

동일한 열관류율을 가진 벽체의 단열재 종류 및 배치방식에 따른 열 거동 분석

김시은, 다니엘, 조하빈

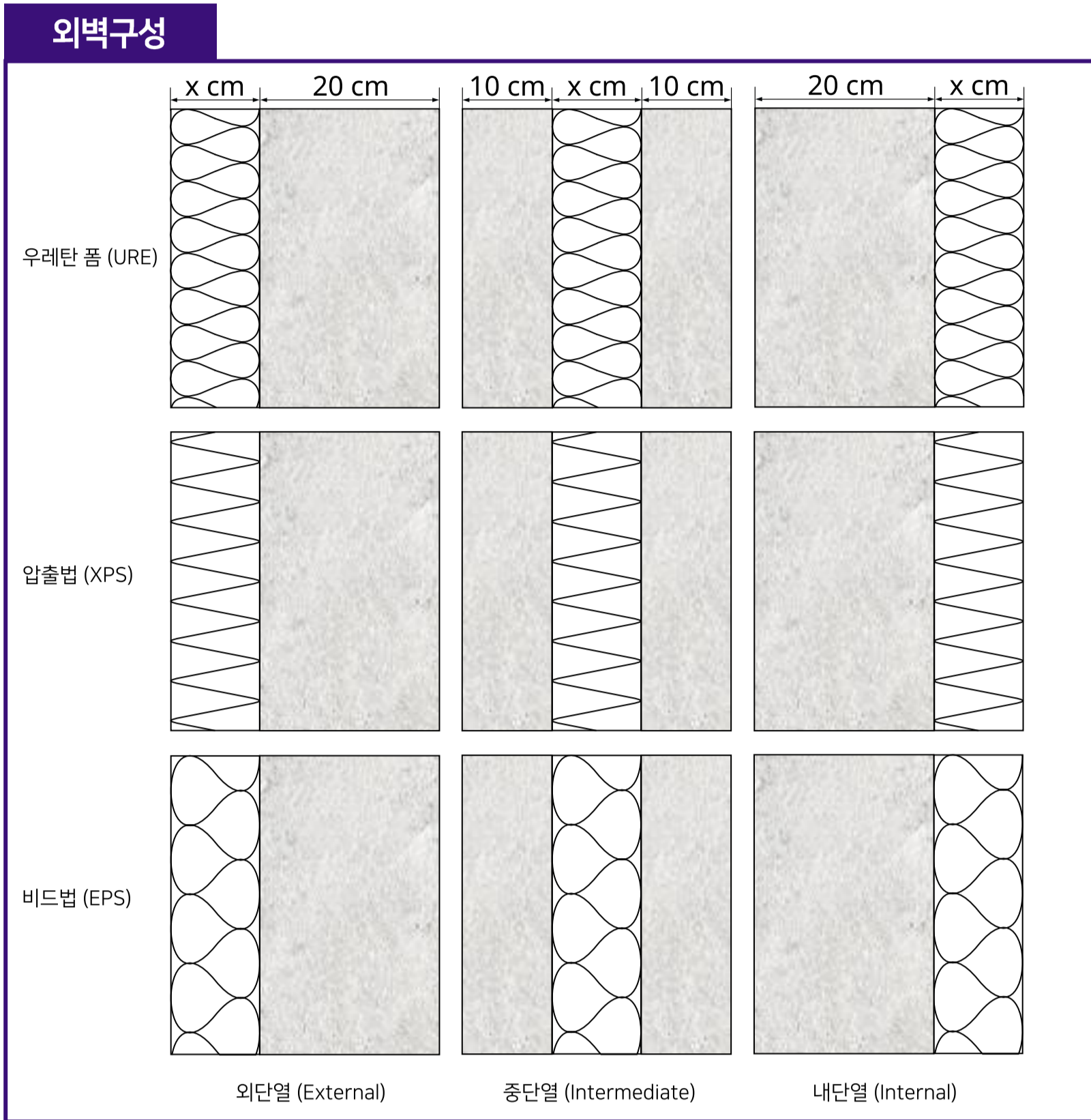
연구배경

외벽의 비정상상태 열 거동 해석의 필요성

국내 에너지는 2022년 기준으로 94.3%가 해외 수입에 의존하는 가운데, 건축물 부분에서 25% 이상을 사용하고 있다. 일반적으로 건축물의 열손실이 외벽을 통하여 약 30% 이상 일어난다는 점을 고려한다면 외벽을 통한 에너지 손실의 최소화는 매우 중요하다. 건물 외피의 단열성능은 열관류율이라는 물리량으로 평가되기 때문에 열관류율을 향상시키기 위한 노력이 이어져왔다. 열관류율이란 벽체의 내·외부 온도차이가 1 °C일 때, 단위면적에 단위시간당 전달되는 열에너지의 양을 의미한다. 이러한 열관류율을 통한 벽체의 열 거동 분석은 정상상태를 가정하고 수행된다. 그러나, 정상상태 가정의 경우 시스템의 열용량에 의한 열저장의 영향을 고려하지 않기 때문에 열용량이 크고 경계조건이 변화하는 건축환경에서는 바람직하지 않을 수 있다. 따라서 시스템의 열저장을 고려하는 비정상상태 해석을 통해 외벽의 단열재 종류 및 구성 차이에 따른 열 거동을 비교·분석하는 것이 필요하다.

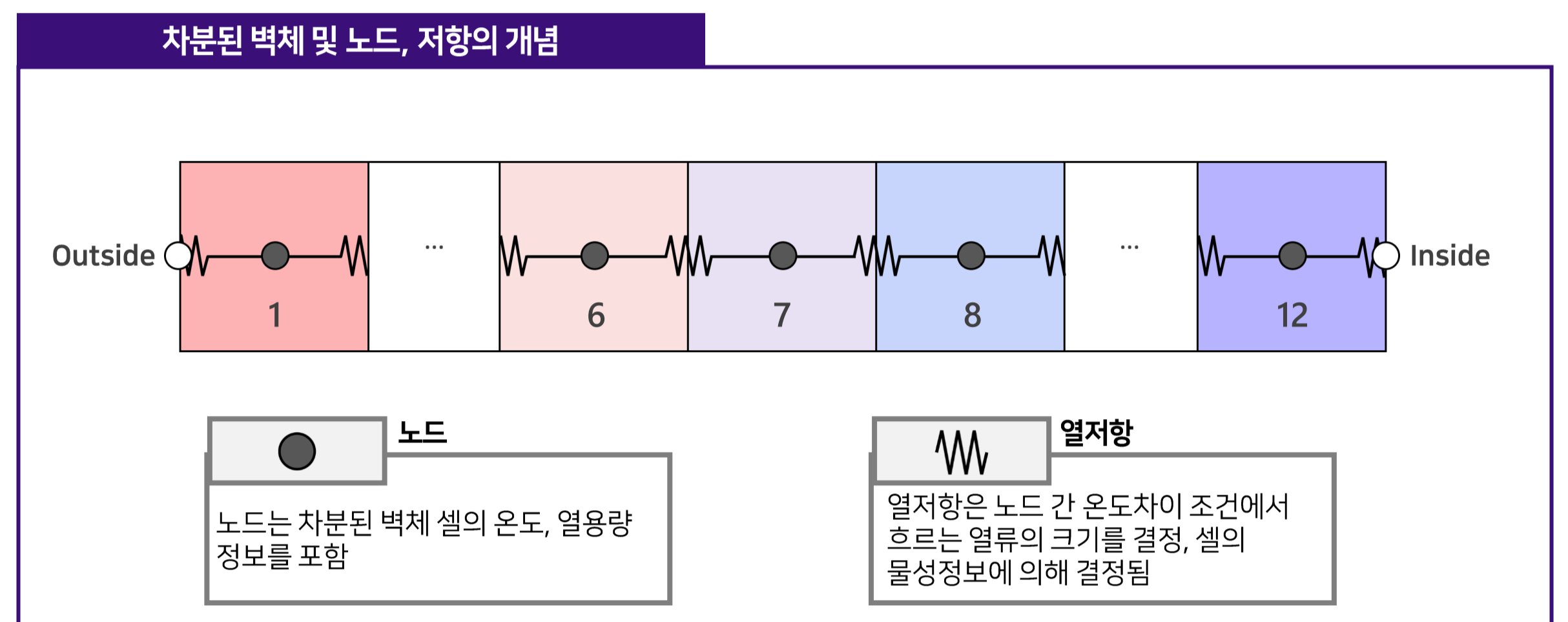
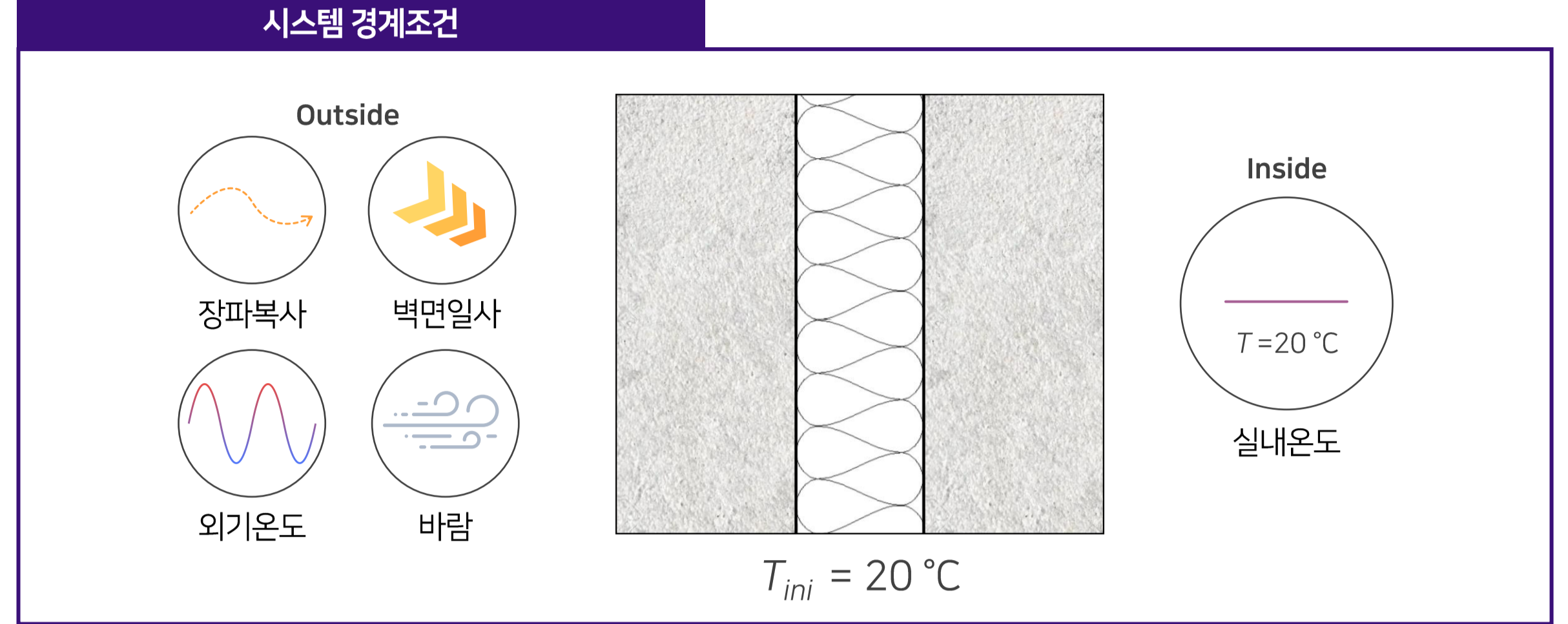
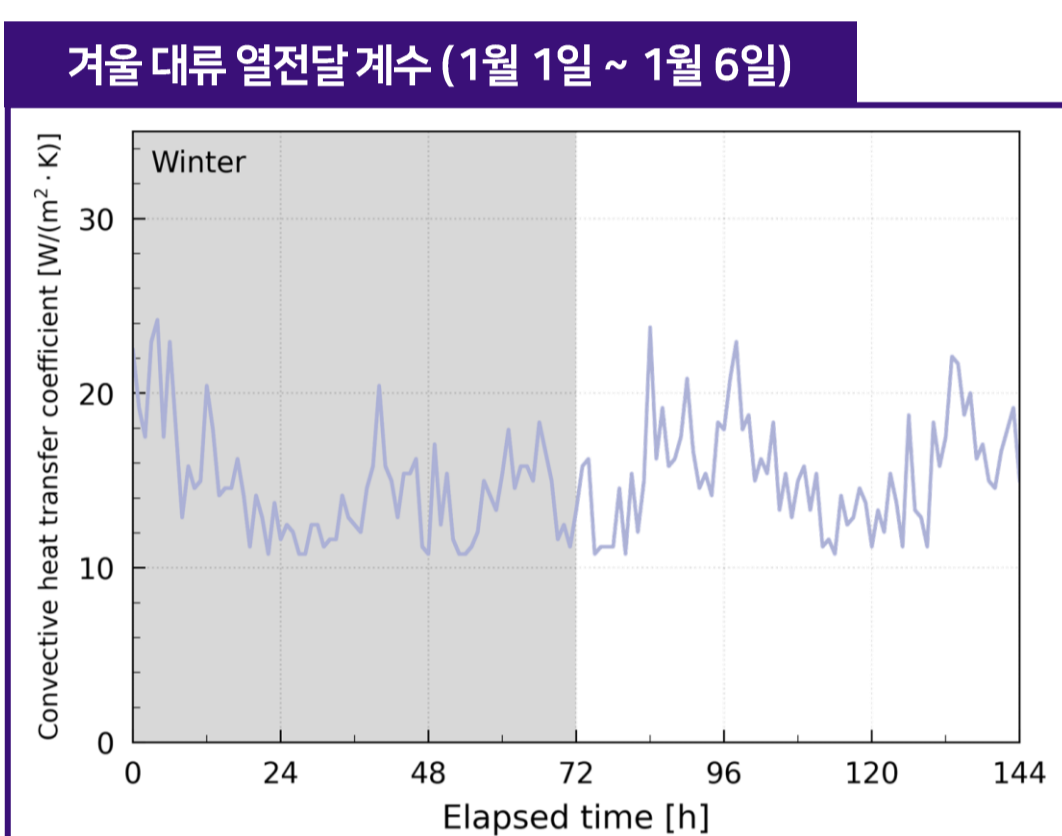
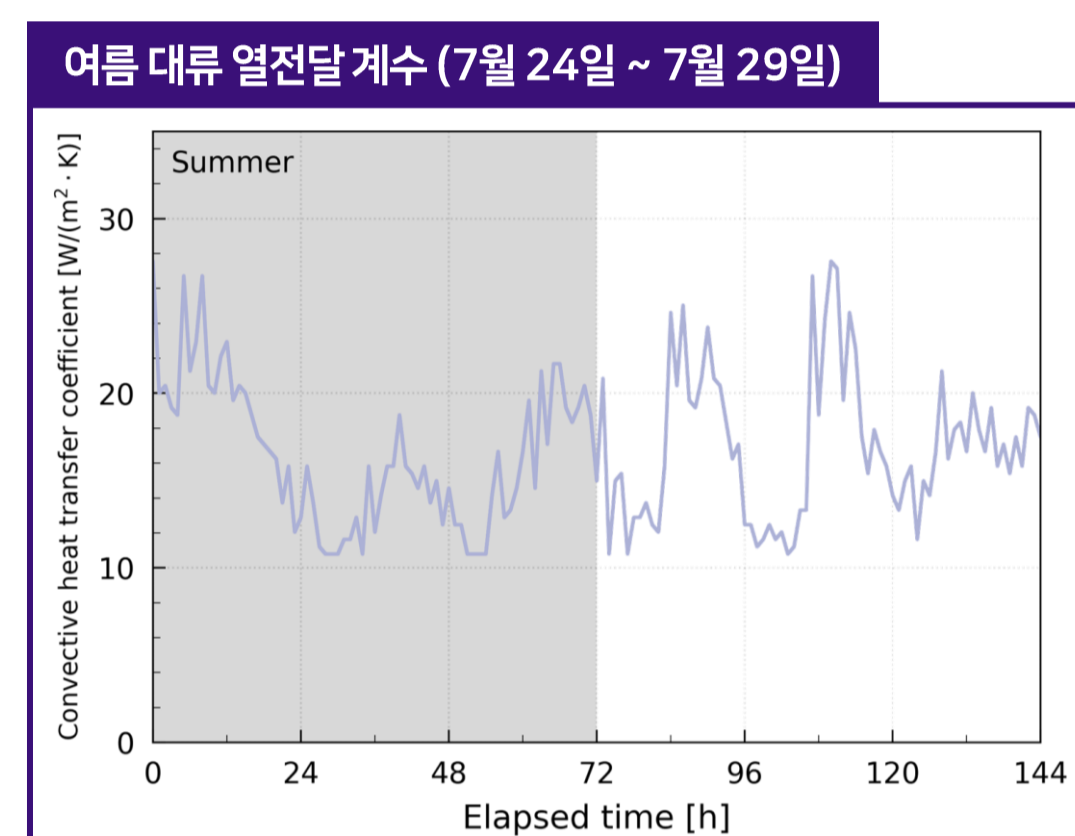
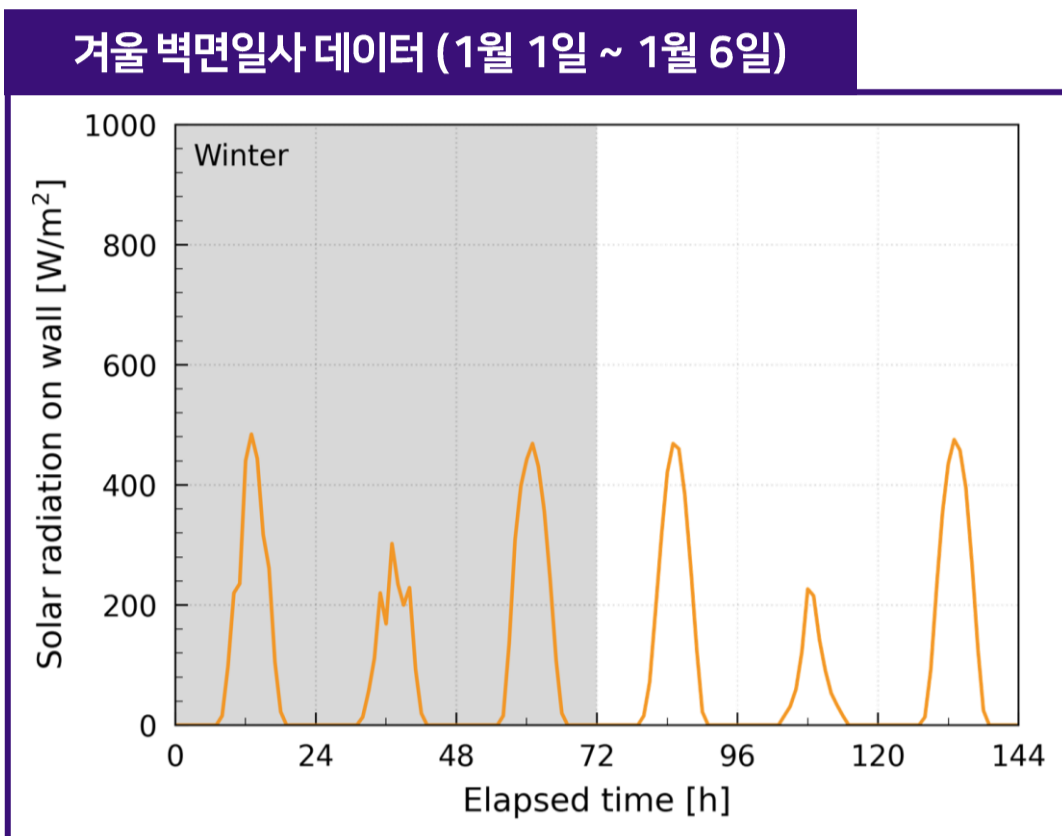
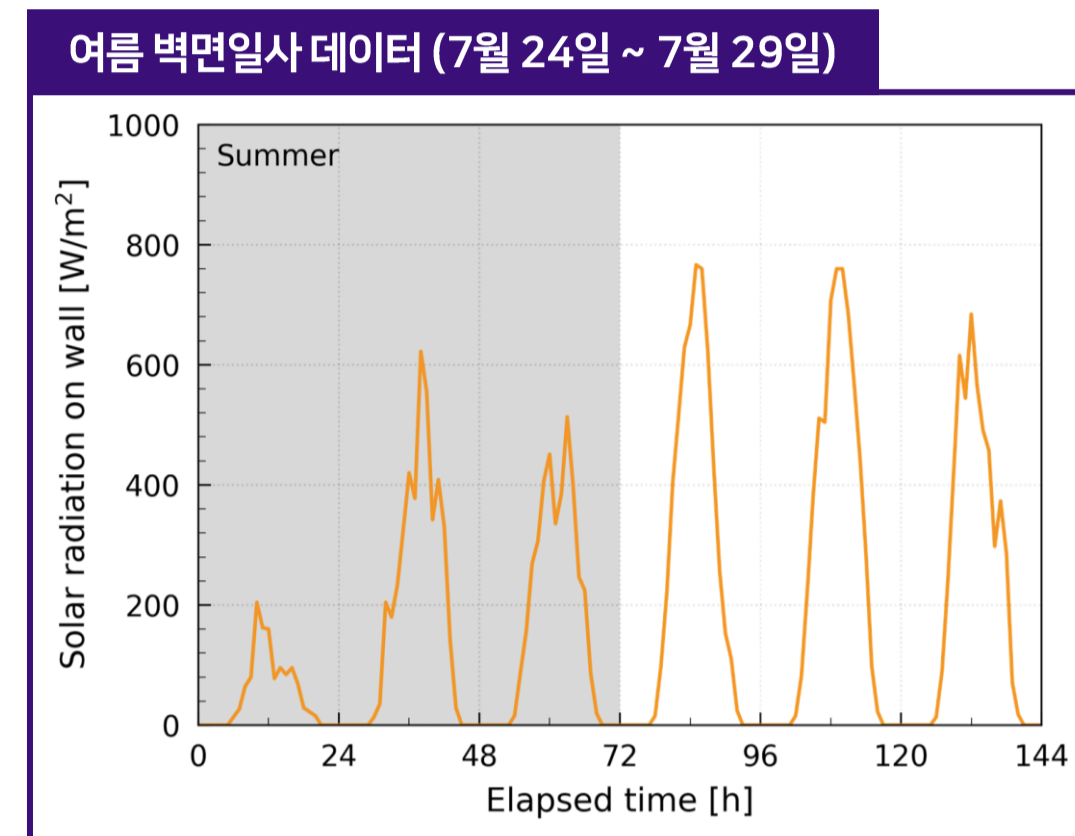
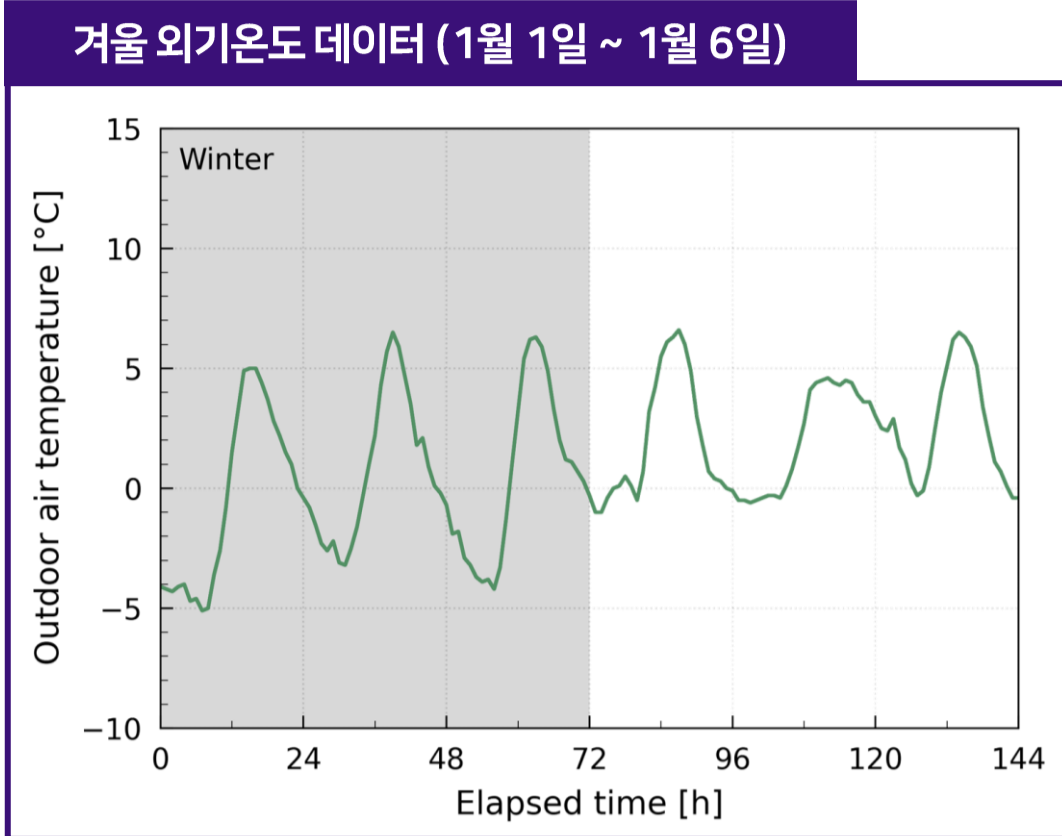
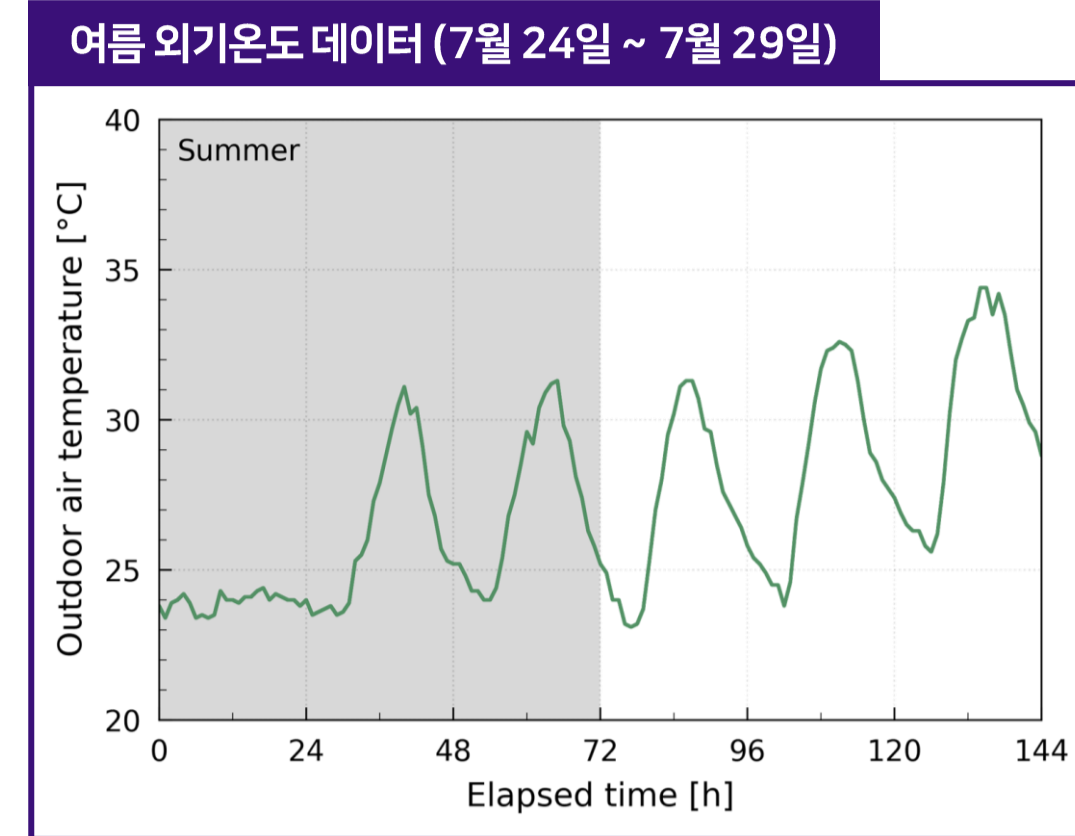


시스템 설정



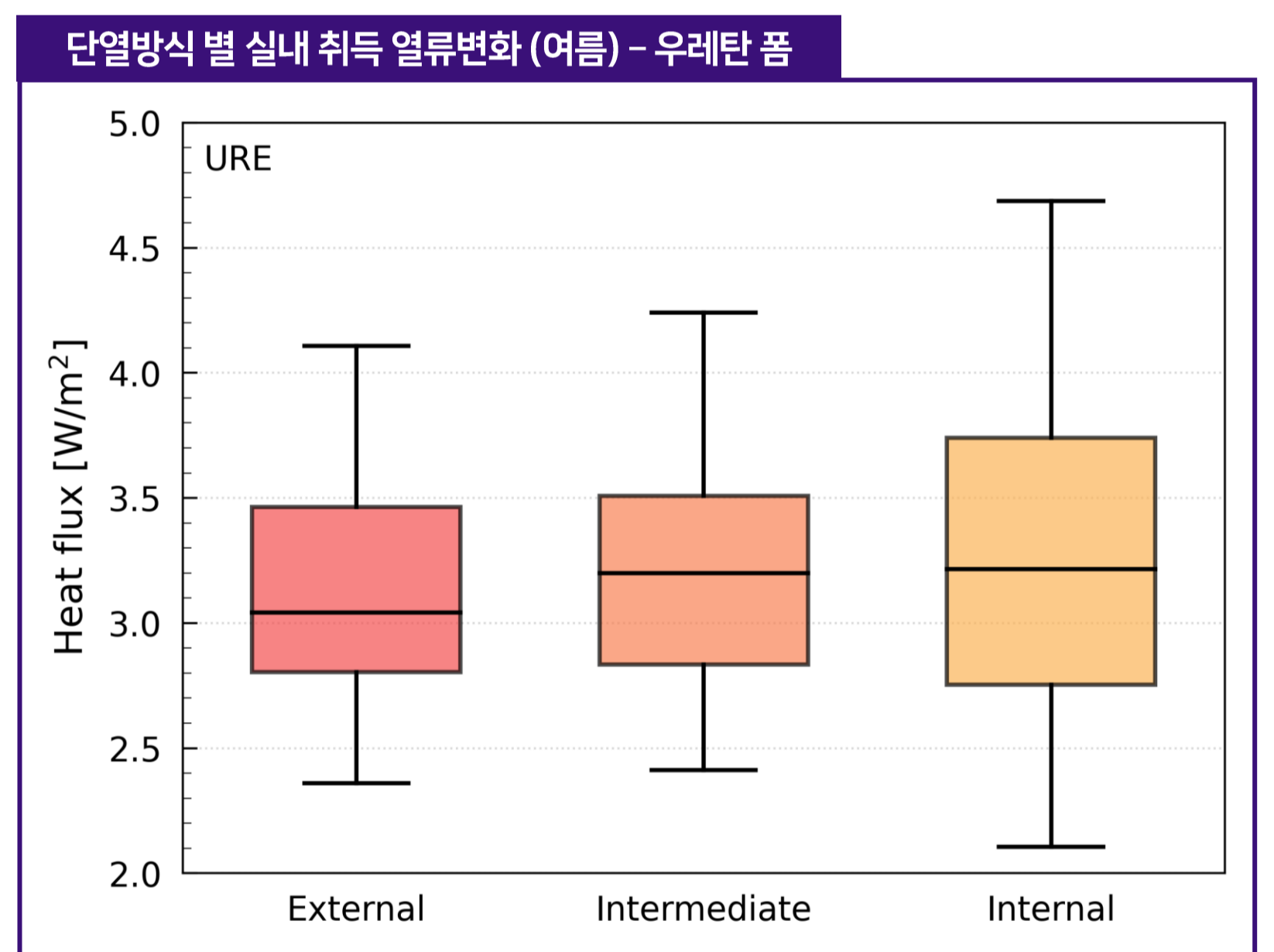
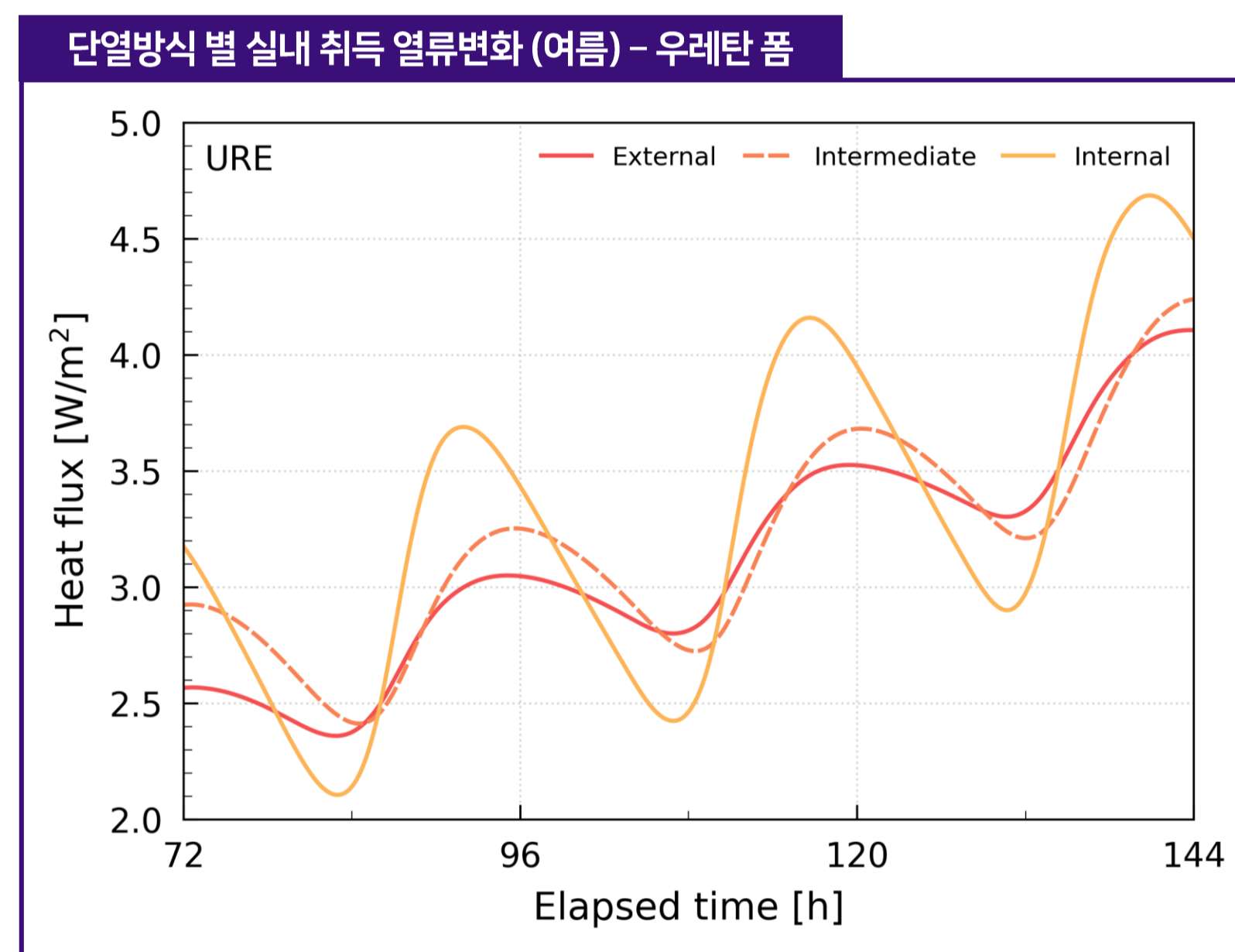
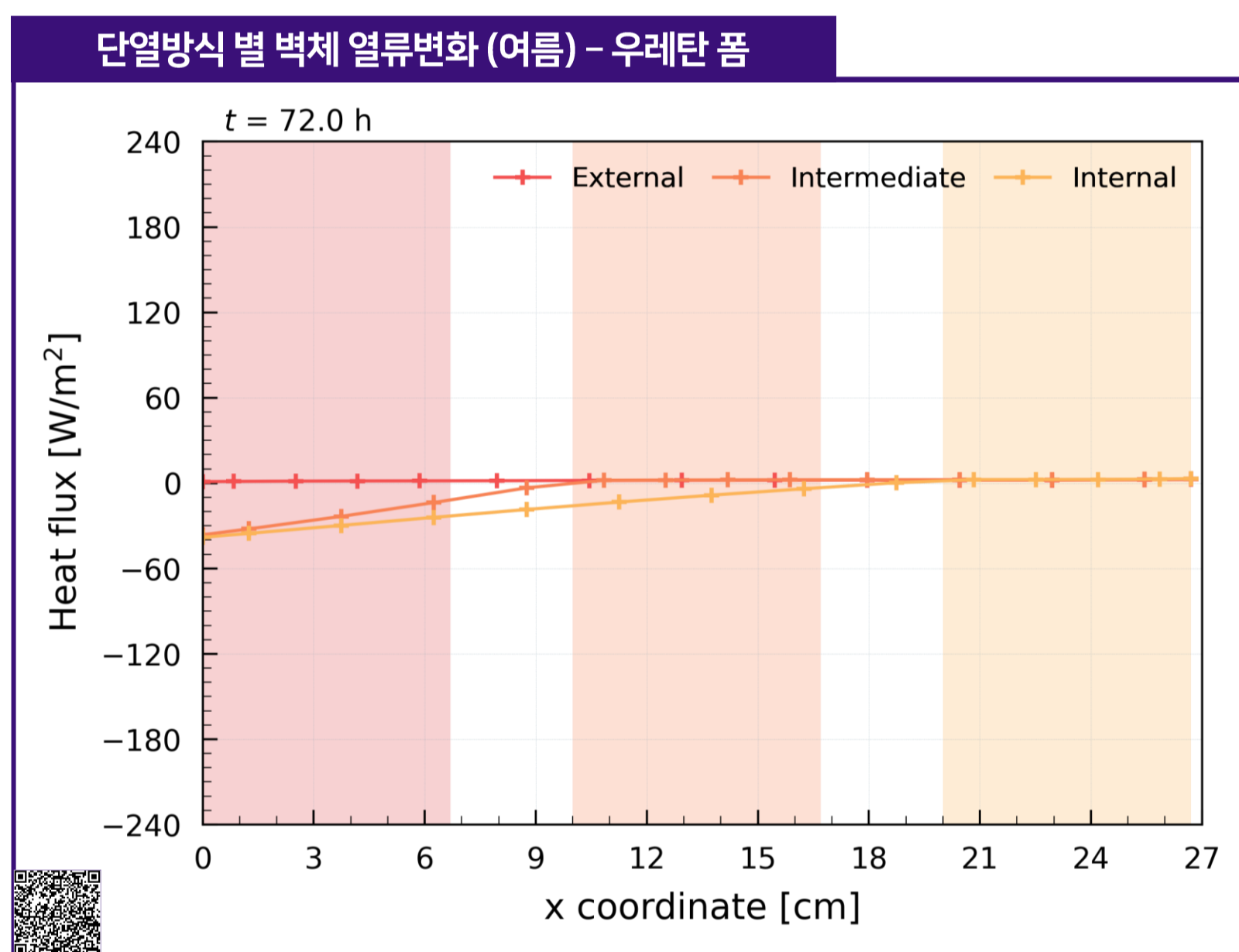
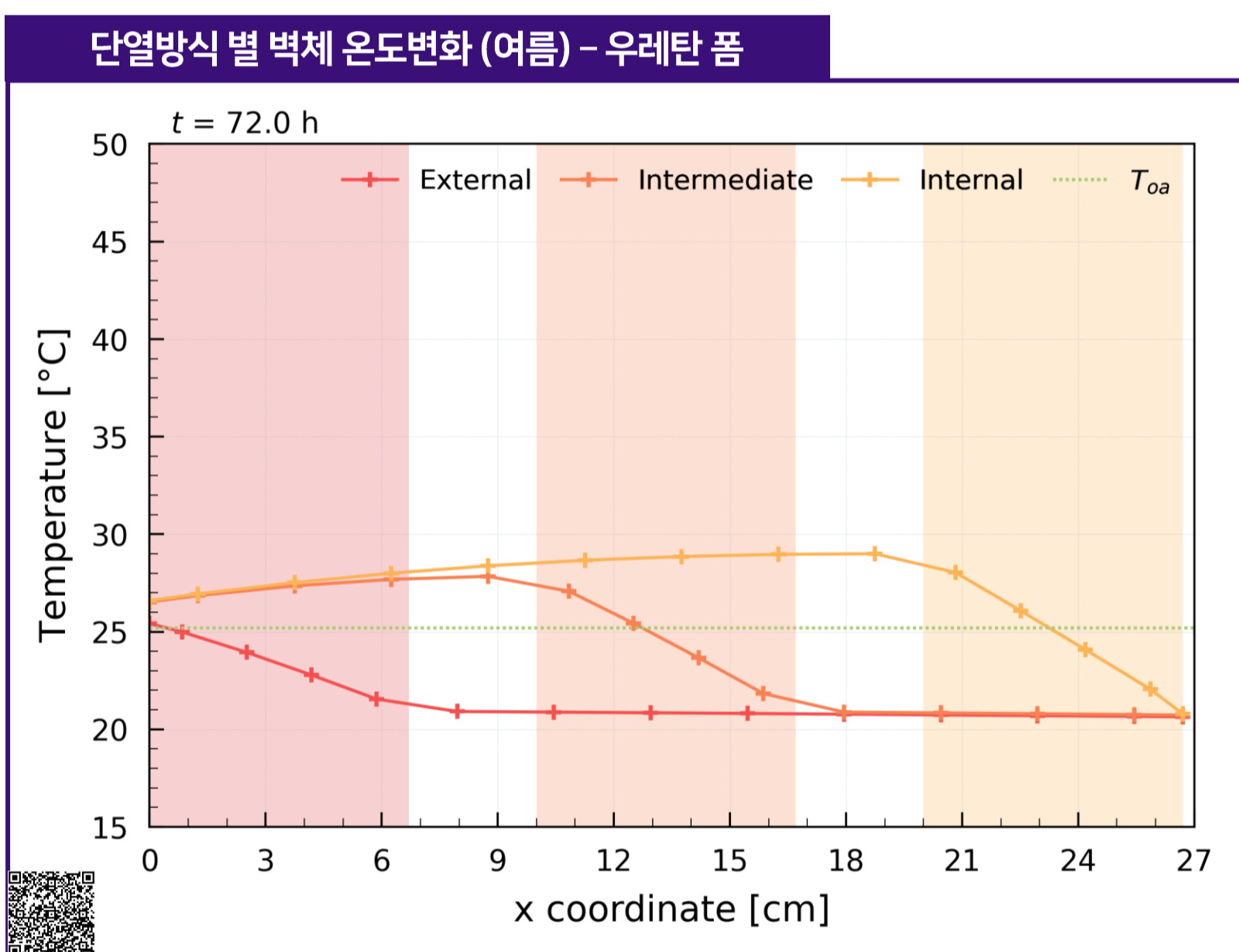
재료명	열전도율 [W/(m·K)]	비열 [J/(kg·K)]	밀도 [kg/m³]	체적열용량 [J/(m³·K)]	두께 [cm]
우레탄 폼(URE)	0.021	1500	45	6.75×10 ⁴	6.7
압출법(XPS)	0.027	1200	35	4.2×10 ⁴	8.6
비드법(EPS)	0.031	1000	30	3.0×10 ⁴	9.9
콘크리트	1.4	1000	2200	2.2×10 ⁶	20

열 거동 해석에 사용될 시스템은 3가지 단열방식(외단열, 중단열, 내단열), 단열재(우레탄 폼, 압출법, 비드법)를 선택하여 이를 조합해 위 그림과 같이 총 9가지의 시스템을 구성하여 해석을 진행하였다. 시스템에 사용된 재료의 물성정보는 위 표에서 확인할 수 있다.

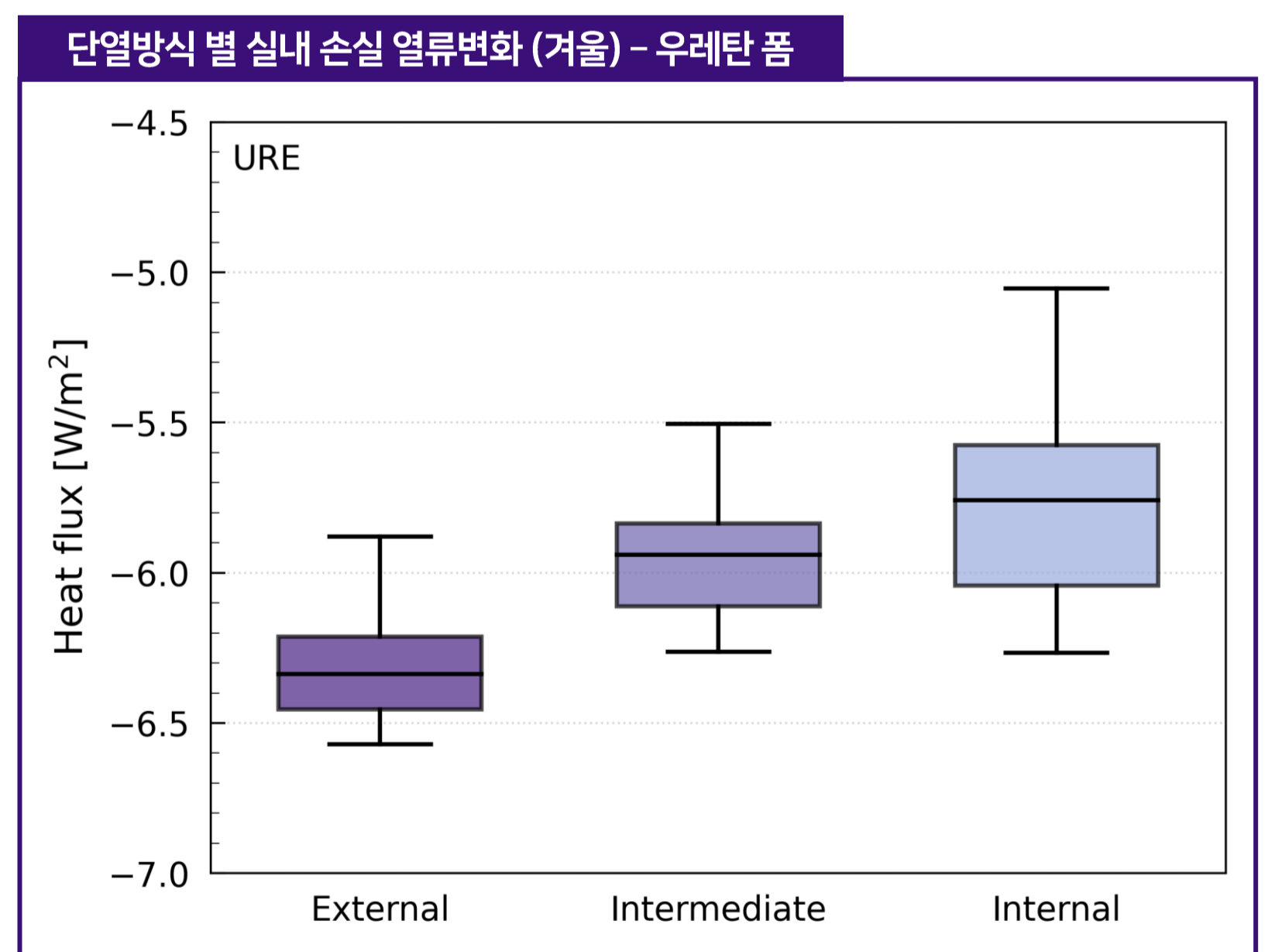
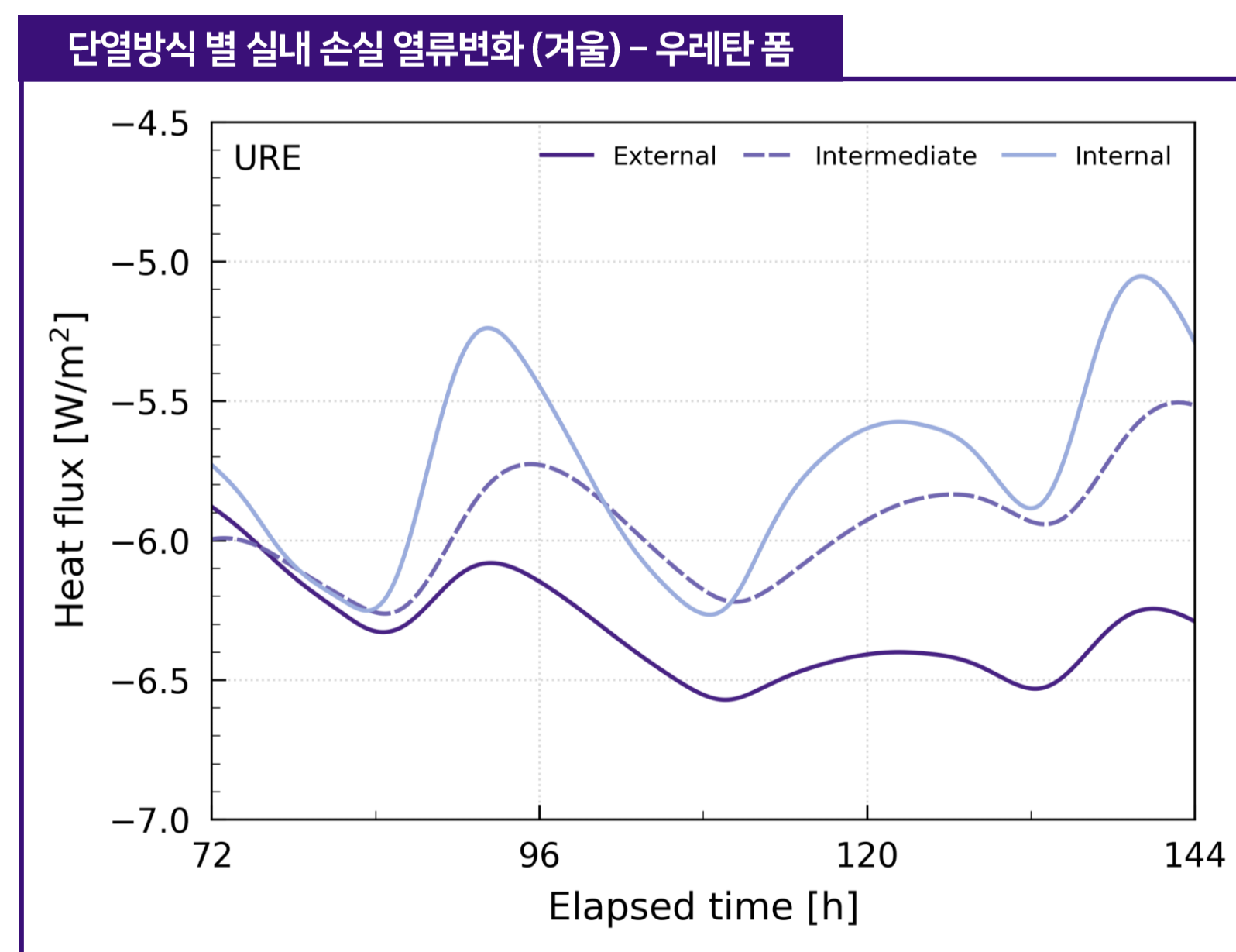
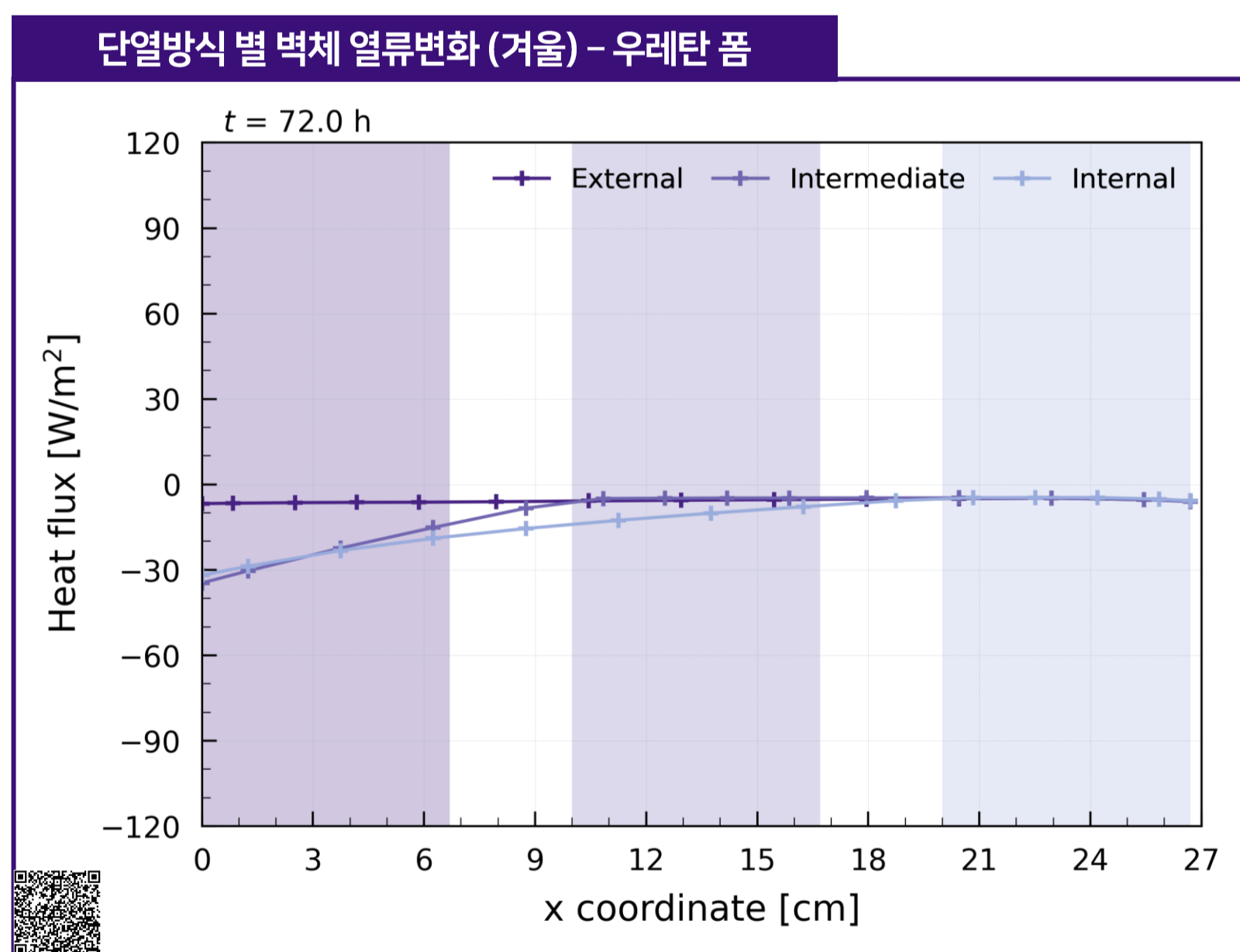
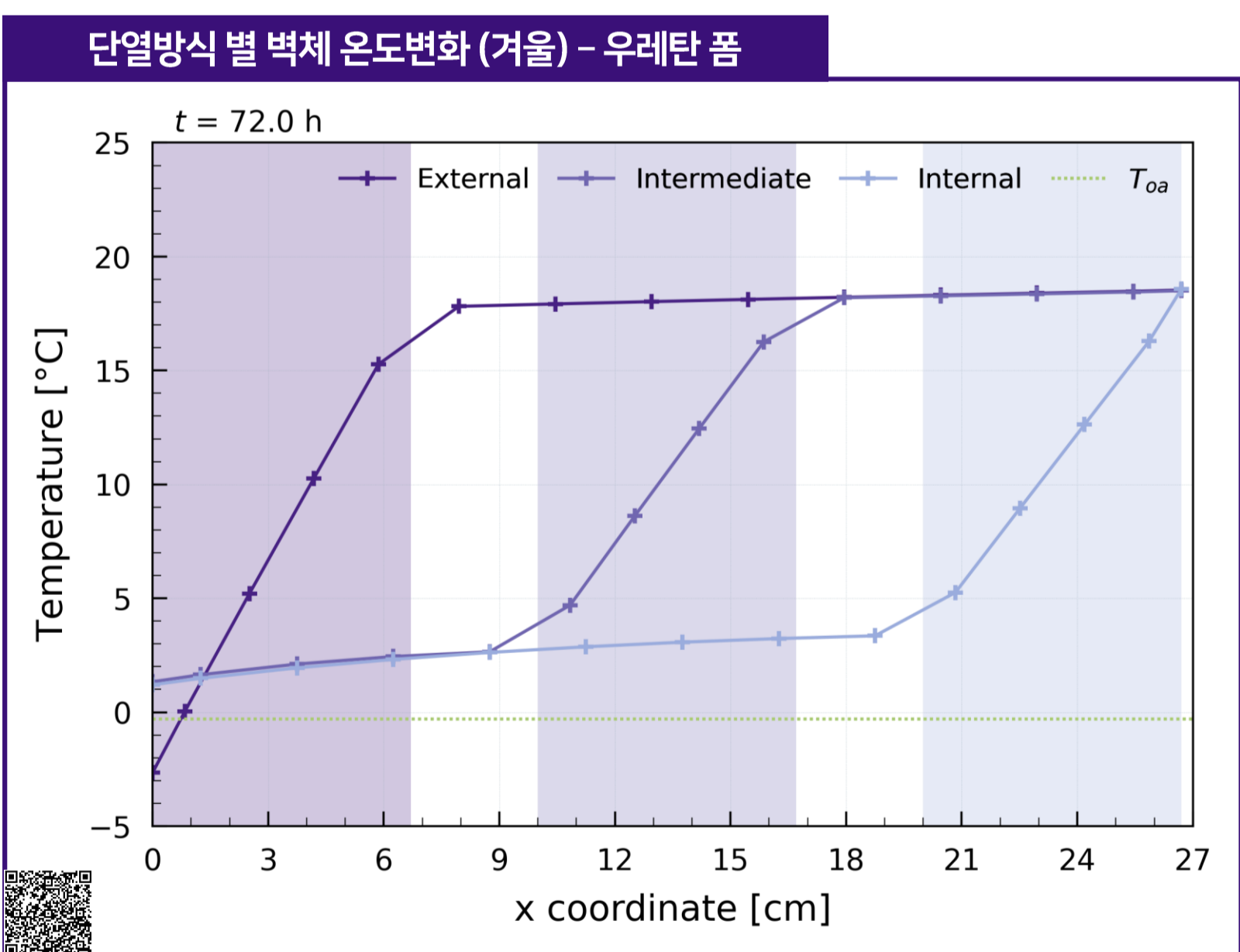


시스템의 양측 경계조건은 위 그림과 같다. 좌측 경계조건은 외기조건으로, 기상청 공개 포털 데이터 중 광주광역시 2022년 데이터를 활용하여 시간에 따른 벽면일사, 대류 열전달 계수를 구하는 프로그램을 작성하여 구하였다. 구해진 외기온도, 벽면일사, 대류 열 전달 계수를 시간에 따라 나타낸 그래프는 좌측과 같다. 좌측 경계조건은 대류 및 복사를 모두 고려하여 할당해주었고 우측 경계조건은 실내조건으로, 실내는 20 °C로 완벽하게 공조된다고 가정하였다. 이 경우 내표면의 표면온도차에 의한 복사 열전달을 무시할 수 있다. 따라서 내표면 온도와 내기온도 사이에서 발생하는 대류에 의한 열전달만 고려하였다. 벽체 초기온도는 20 °C로 할당하였으며 벽체는 정방향으로 설정하였다. 시간에 대한 이산화는 Crank-Nicolson scheme를, 차분된 각각의 셀에서 에너지 밸런스를 풀기 위하여 Tridiagonal matrix algorithm (TDMA)를 사용하여 수치해석을 수행하였다. 또한, 열 거동 수치 안정화를 위해 72시간 동안 사전 시뮬레이션을 수행하였고 안정화 이후 72시간 동안에 대한 분석을 진행하였다.

여름 온도 및 열류 거동

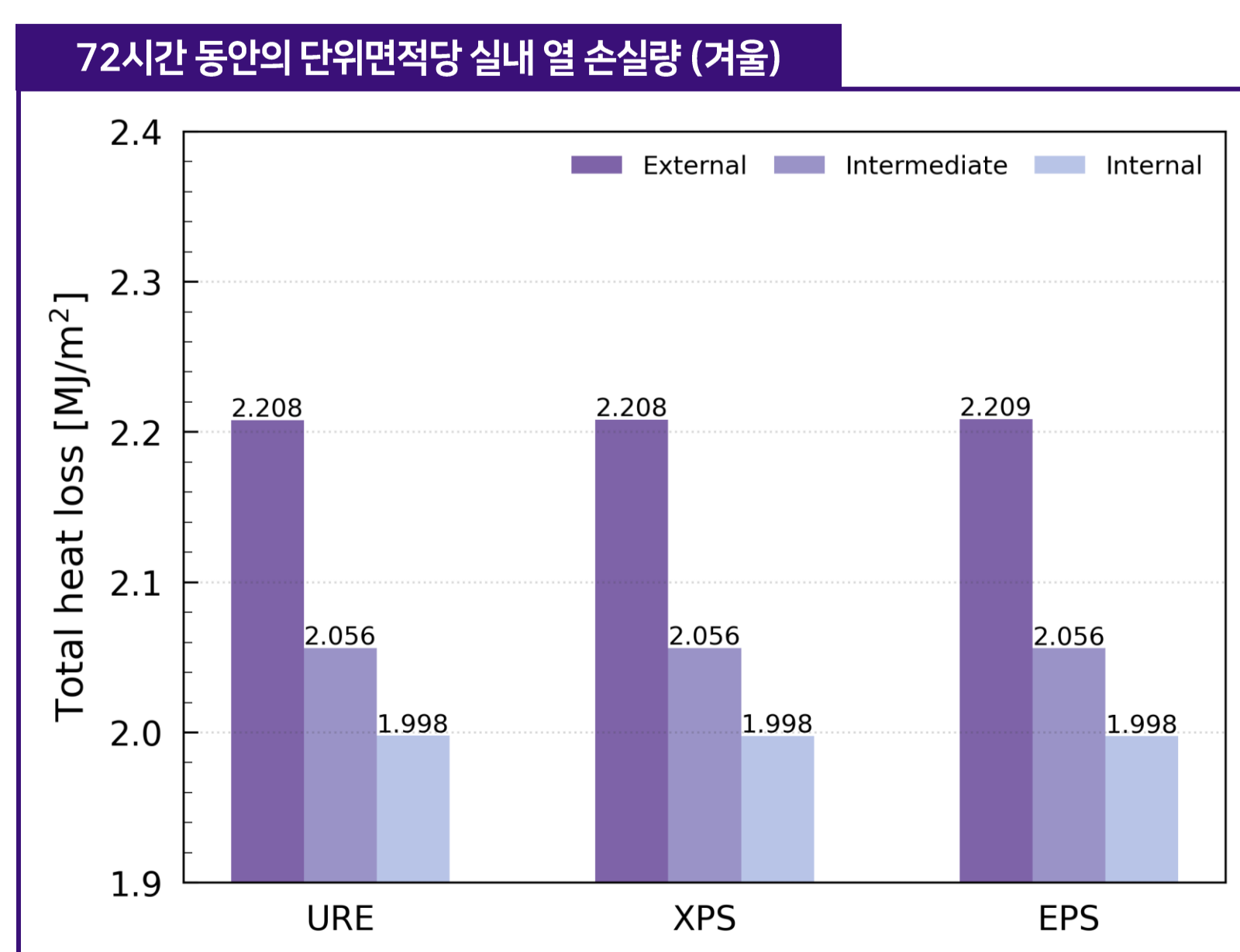
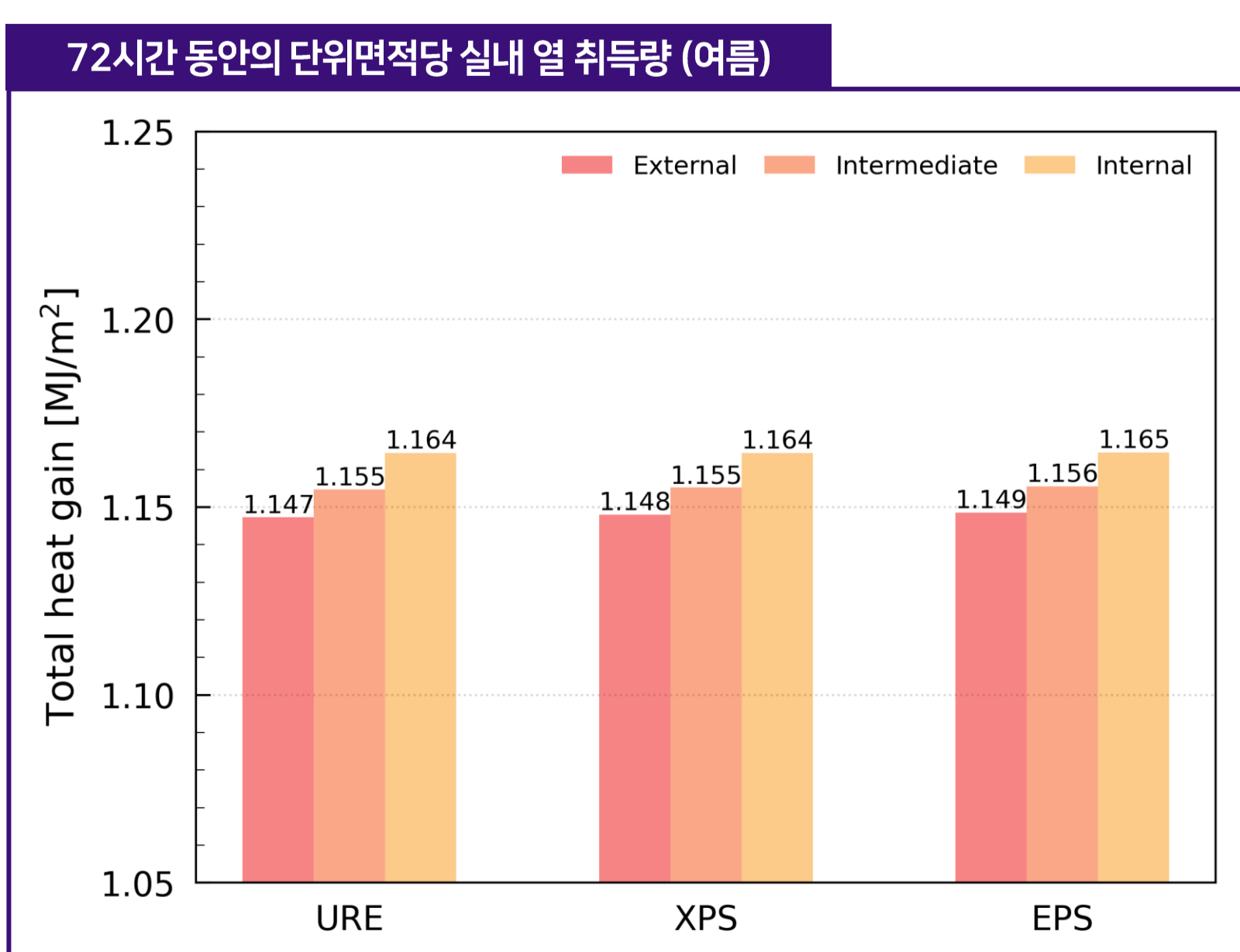


겨울 온도 및 열류 거동



위 그래프를 통해 내단열에서 실내 취득 열류의 변화폭이 가장 큰 것을 확인할 수 있다. 이는 벽체 내부 열류의 진폭이 내단열에서 가장 크게 발생하기 때문이다. 또한, 여름의 경우 외기온도가 내기온도보다 높기 때문에 열류가 실외에서 실내로 들어오게 된다. 이때, 열류가 흘러 들어오는 외부에 가깝게 단열재를 배치할수록 실내 취득 열류가 감소한다. 따라서 여름의 경우 외단열에서 실내 취득 열류가 가장 적다는 점을 알 수 있다.

위 그래프를 통해 내단열에서 실내 손실 열류의 변화폭이 가장 큰 것을 확인할 수 있다. 이는 벽체 내부 열류의 진폭이 내단열에서 가장 크게 발생하기 때문이다. 또한, 겨울의 경우 내기온도가 외기온도보다 높기 때문에 열류가 실내에서 실외로 빠져 나가게 된다. 이때, 열류가 빠져 나가는 내부에 가깝게 단열재를 배치할수록 실내 손실 열류가 감소한다. 따라서 겨울의 경우 내단열에서 실내 손실 열류가 가장 적다는 점을 알 수 있다.



결론



열교환에 대한 고려 없이 순수 단열재의 배치방식에 따른 유의미한 결과 차이를 확인하였다. 에너지 관점에서 열이 들어오거나 나가는 쪽에 가깝게 단열재를 배치하는 것이 유리하다. 따라서 여름은 외단열의 단열성능이 우수하며, 겨울은 내단열의 단열성능이 우수하다.

위 그래프는 시간에 따른 실내 취득/손실 열류를 시간에 대해 적분하여 72시간 동안의 단위면적당 열 취득량/손실량으로 나타낸 그래프이다. 우측 상단 범례를 따라 각각의 색은 외단열, 중단열, 내단열에서의 열 취득량/손실량을 나타낸다. 또한, 우측 상단 범례를 따라 각각의 색은 외단열, 중단열, 내단열의 공간에 따른 온도, 열류 분포를 나타낸다. 그래프의 배경에 들어간 색 영역은 각각의 단열방식에서의 단열재 위치를 나타낸다. (e.g. 빨간색 영역: 여름 외단열에서 단열재 배치 위치)

위 온도, 열류 그래프 모두 단열재 레이아웃에서 급격한 온도, 열류 변화를 보인다. 특히, 열류 그래프에서 외단열의 경우 열류가 거의 발생하지 않는 것을 확인할 수 있다. 이는 단열재가 가진 물성 중 낮은 열전도율 때문이다. 우레탄 폼의 열전도율은 0.021 W/(m·K)으로, 콘크리트의 열전도율인 1.4 W/(m·K)보다 약 67배 정도 작다.

이는 건물 내부에 냉열을 가지고 있을 경우 외단열로 단열을 하는 것이 효과적이며, 내부에 온열을 가지고 있을 경우 내단열로 단열하는 것이 효과적임을 시사한다. 결론적으로 냉·난방부하를 모두 가진 양부하 건물(아파트, 오피스)은 각 부하의 크기, 열교환성 등을 복합적으로 고려하여 단열방식을 선택해야 하고 냉방부하가 지배적인 건물(냉동창고, 기지국, 경기장)의 경우 외단열을, 난방부하가 지배적인 건물(목욕탕, 수영장, 식물원)의 경우 내단열을 선택하는 것이 에너지 관점에서 유리하다.