지 상중하로 등급화. 외기온 대비 에너지 소비량 회귀식에서 기울기의 크기에 따라 정의	민	(민)감하게 외기 기후 변화에 반응하는 건물 (a>1.0)
		중	(중)간 수준으로 외기온 변화에 반응 (0.3<a<1.0)
		무	(무) 관계없을 정도로 상관없음 (a<0.3)
제어수준	건물 제어가 외기 변화에 따라 얼마나 잘 되는가를 그 수준을 나눔. 회귀식에서 R ² 값을 기준을 나눔	상	제어 수준이 높음. (0.85~1)
		중	제어 수준 중간 (0.6~0.85)
		하	제어 수준 낮음 (0~0.6)
기저부하	전기 소비에서 기저 부하가 높은 건물들. 바닥면적당 소비량 기준으로 기저 부하 부문만으로 대상으로 계산된 것 기준으로 나눔	고	비기후 소비패턴으로 전기소비량이 일정하고 많은 경우 (5<b)
		중	(1<b<5)
		저	(b<1)
흡수식 냉방	가스 소비량이 여름에 높은 건물	흡	여름에 가스 소비(혹은 열 사용량)이 높은 건물 (a>0, R ² >0.6 (도시가스))
		전	전기 사용 냉방



3. 탄소중립 세부계획

» 에너지 효율개선기술 적용

건물의 에너지 효율개선을 위해 적용할 수 있는 기술은 여러가지이고, 기술의 비용대비 효과 역시 기술에 따라 다양하다. 건물의 에너지 성능개선 및 절감 잠재량 예측 분석에서는 그린 리모델링 사업(국토교통부)에서 적용하고 있는 에너지 효율기술의 적용여부를 검토한다. 정부 보조사업(그린 모델링)에 사용되는 기술이므로, 이미 검증되어 널리 사용되고 있는 기술로 간주할 수 있다. 본 분석에서 검토한 기술은 ‘조명’, ‘창호’, ‘건물 외피’, ‘냉난방 플랜트기기 효율개선’, ‘공조방식 변경’, ‘폐열 회수’, ‘에너지시스템 제어기술’이다(붙임 2 참조).

구체적으로 살펴보면, 에너지를 적게 사용하는 LED(Light-Emitting Diode)로 기존의 조명을 교체할 경우 최대 10%까지(전기 사용량 중 조명 기기에 사용되는 양이 20% 이상일 경우) 전기 사용량을 줄일 수 있다. 건물의 창호 교체는 건물 이용자의 만족도를 높이면서 비용효과가 큰 효율개선 방법으로 투자비의 조기 회수가 가능하다. 건물 외피 단열공사를 통해 냉난방 효율을 개선할 수 있다. 시장에 다양한 단열재가 유통 중인데 종류에 따라 단열효과와 비용에 상당한 차이가 있다. 냉난방 시스템의 효율 개선을 위해 배관을 수리하거나 플랜트 기기를 교체할 수 있다.

히트펌프(heat pump)는 공기 중의 열에너지를 활용하는 것으로 전기 보다 3~5배 고효율이며, 수열과 지열을 활용하는 방식이 효율이 더 높다. 건물의 공기순환(송풍온도와 송풍량)을 통제하는 공조방식을 바꿈으로써 에너지 효율을 높일 수 있다.

폐열회수장치는 실외로 배출하는 공기에 포함된 열에너지를 유입되는 공기에 전달함으로써 에너지를 절감한다.

건물에너지관리시스템(BEMS: Building Energy Management System)은 건물의 에너지 사용패턴을 모니터링해서 최적화된 에너지관리 방법을 적용하는 계측, 제어, 관리 통합시스템이다. BEMS의 최적 운영을 위해서는 교내 에너지 사용자 책임제가 도입되어야 한다. 특히 에너지 소비가 많은 실험설비의 경우 모니터링 장치를 별도로 설치할 필요가 있다.

건물 유형과 에너지 소비패턴에 따라 적용 가능한 기술의 우선순위를 정하여 적용하고 이에 따른 온실가스 배출 절감효과를 예측한다. 모든 감축기술을 적용할 경우 감축량이 제로에너지 건물의 기준이 되는 90%에 달하지만, 경제성을 고려하여 우선 적용가능한 주요 기술들을 건물 특성에 맞게 조합하여 절감량을 예측한다. 몇 가지 건물의 분석 사례는 다음과 같다.



3. 탄소중립 세부계획

표 8 건물 에너지 효율 개선 통한 온실가스 배출량 저감 예측 분석 결과: 본관

건물명	사진	주요 용도
본관		총장실 및 행정업무 총괄

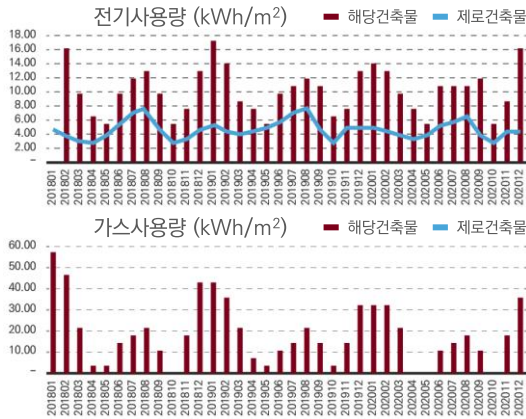
도입 에너지 효율 개선 기술

조명, 창, BEMS, 외피

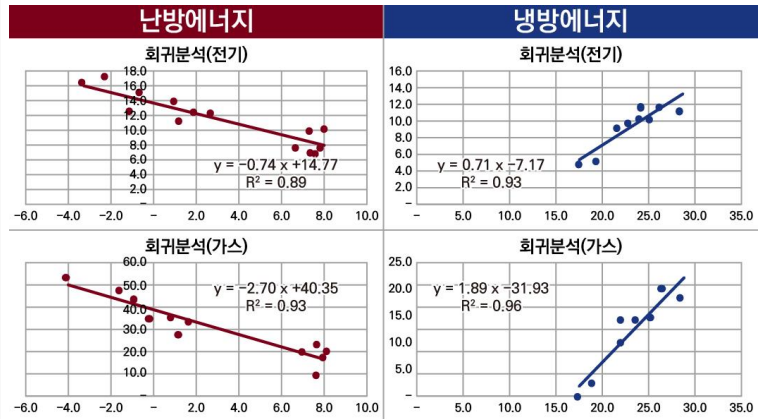
분석 코멘트

- 오래된 석조 건물로 그린리모델링 대상. 창호의 열취약성이 높음.
- 업무용 건물로 전기 소비는 적은 편으로 흡수식 냉동기 사용으로 냉난방 가스 소비량이 큼.

월별 에너지 소비량¹⁵



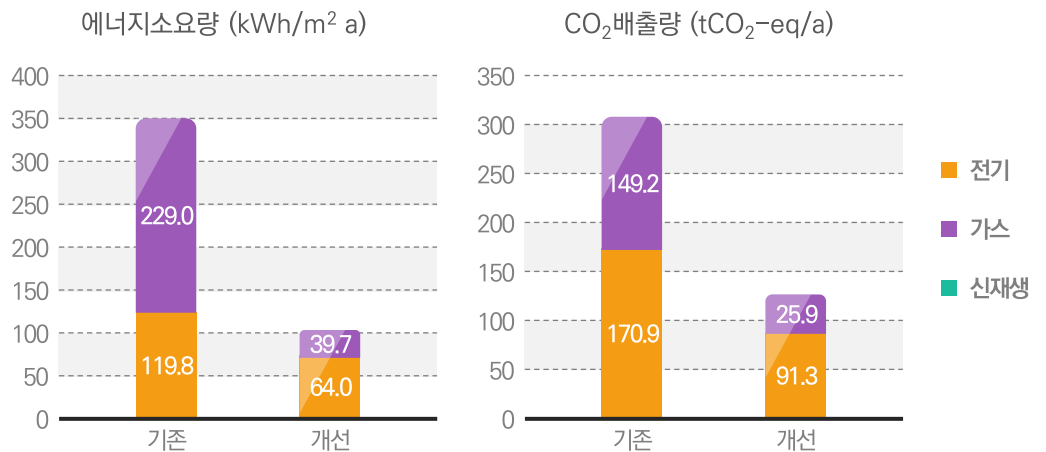
회귀분석



에너지 개선 효과에 따른 배출량 감소

62%

개선 효과 그래프



¹⁵ 벤치마크 대상 SEDC(Seoul Energy Dream Center: 서울에너지 드림센터)는 서울시 제로에너지 공공 건축물로 전기만을 사용하고 태양광 발전량으로 전기 수요를 감당하도록 설계 되었다. 비교 대상이 된 월별 전력 소비량(단위면적당)은 태양광 발전량 제외의 순수 소비량이다.

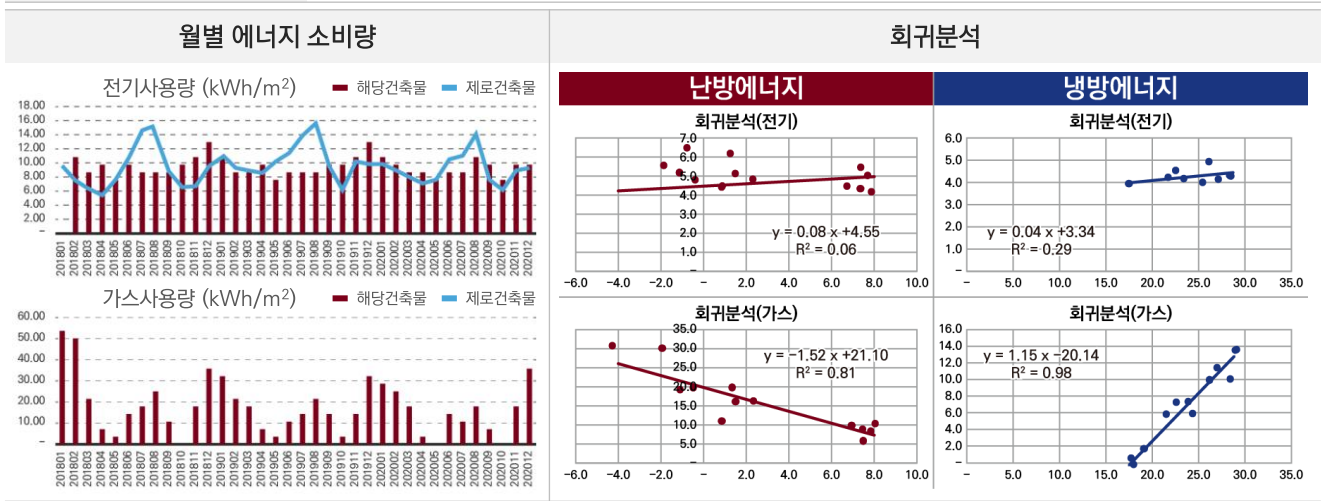


3. 탄소중립 세부계획

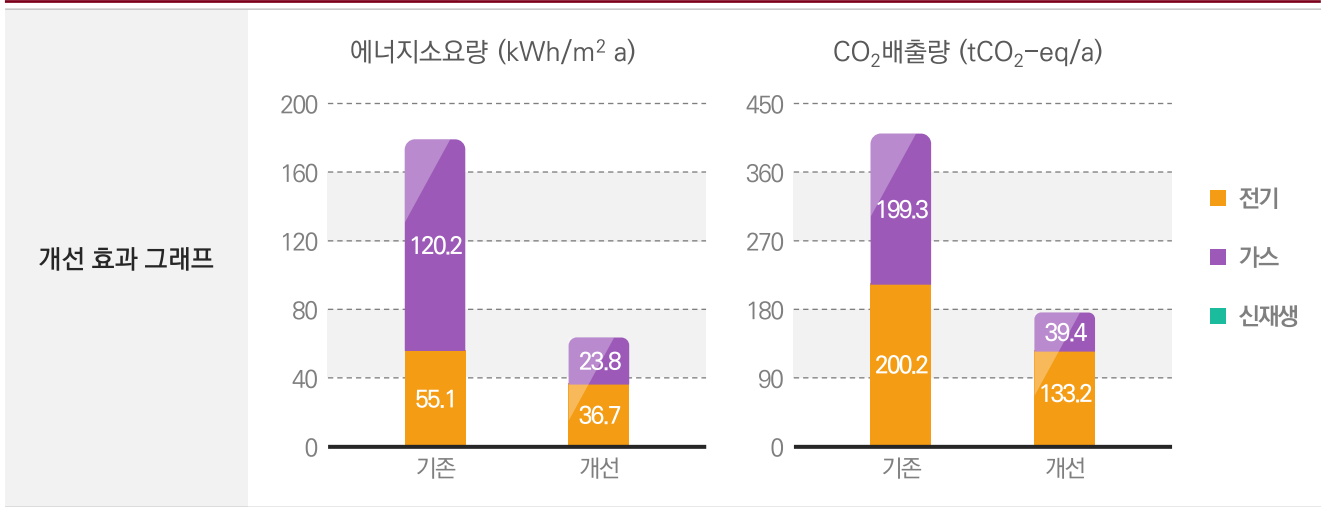
표 9 건물 에너지 효율 개선 통한 온실가스 배출량 저감 예측 분석 결과: 정경관

건물명	사진	주요 용도
정경관		정경대학/정책대학원의 학생공간 및 편의시설, 행정실, 강의실 등

도입 에너지 효율 개선 기술	조명, 창, BEMS, 외피
분석 코멘트	<ul style="list-style-type: none"> • 냉난방을 흡수식 냉동기와 보일러의 온수를 공급받아 처리함. • 그린리모델링시 가스 수요가 감소하여 전기식 히트펌프로 전환 가능.



에너지 개선 효과에 따른 배출량 감소 **55%**





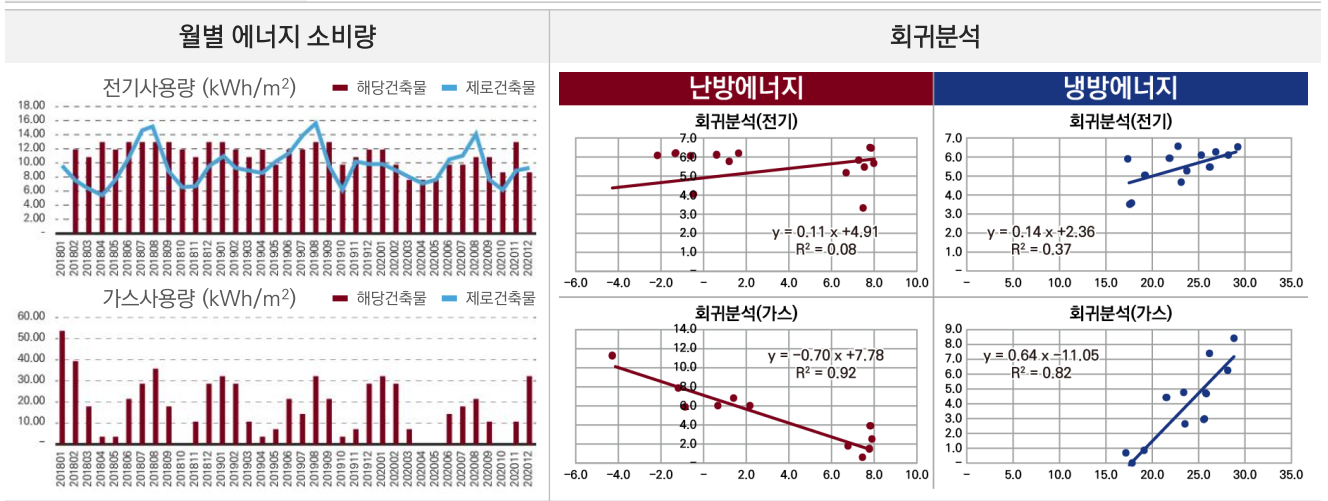
3. 탄소중립 세부계획

표 10 건물 에너지 효율 개선 통한 온실가스 배출량 저감 예측 분석 결과: 하나스퀘어

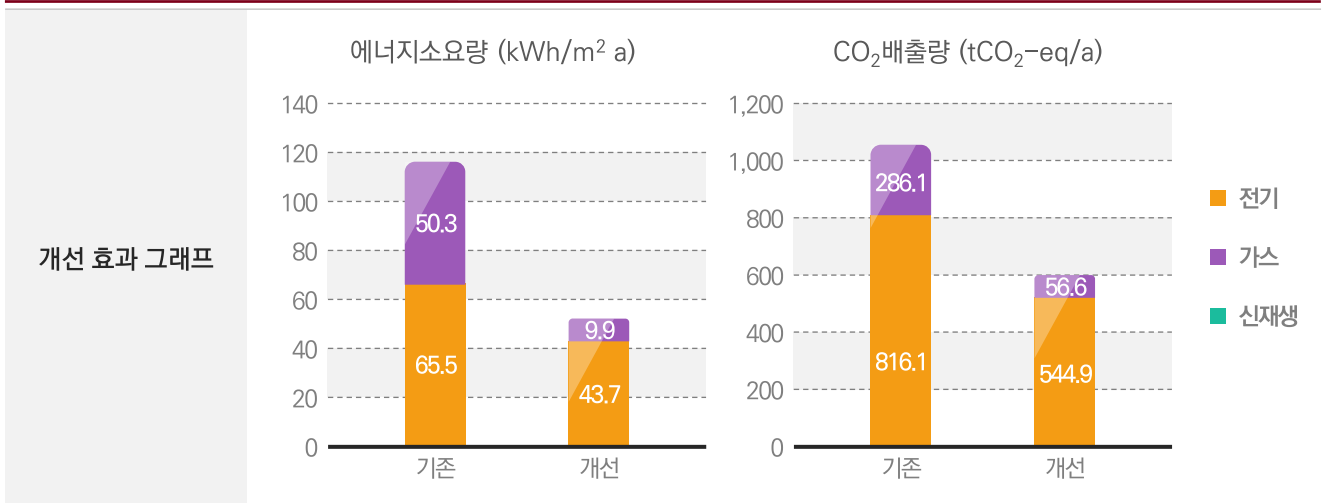
건물명	사진	주요 용도
하나스퀘어		열람실, 피트니스 센터, 도서/문구매장, 식음료업체 등

도입 에너지 효율 개선 기술	배열회수, BEMS, 조명
-----------------	----------------

분석 코멘트	<ul style="list-style-type: none"> 지하 공간으로 냉난방부하는 환기에 의한 것이 주요함. 전기 기기의 효율적 관리가 에너지 개선 효과 높음.
--------	---



에너지 개선 효과에 따른 배출량 감소 **36%**





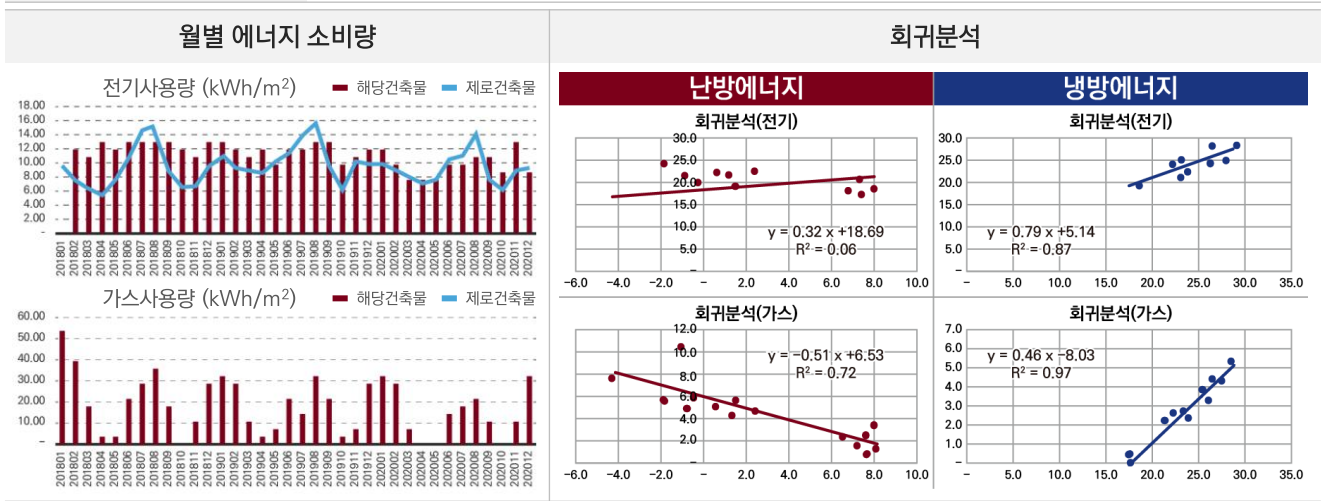
3. 탄소중립 세부계획

표 11 건물 에너지 효율 개선 통한 온실가스 배출량 저감 예측 분석 결과: 하나과학관

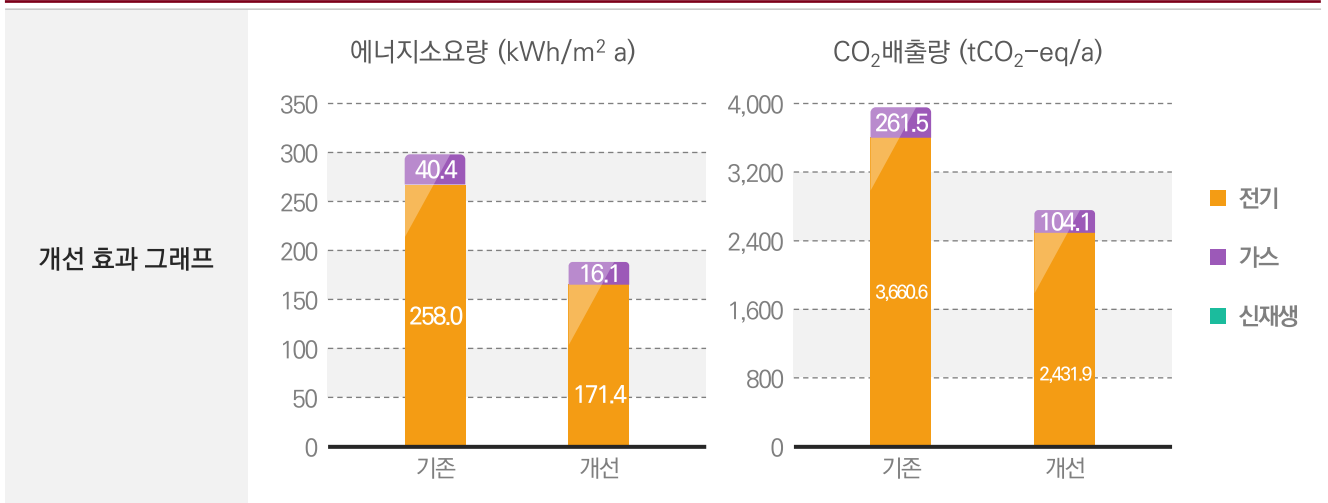
건물명	사진	주요 용도
하나과학관		보건과학대학, 생명과학대학, 이과대학의 강의실/실험실/연구실/세미나실 및 연구소 등

도입 에너지 효율 개선 기술: BEMS, 조명, 창

- 분석 코멘트
- 전기 소비량(기저부하)이 높은 건물임. 실험실 및 연구실 전기사용
 - 기자재 관리 각별히 필요. 창문 개선후 냉난방 소비량 절감 효과 큼



에너지 개선 효과에 따른 배출량 감소 **35%**





3. 탄소중립 세부계획

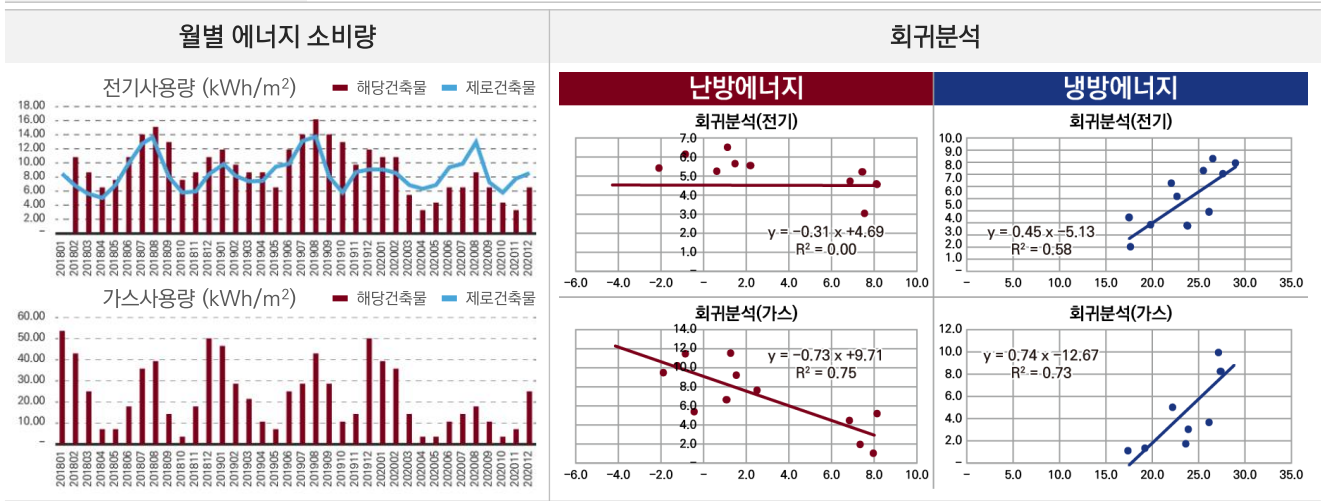
표 12 건물 에너지 효율 개선 통한 온실가스 배출량 저감 예측 분석 결과: 화정체육관

건물명	사진	주요 용도
화정체육관		주경기장, 보조경기장, 휘트니스센터, 스쿼시장, 에어로빅장, 암벽등반 및 체조연습실 등

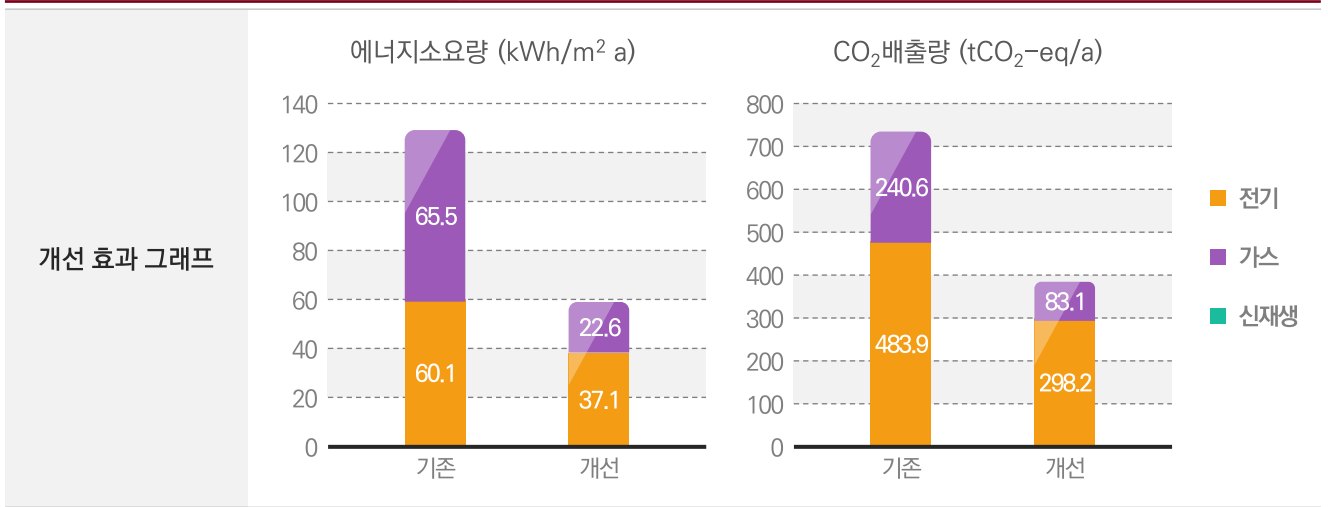
도입 에너지 효율 개선 기술: 배열회수, 창, 외피, 조명, BEMS

분석 코멘트

- 큰 공간의 건물로 환기 수요가 크므로 배열회수 시스템의 절감 효과 높음.
- 급탕 부하가 상시적으로 발생.



에너지 개선 효과에 따른 배출량 감소 **47%**





3. 탄소중립 세부계획

» 이동배출원 탄소중립계획

고려대학교에서 소유하여 운행하고 있는 자동차 현황은 아래의 표와 같다. 이들 차량은 내구연한이 도래한 시점에서 전기차로 교체한다. 전기화가 불투명한 대형트럭을 보유하고 있지 않기 때문에 차량의 전기화에 어려움은 없다.

표 13 고려대학교 소유 차량 현황(2020)

구분	대 수	사용연료
계	17	
승용차	7	휘발유
중대형 버스	3	경유
승합차	2	경유
소형 트럭(1톤, 2.5톤)	4	경유
특수자동차(로우더)		경유





3. 탄소중립 세부계획

▶ 태양광 발전시설 설치

현재 고려대학교 서울캠퍼스에는 4개의 건물(한국어교육관(30.94kW), SK미래관(4.08kW), 메디힐지구환경관(53.46kW)에 태양광 발전시설이 설치되어 있다. 이 밖에도 지열(4개소), 수열(1개소) 에너지 시설이 설치되어 있다. 서울캠퍼스 건물의 지붕면적은 8.6헥타르(85,172m²)로 이는 캠퍼스 면적(95ha)의 약 8%에 해당한다. 이론적으로는 지붕면적 전체에 태양광 발전시설의 설치가 가능하며, 지붕 이외에도 벤치 등 다양한 공간에 태양광 발전시설 설치가 가능하다.

서울캠퍼스 건물 지붕면적의 50%를 태양광 발전에 활용한다고 가정하면, 패널 당 면적이 2m² 인 패널 21,293개를 설치할 수 있다. 발전효율을 20%로 가정할 경우 연간 약 12GWh의 태양광 전기가 생산된다¹⁶. 이는 1단계 에너지 효율개선 사업 이후 남는 전기 요구량(41.7GWh)와 가스 요구량(8.3GWh)의 24%에 해당하며, 온실가스 배출량으로 환산하면 2020년 총 배출량의 14%에 해당하는 양이다. 1단계 감축 계획 상의 재생에너지 발전량 5%를 맞추기 위해서는 최소한 15,614m²(총 지붕면적의 18%) 지붕에 태양광 패널을 설치해야 한다.

건물의 지붕과 벽면에 태양광을 설치하는 방안은 패널의 각도 등으로 인해 일반 태양광 발전소 보다 전력 생산량이 크지 않다. 또한 대학 전통건축양식의 훼손이라는 점에서 수용성에 문제가 생길 수 있다. 건물일체형 태양광(BIPV)은 2030년 이후 가격 경쟁력을 갖게 될 것으로 예상되는 시점에 캠퍼스 전체의 디자인 관점에서 설치하는 방안을 검토할 필요가 있다.

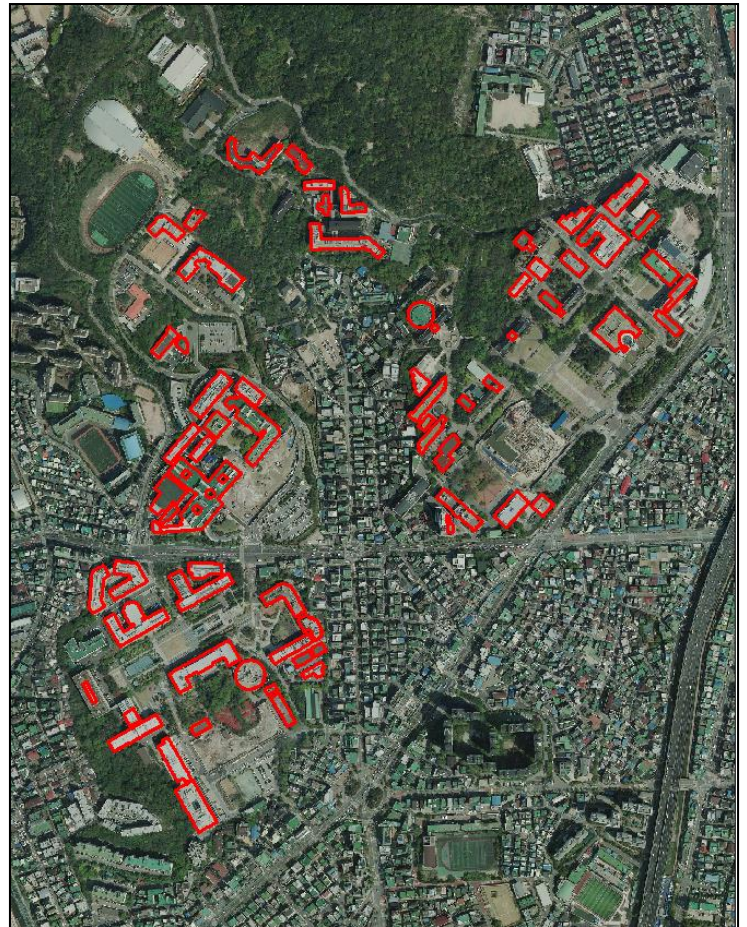


그림 17 | 고려대학교 서울캠퍼스 건물 지붕 위성사진

¹⁶ 태양광 발전 시뮬레이션은 영국 스트라스클라이드 대학의 ESRU(Energy System Research Unit)에서 개발한 Merit 이라는 툴을 사용하였다. 기상 데이터는 climate.onebuilding.org 에서 제공하는 서울 기상 데이터를 사용하였다.



3. 탄소중립 세부계획

(2) 2단계 감축계획(2031~2045)

1단계 에너지 효율 개선사업을 마치고 나면, 여전히 감축해야 할 전기 및 가스 요구량은 수소 연료전지를 활용한 열병합 발전과 동적 수요 제어를 활용하여 에너지 독립형 시스템으로 탄소제로를 구현하도록 한다.

현재 고려대학교에서는 냉난방을 위해 흡수식 냉동기를 사용하고 있다. 가스를 사용하는 흡수식 냉동기는 현재의 온실가스 배출계수가 전력 보다 우수하기 때문에 온실가스 감축을 이유로 지금 당장 이들 시설을 바꿀 필요는 없다.

1단계 이후 전기 요구 예측량은 29.7GWh 가 되나, 이후 국가적 NDC의 달성을 가정할 경우 전기의 온실가스 배출 계수는 낮아질 것을 가정한다면 유리한 조건이 될 것으로 기대한다. 한편, 에너지 소비 패턴 면에서 1단계에서 그린리모델링과 에너지 효율화 이후에 캠퍼스의 열과 전기의 수요 예측량 비율은 거의 1:1에 가깝게 된다. 이러한 열전비는 연료전지형 열병합 발전 측면에서는 최고의 운영 조건이 된다.

열병합 발전의 설치 용량은 2단계에서 추가적인 에너지 효율 개선과 마이크로그리드 시스템의 운영 전략에 따라 결정되어 진다. 용량이 작아 질 경우 연료인 수소 조달에서도 유리하게 되며 연료가 천연가스가 되는 경우에도 이산화탄소 광물화 장치 등 탄소포집 기술로 탄소제로를 구현할 수 있다.

그러나 현재 수소 연료전지는 고가이며 인프라 구축과 운영면에서 기술적으로 안정화가 덜된 기술로 상용화까지 시간이 걸린다. 1단계에서는 기술 수준과 시장 상황을 점검하고 제한적으로 캠퍼스 일부 건물에 설치하여 실증 연구를 하는 것을 고려한다. 이러한 실증 연구는 대학과 산업의 협력 프로그램으로 진행할 수 있을 것으로 기대한다.

» 전기식 히트펌프 시스템 도입

대안으로 전기식 히트펌프를 사용할 경우 기기의 성능 계수(COP)로 인해 전기 소비량으로 인한 온실가스 배출량은 현재의 가스보다는 유리해질 수 있다. 그러나 흡수식 냉동기를 사용하는 냉방기가 아닌 보일러를 사용하는 난방기에서는 외기온도가 영하로 떨어질 경우 전기식 히트펌프의 성능이 급격히 떨어지는 단점이 있다. 냉방기와 난방기에 건물별로 냉방 요구량과 난방 요구량의 양과 비율에 맞추어 설치 운영되어야 한다. 예를 들어, 운영조건이 적합한 제로에너지 건물 수준으로 그린리모델링이 된 건물은 냉난방 부하가 현격히 작아지므로 이러한 건물에 선택적으로 설치 운영 할 수 있다.

2단계 기간으로 들어가면 국가적으로 재생에너지와 원자력의 비중이 높아져 온실가스 배출계수가 낮아질 전망이다. 외기 온도가 영하로 떨어지는 환경에서 발생하는 효율 저하 문제점이 해결되고 냉난방부하가 현격히 낮아질 경우 온실가스 감축 측면에서 전기식 히트펌프의 사용은 유용하다. 이러한 대안 기술 도입에 대한 유효성 평가는 1단계 과정 중에 검토하고 2단계 수행계획에 반영 하도록 한다.



3. 탄소중립 세부계획

» 지역 공동체와의 에너지 공유

탄소중립 2단계에서는 캠퍼스 내 분산형 에너지공급시스템 설치를 하게 된다. 태양광 시스템과 더불어 복합 공급 시스템이 운영되게 되는데, 이러한 복합 시스템의 경우 시간대별, 계절별로 수요 공급의 미스매치가 발생할 수 있다. 수요 공급 미스 매칭시에 잉여 발전량은 지역 공동체에 공급 할 수 있다. 에너지를 소비만 하는 것이 아니라 전기를 공급하는 프로슈머(prosumer¹⁷) 역할을 수행할 수 있다.

2030년 이후 각종 탄소중립사업이 본격화되면 현재와 같은 중앙집중, 광역적, 단방향 전기공급망이 독립적 분산전원 시스템으로 바뀔 것이다. 고려대학교는 온실 가스 감축 1단계에서 실증적인 분산형 발전 시스템을 운영하면서 캠퍼스 탄소중립을 진행함으로써 선도적인 분산 발전 운영 리빙랩 방식의 연구를 경험할 기회를 가질 수 있다.

(3) 고려 사항

1단계 감축 계획에서 신축 건축물에 대한 효과는 분석 대상에서 제외하였다. 2023년 이후 서울시의 거의 모든 민간 건축물은 제로에너지 건물로 설계 시공 운영되어야 한다. 2023년 이후 신축 건물은 그린리모델링을 통한 온실가스 배출량 보다 훨씬 적은 양을 배출할 것임으로 이에 대한 특별한 대책은 필요하지 않게 된다. 그러나 현재 공사중인 건물이 다수 있는 고려대의 경우 이러한 건물들의 배출량 관리는 추가적으로 고려하여야 한다.

캠퍼스 구성원의 참여를 적극적으로 이끌어낼 수 있도록 수용성을 높이는 것이 중요하다. BEMS는 에너지 기기의 최적 운전을 위해 기능하나 사용자에게 에너지 절감 사업에 참여하도록 유도하기 위해서는 에너지 책임제와 정보 제공을 통한 사용자 피드백 제도가 도입되어야 한다. 특히 에너지 소비가 많은 실험 설비의 경우 모니터링 장치를 별도로 설치하여 운영할 필요가 있다.

대학의 고유 기능을 지원하는 관점에서 탄소중립 관련 연구시설물을 설치·운영하면서 실증화를 통해 기술 개발에 활용한다. 이러한 실증용 시설물은 기초 연구, 산학 협력, 스타트업 인큐베이팅을 위한 탄소중립 클러스터용 기반 시설로 사용될 수 있다.

¹⁷ Producer와 consumer의 결합으로 공급자와 소비자 역할을 동시에 수행하는 경제주체를 의미한다.



3. 탄소중립 세부계획

참고 건물 온실가스배출 관리제

개념

캠퍼스 내 건물 별로 책임자를 지정하여 에너지 사용량(온실가스 배출량)을 측정하고, 사용량을 줄이기 위한 조치를 시행하도록 한다. 건물 별로 에너지 사용의 책임소재를 분명히 함으로써 형태 개선과 에너지의 효율적 사용을 실현한다.

방법

건물 별, 시설 별, 공간 별로 에너지책임센터(EAC: Energy Accountability Center)를 설치/운영한다. EAC 별 에너지 책임할당의 범위를 정하고 에너지 소비(생산)량을 측정하여 관리의 효율정도를 정량적으로 평가한다. 에너지 책임할당 범위는 에너지 소비량과 건물환경(재실자의 수, 온도, 조도, 사무기기, 실험장비 등)을 검토하여 설정한다.

현재 고려대의 가스 소비량은 하나의 보일러에서 여러 개의 건물에 열을 공급하고, 건물 별로 사용주체에 따라 전기사용량을 측정(metering)하고 있지 않다. 따라서 어느 건물에서 누가 얼마나 열과 전기를 사용하는 지 알 수 없다. 향후 일정에 따라 개별건물 및 에너지 다소비 연구실 및 실험장비에 에너지 미터를 설치하고 시간 별 모니터링 데이터를 생성하여 책임자(EAC)에게 제공한다.

효과

책임자에게 정확한 에너지사용 정보를 제공하는 것만으로도 10~20%의 에너지 절감이 가능하다. 건물 별 측정을 기반으로 에너지 책임할당이 이루어질 경우 효과가 더 크게 발생한다.

일정

2022 스마트에너지 사업과 연계한 모니터링 실시, 2023 온실가스 배출관리제 기본계획 수립, 2024 시범실시 2025 단계적 확대 실시



그림 18 | 조치-분석-행동 사이클

4

흡수원 관리 및 적응

가. 흡수원 관리.....	32
나. 적응(adaptation)과 기후탄력성(resilience) 증진.....	34



4. 흡수원 관리 및 적응

가 흡수원 관리

산림지(forest land), 농지(cropland), 초지(grassland), 습지(wetlands), 정주지(settlements)는 탄소의 흡수원이 될 수 있다. 고려대학교는 안암과 세종에 131헥타르에 달하는 캠퍼스와 양평, 철원, 괴산에 1,220헥타르의 학술림, 39헥타르의 덕소농장을 운영하고 있다. 현재 서울캠퍼스에서 265.2톤, 학술림에서 톤(양평, 철원, 괴산)의 탄소가 매년 흡수되고 있다.

표 14 고려대학교 흡수원 현황

분류	정주지 (settlements)	산림지(forest land)			농지 (cropland)
		양평	철원	괴산	
면적(ha)	28.9	553.5	441.0	226.0	39.6
탄소흡수량(tCO ₂ -eq)	265.2	6,350	5,243	2,569	

이들 지역에 선진화된 흡수원 관리방식을 적용할 경우 탄소중립에 기여할 수 있다. 탄소중립 시대에 이들 지역에서 온실가스(이산화탄소)의 흡수능력을 높이기 위한 노력이 절실하다는 의미이다. 아울러 온실가스 배출을 줄일 수 있는 토지이용 및 관리(LULUCF: Land Use, Land Use Change and Forestry) 계획의 수립과 집행이 필요하다.

고려대학교의 흡수원 기능을 향상시키기 위한 대안으로는 나무심기, 산림관리, 산림탄소 상쇄사업이 있다. 산림탄소 상쇄사업(Carbon offset)은 기업과 산주 등이 탄소흡수원을 유지 및 증진하기 위한 자발적인 활동을 통해 추가적으로 확보하는 산림탄소흡수량을 정부에서 인증해주는 사업이다. 신규조림 및 재조림, 식생복구, 산림경영, 목제품 이용 등 7가지 유형이 있다.

표 15 흡수원 관리 대안 요약

대안	내용	비고
나무심기	캠퍼스 내 유휴지를 파악하여 매년 1%씩 기후변화 대응 수종 식재	캠퍼스
산림관리	학술림의 지속가능한 산림관리로 흡수원 향상 및 리스크 감소, 산림관리의 부산물 활용 병행(목조벤치, 목조건축 등 목재 이용 등)	학술림
산림탄소 상쇄사업	학교여건에 맞는 산림관리 방안(산림조성, 산림경영, 목제품 이용)을 실행하여 탄소중립 및 ESG에 기여	



4. 흡수원 관리 및 적응

» 나무심기(Afforestation)

나무심기는 기후위기 대응을 위한 최적의 자연친화적 해법이다. 자투리 공간을 활용한 나무심기로 캠퍼스숲의 조성 가능하다. 탄소흡수 능력이 우수한 수종 등을 선별하고, 탄소중립 기능을 최적화하는 조림계획을 마련하여 실행한다. 나무심기는 캠퍼스내 환경친화적 경관 조성과 대기 정화 등의 혜택을 추가로 제공한다.

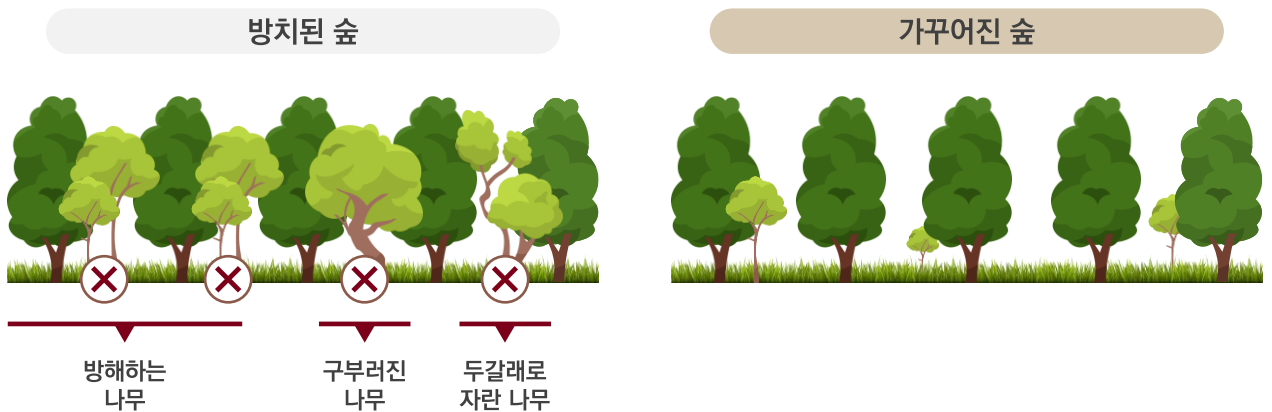


- ① 관리처 협업 및 위성사진을 활용한 나무 식재 가능면적 파악
- ② 탄소흡수를 최대화할 수 있는 수종 및 식재 방법을 담은 탄소중립 식목계획 마련
- ③ 나무심기 실행 및 성과평가



» 산림관리(Management)

고려대학교 학술림을 대상으로 체계적인 산림관리를 실행한다. 산림관리(숲 가꾸기)는 CO₂ 흡수능력을 20% 이상 향상시키며 나무 간 밀도를 조절함으로써 나무의 성장을 증가시켜 산림의 경제적 가치를 높인다. 산사태와 산불 등의 재해예방과 수원함양 및 수질정화기능이 증진되며, 산림의 생태적 건강성을 향상시킬 수 있다. 산림관리 과정에서 발생하는 부산물은 캠퍼스 내 쉼터 조성과 같은 편의시설에 사용하여 목재 제품의 활용도를 높이고 탄소중립에 기여한다.





4. 흡수원 관리 및 적응

나 적응(adaptation)과 기후탄력성(resilience) 증진

온실가스 감축을 위한 국제적 노력에도 불구하고 상당기간 기후변화의 지속과 악화는 불가피하다. 기후변화의 영향(impacts)이 커지면서 취약한 부문과 활동이 증가하고 있다. 기후변화가 현장에서 위험(risk)요인으로 작용하는 것이다. 이에 주기적인 위험평가(risk assessment)와 적응계획의 수립(adaptation planning), 기후탄력성(climate resilience)을 높이기 위한 조치를 실행한다.

» Climate Positive Design(CPD) 적용

CPD는 기후변화 대응을 위해 감축과 적응을 함께 추구하는 공간 디자인 및 조성 기법이다. 공간을 계획, 설계, 시공, 관리할 때 온실가스 배출을 정량적으로 예측, 평가하여 온실가스 배출을 최소화하고 탄소흡수는 극대화한다. 이 과정에서 기후탄력성과 적응능력을 증진시킬 수 있다. 캠퍼스 내 시설의 개보수 시 CPD를 적용한다. 이를 위해 캠퍼스의 수직녹화, 투수성 포장, 목재 활용, 수목 식재 등의 세부계획을 수립한다.



» 캠퍼스 건물녹화 사업

수직정원은 캠퍼스 건물녹화를 위한 최적의 방안이다. 캠퍼스 내 건축물의 정체성을 유지하면서, 옥상, 벽면, 테라스 등의 자투리 공간을 활용하여 녹지로 조성한다. 이 같은 인공녹지조성은 탄소중립 대책이면서, 미세먼지 저감, 도시열섬 방지, 경관향상, 심리적 안정감 등의 여러가지 추가 편익을 수반하여 기후변화 적응과 기후탄력성을 증진시킨다.





4. 흡수원 관리 및 적응

» 스마트 지붕(roof)

스마트 지붕은 옥상에 빗물을 저장하고, 센서를 통해 식물의 상태 파악하여 물을 주거나 배출할 수 있으며, 여름에는 수증기 방출을 통해 건축물과 주변 온도를 낮추는 효과가 있다. 기후변화로 인한 폭염과 홍수에 대응하는 기능을 한다.



» 그늘 길

그늘 길은 직사광선을 막아주며 증산작용으로 주변의 온도를 낮추어 준다. 폭염의 완충재(buffer) 역할을 하며, 지역사회 녹색 쉼터를 제공하게 된다. 학교(캠퍼스) 숲 조성과의 연계하여 탄소흡수기능 뿐 아니라 캠퍼스 내 생태면적을 증가시키고 그린(녹지) 네트워크로서 역할을 담당한다.



» 관목 울타리(Hedgerow)

관목 울타리는 공간경계 분리만이 아니라 탄소흡수, 녹지조성, 적응 기능을 수행할 수 있다. 영국전원보호 운동연맹(CPRE)은 관목 울타리를 활용하여 환경 및 경제적 이익 창출을 도모하고 있다. 캠퍼스 내 자투리 공간에 수종을 선별하여 관목 울타리를 조성함으로써 탄소중립에 기여한다,

고려대학교 탄소중립계획

C A R B O N N E U T R A L

5

탄소중립
클러스터와
창업 활성화





5. 탄소중립 클러스터와 창업 활성화



기후변화가 가속화하고 이상기후에 의한 피해가 커지면서, 지구 생태계 보전을 위한 과감한 기후행동과 국제사회의 온실가스 감축압력이 거세지고 있다. 기후변화 대응과 탄소중립 요구는 위기이자 기회가 된다는 사실을 명심해야 한다. 온실가스 감축, 기후변화 적응, 탄소중립 실현에 기여하는 기술의 수요가 급증하고 있다. 특별히 탄소중립에는 온실가스 배출량 산정, 흡수원 향상, 온실가스 저감, 온실가스 제거 기술 등 자연과학 및 공학분야의 기술개발 및 연구와 함께 미래예측 기법, 종합적 계획수립 역량, 인문사회과학과 학제적/융합연구가 필요하다.

2050 탄소중립과 한국판 뉴딜 선언 등 국가비전을 실행하기 위한 중앙정부와 지방자치단체의 지원이 확대되고 있다. 정부가 탄소중립 R&D를 국가의 핵심과제로 정하고, 연구자금의 증가와 연구역량의 집중을 꾀하고 있다. 또한 국제적으로 글로벌 기업에 대해 환경가치, 탄소중립 경영의 중요성이 강조되면서 기업의 탄소중립 기술 우선 적용 의지가 강해지고 있다. 이러한 대외여건 하에서 고려대학교를 중심으로 탄소중립 클러스터를 만들어 국가비전의 실현과 우리나라 글로벌기업의 국제경쟁력 강화에 이바지해야 할 필요성이 대두되고 있다.

고려대학교 탄소중립 클러스터는 신재생에너지를 활용한 에너지 독립, 교육과 연계한 혁신, 비용 효과적인 기술의 확보와 우수기술 기업의 창업을 실현하기 위한 것으로 대학 캠퍼스, 산학연, 지역공동체를 연계한 탄소제로 인프라 구축과 운영을 통해 새로운 가치의 창출을 도모한다.



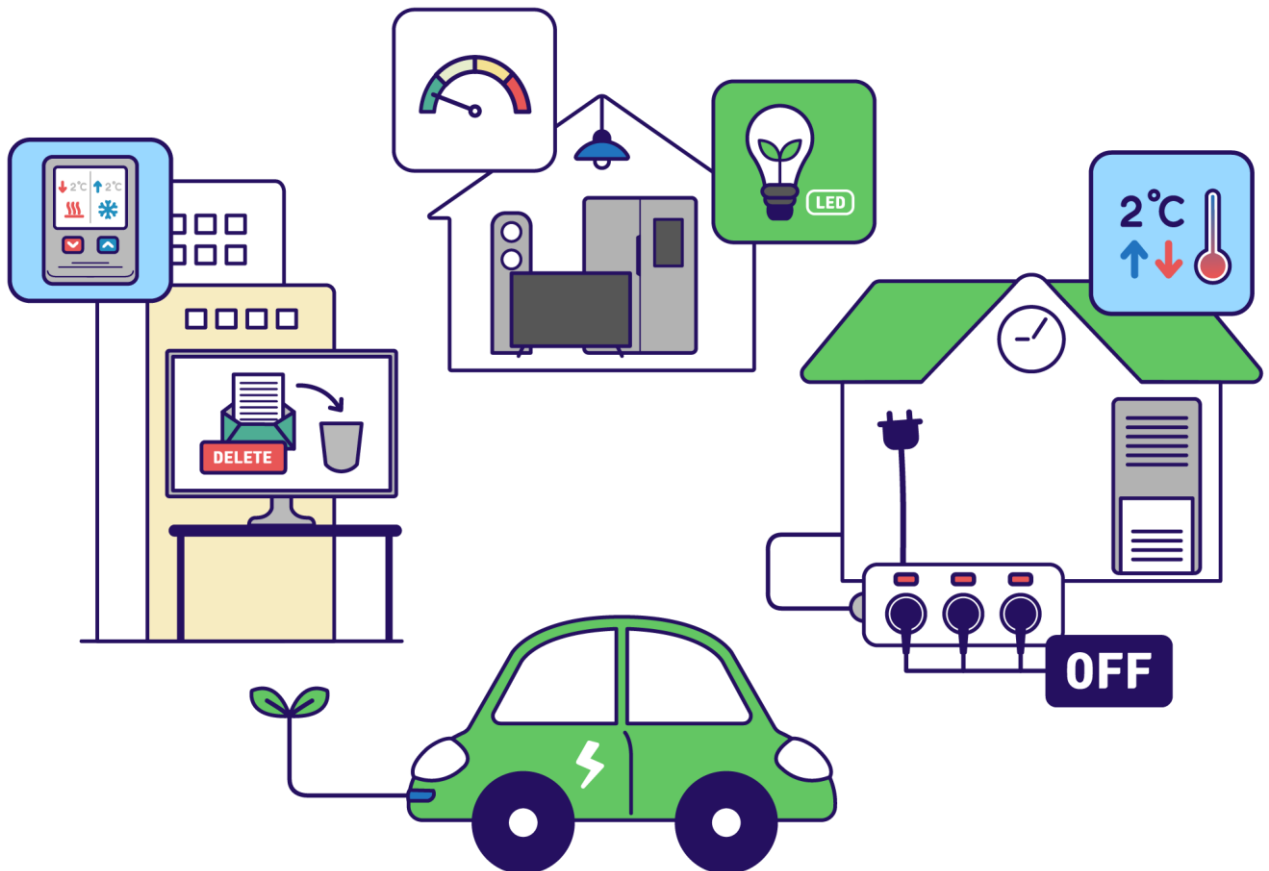
그림 19 | 고려대 탄소중립 클러스터 전략

5. 탄소중립 클러스터와 창업 활성화

(1) 탄소중립 선도 연구(연구처 주관)

탄소중립 실현에 반드시 필요한 핵심기술이 등장하고 있다. 배터리, 연료전지, 플라스틱 자원화 기술이 대표적이다. 진단/예측 모델링 및 데이터 분석, 사용자 행동패턴 연구와 같은 소프트웨어 기술도 필요하다. 미래 유망 산업은 디지털화와 녹색화에 있다. 탄소중립 산업에서 자원이 되는 에너지 및 환경 데이터는 매우 민감한 것으로 정보 보안 처리에서 특별한 주의가 필요하다. 특히 정보 보안 분야에 강점을 가진 연구자를 다수 보유한 고려대는 학문적 수월성을 기반으로 에너지 신산업 창업에 유리한 환경을 가지고 있다. RE100 등에 대응할 전문 엔지니어링 기업의 육성은 국가의 2050 탄소중립과 산업 고도화 전략에 부응하는 대학의 역할이다. 캠퍼스 안에 실증 사이트를 구축하여 관련기술을 개발하는 스타트업 기업에 실증 인프라로 제공한다.

연구지원처 주관으로 고려대학교의 탄소중립 기술역량을 평가하고, 전략적 육성이 필요한 분야를 선정하여 고려대학교의 연구역량을 집중하고자 한다.





5. 탄소중립 클러스터와 창업 활성화

(2) 기존 창업지원 및 유관 프로그램과의 연계

고려대학교는 이미 탄탄한 창업지원체계를 갖추고 있다. 창업전담조직으로서 크림슨 창업지원단이 있고, 에너지산업 혁신공유대학, 녹색생산기술연구소, 오정리질리언스연구원, 지속발전연구소 등 탄소중립 유관 연구기관이 다수 운영되고 있다. 연구기관협의체를 활용하여 연구기관 간에 긴밀한 협력과 융합연구, 시너지 창출을 도모한다.



그림 20 | 크림슨 창업지원단 조직 및 주요업무

(3) 네트워크 확장

중앙정부, 지방자치단체, 기업과 긴밀한 네트워크를 구축하여 기술의 연구개발, 실용화 단계로 나갈 수 있도록 지원한다. 캠퍼스 주변지역과 연계한 탄소중립 실현을 도모하고 지역주민 대상 교육프로그램을 마련한다. 캠퍼스의 탄소중립형 에너지 관리시설은 현장교육장소로 활용한다. 정부 산하기관 및 연구기관과 고려대 탄소중립 시설 및 연구성과를 공유한다. 정릉 소재 과학기술원(KIST)과 연구협력을 강화할 필요가 있다. 현재 운영중인 그린스쿨(고려대-KIST 에너지환경대학원)을 탄소중립 기술연구에 적극 활용할 수 있다.

6

탄소중립 문화와 리더십

가. 탄소중립 교육 및 인력양성	39
나. 폐기물 관리	40
다. 탄소중립 문화 및 리더십	44



6. 탄소중립 문화와 리더십



탄소중립은 삶의 방식에 근본적인 변화를 요구한다. 정의롭고 공정한 방법으로 우리 사회를 전환시켜야 하고, 자연과 인간세상을 다른 방식으로 바라보고 이해하는 새로운 탄소중립 문화를 만들어야 한다(culture change).

탄소중립 생활태도와 문화는 대학에서 지역사회로, 지역사회에서 우리 사회 전체, 나아가 지구촌으로 확산되어야 한다. 소통과 협력, 참여와 파트너십이 필요한 까닭이다.

가 탄소중립 교육 및 인력양성

탄소중립을 사회에 실현하기 위해서는 필요한 지식과 기술을 가진 인재가 필요하다. 탄소중립의 의미를 정확히 이해하고 사명감을 가지고 변화를 선도하는 리더의 육성이 시급하다.

» 지속가능 리더 양성

지속가능한 발전과 탄소중립 문화를 확산을 위해 학부생 중심의 대학생 네트워크(Sustainable Development Leaders Network)를 구성하고 운영한다. 동 네트워크에 참여하고자 하는 학생은 소정의 교육프로그램을 이수하고 자격증(certification)을 취득해야 한다.



- ① 학생 대상 의견수렴을 거쳐 지속가능성과 탄소중립에 관한 교육프로그램 개발
- ② 교육 이수자에 대한 자격증 부여 및 지속가능한 발전 리더 네트워크 구성
- ③ 매 학기 지속가능 리더가 참여할 수 있는 캡스톤(capstone)¹⁸, 논문, 기타 활동기회를 제공한다.



¹⁸ 이공계 학생을 대상으로 산업현장에서 실제 발생하는 문제의 해결능력을 기르기 위해 사업의 기획, 설계, 집행 전 과정을 경험하게 하는 교육과정



6. 탄소중립 문화와 리더십

» 탄소중립 특성화 대학원 유치(p.52 참고)



배경

기후위기로부터 안전하고 지속가능한 탄소중립사회를 실현하는데 필요한 글로벌 리더를 육성함으로써 교육 구국의 건학이념을 달성하고자 한다.



추진 방안

탄소중립 학위과정(석사 및 박사 매년 20명 이상)을 운영하는데 필요한 교과목과 전문교수진을 확보한다. 생명과학대학, 공과대학, 경영대학, 정경대학 등이 참여하는 연계융합과정으로 개설하고, 에너지, 발전, 수송, 산업, 건물, LULUCF 등 탄소중립 전 부문에 대한 교과목을 만든다. 아울러 온실가스 MRV, 감축모델 운영, 시나리오 작성, 리스크 평가, 국제협약 등 현장에 적용이 가능한 지식을 제공한다. 학위 취득자의 취업을 지원하기 위해 온실가스 대량배출 기업체(발전, 철강, 정유, 화학 등), 민간단체, 컨설팅업체, 국제기구 대상으로 산학연 연계 네트워크를 구축하고 인턴십 프로그램을 운영한다.

나 폐기물 관리

탄소중립사회의 실현을 위한 노력은 당장 우리 생활 가운데에서 행동으로 나타나야 한다. 학교 내 쓰레기 문제 해결이 가장 좋은 사례가 될 것이다. 교내에서 발생하는 폐기물의 양을 줄이고, 재활용이 가능한 폐기물을 분리수거 하며, 폐플라스틱 제로화 사업을 추진한다.

» 고려대학교 폐기물 처리현황

고려대학교는 캠퍼스내 발생한 폐기물을 업체에 위탁하여 처리하고 있다. 위탁업체는 수집된 폐기물 중 재활용이 가능한 폐기물(폐합성수지, 폐목재 등)을 분리하여 재활용한다. 위탁업체가 처리한 폐기물의 양은 2013년부터 2018년까지 점차 늘었다가 2019년부터 줄어드는 추세를 보였다. 2020년의 경우 코로나19로 인해 캠퍼스 내에서 활동하는 학생 수가 줄어들면서 폐기물 발생량이 상당히 감소된 것으로 파악되었다.

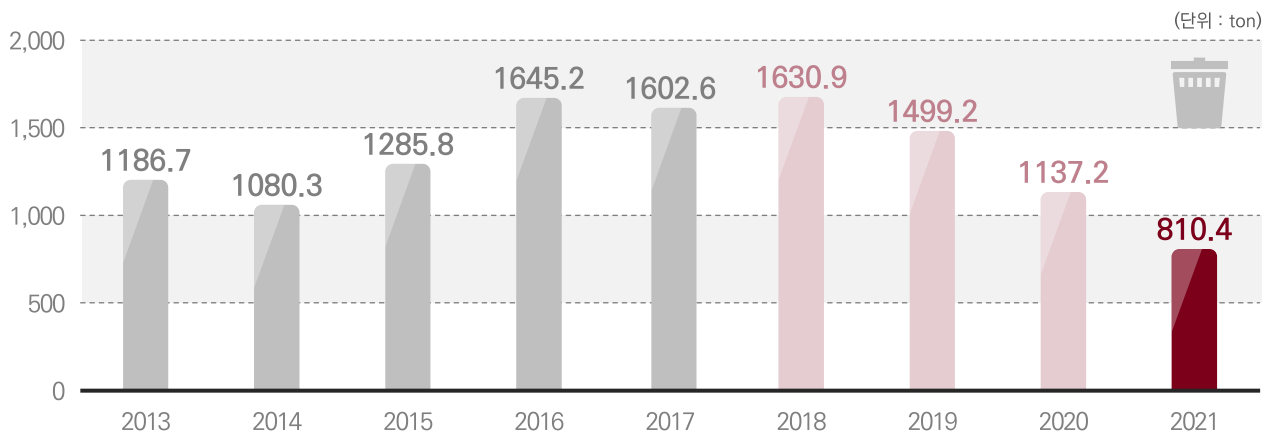


그림 21 | 고려대학교 폐기물 발생 및 처리 현황(2013.01.~2021.10.)



6. 탄소중립 문화와 리더십

» 분리수거체계 구축¹⁹

고려대학교 서울캠퍼스 건물 내부와 외부에 폐기물을 수거하기 위한 수거함(쓰레기통)이 설치되어 있지만, 대부분 혼합배출 수거함이다. 더구나 수거함의 분리배출 여부와 무관하게 위탁처리업체가 종이 박스를 제외한 폐기물을 혼합하여 수거하고 있는 실정이다. 이는 캠퍼스 구성원의 폐기물 배출에 대한 책임의식을 약화시키고, 일반 폐기물과 혼합되는 과정에서 재활용가능 자원의 품질이 낮아지는 문제가 생긴다.

캠퍼스 구성원을 대상으로 실시한 폐기물 인식 설문조사 에 따르면, 캠퍼스 배출 폐기물에 대하여 “분리배출(재활용) 하지 않는다”고 응답한 비율이 전체 응답자의 57.1%인데 응답자의 대부분이 원인으로 “분리배출 수거함의 부재” 꼽았다(71.6%). 교내에 발생하는 폐기물의 발생량을 줄이고, 재활용가능 자원의 활용도를 높이기 위해서는 캠퍼스에 분리수거 시스템을 구축할 필요가 있다. 우선적으로 교내에 분리배출 수거함을 설치하고, 자원순환 캠퍼스를 만들기 위한 분리배출 가이드라인 배부와 캠페인을 진행할 필요가 있다.



고려대학교 폐기물 실태조사에 따르면, 서울캠퍼스에서 발생하는 폐기물의 대부분은 일회용 플라스틱 음료컵과 배달 일회용기이다. 교내에서 다량으로 발생하는 일회용 컵 수거와 처리를 위해 일회용기 분리수거장치를 인문사회계대학 지역에 5곳, 자연계대학 지역에 4곳, 녹지 1곳에 시범 설치한다. 학생과 교직원이 일회용컵을 분리 수거함에 넣으면, 실시간 적재정보를 수거업체에서 파악하고 필요한 때 전용운반차로 수거하여 재활용한다. 3개월 후 설치결과를 분석하고 확대배치 여부를 결정한다.

¹⁹ 고려대학교 OJERI, 기후변화센터, 법무법인 율촌. 대학 캠퍼스의 폐플라스틱 에너지화 실증 타당성 연구: 인식조사 및 리빙랩 제안. 2022.

²⁰ 폐기물과 폐기물 에너지화에 대한 학교 구성원의 인식조사. 고려대학교 학생(졸업생 포함), 교직원, 협력기관 등 캠퍼스를 이용하는 10대 이상 남녀 대상 온라인 설문조사 시행. 총 응답자 226명



6. 탄소중립 문화와 리더십



그림 22 | 일회용컵 분리수거함 예시(좌) 및 자원순환 사이클(우)

출처: 컵프리랩(<http://www.cupfreelab.com/>)

주요 건물에 분리배출 수거함을 설치하고 리빙랩, 학생동아리, 동영상 등을 활용한 대대적 캠페인을 추진한다. 분리배출 수거함은 캠퍼스의 각 건물에 설치하는 것이 바람직하지만, 현실적인 상황에 맞추어 단계별로 설치한다. 캠퍼스 내 주요 대학별로 학생들이 많이 활동하는 건물들을 위주로 설치하여 모니터링하고 문제점을 파악한다. 이 과정에서 학생, 교직원 및 폐기물 수거업체 등 캠퍼스 구성원의 의견을 수렴하도록 한다.

분리수거 시스템 구축과 함께 원천적으로 폐기물의 양을 줄이는 노력이 필요하다. 제로 웨이스트(Zero waste) 실천 캠페인을 펼치고, 교내 입점업체(식당, 매점 등)에서 일회용기 사용을 중지하고 다회용기를 제공하도록 한다. 그리하여 캠퍼스 구성원들이 폐기물 발생량을 근원적으로 줄일 수 있는 교내 환경을 조성한다. 캠퍼스 구성원의 폐기물 줄이기 인식제고 방안을 마련한다.





6. 탄소중립 문화와 리더십

» 폐플라스틱 제로 추진²¹

고려대학교에서 추진 중인 폐플라스틱 에너지화 연구를 실증하는 시설을 설치한다. 폐플라스틱 에너지화 연구는 기존의 소각 발전(폐플라스틱 연소 과정에서 발생하는 열을 활용) 방식이 아닌 가스화를 통해 발전하는 방식이다. 가스화 발전은 소각 발전보다 정화 비용이 낮고 발생하는 탄화물의 포집이 용이하다는 장점이 있다. 또한 추가 개질을 통해 수소를 발생시켜 연료전지(SOFC, Solid Oxide Fuel Cell)를 이용한 발전도 가능하다.

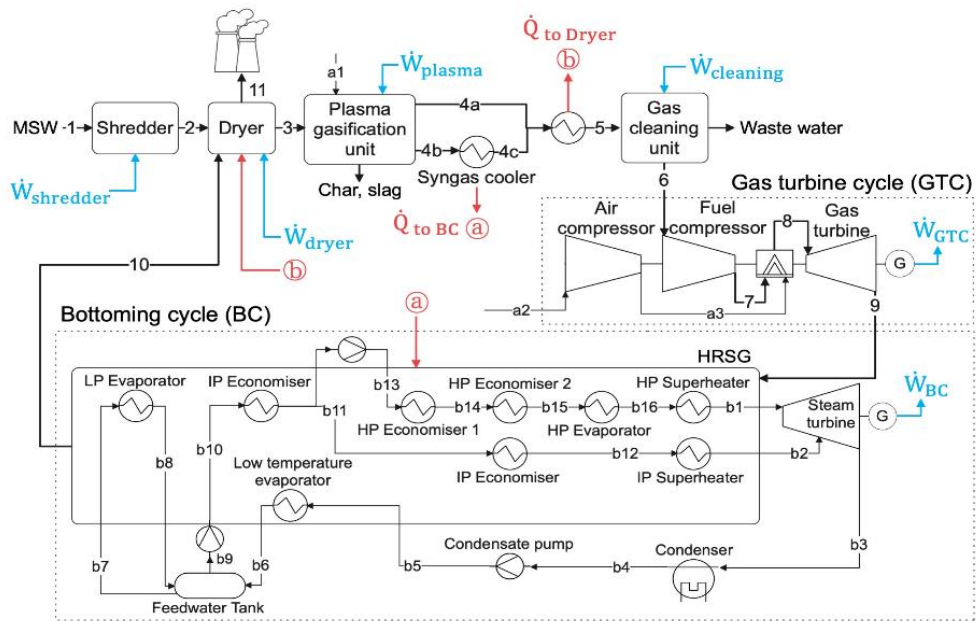


그림 23 | 플라즈마 가스화를 이용한 복합사이클 에너지 회수 모델링 예시

플라스틱은 종류에 따라 에너지 회수 성능 및 온실가스 발생량이 다르기 때문에 물질-에너지 순환 전략을 달리할 필요가 있다. 그러나 이에 대한 선행연구가 존재하지 않기 때문에 추후 실증화를 위한 연구실 규모의 리빙랩을 구축하여야 한다. 우선적으로 캠퍼스 내에서 발생하는 폐플라스틱의 조성과 발생량을 파악하여 이를 처리하기 위한 시스템을 리빙랩 연구를 통해 도출하고 추후 이를 실증하는 연구로 연계한다.

단, 탄소를 포함하는 플라스틱은 어떻게 처리해도 온실가스를 배출하기 때문에 사용량을 줄이는 노력이 더 중요하다. 또한, 플라스틱의 종류별 분리배출을 더욱더 철저하게 시행하여 에너지 회수가 궁극적으로는 온실가스를 줄이지 못하는 플라스틱(PET 등)은 물질재활용 비율을 높여야 한다.

²¹ 고려대학교 OJERI, 기후변화센터, 법무법인 율촌. 대학 캠퍼스의 폐플라스틱 에너지화 실증 타당성 연구: 인식조사 및 리빙랩 제안. 2022.



6. 탄소중립 문화와 리더십

다 탄소중립 문화 및 리더십

교내에서 발생하는 온실가스를 줄이는 일만이 아니라, 학생과 교직원의 활동 전반에서 리더십을 발휘해야 한다. 탄소중립의 추진주체로서 고려대학교가 지역사회와 다른 기관에 모범을 보여야 한다.

» 전기차(BEV) 인프라 설치

현재 전기차(Battery Electric Vehicle)의 에너지 효율은 내연기관차에 비해 3배 정도 높은 수준이다. 여기에 향후 배터리 기술 발달과 차량 무게 감소로 전기차 에너지 효율은 더욱 개선될 것이다 (영국 기후변화위원회). 우리나라 온실가스 배출량(2019년)의 14.4%를 차지하는 수송부문의 온실가스 감축을 위해서는 전기차의 보급은 필수이다. 배출가스를 내뿜지 않는 전기차는 환경개선과 건강보호에도 기여한다.

전기차를 조속하고 광범위하게 보급하는데 가장 큰 장애물은 충전인프라의 확보이다. 이에 고려대학교의 주차공간에 전기차 충전시설을 과감하게 설치하고, 교직원과 지역사회에 제공함으로써 온실가스 감축과 지역사회 협력의 모델을 만들고자 한다.

고려대학교 주차장 현황

고려대의 주차공간은 총 주차 가능 대수 4,137대, 총 주차장 면적은 47,576m²이다.(인문사회계/자연계/녹지). 현재 3대의 전기차 급속 및 완속 충전기를 운영 중이다.

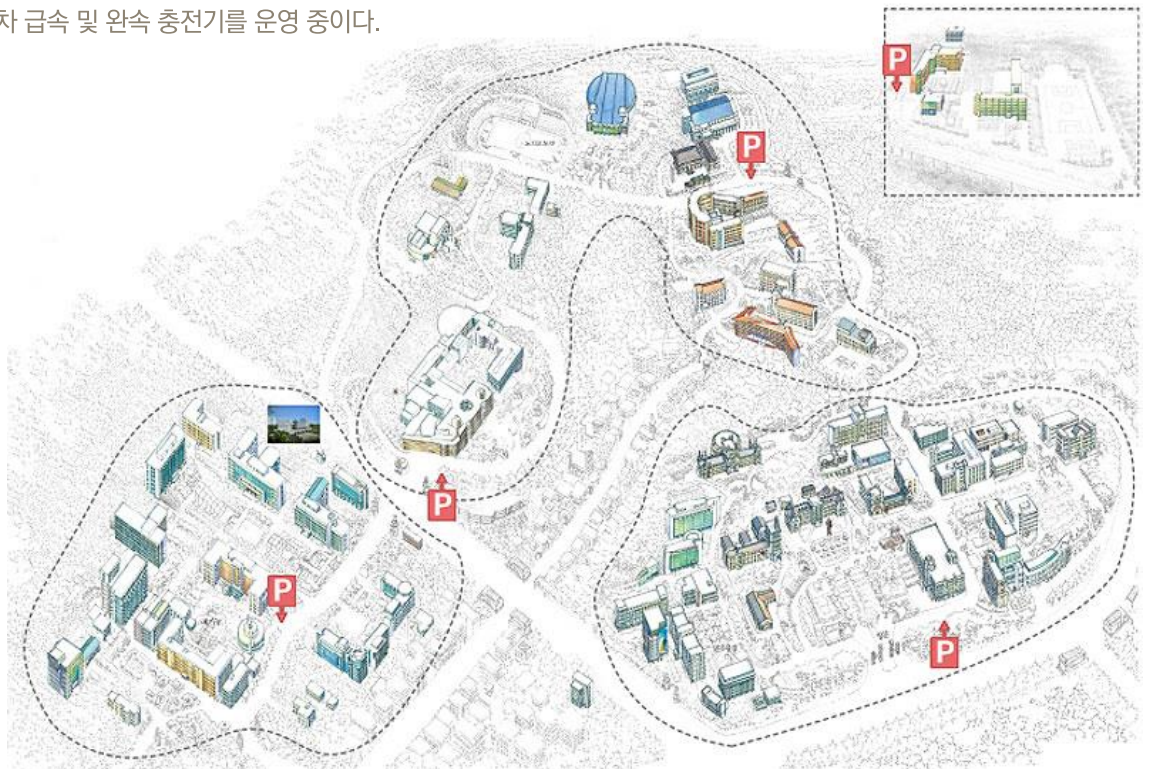


그림 24 | 서울캠퍼스 주차장 현황(인문사회계/자연계/녹지)



6. 탄소중립 문화와 리더십



- ① 기존에 건축된 건물의 충전시설 설치 의무화 기준(2022~2025년, 주차면 수의 2%)을 23년까지 조기에 달성한다.
- ② 탄소중립과 연계하여 선제적으로 전기차 충전인프라를 구축하고 지역사회에 개방함으로써 교직원과 학생, 지역주민의 조속한 전기차 전환을 유도한다.

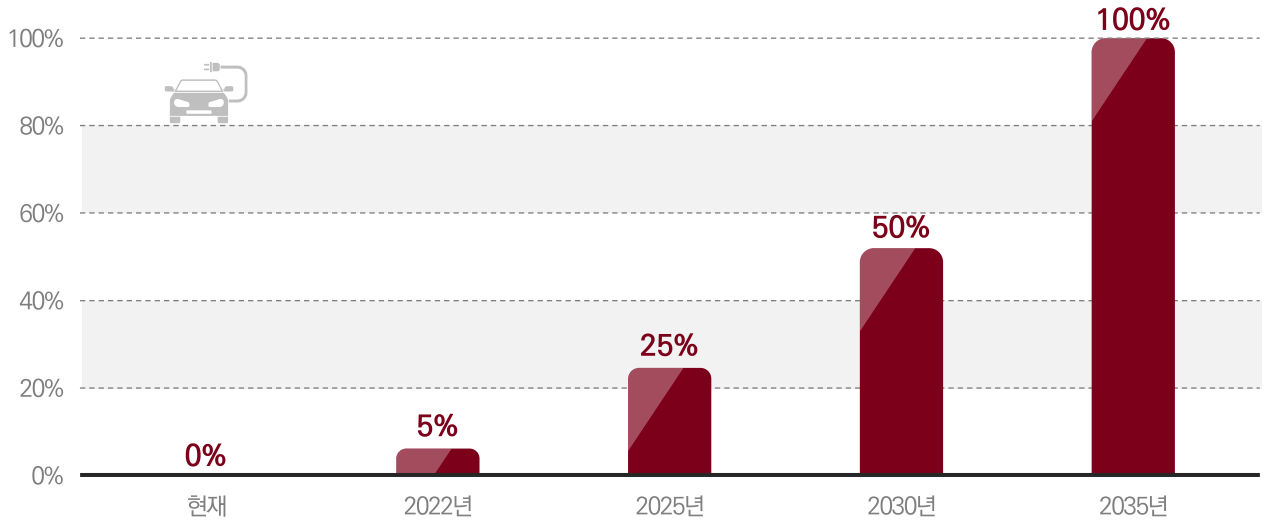


그림 25 | 전기차 전환 추진 계획(현재~2035)

참고 2021. 6. 29, 신축 및 기축건물 전기차 충전시설 설치 의무화 기준 강화

구분	의무대상	의무비율
신축건물	공동주택(100세대 이상), 다중이용시설, 공용주차장	(2020) 0.5% → (2022) 5%
기존건물	공공건물(국가, 지자체, 공공기관)	(2020) 의무없음 → (2022) 2%
	민간건물(마트, 백화점, 대규모아파트)	(2020) 의무없음 → (2022) 2%

전기차 충전패턴을 반영하여 초급속(15%), 급속(5%), 완속(80%) 충전기를 적정비율로 배치한다 (붙임 4 참조)



필요한 재원은 환경부의 지원금을 활용하고 민간설치사업자와 함께 사업모델을 만들어 활용한다. 환경부의 지원을 받아 설치한 충전기는 지역사회에 개방하고 전기차에 대해서는 주차요금 감면(EV discount) 등의 인센티브 제공을 통하여 전기차 전환을 촉진한다.



6. 탄소중립 문화와 리더십

» 물 절약

물은 인간과 생태계의 생명과 건강을 유지하는데 필수적인 요소이다. 기후변화로 수자원 관리와 활용의 안정성이 위협받고 있다. 소중한 수자원을 최대한 아낌으로써 경제적 이익과 온실가스 감축, 나아가 우리나라 수도시스템의 안정성(reliability)과 기후탄력성(resiliency)을 확보할 수 있다.

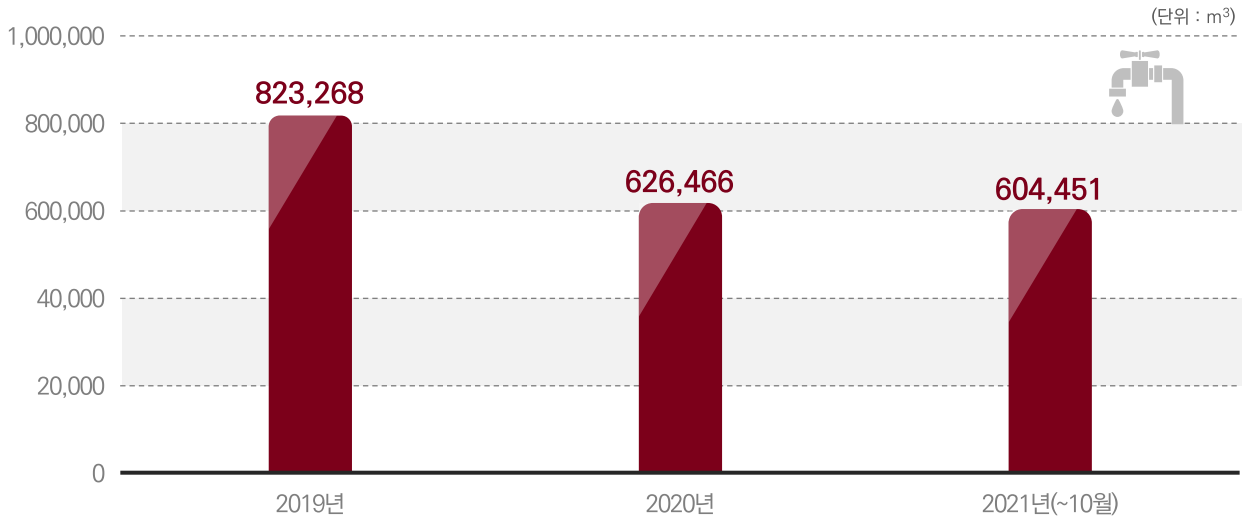


그림 26 | 고려대학교 물 사용량(2019~2021.10.)

추진 방안

① 물사용량 점검 컨설팅 실시

② 물 절약 인프라 설치

③ 행태 변화(물 절약 캠페인)

- ① 대학 내 각 시설을 대상으로 물 이용 조사 및 진단을 실시한다. 이 과정에 원하는 대학생이 참여하여 현장기반의 물 관리 교육기회를 제공하고, 캡스톤디자인 교육과정 및 물 절약 캠페인과 연계한다.
- ② 진단결과를 바탕으로 누수관 보수, 수도관 수압조정, 양변기 교체, 절수기 설치 등의 방법으로 수도물 사용량을 줄인다. 서류검토와 현장실사를 병행한다.
- ③ 물 사용 패턴 변화를 유도하기 위한 캠페인을 전개한다. 학생 동아리 활동, 교육 프로그램, 지속가능발전 리더 네트워크 등을 활용한다.

재원확보 방안

컨설팅비용은 환경부의 지원사업 재원을 활용한다. 물 절약 인프라 설치하는 시설 선 설치 후 물 절약 분으로 비용을 보전하는 WASCO²² 사업방식으로 추진한다.

²² Water Saving Company



6. 탄소중립 문화와 리더십

» 환경친화적 학교행사(events)

고려대학교가 교내외에서 개최하는 각종 행사에서 온실가스가 배출된다. 고려대학교가 개최하는 행사에 아래의 가이드라인을 만들어 준수한다.

표 16 환경친화적 학교행사 가이드라인

항 목	고려사항	세부내역
행사장 선정	행사규모	참가인원과 부대행사의 규모/특성에 적합한 행사장을 선택한다. 온라인 행사를 병행한다.
	행사장 접근성	대중교통 이용 접근 편의성을 고려한다. 대중교통 이용 유도를 위해 주차장 사용료를 부과한다. (사전 안내 필수)
	행사장 친환경성	인증(제로에너지건축물/녹색건축물) 행사장을 선택한다. 자연광 활용하여 조명 사용을 최소화한다. 물품비치 행사장(일회용품 사용억제)을 선택한다.
행사 기획	행사초청	전자매체(QR 코드)를 활용, 초청장을 발송하고 참가접수를 받는다.
	행사 제공물품	다회용성/재활용성 물품을 제공한다. 물품은 행사장에서 가까운 매장에서 구매한다.
	홍보방안	현수막과 홍보물품 사용을 최소화한다. (불가피하게 사용이 필요한 경우 전자 매체나 업사이클링, 재활용을 적극 활용한다.)
행사 진행	인쇄물 최소화	회의 및 발표자료를 참가자의 이메일 등으로 공유한다.
	참가자 이행 협조	공지 및 협조사항을 지속적으로 안내한다.
	참가자 인원 파악	철저한 인원 파악으로 쓰레기 발생량을 최소화한다.
음식물 서비스	다회용품 사용	종이컵 등의 일회용 용기를 제공하지 않는다.
		행사장에서 발생한 폐기물은 분리수거 후 재활용한다.
		텀블러 등 다회용기 사용을 권장한다.
교통	교통수단 선정	행사용 차량 사용시 전기차 등 친환경차를 사용한다.
	대중교통 이용	상세한 대중교통수단 이용 정보 및 셔틀버스 제공한다.
	시민참여	행사 참여 인원에 대한 대중교통, 자전거 등 권고한다.
사무실 운영	종이사용 최소화	이면지 수거함을 설치하고 재사용한다.
	사무기기 운영	에너지효율제품 대여, 컴퓨터 절전모드 설정 및 전원 차단
	냉난방 기기	냉난방 기기 온도 설정이 가능한 행사장을 선택한다.
행사 결과공유	모니터링	행사 이후, 행사 참여자들을 대상으로 설문조사를 진행한다.
	결과 공유	행사 결과를 영상으로 제작하여 배포한다.

출처: 온실가스 줄이기 가이드라인-그린전시장 부문-환경부.p.31.표 수정



6. 탄소중립 문화와 리더십

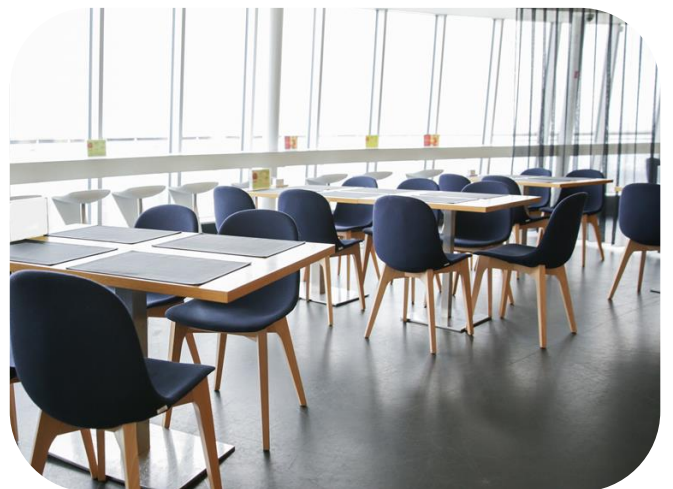
» 지속가능한 조달(sustainable procurement) 및 식단(menu)

고려대학교에서 구매하는 물품의 탄소 함유량(embedded carbon)을 파악하고 온실가스가 적게 배출되는 방식, 환경친화적으로 생산된 물품을 우선 구매하도록 노력한다. 향후 물품 공급자(vendor) 최소 환경기준 가이드라인(minimum environmental guideline)을 개발한다.

지역사회와 협력하여 학교 안으로 반입되는 음식물(예, 도시락)에 사용하는 1회용 포장재를 없앤다. 종이 등 환경친화적 포장재 제품을 우대한다.



외국 대학의 경우 음식물 공급(food supply chain)에서 기인하는 온실가스의 양이 전체 배출량의 4% 정도이다(Rutgers 대학). 대학 인근 농촌과 연계하는 구내 식당의 식자재 공급에 노력하고, 채식 식단 제공 등 식단 개선을 통해 온실가스 배출을 줄이도록 노력한다.



고려대학교 탄소중립계획

C A R B O N N E U T R A L

7

이행체계 구축



7. 이행체계 구축

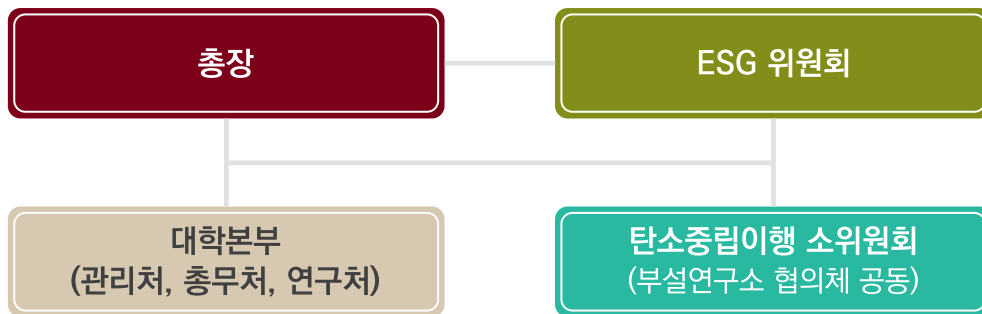
이행절차

탄소중립계획의 이행여부를 판단하고 실행을 돕기 위해 과제별 지표(indicators)를 마련한다. 대학 의사결정자와 지표를 통해 과제 담당자는 과제의 달성정도를 모니터링 할 수 있다. 지표는 모니터링 결과를 가지고 주기적으로 과제의 이행정도를 평가한다. 평가는 성과에 대한 객관적 분석과 원인 분석을 포함한다. 이 결과를 바탕으로 계획의 목표를 재검토하고 상황에 맞게 목표를 조정하거나 재설정한다.



이행체제

이행체제는 최고 의사결정기구로서 고려대학교 ESG 위원회(탄소중립이행 소위원회), 실행기구로서 대학본부 및 오정리질리언스연구원/지속가능발전연구소로 구성한다.



탄소중립계획의 반기별(bi-annual) 성과보고서를 작성하여 총장 직속 ESG위원회에 제출한다. 동 보고서는 탄소중립 ESG 소위원회의 검토를 거치고, 필요한 경우 의견을 첨부하여 제출된다.

매년 한 해의 계획추진결과와 개선 필요사항을 담아 고려대학교 탄소중립 성과보고서를 작성하고 공개한다(online).



7. 이행체계 구축

리빙랩(Living lab)

탄소중립의 실현을 위해서는 교내 학생 및 교직원의 적극적인 참여와 지역사회의 도움이 필요하다. 단편적인 학교시설의 개선, 일부 연구와 교육의 개편 문제가 아니라 종합적이고 장기적인 정책의 변화와 지속적인 실행, 나아가 구성원 모두의 행태와 사고에 근본적인 변화가 수반되어야 한다. 탄소중립계획 수립을 계기로 고려대학교와 지역사회를 리빙랩으로 활용하여 기후변화 인식의 확산, 정의롭고 지속가능하며 기후탄력적인 발전을 실현하고자 한다.

우선 탄소중립 포럼을 구성하여 기후변화, 사회형평, 경제발전에 관한 기존 연구·교육 프로그램 간에 연계를 도모하고, 학제연구(disciplinary cross-over)와 기존연구의 시야 확대를 도모한다. 나아가 지식을 공유하고 초기연구자금(seed grants)을 확보하여 원하는 전문가와 학생들이 지역사회와 함께 탄소중립 실행에 기여하는 연구를 진행할 수 있도록 지원한다. 이를 위해 고려대학교 내 연구기관의 협의회를 구성하고, 지속가능발전연구소와 오정리질리언스연구원이 포탈(portal) 기구의 역할을 담당한다.

리빙랩은 학생, 교수, 교직원 간 협력을 활성화시켜 대학이 만들어 낸 최신의 연구결과를 캠퍼스와 지역사회에 적용함으로써 학생들이 지속가능한 사회의 리더로 성장할 수 있는 현장교육 기회를 제공한다.

KUS Living Lab모델



출처: 고려대학교, 제1회 지속가능발전을 위한 리빙랩 포럼 개최(21.07.01, 산학뉴스)
 고려대학교 산학교육센터(세종캠퍼스)(https://sejong.korea.ac.kr/mbshome/mbs/ioec/subview.do?id=ioec_050100000000)

#

붙임

- 1 고려대학교 온실가스 배출량 상세
- 2 에너지 효율화 기술 및 탄소 제로 에너지 시스템 기술
- 3 고려대학교 흡수원 현황
- 4 전기 충전기 종류
- 5 서울캠퍼스 건물별 분류 및 온실가스 감축 잠재량





붙임 1

고려대학교 온실가스 배출량 상세

총괄

» 주요 배출원

고려대학교가 속한 고려중앙학원은 15개 기관으로 구성되며 2020년 온실가스 배출량은 95,482톤이다. 15개 기관 중 서울캠퍼스(40,574톤, 42.5%), 세종캠퍼스(7,934톤, 8.3%), 안암/구로/안산병원(42,751톤, 44.8%)이 대부분(95.6%)을 배출한다.

표 17 고려중앙학원 15개 기관 온실가스 총 배출량(2011~2020)

(단위: tCO₂-eq)

	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
고려대학교 (서울캠퍼스)	39,860.2	38,425.6	37,587.9	36,723.3	39,142.2	40,547.6	41,141.8	41,905.4	43,274.0	40,574.6
고려대학교 (세종캠퍼스)	8,623.6	8,726.3	8,693.1	8,535.6	8,405.9	8,670.1	8,970.0	8,999.4	8,887.3	7,933.9
고려대학교 (안암병원)	13,961.6	14,782.1	15,249.8	15,258.1	15,235.5	15,914.4	16,292.8	16,421.7	16,042.0	16,130.0
고려대학교 (구로병원)	13,557.4	14,011.1	14,032.3	13,890.9	13,921.7	14,406.6	14,643.2	14,521.5	15,189.8	15,818.5
고려대학교 (안산병원)	9,218.8	9,353.2	9,012.2	9,061.7	9,480.4	9,734.1	9,782.2	10,330.8	10,844.1	10,802.7
고려대학교 (교우장학회)	2,729.1	2,683.5	2,558.0	2,349.1	2,162.6	2,209.6	2,267.3	2,481.4	2,264.5	1,813.2
고려대학교 (안암장례식장)	1,050.0	927.6	956.2	984.6	1,055.3	1,021.9	976.4	1,024.4	831.2	678.5
고려대학교 (정릉캠퍼스)	1,887.4	1,937.0	1,883.8	1,787.3	455.9	389.8	425.3	375.6	272.1	221.8
고려대학교 (낙산수련관)	28.3	87.8	92.5	92.7	98.6	99.1	87.4	98.6	97.2	83.4
고려대학교 (대천수련관)	27.4	67.2	69.7	58.7	60.6	50.6	51.2	50.8	45.8	36.8
고려대학교 (기초과학서울센터)	69.6	73.7	75.5	51.6	42.8	46.1	47.1	37.4	29.5	25.9
고려대학교 (완도수련관)	13.4	23.2	15.9	14.2	19.9	14.5	15.9	16.9	17.0	19.6
고려대학교 사범대학부속고등학교									586.2	237.3
고려대학교 사범대학부속중학교									1,213.9	151.8
중앙중고등학교									1,916.7	954.4
합계	91,026.8	91,098.3	90,226.9	88,807.6	90,081.4	93,104.5	94,700.5	96,263.9	101,511.3	95,482.4

붙임 1

고려대학교 온실가스 배출량 상세



» 배출량 추이

고려중앙학원의 전체배출량은 2014년 이후 2019년까지 연평균 2.5%씩 상승하였다. 그러나 2020년에는 코로나19의 영향으로 소폭(2019년 대비 약 5.9%) 감소하였다. 2020년에도 배출량이 증가한 시설은 안암병원과 구로병원이다. 코로나19가 이들 시설의 사용율을 높였을 것으로 추정된다.

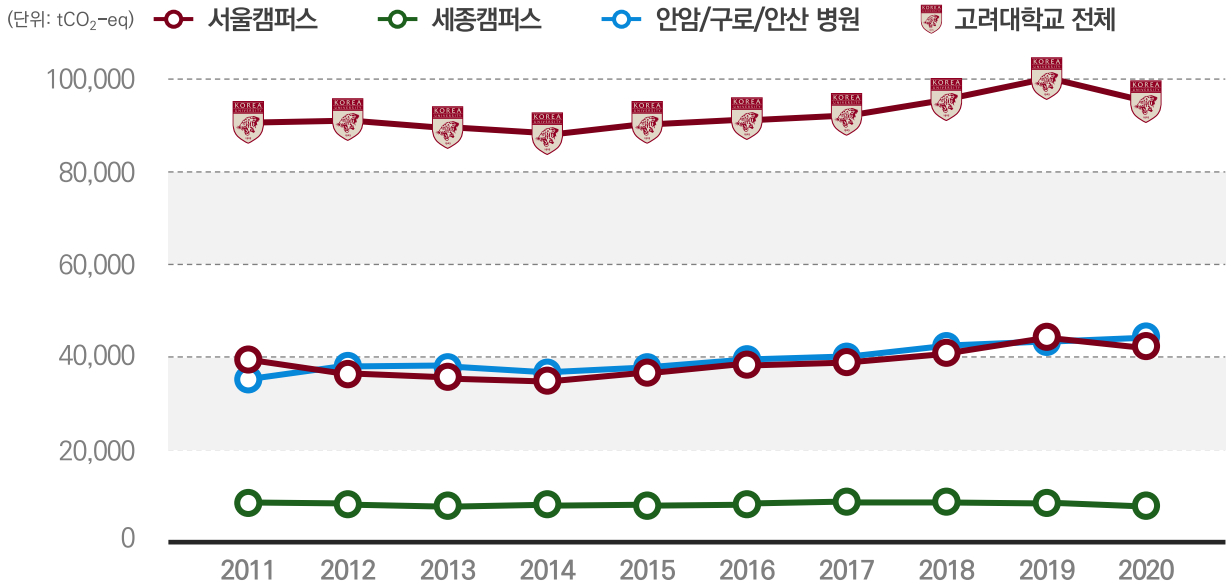


그림 30 | 고려중앙학원 온실가스 배출량 추이(2011~2020)

» 직접배출과 간접배출

고려대학교의 온실가스 배출은 크게 직접배출과 간접배출로 나눌 수 있다. 간접배출과 직접배출의 비율은 3:1 수준이며, 캠퍼스(서울, 세종)에 비하여 병원(안암, 구로, 안산)의 직접배출의 비중이 10% 정도 높게 나타났다.

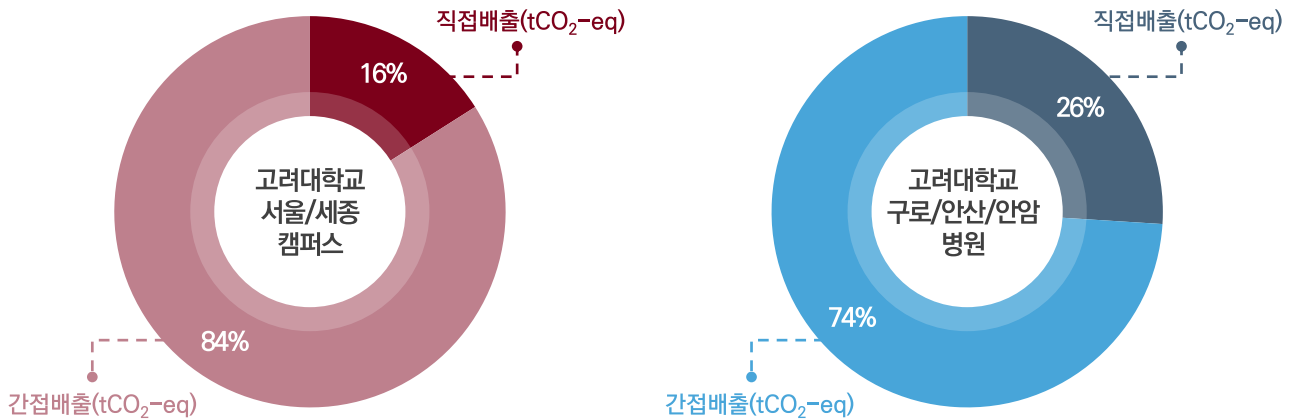


그림 31 | 고려대학교 배출 유형 배출량 비중(좌: 2개의 캠퍼스, 우: 3개의 부속병원)

붙임 1

고려대학교 온실가스 배출량 상세



» 3개 병원 단위면적당 배출량

유사시설인 안암, 구로, 안산병원의 단위면적당 온실가스 배출량은 구로병원, 안암병원, 안산병원의 순으로 나타났다. 이 순위는 2019년과 2020년이 동일하다.

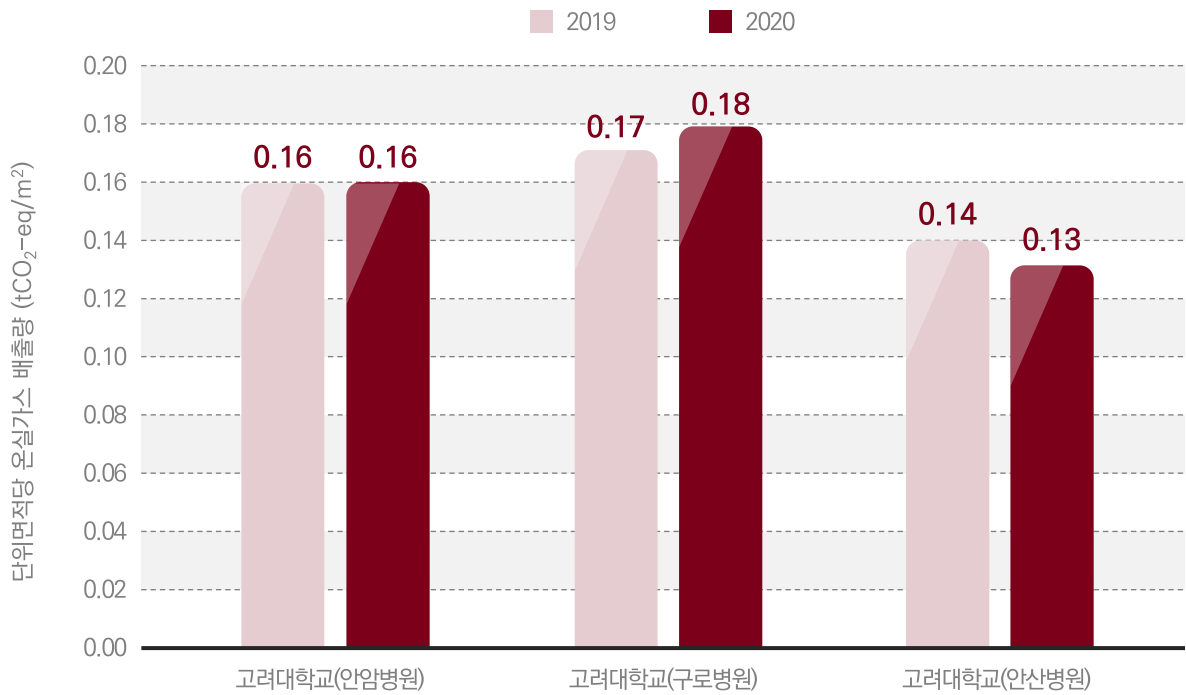


그림 32 | 3개 부속병원 단위면적당 온실가스 배출량

표 18 | 3개 부속병원 온실가스 배출량(2019, 2020)

(단위: tCO₂-eq)

구분	합계	안암병원	구로병원	안산병원
2019	42,076	16,042	15,190	10,844
2020	42,751	16,130	15,819	10,802

붙임 1

고려대학교 온실가스 배출량 상세



서울캠퍼스 세부분석

» 전기 사용량: 월별

서울캠퍼스의 전기사용량은 2019년, 2020년 모두 동절기(12~2월)와 하절기(7~9월)에 상대적으로 증가하는 모습을 보인다. 이는 난방과 냉방 수요 때문으로 판단된다

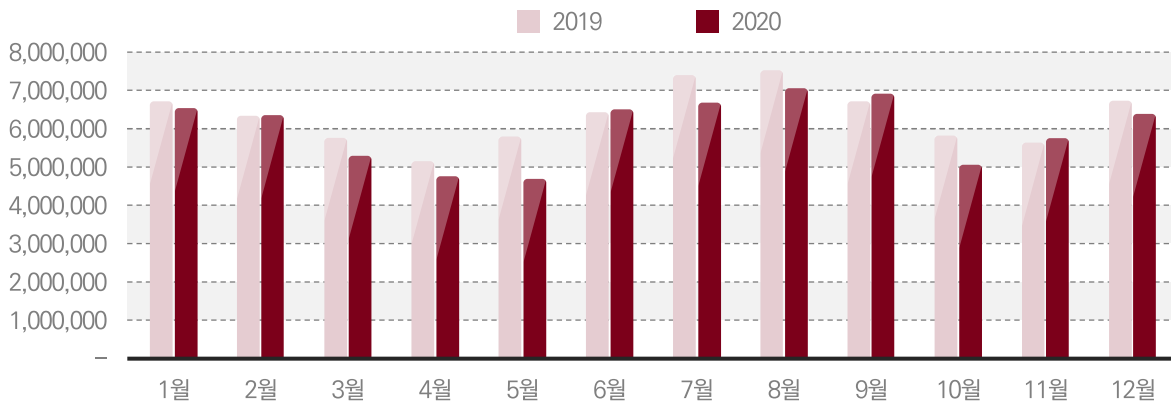


그림 33 | 월별 전기 사용량(KWH) (2019, 2020)

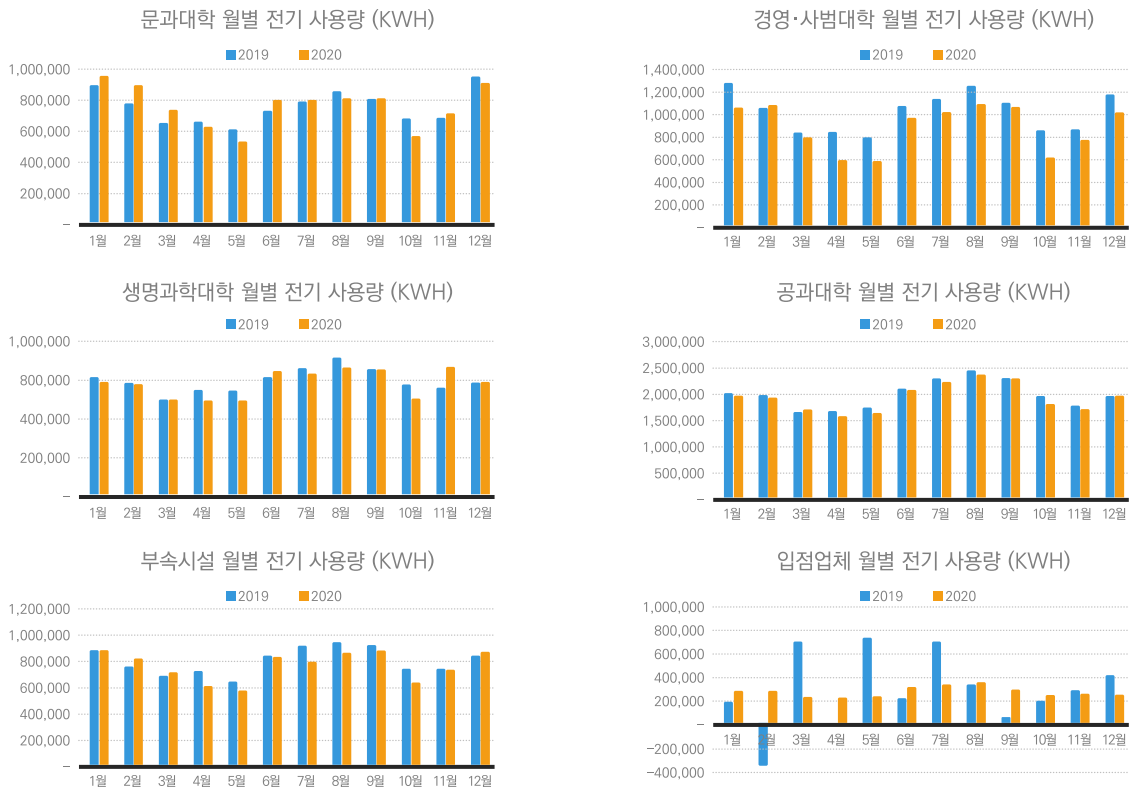


그림 34 | 주요 대학별 월별 전기사용량(2019, 2020)

붙임 1

고려대학교 온실가스 배출량 상세



» 전기 사용량: 단위면적당

주요 대학의 단위면적당 전기 사용량은 대학에 따라 상당한 차이를 보인다. 문과대학과 경영/사범대학이 생명과학대/공과대학에 비해 크게 낮다. 이는 실험실과 같이 전기를 다량으로 사용하는 시설이 후자에 많이 있는 것으로 판단된다.

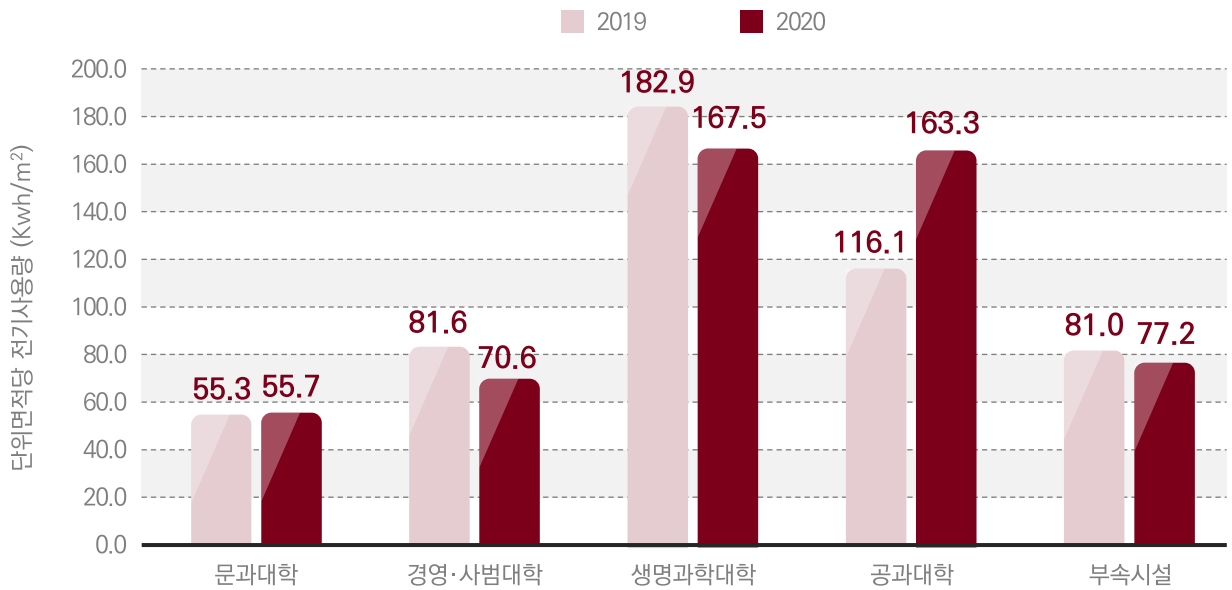


그림 35 | 주요 대학별 단위면적당 전기 사용량(2019, 2020)

» 전기 사용량 구성비율(2020년)

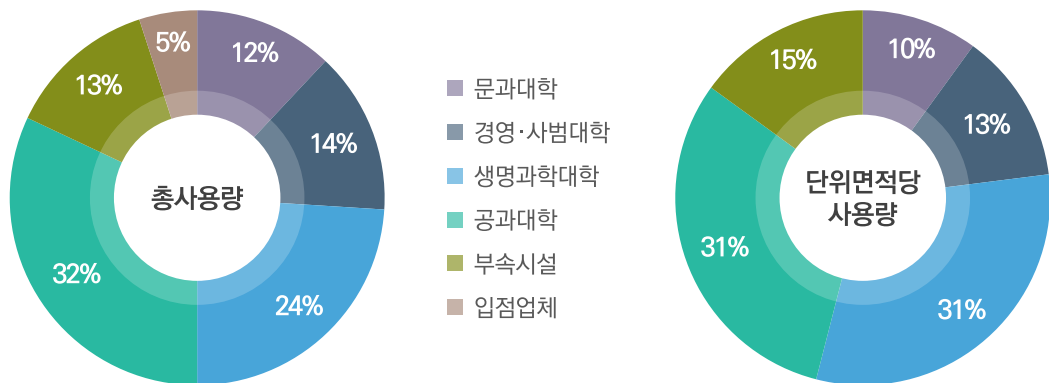


그림 36 | 주요 대학별 전기 사용량 구성 비율(2020)

붙임 1

고려대학교 온실가스 배출량 상세



» 도시가스 사용량: 월별

전기사용량에서 나타난 사용 패턴이 도시가스의 경우는 더 크게 나타난다. 이는 도시가스가 냉난방용으로 주로 쓰이기 때문이다. 아래 그림의 도시가스 사용패턴은 냉방과 난방 수요가 반영된 것으로 판단된다.

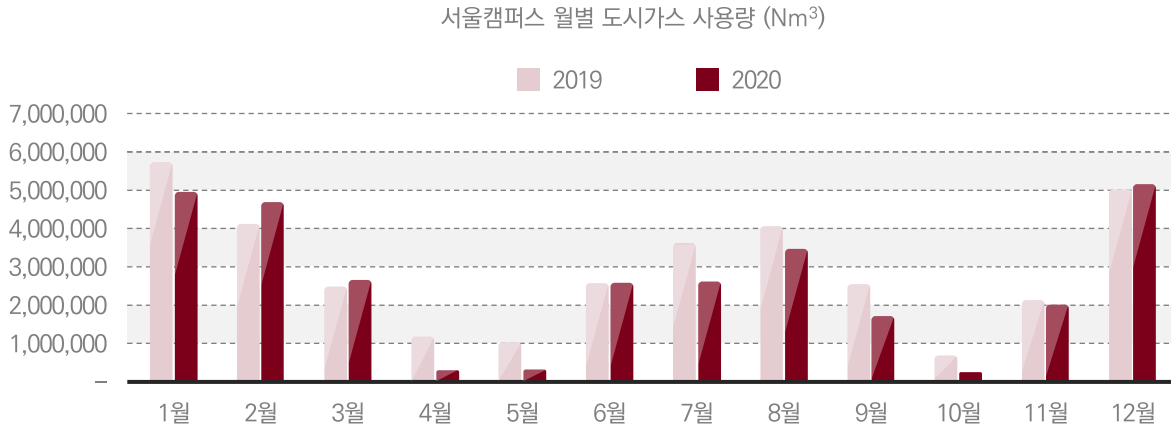


그림 37 | 월별 도시가스 사용량(2019, 2020)

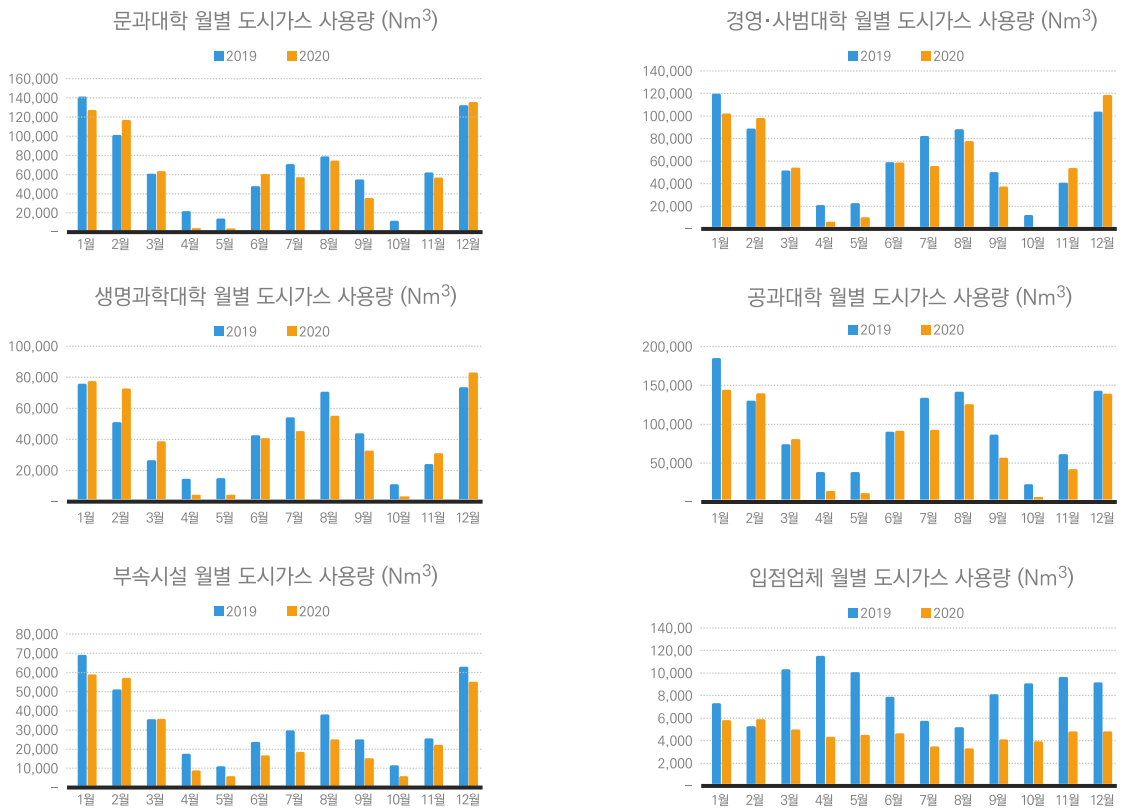


그림 38 | 주요 대학별 월별 도시가스 사용량(2019, 2020)



붙임 1

고려대학교 온실가스 배출량 상세

» 도시가스 사용량: 단위면적당

주요 대학의 단위면적당 도시가스 사용량은 차이가 거의 없다. 단위면적당 전기 사용량이 주요 대학별로 큰 차이를 보였던 것과 다르다. 마찬가지로 실험실 등이 전기를 많이 사용한다는 사실을 보여준다.

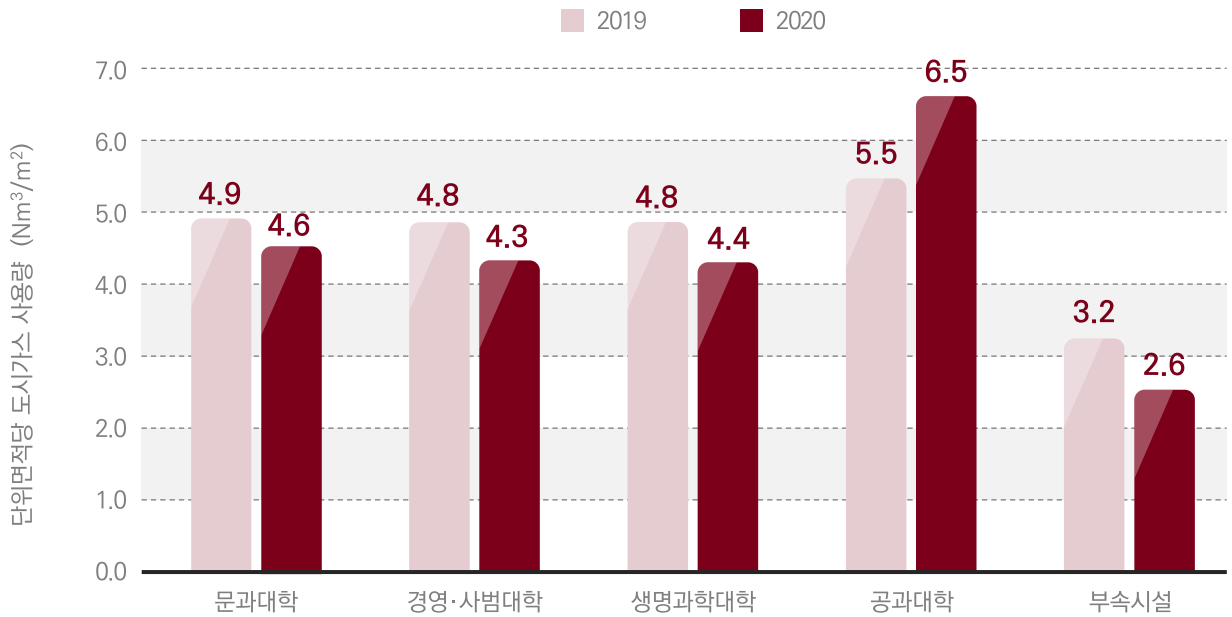


그림 39 | 주요 대학별 단위면적당 도시가스 사용량(2019, 2020)

» 도시가스 사용량 구성비율(2020년)

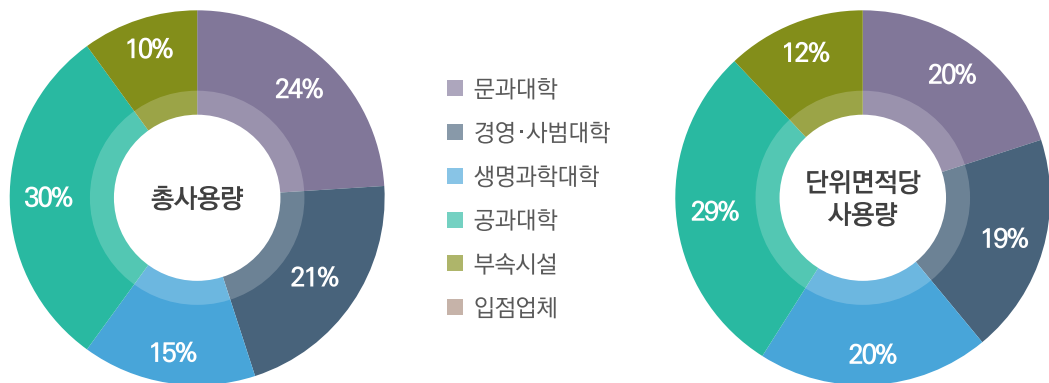


그림 40 | 주요 대학별 도시가스 사용량 구성 비율(2020)

붙임 1

고려대학교 온실가스 배출량 상세



온실가스 배출량

온실가스 배출량(2020년)은 공과대학(31.2%), 생명과학대학(22.5%), 경영/사범대학(15.6%), 문과대학(14.1%), 부속시설(12.4%)의 순서이다. 이 순서는 2019년과 2020년이 동일하다.

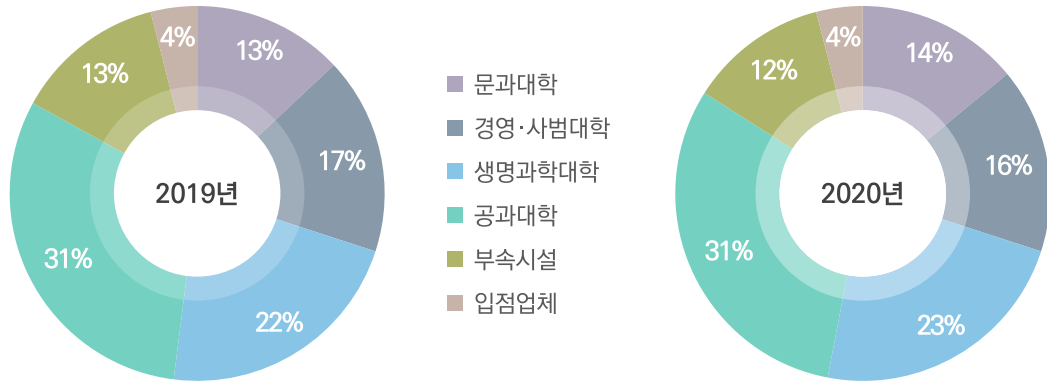


그림 41 | 주요 대학별 온실가스 배출량 비율(좌: 2019년, 우: 2020년)

표 19 주요 대학별 온실가스 배출량(2019, 2020)

(단위: tCO₂-eq)

연도	문과대학	경영·사범대학	생명과학대학	공과대학	부속시설	입점업체	합계
2019	5,831 (13.5%)	7,225 (16.7%)	9,308 (21.6%)	13,470 (31.2%)	5,421 (12.5%)	1,924 (4.5%)	43,179
2020	5,732 (14.1%)	6,316 (15.6%)	9,138 (22.5%)	12,675 (31.2%)	5,025 (12.3%)	1,740 (4.3%)	40,651

단위면적당 온실가스배출량

단위면적을 기준으로 보면 생명과학대학이 가장 높고, 공과대학, 부속시설, 경영/사범대학, 문과대학, 부속시설의 순서이다. 이 순서는 2019년과 2020년이 동일하다.

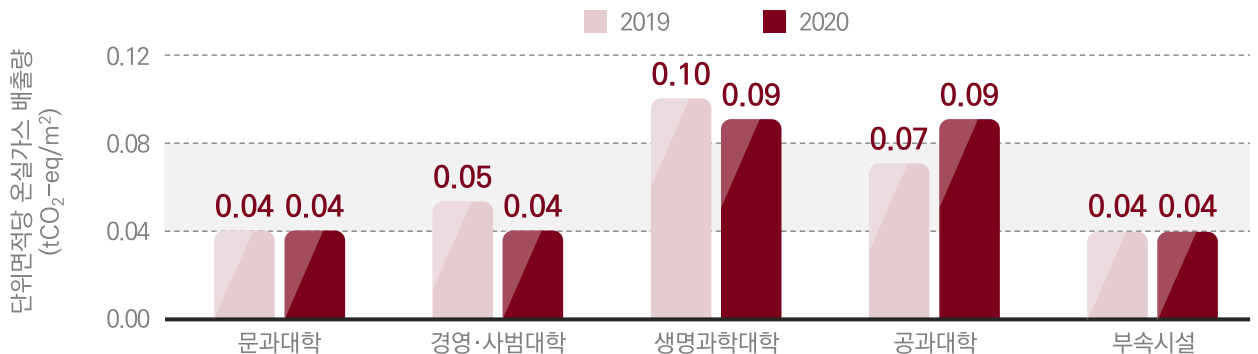


그림 42 | 주요 대학별 단위면적당 온실가스 배출량(2019, 2020)

붙임 1

고려대학교 온실가스 배출량 상세



표 20 서울캠퍼스 주요 건물 온실가스 배출량(2019, 2020)

(단위: tCO₂-eq)

순위	2019년		2020년	
	건물명	온실가스 배출량	건물명	온실가스 배출량
1	신공학관	2,890	신공학관	3,086
2	하나과학관(생명과학대)	2,765	하나과학관(생명과학대)	2,589
3	과학도서관	2,044	KU R&D 센터	2,036
4	KU R&D 센터	1,942	아산이학관	1,972
5	창의관	1,831	창의관	1,710
6	공학관	1,827	과학도서관	1,697
7	아산이학관	1,736	공학관	1,589
8	하나과학관(보건과학대)	1,636	하나과학관(보건과학대)	1,508
9	생명과학관 서관	1,513	생명과학관 서관	1,497
10	산학관	1,303	기숙사(안암학사 외 3개)	1,249
11	기숙사(안암학사 외 3개)	1,227	산학관	1,171
12	HanaSquare	1,219	미래융합기술관	1,133
13	중앙광장	1,208	국제관	1,059
14	백주년기념삼성관	1,184	중앙광장	1,052
15	국제관	1,172	HanaSquare	1,025
16	미래융합기술관	1,124	백주년기념삼성관	942
17	화정체육관	935	SK미래관	804
18	현대자동차경영관	787	현대자동차경영관	741
19	운초우선교육관	785	운초우선교육관	658
20	중앙도서관 신관	738	생명과학관 동관	616

붙임 1

고려대학교 온실가스 배출량 상세



표 21 서울캠퍼스 주요 건물 단위면적당 온실가스 배출량(2019, 2020)

(단위: tCO₂-eq)

순위	2019년		2020년	
	건물명	온실가스 배출량	건물명	온실가스 배출량
1	제1실험관	0.24	제2실험관	0.22
2	제2실험관	0.22	미래융합기술관	0.15
3	미래융합기술관	0.15	제1실험관	0.14
4	생명과학관 서관	0.13	생명과학관 서관	0.12
5	과학도서관	0.11	신공학관	0.12
6	KU R&D 센터	0.11	KU R&D 센터	0.11
7	신공학관	0.11	애기능생활관	0.11
8	애기능생활관	0.11	아산이학관	0.10
9	창의관	0.10	법학관 구관	0.10
10	생명과학관 동관	0.10	창의관	0.09
11	공학관	0.10	본관	0.09
12	법학관	0.10	생명과학관 동관	0.09
13	본관	0.09	과학도서관	0.09
14	아산이학관	0.09	CJ식품안전관	0.09
15	CJ식품안전관	0.09	체육위원회.연수관	0.09
16	하나과학관(생명과학대)	0.09	공학관	0.09
17	체육위원회.연수관	0.08	하나과학관(생명과학대)	0.08
18	우정정보통신관	0.07	사범대학 본관/신관	0.07
19	타이거플라자	0.07	우정정보관	0.07
20	사범대학 본관/신관	0.07	애기능학생회관	0.06

붙임 2

에너지 효율화 기술 및 탄소 제로 에너지 시스템 기술



에너지 효율화 기술

탄소 제로 에너지시스템기술

1 건물 외피 공사

» 고성능 창호

	제품 개념도	시공운영 사례
<p>참조 사진</p>	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>일사열</p> <p>SHGC</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>대류 전도 복사</p> <p>열관류율</p> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> <div style="text-align: center;">  <p>틈새바람</p> <p>기밀성능</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>가시광선</p> <p>가시광선 투과율</p> </div> </div>	
<p>기술 요약 설명</p>	<ul style="list-style-type: none"> 고성능 창호는 계절별 일사량 조절성, 고단열성, 고기밀성을 가짐. 창호는 건물 외피에서 열적으로 가장 취약한 부분으로 기존 창호를 고성능 창호 시 에너지 절감 효과가 뛰어나. 제품의 성능과 함께 시공 시 외벽 구조와 접합 시 열교 부위가 발생하지 않는 시공기술이 중요함. 	
<p>기술 동향</p>	<ul style="list-style-type: none"> 창호의 단열 성능이 대폭 강화되어 외벽에 준하는 열관류율이 확보된 창호제품들이 출시되고 있음. 최근에는 건물일체형태양광으로 창호에 투명 태양광을 일체화하고 시공하는 기술도 개발 및 상용화되고 있음. 	
<p>시장 동향</p>	<ul style="list-style-type: none"> 이건창호, LG하우시스, 알루이엔씨 등에서 창호 시장을 주도하고 있으나 최근정부의 그린리모델링 사업으로 중소기업들이 시장 진입 중으로 설치 가격의 인하가 기대됨. 	
<p>저감 기대 효과</p>	<p style="text-align: center;">냉난방 에너지 비용 30% 저감</p>	
<p>시공 비용</p>	<p style="text-align: center;">상 / 중 / 하</p>	
<p>유지 비용</p>	<p style="text-align: center;">상 / 중 / 하</p>	
<p>적용 사례</p>	<p style="text-align: center;">한국외국어대학교 글로벌 캠퍼스 인문경상관, 어문학관</p>	
<p>참고 사이트/문헌</p>	<p>고성능 신개념 창호 시스템 (https://m.blog.naver.com/sbsim68/130079206332) [보고서]건물외피 시스템의 그린리모델링 최적화 기술 개발 (kisti.re.kr)</p>	

붙임 2

에너지 효율화 기술 및 탄소 제로 에너지 시스템 기술



에너지 효율화 기술

탄소 제로 에너지시스템 기술

1 건물 외피 공사

» 외피 (건물 단열재 개선)

참조 사진	제품 개념도	시공운영 사례
<p>기술 요약 설명</p>	<p>제품 개념도</p>  	<p>시공운영 사례</p>  <p>고려대학교 공학관 리모델링 공사</p>
<p>기술 동향</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 건물 외피 단열공사를 통해 열 관류율을 개선하여 냉방/난방 효율을 상승시킬 수 있다. • 외벽 단열은 외단열, 중단열, 내단열이 있으며 상황과 용도에 맞는 단열 방법을 선택해야한다. • 단열재의 종류에 따라 단열 효율이 달라지며, 무기 단열재가 각광받고 있다. 	
<p>시장 동향</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 다양한 단열재가 유통되고 있으나, 유지보수 등의 장점으로 인해 무기 단열재가 주로 유통되고 있다. • 공사 규모에 따라 내단열, 중단열, 외단열을 선택할 수 있다. 	
<p>저감 기대 효과</p>	<p>냉난방 에너지 비용 15% 저감</p>	
<p>시공 비용</p>	<p>상 / 중 / 하</p>	
<p>유지 비용</p>	<p>상 / 중 / 하</p>	
<p>적용 사례</p>	<p>고려대학교 공학관 리모델링 공사</p>	
<p>참고 사이트/문헌</p>	<p>공공건축물 그린리모델링 시공가이드라인, 국토교통부</p>	

붙임 2

에너지 효율화 기술 및 탄소 제로 에너지 시스템 기술



에너지 효율화 기술

탄소 제로 에너지시스템 기술

2 냉난방기기 개선

» 고효율 냉난방기기 (히트펌프형 난방기기)

	제품 개념도	시공운영 사례
<p>참조 사진</p>		<p>하남 스타필드 중앙 공조 및 스마트 냉난방 시스템</p>
<p>기술 요약 설명</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 히트펌프는 공기중의 열 에너지를 활용하여 실내 냉난방에 사용하는 장치로, 대기중의 열 에너지를 사용하는 만큼 전기 사용량을 절감한다. • 히트펌프는 냉매의 압축과 팽창을 통해 공기중의 열 에너지를 활용하며, 냉방과 난방에 활용이 가능하다. 	
<p>기술 동향</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 히트펌프는 일반적으로 전기 투입량 대비 3~5배의 냉방/난방 효율을 얻는다. • 시스템에어컨, FCU등과 연계하여 건물 내 공조 시스템을 구축하고 스마트 제어 기술을 통해 냉,난방과 중앙 공조를 효과적으로 제어한다. 	
<p>시장 동향</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 국내 대기업인 삼성전자, LG전자 등에서 시스템에어컨, 히트펌프, 공조 시스템을 연계하여 시장을 형성하고 있다. 	
<p>저감 기대 효과</p>	<p>냉난방 부하 약 62% 저감</p>	
<p>시공 비용</p>	<p>상 / 중 / 하</p>	
<p>유지 비용</p>	<p>상 / 중 / 하</p>	
<p>적용 사례</p>	<p>하남 스타필드 중앙 공조 및 스마트 냉난방 시스템</p>	
<p>참고 사이트/문헌</p>	<p>공공건축물 그린리모델링 시공가이드라인, 국토교통부</p>	

붙임 2

에너지 효율화 기술 및 탄소 제로 에너지 시스템 기술



에너지 효율화 기술

탄소 제로 에너지시스템기술

3 난방기기 개선

» 난방기기 (시스템 보일러)

	제품 개념도	시공운영 사례
<p>참조 사진</p>	 <p>냉방, 바닥 난방, 급탕까지 가능한 고효율 시스템보일러</p>	 <p>마산대학교 LG 시스템 보일러 설치</p>
<p>기술 요약 설명</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 다양한 히트펌프 실외기와 연동하여 냉방, 공간 및 바닥난방, 급탕까지 가능한 시스템으로, 보일러 대비 에너지 비용 및 온실가스 배출량을 최소화 할 수 있는 고효율 바닥난방, 급탕 솔루션이다. 	
<p>기술 동향</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 외부 히트펌프 실외기와 연동하여 작동하며, 기존 보일러 대비 에너지 사용량과 온실가스 배출량을 대폭 절감할 수 있다. 	
<p>시장 동향</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 시스템 보일러는 LG전자에서 공급중이며 LG전자의 히트펌프 시스템과 연동하여 사용 가능하다. 	
<p>저감 기대 효과</p>	<p>등유 보일러 대비 난방비 58% 저감 / 가스보일러 대비 난방비 38% 저감</p>	
<p>시공 비용</p>	<p>상 / 중 / 하</p>	
<p>유지 비용</p>	<p>상 / 중 / 하</p>	
<p>적용 사례</p>	<p>마산대학교 LG 시스템 보일러</p>	
<p>참고 사이트/문헌</p>	<p>https://www.lge.co.kr/kr/business/ 공공건축물 그린리모델링 시공가이드라인, 국토교통부</p>	

붙임 2

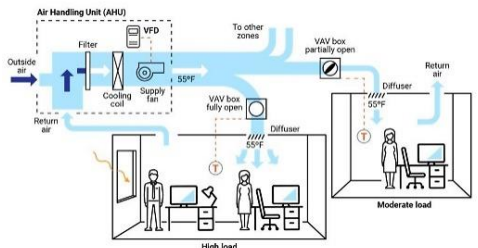
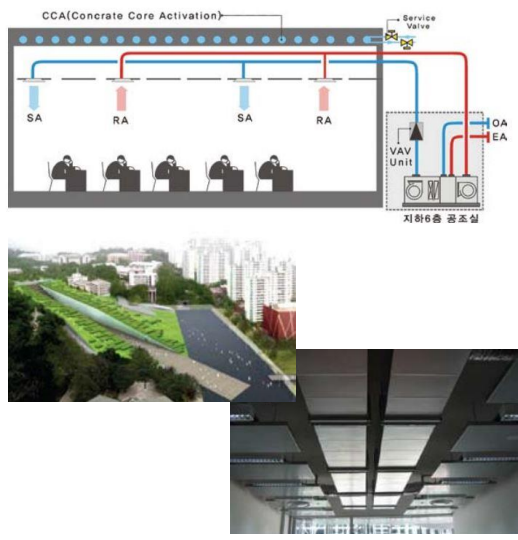
에너지 효율화 기술 및 탄소 제로 에너지 시스템 기술 KOREA UNIVERSITY

에너지 효율화 기술

탄소 제로 에너지시스템기술

4 공조방식 개선

» 변풍량 공조방식 VAV (Variable Air Volume)

	제품 개념도	시공운영 사례
<p>참조 사진</p>	 <p>풍량 조절을 통해 공간마다 온도를 일정하게 유지하여 전체 부하를 줄임</p>	 <p>이화대학교 ECC 공조 시스템 사례</p>
<p>기술 요약 설명</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 송풍 온도는 일정하게 유지하고 구역 별로 송풍량을 조절하여 실온을 일정상태로 유지한다. • 변풍량 방식은 전체 부하가 줄어들어 에너지절약 가능하지만 자동제어가 복잡하다. • 정풍량 방식과 달리 동시부하를 고려하여 기기용량 선정할 수 있어 설비용량 줄일 수 있다. • 실, 구역 별로 VAV유닛설치 하여 부하에 따른 송풍량 조절하여 전체 에너지를 절약한다. 	
<p>기술 동향</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 정풍량 공조방식은 극장이나 쇼핑몰 등 대형 공간에서 주로 적용하며, 개별 공간이 많은 장소에서는 정풍량 방식을 사용하고 있지 않다. 	
<p>시장 동향</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 국내 대기업인 삼성전자, LG전자 등에서 시스템에어컨, FCU 유닛, 공조 시스템을 연계하여 시장을 형성하고 있다. 	
<p>저감 기대 효과</p>	<p>정풍량 공조 대비 부하 30% 저감</p>	
<p>시공 비용</p>	<p>상 / 중 / 하</p>	
<p>유지 비용</p>	<p>상 / 중 / 하</p>	
<p>적용 사례</p>	<p>이화대학교 ECC 공조 시스템</p>	
<p>참고 사이트/문헌</p>	<p>이화여대 지하 캠퍼스 환기 설비시스템 설계 사례, 한일엠이씨</p>	

붙임 2

에너지 효율화 기술 및 탄소 제로 에너지 시스템 기술 KOREA UNIVERSITY

에너지 효율화 기술

탄소 제로 에너지시스템 기술

5 폐열 회수 개선

» 폐열 회수 (세부 기술 명)

	제품 개념도	시공운영 사례
<p>참조 사진</p>		<p>서울예술대학교 전열교환기 시공</p>
<p>기술 요약 설명</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 폐열 회수형 환기장치는 일면 전열교환기로 불리며 실외로 배출하는 공기의 열을 실내로 유입되는 공기로 전달하여 실내 온도변화를 최소화하며 환기하는 장치이다. 	
<p>기술 동향</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 실내 공간에 따라 천장 매립형, 상치형 등 다양한 형태의 전열교환기가 있으며, 최근 전열교환기는 실내 대기질을 판단하여 운전 시간을 자동으로 조정하여 에너지 효율을 더욱 향상하는 방법을 도입하고 있다. 	
<p>시장 동향</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 다양한 전열 교환기가 시장에 유통되고 있으며, 최근 기술 동향은 스마트 운전 시스템을 합친 환기 시스템을 판매하고있다. 	
<p>저감 기대 효과</p>	<p>자연 환기 대비 최대 25%의 에너지 절감</p>	
<p>시공 비용</p>	<p>상 / 중 / 하</p>	
<p>유지 비용</p>	<p>상 / 중 / 하</p>	
<p>적용 사례</p>	<p>서울예술대학교 전열교환기 시공</p>	
<p>참고 사이트/문헌</p>	<p>http://aircop.co.kr/main.do 공공건축물 그린리모델링 시공가이드라인, 국토교통부</p>	

붙임 2

에너지 효율화 기술 및 탄소 제로 에너지 시스템 기술



에너지 효율화 기술

탄소 제로 에너지시스템 기술

6 제어방식 개선

» BEMS (Building Energy Management System)

	제품 개념도	시공운영 사례
<p>참조 사진</p>	<p>The diagram illustrates the BEMS concept and system architecture. On the left, a building facade is shown with various sensors (temperature, humidity, gas, vibration, etc.) and control units (HVAC, lighting, etc.). On the right, a central server and control room are depicted. Below this, a detailed network diagram shows the connection between various devices (HVAC, lighting, elevators, etc.) and a central data collection unit, with protocols like RS-485, TCP/IP, and BACnet indicated.</p>	<p>전남대학교 농업생명과학대학2호관, 진리관 BEMS 적용</p>
<p>기술 요약 설명</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 건축물의 쾌적한 실내환경 유지와 효율적인 에너지관리를 위하여 에너지 사용내역을 모니터링하여 최적화된 건축물에너지관리방안을 제공하는 계측, 제어, 관리 운영 등이 통합된 시스템을 말한다. 	
<p>기술 동향</p>	<ul style="list-style-type: none"> • BEMS는 건물 내부에서만 조절하는 BEMS 뿐만 아니라, 시스템을 제공하는 업체에서 건물 에너지 사용 내역 등에 대한 유지관리 서비스를 제공하는 방향으로 진화하고있다. 	
<p>시장 동향</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 지멘스, 하니웰등이 시장의 선도 공급 업체이며 SK 및 KT 등 국내 통신 업체들은 클라우드 BMES등을 개발 서비스를 제공하고 있다. 	
<p>저감 기대 효과</p>	<p>건물별 에너지 사용량 최대 20% 저감</p>	
<p>시공 비용</p>	<p>상 / 중 / 하</p>	
<p>유지 비용</p>	<p>상 / 중 / 하</p>	
<p>적용 사례</p>	<p>전남대학교 삼성 스마트캠퍼스 구현을 위한 b.IoT 통합 솔루션 구축</p>	
<p>참고 사이트/문헌</p>	<p>https://www.samsung.com/sec/business/b-iot-solutions/b-iot-solution/ 공공건축물 그린리모델링 시공가이드라인, 국토교통부</p>	

BAS(Building Automation System) 설비기기의 감시 및 조작
 IBS(Intelligent Building System) 조명 엘리베이터 방재 등을 포함한 통합관리
 FMS(Facility Management System) 건물정보 자재 장비 작업인력 도면
 BMS(Building Management System) 빌딩 상태 감시 및 제어, 에너지 사용관리, 주차 관제 등
 EMS(Energy Management System) 에너지 사용량 관리
 BEMS(Building Energy Management System) 에너지 환경관리, 빌딩설비 관리, 시설운영 지원, BAS 연계 등

붙임 2

에너지 효율화 기술 및 탄소 제로 에너지 시스템 기술



에너지 효율화 기술

탄소 제로 에너지시스템기술

7 BIPV

» 건물태양광 (BIPV)

	제품 개념도	시공운영 사례
<p>참조 사진</p>	 <p>BIPV 모듈구조 BIPV Module Structure</p> <p>G2G TYPE : GLASSTO GLASS G2B TYPE : GLASSTO BACKSHEET</p> <p>차광분광화유리 (Low Iron Tempered Glass) 차광분광화유리 (Low Iron Tempered Glass)</p> <p>EVA Film EVA Film</p> <p>Solar Cell Solar Cell</p> <p>Junction Box Junction Box</p> <p>투명 일산화 알루미늄 또는 석상유리 Backsheet (Color : white, back, clear)</p>	 <p>서울시 역세권 청년주택</p>
<p>기술 요약 설명</p>	<ul style="list-style-type: none"> • BIPV는 태양광 패널을 별도 공간에 설치하지 않고 건물의 창호나 벽면, 발코니에 태양광 패널을 설치하는 기술이다. 이를 통해 소규모 시설에서 건물 자체적으로 전기를 생산하고 이용할 수 있다, • 별도의 공간이나 시설물 없기 때문에 건물의 미관을 해치지 않고 태양광 시설을 설치할 수 있다. 	
<p>기술 동향</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 한국은 2009년 서울시 송파구의 설치를 시작으로 점점 설치 규모가 늘어나고 있으며, 송파구 설치사례의 경우 연간 497MW의 전기를 절약하고 있다. • BIPV는 태양광 패널 기술의 발전에 따라 그 효율과 성능이 향상되기 때문에 향후 기술 수준의 향상과 함께 태양광 발전 효율 또한 상승할 전망이다. 	
<p>시장 동향</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 다양한 태양광 패널 업체에서 BIPV 또한 공급하고 있으며, 서울시에서는 그린 뉴딜 사업의 일환으로 2022년까지 BIPV 지원규모를 120억원으로 확장할 계획이다. 	
<p>저감 기대 효과</p>		
<p>시공 비용</p>	<p>상 / 중 / 하</p>	
<p>유지 비용</p>	<p>상 / 중 / 하</p>	
<p>적용 사례</p>	<p>서울시 역세권 청년주택</p>	
<p>참고 사이트/문헌</p>	<p>https://blog.naver.com/kicox1964/222169318665 http://www.skse1.com/main/index.html</p>	

붙임 2

에너지 효율화 기술 및 탄소 제로 에너지 시스템 기술





에너지 효율화 기술

탄소 제로 에너지시스템기술

8 연료전지

» 연료전지

	제품 개념도	시공운영 사례
참조 사진	 <p style="text-align: center;">NG5K NG1K</p>	 <p style="text-align: center;">서울대학교 건물용 연료전지 시스템</p>
기술 요약 설명	<ul style="list-style-type: none"> 연료전지는 수소와 산소의 화학반응으로 생기는 화학에너지를 직접 전기에너지로 변환시키는 기술이다. 생성물이 전기와 순수(純水)인 발전효율 30~40%, 열효율 40% 이상으로 총 70~80%의 효율을 갖는 신기술이다. 	
기술 동향	<ul style="list-style-type: none"> 최근 다양한 연료를 사용하여 발전 효율을 화력발전소 이상으로 끌어올리면서 유해물질은 배출하지 않는 방향으로 기술이 발전하고있다. 	
시장 동향	<ul style="list-style-type: none"> 연료전지는 신재생에너지 보급사업으로 인해 공공기관을 중심으로 빠르게 보급되고 있다. 최근들어 전력수요 증가에 따라 수요가 증가하는 추세이다. 	
저감 기대 효과	전기효율 35% 이상 / 종합효율 85% 이상	
시공 비용	상 / 중 / 하	
유지 비용	상 / 중 / 하	
적용 사례	서울대학교 건물용 연료전지 시스템	
참고 사이트/문헌	http://www.s-fuelcell.com/goods/lineUp.php http://www.gasnews.com/news/articleView.html?idxno=95908	

붙임 3

고려대학교 흡수원 현황



서울캠퍼스

고려대학교 서울캠퍼스의 면적은 95헥타르이며, 이 중 녹지면적은 29헥타르로 전체 면적의 약 30%를 차지하고 있다. 이 중 교목이 86%(24.94헥타르)를 차지하고 있으며, 관목은 4%(1.23헥타르), 초지는 9%(2.78 헥타르)이다. 식재 수종으로는 소나무, 느티나무, 단풍나무, 메타세콰이어, 혼효림, 기타활엽수, 기타참나무류 등이 있으며, 2018년 기준 고려대학교 서울캠퍼스 내 이산화탄소 흡수량은 연간 265.28 tCO₂-eq이다.



학술림

고려대학교는 양평, 철원, 괴산 등 3개의 학술림을 소유하고 있다.



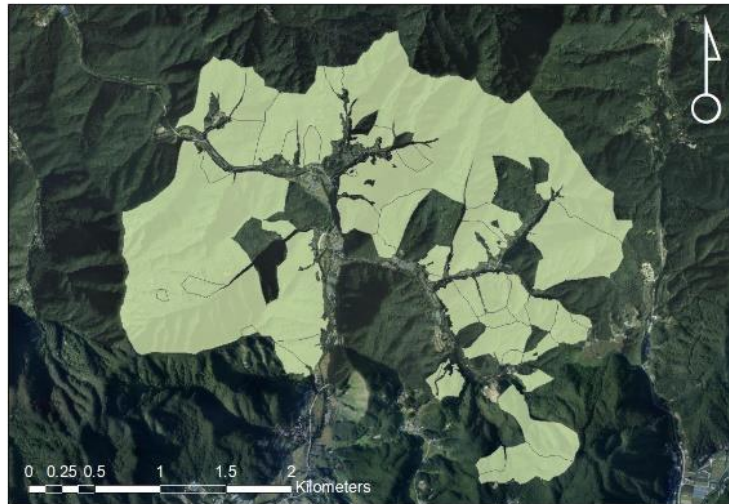
붙임 3

고려대학교 흡수원 현황



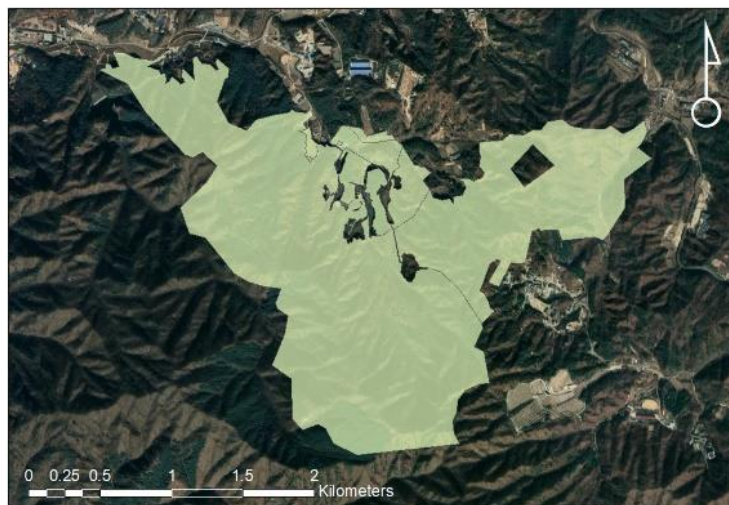
» 양평학술림(553.5ha)

경기도 양평군 양동면 고송리 일원(북위 37° 30'55"~37° 28'60", 동경 127° 41'10"~127° 43'50")에 위치하고 있다. 수종분포는 신갈나무 및 굴참나무 등 참나무류가 48.6%를 이루고 있으며, 활엽수림으로 천이가 진행되고 있다. 침엽수림은 낙엽송과 잣나무로 구성(46.1%)된다. 연간 6,350 tCO₂-eq를 흡수한다.



» 철원학술림(441.0ha)

강원도 철원군 갈말읍 문혜리 일원(북위 38° 10'50"~38° 9'20", 동위 127° 20'30"~127° 23'05")에 위치하고 있다. 활엽수림이 전체 산림의 79.6%를 차지하고 있다. 침엽수림은 16.32%이다. 수종 별 구성비는 잣나무림 9.65%, 소나무림 2.83%, 낙엽송림 3.83%이다. 연간 5,243 tCO₂-eq를 흡수한다



붙임 3

고려대학교 흡수원 현황



» 과산학술림(226.0ha)

충청북도 괴산군 연풍면과 장연면에 걸쳐 소재하고 있다. 행정단위를 달리하여 5곳에 분산(북위 36° 46'30"~ 36° 52'15", 동위 127° 53'0"~127° 59'30"사이)되어 있다. 활엽수림 (25.71%), 낙엽송림 (27%), 침활혼효림 (22.08%)으로 구성되어 있다. 연간 약 2,569 tCO₂-eq를 흡수한다.



▣ 덕소 농장(39ha)

덕소 농장에서 온실가스 발생을 최소화하고 농업 생산성을 높이는 농경방식을 적용한다. 아울러 탄소중립시대에 중요한 감축수단인 BECCS의 적용을 위해 바이오에너지 작물 키우기를 시도한다.



사진 출처: 체험형 공간으로 바뀌는 고대농장(고대신문. 17.06.06.)



붙임 4

전기 충전기 종류

▲ 급속 충전기

종류(출력)	50kW	100kW	200kW	350kW 초급속
형태				
커넥터	AC3상, DC차데모, DC콤보	DC콤보	DC콤보(동시충전)	DC콤보(수냉식)
충전 속도*	80분	20분	18분	약 15분

* '21년 출시된 현대 아이오닉5(220~240kW) 충전속도 기준

▲ 완속 충전기

종류(출력)	스탠드형	벽부형	이동형	과금형 콘센트
형태				
용량	7~14kW	7~14kW	3kW	3kW
충전 속도*	6~8시간	6~8시간	10~12시간	10~12시간
이용방법	플러그 연결	플러그 연결	콘센트에 플러그 연결 태그에 충전카드 인식	콘센트 및 과금기능이 합쳐진 일체형

* 현대 코나전기차(150kW) 충전속도 기준

붙임 5

서울캠퍼스 건물별 분류 및 온실가스 감축 잠재량



부속건물명	창호 구조	창호비	승인 연도	사용 스케줄	냉난방		제어		기저부하		흡수식 냉방	온실가스 감축 잠재량
					전기	가스	전기	가스	전기	가스		
본관	차, 틸	반	고	업	중	상	상	상	하	상	흡	62%
문과대학(서관)	차	반	고	업, 연, 강	하	-	중	-	하	-	전	39%
정경관	틸	반	중	업, 연, 강	하	상	하	중	중	상	흡	55%
인촌기념관	차	반	중	업, 연, 강	하	상	상	하	하	상	전	61%
우당교양관	차	반	중	연, 강	하	중	중	상	하	상	흡	54%
수당삼양패컬티하우스	차	전	현	서	하	하	하	하	중	하	전	NA
학생회관	차	반	고	업	하	상	하	중	하	상	전	47%
4.18기념관	차	전	중	업	하	상	상	상	하	상	전	53%
국제관	커	전	중	업, 연, 강	하	상	중	상	하	상	흡	51%
중앙광장	무	무	중	서	하	하	하	중	중	중	흡	36%
타이거플라자	커	전	중	서	중	-	하	-	하	-	전	32%
미디어관	커	전	중	업, 연, 강	하	중	하	중	중	상	흡	43%
파이빌 99	틸	무	현	업	하	-	하	-	하	-	전	41%
SK미래관	틸	반	현	서	하	하	하	하	중	중	전	45%
청산MK문화관	틸	반	중	업, 연	하	-	중	-	하	-	전	50%
중앙도서관(대학원)	차	반	고	연, 서	하	-	하	-	하	-	전	37%
중앙도서관(신관)	차	반	고	서	하	중	중	상	하	상	전	43%
법학관(구관)	틸	반	중	업, 연, 강	하	중	하	중	중	상	흡	70%
법학관(신관)	틸	반	중	업, 연, 강	하	-	중	-	하	-	전	39%
아세아문제연구원	틸	반	고	업	하	-	하	-	중	-	전	31%
경영본관	틸	전	고	업, 연	하	-	상	-	하	-	전	47%
LG-POSCO경영관	틸	반	중	연, 강	하	-	상	-	하	-	전	39%
사범대학 본관/신관	틸	반	고	업, 연, 강	중	상	중	상	하	상	흡	57%
운초우선교육관	틸	반	중	연, 강	하	상	중	상	하	상	흡	55%
체육생활관	틸	반	중	업	-	-	하	-	중	-	전	41%
라이시움(평생교육원)	틸	전	중	업, 강	하	하	중	하	하	중	전	43%
백주년기념삼성관	틸	전	중	서	하	하	하	상	중	상	흡	47%
해송법학도서관	커	전	중	서	하	상	하	상	중	상	흡	53%
동원글로벌리더십홀	틸	반	중	업	하	-	하	-	하	-	전	42%
CJ법학관	틸	반	중	업, 연, 강	하	-	하	-	중	-	전	28%
현대자동차경영관	커	전	현	연, 강	하	중	중	상	하	상	흡	39%

붙임 5

서울캠퍼스 건물별 분류 및 온실가스 감축 잠재량



부속건물명	창호 구조	창호비	승인 연도	사용 스케줄	냉난방		제어		기저부하		흡수식 냉방	온실가스 감축 잠재량
					전기	가스	전기	가스	전기	가스		
한 국 어 교 육 관	차	반	현	강	하	하	중	하	하	하	전	44%
하나과학관(보건과학대)	차	반	현	업, 연, 강	중	하	상	중	상	상	흡	35%
아 산 이 학 관	커	전	중	연, 강, 실	하	하	중	하	상	중	전	37%
생명과학관(서관)	차	반	고	연, 강, 실	하	중	하	상	상	상	흡	37%
하 나 스 퀘 어	커	전	중	강, 서	하	중	하	상	중	상	흡	44%
C J 식 품 안 전 관	커	전	중	연, 강, 실	하	중	중	상	상	상	흡	43%
메 디 힐 지 구 환 경 관	틈	전	현	연, 실	하	하	하	하	하	하	전	64%
과 학 도 서 관	틈	반	중	강, 서	상	상	상	중	하	상	흡	50%
공 학 관	틈	반	중	업, 연, 실	하	중	중	중	중	상	흡	43%
산 학 관	커	전	중	업	하	-	중	-	하	-	전	36%
창 의 관	틈	전	중	업, 연, 강, 실	하	중	하	중	상	상	흡	45%
제 2 실 험 관	틈	무	중	연, 강, 실	상	-	중	-	하	-	전	29%
제 1 실 험 관	무	무	중	연, 강, 실	하	-	하	-	상	-	전	34%
애 기 능 학 생 회 관	틈	반	중	업	상	상	하	중	하	상	전	48%
생명과학관(동관)	틈	반	중	연, 강, 실	하	중	상	중	중	상	흡	43%
애 기 능 생 활 관	틈	반	중	연, 실, 서	하	중	하	상	상	상	전	36%
미 래 융 합 기 술 관	커	전	중	업, 연, 실	중	중	하	중	중	상	흡	39%
우 정 정 보 관	커	반	중	연, 실	하	중	중	상	상	상	흡	42%
로 봇 융 합 관	커	전	중	연, 실	하	-	중	-	중	-	전	27%
신 공 학 관	커	전	현	연, 강, 실	하	하	중	상	상	상	흡	36%
K U R & D 센 터	틈	반	중	연, 강, 실	중	-	중	-	중	-	전	35%
민족문화관(한국학관)	차	반	중	업	하	중	상	중	하	상	흡	51%
KU-KIST융합대학원 별관(인공장치센터)	틈	무	중	업	하	-	하	-	하	-	전	42%
학 군 단	틈	반	중	업, 강	하	중	하	중	중	상	전	66%
체육위원회.연수관	차	반	중	업	하	상	중	중	하	상	전	47%
기숙사(8개 건물)	차, 틈	반	중	기	하	-	하	-	중	-	전	38%
프 런 티 어 관	틈	반	중	기	하	-	하	-	하	-	전	39%
녹 지 운 동 장	무	무	고	서	-	-	-	-	-	-	-	NA
화 정 체 육 관	커	전	중	서	하	중	하	중	하	상	흡	47%
우 정 간 호 학 관	틈	반	중	업, 연, 강, 실	-	하	하	중	중	상	흡	38%
어린이집(차고·창고)	틈	무	중	업	하	하	하	중	중	중	전	52%

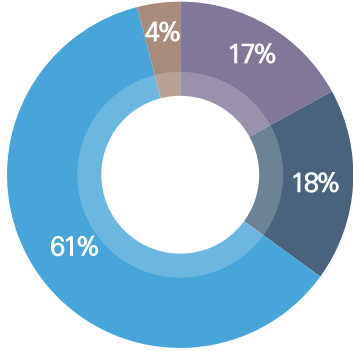
붙임 5

서울캠퍼스 건물별 분류 및 온실가스 감축 잠재량



참고 서울캠퍼스 건물별 분류 결과

» 유형별 건물수 분포도 그래프



» 유형별 연면적 그래프

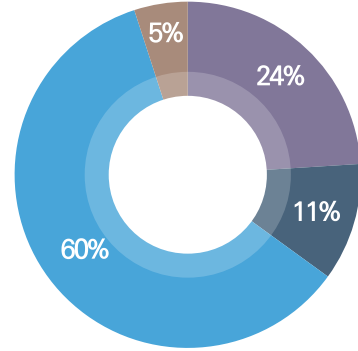
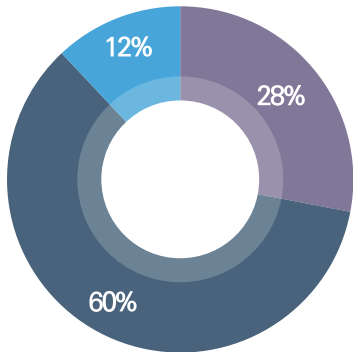


그림 43 | 건물 유형별 통계 (창호 구조)

» 유형별 건물수 분포도 그래프



» 유형별 연면적 그래프

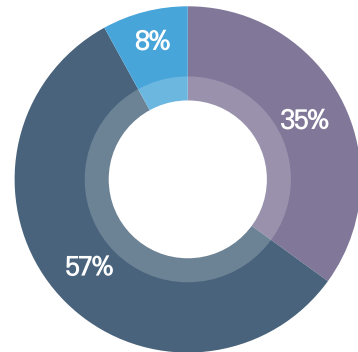
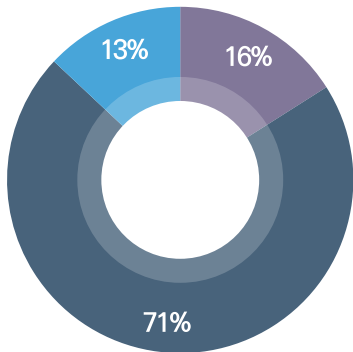


그림 44 | 건물 유형별 통계 (창호비)

» 유형별 건물수 분포도 그래프



» 유형별 연면적 그래프

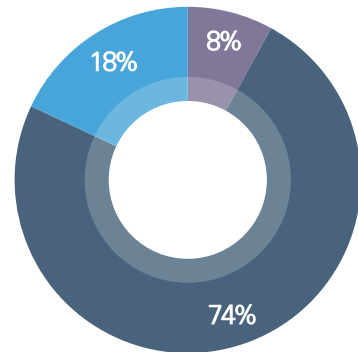


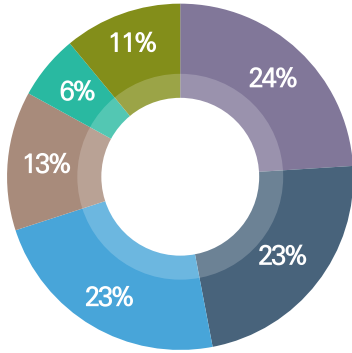
그림 45 | 건물 유형별 통계 (준공연도)

붙임 5

서울캠퍼스 건물별 분류 및 온실가스 감축 잠재량



» 유형별 건물수 분포도 그래프



» 유형별 연면적 그래프

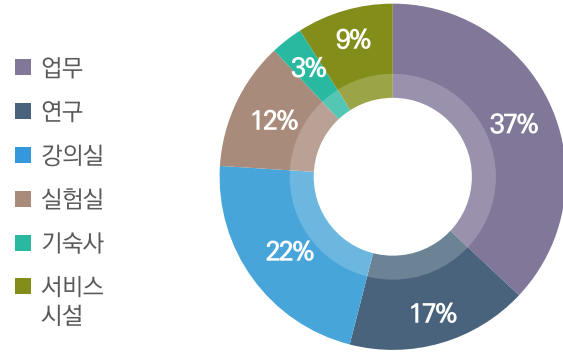
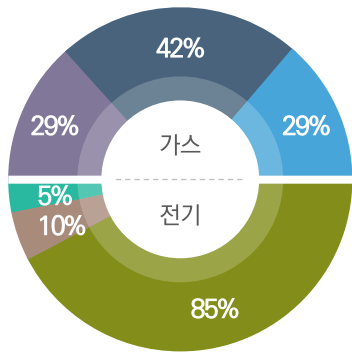


그림 46 | 건물 유형별 통계 (사용용도)

» 유형별 건물수 분포도 그래프



» 유형별 연면적 그래프

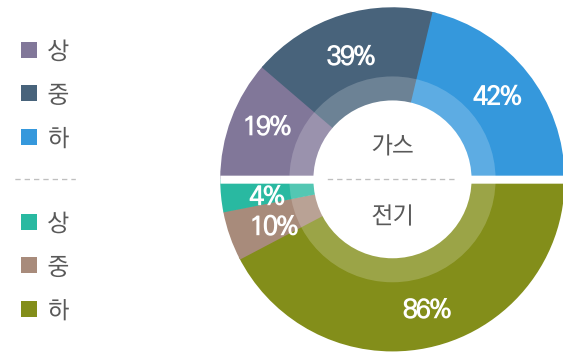
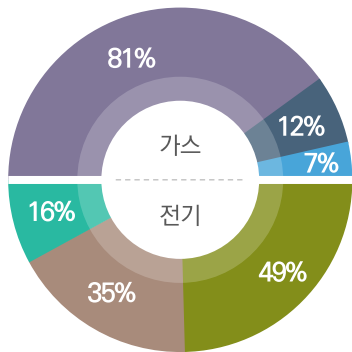


그림 47 | 건물 에너지 소비 패턴 유형별 통계 (건물의 냉난방 부하 민감도)

» 유형별 건물수 분포도 그래프



» 유형별 연면적 그래프

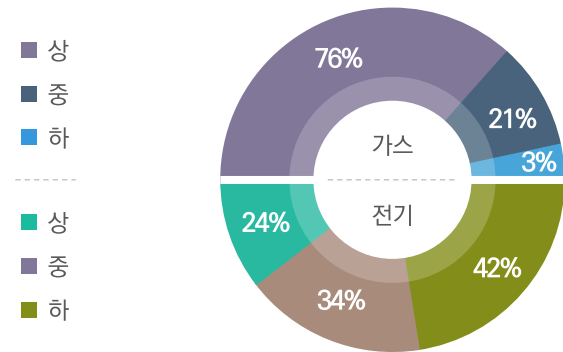


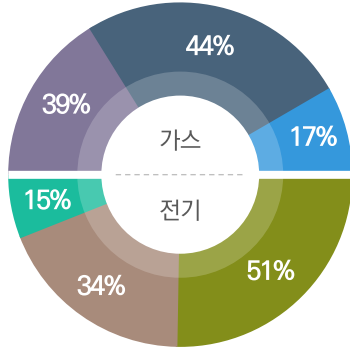
그림 48 | 건물 에너지 소비 패턴 유형별 통계 (기저부하)

붙임 5

서울캠퍼스 건물별 분류 및 온실가스 감축 잠재량



» 유형별 건물수 분포도 그래프



» 유형별 연면적 그래프

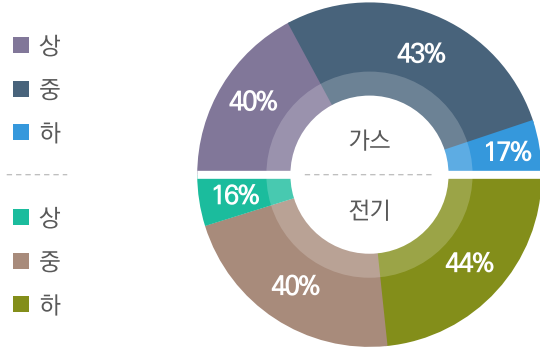
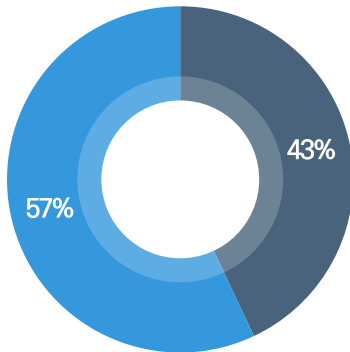


그림 49 건물 에너지 소비 패턴 유형별 통계 (제어 수준)

» 유형별 건물수 분포도 그래프



» 유형별 연면적 그래프

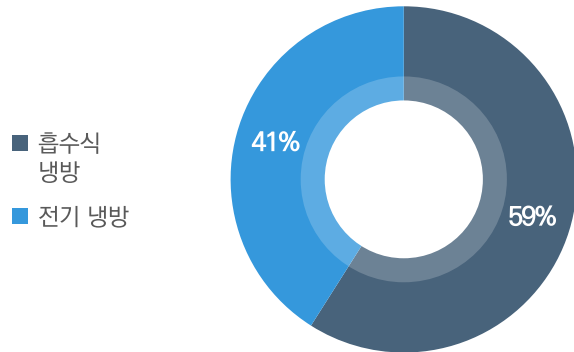


그림 50 | 건물 에너지 소비 패턴 유형별 통계 (흡수식 냉방)

고려대학교 탄소중립계획

C A R B O N N E U T R A L

발행기관

고려대학교 부설 오정리질리언스연구원, 지속발전연구소

참여연구진

이우균 OJERI 원장

전진형 OJERI 부원장

황석태 OJERI 특임교수

진병복 OJERI 연구교수

김재민 (주)이젠파트너스 대표이사

박훈 OJERI 중점연구소 연구교수

조아라 OJERI 연구원

고영진 고려대학교 대학원 환경생태공학과 석박사 통합과정

김준 고려대학교 대학원 환경생태공학과 석박사 통합과정

편집디자인

닥터조이(Doctorjoy)

자료협조 및 감수

관리팀 김흥덕 부장

시설운영팀 신용선 부장



고려대학교
KOREA UNIVERSITY