



스코틀랜드 학교복합시설의 특성과 친환경 성능

Characteristics and Environmental Performance of School-Community Facilities in Scotland

최기인*

Kiin Choi*

* Visiting Professor, Dept. of Architecture, Suwon Univ., South Korea / Principal, Studio TAG, South Korea (kiinchoi@hotmail.co.uk)

ABSTRACT

Purpose: This study analyses the eco-friendly performance characteristics of school complex facilities in Scotland in order to provide reference data for school complexation policy in Korea. **Method:** The institutional and policy differences between Scotland and England in school complexation were reviewed, focusing on devolved governance, funding mechanisms, and energy standards. Three representative cases with publicly available quantitative energy performance data were selected and analysed: Riverside Primary School, Drumgeith Community Campus (Greenfield Academy, formerly East End Community Campus), and Ardrossan Community Campus. A simplified steady-state heating load estimation was additionally conducted for Riverside Primary School to assess the plausibility of its published in-use energy data. **Result:** The analysis identified that Scottish school complexation differs from the English model in three key respects: the consolidation of multiple schools into single buildings, the adoption of Passivhaus certification as a widely adopted standard linked to outcomes-based funding, and the opening of facilities for continuous community use. Riverside Primary School achieved measured energy use of 35~45kWh/m²/yr, well below the 67kWh/m²/yr LEIP funding target, and the estimated net heating demand (≈ 12.4 kWh/m²/yr) was found to be consistent with the Passivhaus heating benchmark, supporting the plausibility of the published in-use data. These findings demonstrate that Scotland's performance-based funding mechanism enables in-use verification of energy performance distinct from design-stage certification approaches, offering concrete reference points for Korean school complexation policy.

KEYWORD

학교복합시설
친환경 성능
패시브하우스
성과연동형 재원
스코틀랜드

School Complex Facilities
Eco-Friendly Performance
Passivhaus
Outcomes-Based Funding
Scotland

ACCEPTANCE INFO

Received Jul. 2, 2026
Final revision received Jul. 20, 2026
Accepted Jul. 24, 2026

© 2026. KIEAE all rights reserved.

1. 서론

1.1. 연구의 배경 및 목적

학교복합화는 저출산에 따른 학령인구 감소와 시설 노후화라는 공통의 구조적 과제에 대응하는 방안으로 여러 국가에서 추진되고 있다. 그동안 학교시설은 교육 기능에 한정된 단일 목적 시설로 계획되어 왔으나, 사회구조의 변화와 공공 서비스에 대한 수요 다변화에 따라 그 역할이 지역사회의 복합적 거점으로 점차 확장되고 있다. 영국은 자치행정(devolution) 체계에 따라 잉글랜드와 스코틀랜드가 서로 다른 교육 거버넌스와 재원 체계를 운영하며, 이로 인해 학교복합화의 추진 방식과 친환경 성능 기준에서도 뚜렷한 차이를 보인다.

특히 스코틀랜드는 2045년까지의 법적 탄소중립 목표[1]와 성과연동형(outcomes-based) 재원체계를 결합하여, 학교 건축 시 실측 에너지 성능이 정부 재원 지급과 직접 연동되는 고유한 정책 구조를 운영하고 있다. 즉 학교가 준공된 이후 실제로 측정된 에너지 성능에 따라 정부 재원의 지급 규모가 달라진다. 여기에는 두 가지 함의가 있다. 첫째, 설계 단계의 정량 평가만으로 인증이 완료되는 일반적인 방식과 달리, 준공 후 실측을 통해 정책 효과를 직접 확인할 수 있

는 증명체계를 갖춘다. 둘째, 목표 미달 시 재원을 감액하는 사후 페널티형 구조는, 목표 달성 시 혜택을 추가하는 사전 인센티브형 구조를 취하는 국내 제도와는 정책 설계의 방향 자체가 상반된다. 이는 설계 단계의 인증에 주로 의존하는 다른 국가의 일반적인 방식과 대비되는 지점으로, 건축적·정책적으로 검토할 가치가 있다.

학교는 재실자가 아동·청소년이고 운영시간이 방학에 따라 크게 달라지는 공공시설로, 일반 건물과 다른 조건을 지닌다. 영국의 BB101 (Building Bulletin 101, 학교 환기·실내공기질 설계 가이드라인)이나 스코틀랜드의 LEIP (Learning Estate Investment Programme, 성과 연동형 학교시설 투자 프로그램)는 이러한 학교의 특수성에서 출발한 독자적 기준과 재원 체계인 반면, 한국의 G-SEED (Green Standard for Energy and Environmental Design, 녹색건축인증)는 학교시설을 공통 평가 항목 안의 한 용도로 다룰 뿐, 학교만을 위해 따로 설계된 체계는 아니다.

본 연구는 스코틀랜드의 학교복합화 사례를 대상으로 친환경 성능 특성을 분석하여, 국내 학교복합화 정책에 참조 가능한 자료를 제공하는 것을 목적으로 한다.

1.2. 연구의 범위 및 방법

본 연구의 공간적 범위는 스코틀랜드(Scotland)로 한정한다. 다

만 스코틀랜드 학교복합화의 독자성은 잉글랜드와의 대비를 통해 뚜렷이 드러나므로, 본 연구는 잉글랜드를 분석 대상이 아닌 비교 준거로 활용한다. 시간적 범위는 2009년 「Building Better Schools」 발표 이후 추진된 학교시설 투자 프로그램을 중심으로 한다. 연구 방법은 정부 1차 자료(Scottish Government, Scottish Futures Trust)와 건축 전문지, 건축사무소 공식 발표 자료에 나타난 실측 에너지 성능 데이터를 중심으로 한 문헌 조사 및 사례 분석을 병행한다. 사례 분석은 유형 분류 체계에 따라 복합화 배경, 건축적 특성 및 친환경 성능을 공통 항목으로 검토한다.

사례 선정은 다음 두 가지 기준에 따른다. 첫째, 정부 자원 프로그램(LEIP)의 지원을 받아 추진된 사례로서 실측 에너지 성능 데이터가 공개되어 있어야 한다. 둘째, 스코틀랜드 학교복합화에서 흔히 나타나는 다수 학교 통합 방식을 대표할 수 있도록, 둘 이상의 기존 학교를 통합한 사례여야 한다. 이 기준에 따라 Riverside Primary School, Drumgeith Community Campus (Greenfield Academy), Ardrossan Community Campus 3개 사례를 분석 대상으로 선정하였다. 한편 Drumgeith Community Campus는 본 연구 시점에 준공 직후 단계로 실측 데이터가 아직 공개되지 않은 상태이나, 화재로 인한 긴급 재건축이 Passivhaus 기준의 신축으로 전환된 정책적 의미와 다수 학교 통합 규모를 대표하는 사례로서 포함하였으며, 이 경우 설계 단계의 목표 수치를 분석 대상으로 한다. 본 연구의 사례 분석은 2026년 6월까지 정부·건축사무소 등을 통해 공개된 자료를 기준으로 한다.

2. 이론적 배경

2.1. 스코틀랜드 자치행정과 교육 거버넌스

1999년 스코틀랜드 의회 설립 이후 교육 정책의 결정 권한은 스코틀랜드 정부로 완전히 이양되었다[2]. 이는 Scotland Act 1998이 유보 사항(reserved matters)을 별도로 열거하고 그 외 사항을 이양 사항으로 규정하는 방식을 취하는데, 교육이 이 유보 목록에 포함되지 않기 때문이다[2]. 이러한 입법 구조로 인해 스코틀랜드 의회는 교육 분야에서 전적인 입법 권한을 가지며, 잉글랜드·웨일스·북아일랜드와 독립적으로 정책을 결정할 수 있다.

2.2. 잉글랜드와 스코틀랜드 학교복합화의 제도적·실천적 차이

스코틀랜드는 Education (Scotland) Act 1980을 근거로 한 자체적인 교육 법체계를 운영하며, 이는 잉글랜드의 교육법 2002(Education Act 2002) 체계와 별개로 형성되어 왔다[3]. 자원 조달 방식에서도 차이가 뚜렷한데, 잉글랜드의 학교건물 미래(Building Schools for the Future, BSF) 프로그램은 2004년 출범하여 약 520~550억 파운드 규모로 추진되었으나 절반가량을 민간자본(PFI)과 지방교육파트너십(LEP)에 의존하였고, 결국 2010년 전면 폐지되었다[4]. 반면 스코틀랜드는 Scottish Futures Trust (SFT)가 운영하는 hub 프로그램과 2019년 출범한 Learning Estate Investment Programme (LEIP)을 통해 성과연동형(outcomes-based) 재원체

를 일관되게 유지하고 있다[5]. LEIP는 준공된 학교가 핵심 시설·시간대 기준 m^2 당 67kWh의 에너지 목표를 충족하지 못할 경우 정부 재원 지급을 그에 비례해 감액하는 구조를 갖는다[6]. 여기서 성과연동형(outcomes-based) 재원체계란, 재원이 사업 착수 시점에 일괄 지급되는 것이 아니라 준공 이후 실제 운영 성과(본 연구에서는 에너지 성능에 한정하여 다름)를 일정 주기로 측정하여 그 결과에 따라 지급 규모가 결정되는 방식을 가리킨다. 이는 설계 단계의 정량평가만으로 재원 지급이 완료되는 일반적인 방식과 구분된다.

LEIP 체계에서 신축 비용은 지방정부가 자체 예산이나 대출(Public Works Loan Board)을 통해 먼저 부담한다. 그 대신 정부는 준공 이후 25년에 걸친 유지·생애주기 비용과 합의된 성과 달성에 대한 재원을 지원한다[7]. 따라서 에너지 목표 미달이 발생하더라도 시공사가 정부에 직접 책임을 지는 구조가 아니라, 1차적으로 정부의 추가 재원 지원이 줄어드는 형태로 그 부담이 지방정부에 귀속되며, 설계사·시공사에 대한 책임 추궁은 지방정부와의 별도 계약을 통해 이루어진다. 한편 일부 성과 지표는 미달 시 재원이 즉시 끊기지 않고 1년의 시정 유예 기간을 부여한 뒤 재원을 복원하는 절차를 두고 있으며, 모든 실내공간에 센서를 설치하여 온도·CO₂·습도·에너지 사용량을 상시 모니터링함으로써 성과 미달의 원인을 추적할 수 있는 체계를 함께 운영한다[8].

실천 양상의 측면에서도 두 지역은 구분된다. 잉글랜드의 학교복합화는 개별 학교를 도서관·청소년센터 등 지역시설과 연계하는 ‘extended schools’·‘community hub’ 접근을 중심으로 논의되어 왔다[9]. 반면 스코틀랜드의 다수 사례는 기존의 2~4개 학교를 통째로 통합하여 단일 건물로 재편하는 것을 기본 전제로 한다. 또한 LEIP의 에너지 성과 조건과 결합하여 Passivhaus 인증이 다수 신축 사례에서 사실상의 표준 해법으로 자리잡은 것으로 나타난다. 이와 같은 제도적·실천적 차이는 스코틀랜드를 독립적인 연구 대상으로 정당화하며, 이에 본 연구는 이후 장에서 스코틀랜드 고유의 제도적 맥락 위에서 형성된 학교복합화 및 친환경 건축 특성에 한정하여 분석을 진행한다.

2.3. Learning Estate Strategy와 Place Principle

2009년 스코틀랜드 정부와 지방정부협의회(COSLA)가 공동 발표한 School Estate Strategy (Building Better Schools)는 신·구 학교 자산에 대한 투자를 안내하는 9대 가이드 원칙을 제시하였다[10]. 2019년 발표된 Learning Estate Strategy는 이 9대 원칙을 계승하면서 학교뿐 아니라 유아교육·돌봄, 대학까지 포괄하는 전체 학습시설 자산으로 적용 범위를 넓혀 원칙을 10개로 확대하였다. 이 전략은 2007년 이후 스코틀랜드 정부와 지방정부가 공동으로 약 50억 파운드를 투자하여 학습 환경을 개선해 온 과정의 연속선상에 있으며[10], 학습 공간의 조성을 교육 효과뿐 아니라 지역사회 전체의 편익과 연계하여 평가하는 정책적 틀을 제공한다.

10대 가이드 원칙의 구성은 Table 1.과 같다[10]. 이 중 다섯째 원칙은 학습환경이 더 넓은 지역사회에 봉사해야 하며 적절한 경우 다른 공공서비스의 제공과 통합되어야 한다는 Place Principle을 명시하며, 여섯째 원칙은 학습환경이 더 친환경적이고 지속가능해야 하며 도보·자전거·휠체어·유모차 등 다양한 방식의 이동이 가능한 안

Table 1. Guiding principles of scotland's learning estate strategy (2019)

No.	Guiding Principle
1	Joined-up learning and teaching for all learners
2	Wellbeing, inclusion, and support for transitions
3	Well-managed estate, maximising occupancy and value
4	Condition and suitability supporting function
5	Serving the wider community; integration with public services (Place Principle)
6	Greener, sustainable, safe active travel routes; digitally enabled
7	Maximising outdoor learning environments
8	Consultation and engagement with learners and communities
9	Collaboration across the learning estate and localities
10	Contribution to learning outcomes and inclusive growth

전하고 접근 가능한 이동 경로를 갖추고 디지털 기반으로 구축되어야 한다고 규정한다. Place Principle (다섯째 원칙)과 친환경·이동성 원칙(여섯째 원칙)이 연속해 배치되어 있다는 점은, 학교 시설의 친환경 성능이 복합화라는 공간적 통합과 별개의 기술적 요건이 아니라 같은 정책 틀 안에서 함께 다루어지고 있음을 시사하는 것으로 해석된다.

2.4. 재정 메커니즘 및 친환경 인증·등급 체계

스코틀랜드 정부는 2045년까지의 법적 탄소중립 목표를 설정하였으며, 이는 잉글랜드 등 영국 본토의 2050년 목표보다 5년 빠르다[1]. Net Zero Public Sector Buildings Standard는 Scottish Futures Trust가 주도하여 개발하였으며, 2020년 스코틀랜드 정부에 의해 채택된 이후 모든 공공부문 건물이 2045년까지 탄소중립을 달성하도록 지원한다[11]. 이 표준은 신축뿐 아니라 기존 건물의 개·보수에도 적용되며, 운영 에너지·내재탄소·실내 환경 품질에 대한 구체적인 목표를 함께 설정하도록 요구한다.

LEIP와 Net Zero Public Sector Buildings Standard는 서로 독립적인 제도이지만 실제 사업에서는 중첩적으로 적용되는 경우가 많다. LEIP가 자원 지급의 조건으로 운영 에너지 목표를 설정한다면, Net Zero Standard는 그 목표를 내재탄소·실내환경 품질까지 포함하여 보다 포괄적으로 확장한다. 두 제도가 결합됨으로써, 신축 학교는 설계 단계에서부터 탄소 저감과 에너지 성능을 동시에 고려해야 하는 상황에 놓이게 된다.

이러한 정책적 목표는 건축물 단위의 구체적인 인증·등급 체계로 뒷받침된다. 첫째, 에너지성능증명서(Energy Performance Certificate, EPC)는 한국의 건축물 에너지효율등급과 유사하게 건물물 A~G 등급으로 평가하며, 학교를 포함한 공공건물은 EPC 등급을 의무적으로 게시해야 한다[12]. 둘째, 건축기준(Building Standards) 기술편람 제6절(Section 6, Energy)은 건물의 최소 에너지 성능 기준을 규정하는데, 잉글랜드·웨일스가 건물 생산에 투입되는 총 에너지를 기준으로 하는 1차 에너지 목표(Primary Energy Target)를 적용하는 것과 달리, 스코틀랜드는 실제 건물에 전달되는 에너지량, 즉 전달 에너지(delivered energy) 목표를 적용한다는 점에서 평가 방식 자체가 다르다[13,14]. 2023년 개정을 통해 외벽 U-value는 0.22에서 0.17W/m²K로, 지붕은 0.15에서 0.12W/m²K로 강화되었으며, 기

밀성 테스트도 의무화되었다[14].

셋째, 건축기준 기술편람 제7절(Section 7, Sustainability)은 학교를 포함한 비주거 건물에 대해 브론즈(Bronze)·실버(Silver)·골드(Gold) 3단계의 지속가능성 등급 체계를 운영한다[15]. 브론즈는 기본 법정 기준 충족 수준이며, 실버와 골드 등급은 풍력·수력·히트펌프·태양열·태양광·바이오매스 등 저탄소 재생에너지 발전기술(LZCGT)의 적용 여부에 따라 결정되는데, 이는 한국의 녹색건축인증제도(G-SEED)가 등급별로 재생에너지 적용 수준을 차등 평가하는 방식과 유사한 구조를 갖는다. 넷째, 2024년 시행된 신축 난방 기준(New Build Heat Standard, NBHS)은 신축 건물에서 가스·기름 보일러의 설치를 금지하여, 히트펌프 등 직접 배출이 없는 난방 방식으로의 전환을 사실상 강제하였다[16].

이처럼 스코틀랜드는 LEIP·Net Zero Standard라는 자원 연동형 정책과 EPC·Section 6·Section 7·NBHS라는 건축기준 차원의 인증·등급 체계를 중첩적으로 운영함으로써, 학교 신축 사업이 자원 조달 단계부터 설계·인증 단계에 이르기까지 친환경 성능을 일관되게 추구하도록 하는 다층적 제도 구조를 형성하고 있다.

다만 이들 제도가 모두 동일한 강제력을 갖는 것은 아니다. EPC는 법정 의무 사항으로 공공건물에 게시가 강제되며, Net Zero Public Sector Buildings Standard는 공공기관을 대상으로 하는 정책 표준으로서 사실상의 구속력을 갖는다. 반면 Passivhaus는 본 연구 시점까지 자발적(voluntary) 민간 인증에 해당하며, 스코틀랜드 정부가 신축 주택에 한해 이와 동등한 수준의 의무 기준 도입을 추진하였으나, 학교 등 비주거 공공건물에 대한 법적 의무화는 이루어지지 않았다. LEIP는 인증이 아니라 정부 자원 지급의 조건으로 기능하는 펀딩 프로그램으로, 앞의 세 가지와는 성격이 다르다.

Passivhaus가 법적 의무가 아님에도 다수의 신축 학교에서 채택되는 배경에는, 스코틀랜드 학교 건물의 ‘성능 격차(performance gap)’ 문제가 있다. 코로나19 팬데믹 이전 영국의 일반적인 중등학교가 에너지비로 연간 약 9만 파운드를 지출한 데 비해, 2010년대 이후 신축되어 오히려 더 효율적인 것으로 기대되었던 스코틀랜드의 일부 중등학교는 실제로 연간 20만 파운드 이상의 에너지비를 지출하고 있었다[17]. 이러한 설계·운영 간 격차가 확인되면서 Scottish Futures Trust는 Passivhaus를 학교 신축의 표준 해법으로 채택하였으며, 이는 법적 강제가 아니라 실증된 성능 격차에 대응하는 정책적 선택의 결과로 해석된다.

아울러 학교복합화의 용도 구성과 인증 체계의 관계도 구분해서 이해할 필요가 있다. 도시계획 측면에서는 학교·도서관·커뮤니티홀·여가시설 등이 용도분류상 동일한 범주(Class 7)에 속하여, 같은 범주 내에서 용도를 결합하는 경우 별도의 복합용도 계획 허가가 면제된다[18]. 그러나 주거나 경찰서와 같이 다른 범주에 속하는 시설이 추가되는 경우에는 별도의 복합용도 계획 허가가 필요하다. 반면 친환경 인증 체계는 이 용도분류상의 구분과는 별개의 논리로 작동하는데, 건물이 물리적으로 하나의 동으로 구성되어 있는지, 그리고 그 안에 주거가 포함되는지를 기준으로 삼는다[16]. 학교·도서관·경찰서처럼 모두 비주거 용도인 경우에는 건물 전체를 하나의 인증으로 평가할 수 있으나, 주거가 포함되는 경우에는 그 부분에 대해 별도의 인증이 의무적으로 요구된다. 즉 복합용도 계획 허가가 필요한

Table 2. Typology of school complexation cases in Scotland

Type	Case	Standard/funding	Site context
Passivhaus	Riverside	Passivhaus	2 schools merged
Multi-school	Drumgeith	Passivhaus	2 schools merged
Brownfield	Ardrossan	PH+NZ Std.	Industrial site
Multi-school	Jedburgh	EPC A	3 schools, 2-18yr
Multi-service	Maybole	LEIP	4 schools+police

것과 친환경 인증이 분리되어야 하는 것은 서로 다른 기준에 따라 결정되며, 양자가 항상 일치하지는 않는다.

3. 스코틀랜드 학교복합화·친환경 유형 분류

본 연구는 스코틀랜드 학교복합화 사례를 통합 규모, 친환경 인증 방식, 부지 성격을 기준으로 다음과 같이 유형화한다. 이 세 가지 기준은 서로 배타적이지 않으며, 실제 사례에서는 두 가지 이상의 속성이 복합되어 나타나는 경우가 많다. Table 2.는 대표 사례를 유형별로 정리한 것이다. 이 가운데 4장에서 건축적 특성과 친환경 성능을 깊이 있게 분석하는 사례는 실측 또는 설계 단계 에너지 데이터가 확보된 Riverside·Drumgeith·Ardrossan 3개이며, Jedburgh Grammar Campus와 Maybole Community Campus는 스코틀랜드 학교복합화가 포괄하는 유형의 폭을 보여주기 위해 Table 2.에만 함께 제시한 참조 사례이다.

Jedburgh Grammar Campus (Jedburgh Intergenerational Community Campus)는 Parkside Primary, Howdenburn Primary 2개 초등학교와 Jedburgh Grammar 중등학교를 통합하고 별도의 ASN (추가지원필요, Additional Support Needs) 전용 시설을 둔 사례로, 2세부터 18세까지의 학습자 여정을 하나의 캠퍼스 안에서 구현하는 전생애주기형 모델을 취한다[19]. 본 사업은 1만m²를 초과하는 스코틀랜드 학교 캠퍼스 건물 중 가장 에너지 효율이 높은 건물로 평가되며, EPC A등급과 예측 에너지사용량 64kWh/m²/yr를 달성하였다.

Maybole Community Campus는 초등학교 3개교와 중등학교 1개교, 유아보육시설을 통합하고 레저폴, 카페, 야외 스포츠센터, 경찰서를 포함하는 사례로, 교육시설을 넘어 지역 행정·치안 기능까지 포괄하는 보다 넓은 범위의 공공서비스 통합을 대표한다[20]. 학교가 경찰서까지 통합하는 사례는 흔하지는 않으나, 본 사례는 별도의 특별한 예외 조치 없이도 기존 제도 안에서 다양한 조합이 가능함을 확인시켜 준다. 노후화된 기존 Maybole 경찰서가 현재의 치안 수요에 비해 과도하게 크고 운영 유연성이 부족하다는 판단에 따라 Police Scotland의 자산 효율화 정책의 일환으로 신축 캠퍼스로 이전하였으며[21], 이는 학교 용도가 속한 도시계획 분류(Class 7)가 본래 다양한 공공서비스를 포괄할 수 있도록 설계되어 있다는 점과 결합되어 나타난 결과로 해석할 수 있다. 이 사례는 스코틀랜드의 학교복합화 제도가 앞으로 보건·행정·사회복지 등 더 다양한 공공서비스와의 결합 가능성을 보여준다.

Table 2.에서 확인되는 바와 같이, 다섯 개 사례 중 네 개가 둘 이상의 기존 학교를 통합하는 방식을 취하고 있으며, 세 개 사례가

Table 3. Overview and architectural characteristics of the three case-study campuses

Item	Riverside	Drumgeith	Ardrossan
Council	Perth & Kinross	Dundee City	North Ayrshire
Architect	Archetype	Holmes Miller	JM Architects
Schools merged	2 primary	2 secondary	Primary+secondary
Floor area	~4,283m ²	19,585m ²	~16,350m ²
Capacity	~500 pupils	~1,900 pupils	~1,400 pupils
Structure	Steel frame	Hybrid (green steel ASN)	Hybrid (CLT/steel)
Certification	Passivhaus (certified)	Passivhaus Classic	Passivhaus+Net Zero
Airtightness (ach@50Pa)	0.53	0.42	PH target
Energy (kWh/m ² /yr)	45 → 35 (measured)	Pending	67 (target)
Status (completion)	In use (2023)	In use (2025)	Under construction (2027)
Key architectural feature	N-S classroom axis for daylight/solar control; separate ASN zone	Three-wing courtyard layout; atrium cascade ventilation	Fabric-first massing integrated with coastal landscape

Passivhaus 인증 또는 그에 준하는 에너지 성능 기준을 명시적으로 채택하고 있다. 스코틀랜드의 학교복합화는 단순한 시설 통합에 그치지 않고, 친환경 성능 기준의 충족을 복합화의 전제 조건으로 요구하는 경향이 있다. 이러한 경향은 앞서 2.2절에서 살펴본 LEIP의 성과연동형 재원 구조가 실제 사업 추진 과정에 영향을 준다는 점을 시사한다.

4. 사례 분석

분석 대상 세 사례의 개요와 건축적 특성을 Table 3.에 정리하였다.

4.1. Riverside Primary School

Riverside Primary School은 Perth & Kinross Council이 기존 North Muirton Primary School과 Balhousie Primary School 2개 초등학교를 통합하여 신축한 학교로, 철골조 구조 기반의 스코틀랜드 최초 인증 Passivhaus 학교이다[22]. 약 4,283m² 규모로 500명의 학생과 82명 규모의 유아보육시설, 추가지원필요(ASN) 학생을 위한 시설을 수용한다. ASN은 스코틀랜드 교육법상 신체·감각·학습 장애뿐 아니라 가정환경, 건강 문제, 영재성 등 다양한 이유로 표준 교육과정 이상의 지원이 필요한 학생을 포괄하는 법정 용어이다.

건축적 특성으로는 철골조 구조에 단열재를 연속적으로 적용하고 Proctor Wraptite 기밀막을 전체적으로 시공하였으며, 50파스칼 기준 기밀성 테스트에서 시간당 0.53회 환기(ach)를 달성하였다[23]. 이는 Passivhaus 기준(0.6 이하)을 충족하는 수치이다. 교실은 남북 축으로 배치하여 자연 채광을 최대화하면서도 태양열 획득을 제어하였다. Fig. 1.은 벽돌과 목재로 마감된 주 출입구와 가로 입면



Fig. 1. Main entrance and street elevation, Riverside primary school (photo: David Barbour for architype)

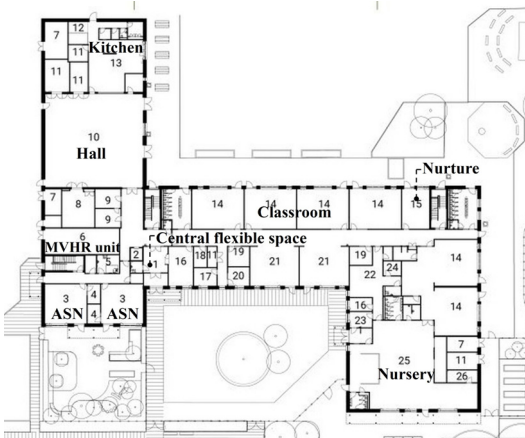


Fig. 2. Ground floor plan, Riverside primary school (drawing: architype)

을 보여준다.

이처럼 기밀성이 높아 자연 침기에 의한 환기가 거의 발생하지 않으므로, 신선한 공기는 중앙집중식 MVHR (Mechanical Ventilation with Heat Recovery, 열회수형 기계환기장치)을 통해 강제로 공급되며, 난방은 공기열원 히트펌프(ASHP)가 전기로 직접 온수를 생산하여 공급한다[24]. 영국 학교시설의 환기·실내공기질 설계 가이드라인(Building Bulletin 101, BB101)은 일반 교실의 경우 일일 평균 1인당 5ℓ/s, 급속 환기 시 최대 8ℓ/s의 환기량을 요구하는데 [25], 이는 Passivhaus 인증 실무에서 통용되는 환기량 기준과 유사한 수준이다. 한편 BB101은 잉글랜드 기준을 중심으로 작성되며 이 양된 행정구역에 대해서는 차이가 있는 경우에만 별도로 명시하는 방식을 취한다[25]. 스코틀랜드의 법적 환기 기준은 비주거 건축기준 기술편람의 별도 조항(3.14절)에서 규정되며, BB101은 LEIP 등 일부 프로그램에서 영국왕립공인 건축설비기술사협회(CIBSE)가 발행한 과열 위험 평가 기술지침서(TM52)와 함께 참조 자료로 활용되는 수준이다[26].

공간 구성 측면에서는 학교 측의 교육철학에 맞춰 밀폐형 교실과 개방형 학습 공간을 혼합 배치하여 공간 사용의 효율성을 높였다. 건물 중앙에는 외부 놀이 공간과 직접 연결되는 단일 가변 활동 공간을 두어 순환동선과 사물보관 기능을 겸하도록 하였으며, 이를 통해 즉흥적 수업이나 대안적 학습활동이 가능하면서도 교사의 시야 확보가 유지되도록 계획되었다[24]. 추가지원필요(ASN) 학습 공간은 독립된 출입구와 전용 외부 놀이 공간을 갖춰 별도 구역으로 계획되

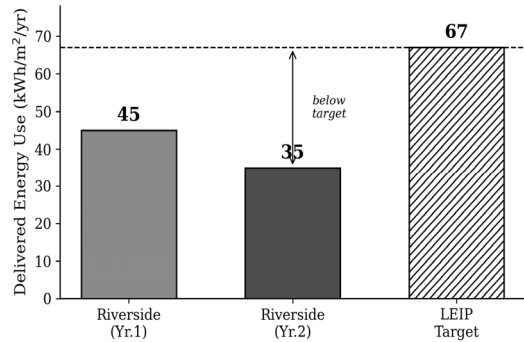


Fig. 3. Measured energy use of Riverside primary school compared to the LEIP funding target

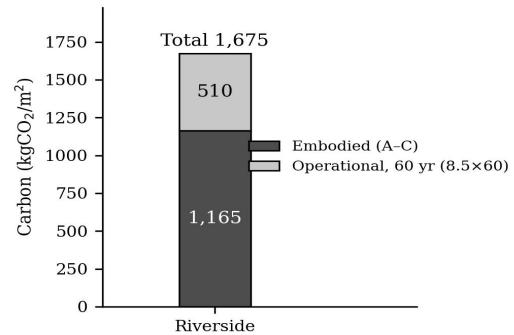


Fig. 4. Whole-life carbon of Riverside primary school over a 60-year period

었으며, 일반 교육 공간과 구분된 안전한 학습 환경을 제공한다. 이 공간 구성에는 앞서 살펴본 남북축 배치와 자연채광 제어 등의 친환경 설계기술이 함께 적용되어, 교육적 유연성과 에너지 성능을 동시에 고려한 설계로 계획되었다. Fig. 2.는 이러한 공간 구성이 반영된 지상층 평면을 보여준다.

친환경 성능 측면에서 2023년 완공 이후 실측 에너지 사용량은 1차년도 45kWh/m²/yr, 2차년도에는 건물 제어 최적화를 통해 35kWh/m²/yr로 개선되었으며, 이는 LEIP 펀딩 목표치(67kWh/m²/yr)를 크게 상회하는 에너지 성능을 달성한 것이다[5]. Fig. 3.은 이 실측 에너지 사용량을 LEIP 목표치와 대비한 것으로, 목표를 크게 상회함을 보여준다.

2024년 9월 외기 최고온도 약 28℃의 폭염 기간에도 건물 내부 평균온도는 22℃로 유지된 것으로 보고되었으며, 이는 기후변화에 대한 회복력 측면에서 주목할 만하다.

운영 에너지 외에 내재탄소(embodied carbon) 측면에서도 정량 데이터가 공개되어 있는데, 연간 운영 CO₂ 배출량은 8.5kgCO₂/m²이며 내재탄소는 1,165kgCO₂/m² (자재 생산·운송·시공 단계 기준)로 산정되었다[27]. Fig. 4.는 이 내재탄소와 연간 운영탄소를 60년 설계수명 기준으로 누적한 것으로, 내재탄소가 전 생애 탄소의 약 70%를 차지하여 지배적 비중을 가짐을 보여준다.

또한 바닥재로 사용된 Junckers 원목마루는 덴마크 실내환경 인증을 획득한 비독성 자재로 60년 이상의 사용 수명을 가지며 재표면 처리를 통해 장기적으로 내재탄소를 절감하며, 옅은 색상의 마루가 자연광을 반사하여 인공조명 수요를 낮추는 효과도 함께 갖는다. 흡

음판은 우드울(wood-wool) 섬유 패널을 사용하는 등, 운영 단계의 에너지 성능뿐 아니라 자재 선정 단계에서도 친환경 기준이 적용되었다[28]. 이 설계는 기존 학교 대비 약 70%의 에너지비 절감을 달성하였다[22]. 이는 설계 성능과 실제 운영 성능 사이에 괴리가 자주 발생하는 일반적인 건축물과 비교할 때 주목할 만한 결과이며, 스코틀랜드 최초의 Passivhaus 인증 학교라는 상징성도 함께 지닌다. 이는 구조·설비·음향·조경·화재 등 여러 분야의 전문가가 함께 참여해 구현한 결과이다.

1) 정상상태 계산을 통한 실측 데이터 타당성 검증

공개된 실측 에너지 데이터의 타당성을 검증하기 위하여, 본 연구는 Riverside Primary School의 공개된 규모(GIA 4,283m²)와 기밀성(0.53 ach@50Pa)을 토대로 정상상태(steady-state) 난방부하를 독립적으로 계산하였다. 이 계산은 정밀한 시간별 동적 시뮬레이션이 아니라, 외피 형태·재료 사양 등 공개되지 않은 변수에 대해 Passivhaus 기준값[29]과 스코틀랜드 건축기준 제6절(2023)[14]이 규정한 기준열관류율을 가정으로 적용한 개략적 추정이라는 점에서 한계를 가지며, 정밀한 예측이 아닌 정합성 검토(plausibility check)를 목적으로 한 것이다. 구체적으로 열관류율은 위 두 기준의 규정값을, 그 밖에 공개되지 않은 변수는 관련 표준과 문헌에서 통상적으로 적용되는 값을 사용하였다. 창면적비 25%와 삼중유리의 태양열 취득계수(SHGC, g-value) 0.5는 저에너지 학교 건물에 통용되는 값이며, 내부·태양열 획득의 유효활용률 70%는 준정상상태(quasi-steady-state) 월별 계산법을 규정한 ISO 13790의 이득활용계수(gain utilisation factor) 범위에 근거하여 적용하였다[30]. 기준온도 15.5°C는 온화한 해양성 기후의 저에너지 학교 건물에 일반적으로 통용되는 값을 채택하였다. 외벽·지붕·바닥의 열관류율은 대상 건물이 Passivhaus 인증 학교인 점을 고려하여, 스코틀랜드 건축기준의 최소값이 아니라 Passivhaus 인증 기준(불투명 외피 0.15W/m²K 이하, 창 0.8W/m²K 이하)을 적용하였다.

건물을 2층 정사각형 평면(총당 약 2,142m², 층고 3.5m)으로 단순화하고, 창면적비 25%, 외벽 U값 0.15W/m²K, 지붕 U값 0.12W/m²K, 바닥 U값 0.15W/m²K, 창 U값 0.8W/m²K (삼중유리 기준)를 가정하였다. Perth 지역의 월별 평균기온[31]으로부터 추정 한 기준온도 15.5°C의 연간 난방도일(HDD)은 약 2,600도일로 산정되었다. 이상의 가정에 따라 외피 전도손실과 환기·침기 손실을 합산한 총 열손실계수(UA)는 약 1,287W/K로 계산되었으며, 이를 HDD에 적용한 연간 총 열손실은 약 18.8kWh/m²/yr로 추정되었다. 이때 환기 손실은 MVHR의 열회수 효율 85%를 적용한 잔여 환기 손실과 0.53 ach@50Pa로부터 환산한 침기 손실을 합산하여 산정하였다.

여기에 재실 시간 중 발생하는 내부 열획득(약 4.6kWh/m²/yr)과 남측 창을 통한 태양열 획득을 함께 고려하였다. 태양열 획득은 삼중유리의 일반적인 태양열취득계수(SHGC) 0.5를 가정하여 산출하였다. 지붕 돌출부와 캐노피로 구성된 차양은 여름철 과열 방지를 주된 목적으로 하므로, 태양고도가 낮은 겨울철에는 차양에 의한 태양열 획득 감소가 상대적으로 작게 나타났다(차양 적용 시 약 4.5kWh/m²/yr, 미적용 시 약 5.3kWh/m²/yr). 내부 및 태양열 획득의 유효활용률을

Table 4. Assumptions and results of the simplified steady-state heating load estimation

Parameter	Assumed/estimated value
U-value: wall/roof/floor	0.15/0.12/0.15W/m ² K
U-value: window	0.8W/m ² K
Window g-value (SHGC)	0.5
Window-to-wall ratio	25%
Annual HDD (base 15.5°C)	≈2,600
Total UA value	≈1,287W/K
Estimated net heating demand	≈12.4kWh/m ² /yr
Passivhaus heating benchmark	≤15kWh/m ² /yr

70%로 가정하여 보정한 결과, 추정 순난방부하는 약 12.4kWh/m²/yr로 산출되었으며, 이는 Passivhaus의 난방부하 기준(15kWh/m²/yr 이하)을 충족하는 수준이다. 이상의 가정과 계산 결과를 Table 4.에 정리하였다.

이 추정치는 난방부하만을 다루므로 환기 동력·조명·기기 등을 포함하는 실측 총에너지(1차년도 45, 2차년도 35kWh/m²/yr)와 직접 비교할 수는 없다. 다만 난방부하가 Passivhaus 기준을 충족하는 수준으로 추정된다는 점은 실측 총에너지가 LEIP 목표치(67kWh/m²/yr) 대비 상당한 여유를 갖는다는 결과와 부합한다. 이는 공개된 실측 데이터가 건물의 사양으로부터 합리적으로 설명 가능한 범위에 있음을 뒷받침한다. 아울러 본 계산에서 나타난 차양의 계절적 상충 관계(여름철 과열 방지 효과가 겨울철 태양열 획득의 소폭 감소를 동반하는 양상)는, 고정형 차양을 설계할 때 계절별 태양고도 변화를 함께 고려해야 함을 예시하는 사례로 해석할 수 있다.

운영 측면에서 본 사업은 단일 학교 통합이라는 비교적 작은 규모임에도 LEIP 성과연동형 펀딩의 모범 사례로 거론되며, 준공 후 다년간의 실측 모니터링 데이터가 공개되어 건축적 설계 의도가 실제 운영 단계에서 어떻게 구현되는지를 검증할 수 있는 드문 사례에 해당한다. 이는 설계 단계의 정량 평가에 그치는 인증 방식과 달리, 운영 단계에서의 장기적 추적 관리가 제도적으로 보장된다는 점에서 중요한 의미를 갖는다.

4.2. Drumgeith Community Campus (Greenfield Academy)

Drumgeith Community Campus (설계 단계에서는 East End Community Campus로 명명되었으며, 내부 중등학교는 Greenfield Academy로 운영된다)는 Dundee City Council이 Braeview Academy와 Craigie High School 2개 중등학교를 통합하여 신축한 연면적 19,585m²[32] 규모의 시설로, 최대 1,900명의 학생을 수용할 수 있으며 Holmes Miller의 설계로 Passivhaus Classic 기준에 따라 계획된, 영국 내 대규모 Passivhaus 건물 중 하나이다[33]. 본 사업은 기존 학교 중 한 곳에서 발생한 화재로 인한 임시 시설 운영의 한계를 계기로 추진되었다[28]. Fig. 5.는 중정을 둘러싼 배치와 옥상 태양광 설비를 포함한 캠퍼스 전경을 보여준다.

건축적 특성으로는 단열, 열교(thermal bridging) 차단, 기밀성, 삼중유리, 열회수 환기라는 Passivhaus의 5대 핵심 원칙을 모두 적용하였으며, 고밀도 단열과 저에너지 하이브리드 환기 시스템, 태양광 패널과 공기열원 히트펌프를 통한 난방 시스템을 갖추었다[34].



Fig. 5. Aerial view of the campus showing the massing, courtyard layout and rooftop photovoltaics, Drumgeith Community Campus/Greenfield Academy (source: Goodson Associates)



Fig. 6. Rooftop photovoltaic array, Drumgeith Community Campus/Greenfield Academy (source: Goodson Associates)

추가지원필요(ASN) 교육동의 구조 프레임에는 화석연료를 사용하지 않고 생산된 그린스틸(green steel, 기존 고로 공정의 석탄을 재생 에너지로 만든 수소로 대체하는 직접환원 공정을 통해 생산되며 부산물로 이산화탄소가 아닌 물이 발생한다)을 적용하여 자재 생산 단계의 탄소 저감을 시도하였다. 환기·열원 측면에서는 아트리움 공간을 활용한 캐스캐이드 환기와 모듈형 중앙 열원 설비가 적용되었다. 건물은 중앙 중정을 둘러싼 3면 구조로 배치되어 태양열 획득과 부지 방향을 최적화하였으며, 일광 모델링을 통해 교실의 자연광을 늘리면서도 원치 않는 열획득은 제한하도록 설계되었다. 외피 성능 측면에서는 50파스칼 기준 기밀성 테스트에서 시간당 0.42회 환기(ach)를 달성하여 Passivhaus 기준(0.6 이하)뿐 아니라 앞서 살펴본 Riverside Primary School (0.53 ach)보다도 우수한 수준을 기록하였으며, 설비 측면에서는 600개 이상의 모듈로 구성된 약 300kW 규모의 옥상 태양광 발전 설비를 갖추었다[35]. Fig. 6.은 옥상에 설치된 태양광 패널 배열을 보여준다.

한편 인증 단계에서 산출된 1차에너지 재생값(Primary Energy Renewable, PER)은 약 72.2kWh/m²/yr 로, 대규모 사용자 에너지 수요를 갖는 중등학교 규모임을 고려할 때 높은 수준의 효율로 평가된다(다만 이 값은 운영 단계의 실측치가 아니라 인증 단계의 산출 값이라는 점에서, 준공 후 실측을 통한 추가 검증이 필요하다)[35]. 아울러 부지를 인공적으로 성토하여 건물을 미래의 폭풍·홍수 수위 위로 들어올리는 기후 회복력 전략을 적용하였으며, 실제로 공사 기간 중 200년 빈도의 극한 폭풍과 홍수가 발생하였으나 신축 건물에는 피해가 없었다[35].

또한 폭이 넓고 깊은 단으로 구성되어 좌석처럼 기능하는 계단형



Fig. 7. Aerial visualisation of the campus with rooftop photovoltaics and landscape integration, Ardrossan Community Campus (visualisation: JM Architects)

휴게공간을 채택하여, 별도의 전용 라운지를 추가로 두지 않고도 같은 면적 안에서 이동·휴식·비공식 교류가 함께 이루어지도록 하였다. 이 공간은 중앙 학습 플라자를 중심으로 한 평면 구성과 결합된다. 지역사회와 공유하는 시설로는 음악·드라마 센터, 도서관, 야간 조명이 설치된 전천후 운동장, 체력단련실, 댄스 스튜디오가 있으며, 이들 시설은 연중 지역사회에 상시 개방되는 운영 방식을 취한다. 재원 측면에서 Dundee City Council은 Learning Estate Investment Programme으로부터 약 4,000만 파운드를 지원받았으며[32], 이는 본 사업이 LEIP의 성과연동형 펀딩 조건을 충족하는 에너지 성능을 달성해야 하는 의무를 동반함을 뜻한다. 본 사업은 화재로 소실된 기존 학교를 대체하는 긴급한 시설 수요에서 출발하였음에도 단순 복구가 아니라 Passivhaus 기준의 신축으로 전환되었다는 점에서, 위기 대응이 오히려 친환경 성능 제고로 이어진 것으로 볼 수 있다. 한편 본 사업은 2025년 8월 개교하였으며, 본 연구 시점까지 준공 후 실측 에너지 성능 데이터는 아직 공개되지 않은 상태이다.

4.3. Ardrossan Community Campus

Ardrossan Community Campus는 North Ayrshire Council이 항만 인근의 구 정유시설 산업부지(brownfield)를 재생하여 추진하는 사업으로, Winton Primary School과 Ardrossan Academy를 통합한 약 16,350m² 규모의 시설이다[36]. 이 사업은 마리나 확장, 신규 주택, 상업시설을 포함하는 약 1억 5천만 파운드 규모의 더 넓은 해안 재생 계획 중 핵심 1단계에 해당한다. 본 사업은 부지 정화 작업이 2023년 12월 시작되었고 건설은 2025년 여름 착공되어, 2027년 완공을 목표로 한다. Fig. 7.은 해안 재생 부지 안에 자리 잡은 캠퍼스의 전경과 주변 조경과의 통합을 보여준다.

본 사업은 Passivhaus 인증과 Net Zero Public Sector Buildings Standard를 동시에 적용하는 선도 프로젝트(pathfinder project)로, m² 당 67kWh의 운영 에너지 목표를 설정하였으며 LEIP 펀딩의 100% 충족을 목표로 한다[37]. 건축적 특성으로는 건물의 형태와 배치를 Passivhaus의 저에너지 원리에 맞춰 최적화하였으며, 주변 조경 설계와의 연계를 통해 캠퍼스 내부 공간 배치의 효과를 높이는 방향으로 계획되었다. 설비보다 건물 외피 자체의 단열·기밀 성능을 우선적으로 확보하는 패브릭 퍼스트(fabric-first) 접근을 적용하였으며, 이는 외피의 열손실을 줄여 이를 보완하기 위한 설비 용량과 에너지 사용량을 함께 낮추는 전략으로, 앞서 Riverside Primary School의 사례에서도 확인된 단열·기밀성과 설비 부담 간의 관계와

같은 원리에 해당한다.

스코틀랜드의 Passivhaus 학교 사업에서는 기밀성·내재탄소·시공성을 균형 있게 만족시키기 위해, 건물 용도별로 콘크리트·목재(CLT)·철골 등 구조 재료를 혼합하는 하이브리드 구조 전략이 폭넓게 관찰되기도 한다. 그러나 패시브 설계만으로 모든 에너지 수요를 충족하기는 어려우며, 패시브 설계로 줄이고 남은 잔여 수요는 공기 열원 히트펌프, 열회수 환기, 옥상 태양광 발전 설비와 같은 고효율 설비로 보완된다. 이러한 패시브·액티브 요소의 결합은 앞서 설정한 운영 에너지 목표를 달성하기 위한 필수적인 전략으로 계획되었으며, 동적 시뮬레이션 모델링과 디지털 트윈 기술을 활용하여 RIBA 설계 2단계부터 에너지·탄소·실내환경 전략을 수립하였다.

시공 단계의 탄소 저감 노력도 정량적으로 검증되었는데, 2025년 9월 기준 총 1,622톤의 CO₂ 절감이 제3자 인증기관(CarboniCa)을 통해 공식 검증되었다[38]. 이는 석유 시추선에서 회수한 재활용 강관을 파일(pile) 공사에 사용하고, 영국 최초로 완전 배터리 구동 파일 드라이빙 장비를 도입하여 현장 탄소 배출을 직접 줄인 데 따른 것이다. 시공 단계의 이 탄소 관리는 완공 후의 운영 에너지 성능과는 별도로, 건축 자재의 생산·운송·시공 전 과정에서 발생하는 탄소를 관리하려는 시도로서 주목된다.

운영 측면에서는 도서관, 수영장, 체육관, 보건·사회복지 기능을 포함하는 복합 공공서비스 시설로 계획되어, 단순한 학교 시설을 넘어 지역 전체의 공공서비스 재편을 위한 거점으로 작동한다. 특히 본 사업은 오염 정화가 필요한 산업부지를 학교 부지로 전환하는 과정에서 토양·지하수 정화 작업과 신규 해안 방재 인프라 구축을 선행 단계로 거쳤으며, 이는 친환경 건축이 건물 자체의 성능을 넘어 부지 전체의 환경 복원과 맞물릴 수 있음을 확인할 수 있는 사례이다.

5. 사례별 특징과 시사점

세 사례에 적용된 친환경 기술과 그 검증 상태를 종합하면 Table 5.와 같다. 세 사례는 공통적으로 다음과 같은 특징을 보인다. 첫째, 다수 학교의 통합을 통한 시설 효율화이다. 세 사례 모두 기존 2개 이상의 학교를 단일 건물로 통합하여, 노후 시설을 개별적으로 개·보수하는 대신 통합 신축을 통해 운영 효율성과 시설 활용도를 동시에 높이는 방식을 취하였다.

둘째, LEIP의 성과연동형 펀딩과 결합된 Passivhaus 표준화이다. 세 사례 모두 LEIP의 에너지 성능 목표(67kWh/m²/yr 내외)를 충족하기 위한 수단으로 Passivhaus 인증 또는 그에 준하는 설계 기준을 채택하였으며, 이는 설계자의 개별적 선택이 아니라 정부 자원 지급 조건과 직접 연동된 정책적 결과로 해석할 수 있다. Riverside Primary School의 실측 데이터는 이러한 정책이 설계 의도를 넘어 실제 운영 단계에서도 목표를 초과 달성하고 있음을 뒷받침한다.

셋째, 지역사회 상시 개방이다. Drumgeith와 Ardrossan 사례는 도서관, 체육시설, 보건·복지 기능을 학교 운영시간과 무관하게 지역사회에 개방하는 방식을 취하며, 이는 학교 시설을 교육 목적에 한정하지 않고 지역 공공서비스 전반의 거점으로 활용하려는 정책 방향을 반영한다.

이 특징은 설계 단계 인증에 주로 의존하는 국내 제도와 달리, 준

Table 5. Environmental technologies and verification status across the three cases

Common technologies (all three cases)	
Passivhaus principles	Insulation, thermal-bridge-free, airtightness, triple glazing, MVHR
Heating	Air source heat pump (ASHP); no on-site combustion
Ventilation	Mechanical ventilation with heat recovery (MVHR)
Envelope strategy	Fabric-first (envelope performance prioritised over services)
Renewables	Rooftop photovoltaic (PV) panels
Case-specific features	
Riverside	Steel frame; multi-year in-use monitoring published
Drumgeith	Green steel ASN block; atrium cascade ventilation; flood-raised site
Ardrossan	Brownfield regeneration; hybrid structure; battery-powered piling
Verification status	
Measured in-use (M)	Riverside — delivered-energy monitoring
Certification value (C)	Drumgeith — PER 72.2, post-occupancy pending
Design target (T)	Ardrossan — under construction

M: measured in-use/C: certification value/T: design or funding target

공 후 실측 데이터를 기반으로 재원을 연동하는 방식이라는 점에서 시사점을 제공한다. 즉 설계 단계에서 일회적으로 평가되는 인증 방식과 달리, 스코틀랜드의 성과연동형 재원체계는 건물이 실제로 운영되는 전체 기간에 걸쳐 에너지 성능을 검증하도록 유도한다는 점에서 차별적이다.

국내 그린스마트미래학교 사업은 친환경(그린 학교)과 복합화(학교 복합화)를 4대 핵심요소 중 별도의 두 항목으로 병렬 제시하는 구조를 취하는 반면[39], 스코틀랜드의 Place Principle은 친환경 성능과 복합화를 하나의 정책 철학 아래 통합적으로 다룬다는 점에서 접근 방식의 차이가 발견된다. 또한 앞서 2.4절에서 살펴본 국내 인증제도(G-SEED)가 설계 단계의 정량 평가에 집중하는 데 비해, LEIP는 준공 이후 일정 기간에 걸친 실측 데이터를 펀딩 지급의 직접적 조건으로 연동한다는 점에서, 건물의 생애주기 전반에 걸친 성능 검증 체계를 구축하는 데 참조할 수 있는 모델을 제공한다.

재정 지원의 방식에서도 양국은 대조적인 구조를 보인다. LEIP는 설정된 에너지 목표를 충족하지 못할 경우 자원 지급을 감액하는 사후 페널티형 구조를 취하는 반면, 한국의 제로에너지건축물 인증제도는 신·재생에너지 설치보조금, 용적률·건축물 높이 완화, 취득세 감면 등을 제공하는 사전 인센티브형 구조를 취한다[40]. 이러한 차이는 단순히 기준의 엄격성을 비교하는 문제가 아니라, 친환경 성능을 재정적으로 유도하는 정책 설계의 철학적 차이를 보여준다. 이러한 강제와 유도의 대비는 난방 설비 차원에서 동일하게 나타난다. 스코틀랜드가 신축 건물의 연소식 난방(가스·기름보일러)을 금지하여 히트펌프 등 무탄소 난방을 사실상 강제하는 반면, 국내에서는 신축 주택에 도시가스가 공급의무를 통해 사실상 기본값으로 유지되고, 히트펌프는 설치 보조와 인센티브를 통해 유도하는 단계에 머물러 있어, 동일한 정책 목표를 서로 다른 방향에서 접근하고 있다.

다만 이러한 시사점을 국내 제도에 직접 적용하기 위해서는 추가적인 검토가 필요하다. LEIP의 성과연동형 펀딩은 25년에 걸친 장기 분할 지급 구조를 전제로 하는데, 이는 스코틀랜드의 지방정부 재정 운용 방식과 긴밀하게 결합되어 있어, 국내의 단기 일괄 예산 편성 방식과는 제도적 전제 자체가 다르다. 따라서 본 연구에서 도출한 시사점은 제도 전체의 이식이 아니라, 준공 후 실측 검증이라는 원리 차원에서 참조할 수 있다.

나아가 학교복합화가 일어나는 제도적 토대 자체에서도 양국은 차이를 보인다. 한국은 건축법상 시설군이 교육연구시설·문화 및 집회시설·운동시설 등으로 분리되어 있어, 학교에 도서관·체육관 등을 결합할 경우 여러 시설군에 걸친 용도변경 절차가 원칙적으로 수반된다. 이에 대응하여 한국은 2020년 제정된 「학교복합시설 설치 및 운영·관리에 관한 법률」을 통해 별도의 법적 근거를 마련하였으며, 이후 관련 하위법령이 정비되고 있다[41]. 반면 스코틀랜드는 학교·도서관·여가시설 등을 도시계획 용도분류상 동일한 범주(Class 7)로 묶어, 복합화가 용도분류 체계 안에서 처음부터 자연스럽게 이루어지도록 하는 방식을 취한다. 이를 고려하면, 스코틀랜드의 방식이 보다 능동적인 복합화를 유도하는 구조일 가능성을 시사하나, 국내 제도는 비교적 최근에 정비되어 누적된 운영 데이터가 충분하지 않으므로 이를 단정적으로 평가하기는 어렵다.

6. 결론

6.1. 연구의 요약

본 연구는 스코틀랜드 학교복합화 사례의 친환경 성능 특성을 분석하였다. 스코틀랜드는 잉글랜드와 구분되는 독자적 자원 체계를 바탕으로, 다수 학교의 통합, Passivhaus의 표준화, 지역사회 상시 개방이라는 세 가지 경향을 보였다. 스코틀랜드에서는 준공 후 실제 사용된 에너지가 목표치를 넘으면 정부 재원이 감액된다. 이 때문에 친환경 성능은 설계 단계의 목표에 그치지 않고, 시공 전반에서 확보해야 하며 준공 후 실측으로 검증되는 사업의 조건이 된다.

국내에서도 학교복합화에 상당한 정부 재정이 투입되나 그 지원은 재정자립도·인구감소지역 여부 등을 기준으로 산정되어 건물의 친환경 성능과는 연동되지 않으며[42], 친환경 성능은 제로에너지 건축물 인증을 통해 설계 단계에서 별도로 확인된다는 점에서[43], 실측 성능을 자원과 직접 연동하는 스코틀랜드와 근본적 차이를 보인다.

이러한 결과는 두 가지 의의를 갖는다. 건축계획 측면에서는 다수 학교의 공간적 통합이 시설 효율화와 친환경 성능 제고를 함께 달성하는 구체적 해법이 된다. 제도적 측면에서는 준공 후 실측 검증을 자원 지급과 연동하는 방식이, 설계 단계 인증에 머무르는 일반적 방식의 한계를 보완한다. 검증 체계가 없으면 설계와 운영 간의 성능 격차는 확인되지 않을 수 있으며, 이 점에서 스코틀랜드의 방식은 다른 국가의 학교복합화 정책에도 참조할 만한 시사점을 제공한다. 나아가 본 연구는 이러한 자원·인증 제도가 개별 사례에서 다수 학교의 통합 배치, 외피의 고단열·고기밀 구성, 열회수 환기와 히트펌프 중심의 설비계획으로 구현됨을 확인하여, 제도적 조건과 건축적 해법

의 연계를 실증적으로 제시하였다.

이는 한국의 학교복합화 정책에도 두 가지 적용 가능성을 시사한다. 하나는 준공 후 실측 데이터를 자원 지급과 연동하는 성과 관리 체계이며, 다른 하나는 본 연구에서 확인된 공간계획·설비계획 차원의 설계전략이다. 이를 국내에 적용할 때에는 운영 데이터의 체계적 축적, 실측 기반 성능 평가, 생애주기 관리, 그리고 성과연동형 지원 체계의 단계적 도입이 함께 검토될 필요가 있다. 특히 준공 후 일정 기간의 실측 데이터를 자원 지급과 연동하는 방식은, 설계-운영 간 성능 격차를 제도적으로 관리하는 실질적 수단이 될 수 있다.

6.2. 연구의 한계 및 향후 과제

본 연구는 3개 사례에 한정되어 있으며, 잉글랜드 및 국내 제도와 심층적 비교 분석은 후속 연구를 통해 보완될 필요가 있다. 또한 현지 방문 조사 및 이용자 행태 분석이 수행되지 않아, 건축적 특성의 분석이 설계 의도와 외부 평가에 기반한 것으로, 실제 운영 상황과의 괴리가 존재할 가능성이 있다. 아울러 세 사례는 준공 시점과 자료 공개 정도에 차이가 있어, 실측 데이터가 축적된 Riverside Primary School에 비해 준공 직후이거나 시공 중인 Drumgeith·Ardrossan은 분석 가능한 정보의 범위가 제한되었으며, 이로 인해 사례 간 분석의 깊이에 차이가 존재한다.

한편 4.1절에서 수행한 정상상태 계산은 정밀한 예측이 아니라 공개된 실측 데이터의 정합성을 확인하기 위한 정합성 검토(plausibility check)를 목적으로 한 것이다. 보다 정밀한 분석을 위해서는 동적 에너지 시뮬레이션을 통한 후속 연구가 요구된다.

또한 본 연구가 다른 LEIP의 성과연동형 펀딩 데이터는 사업 초기 단계부터 누적되어 온 것이 아니라 최근 완공된 일부 사례에 국한되어 있어, 장기적인 시계열 변화를 충분히 포착하지 못한 한계가 있다. 향후 더 많은 LEIP 적용 사례의 다년간 모니터링 데이터가 축적되면, 통계적으로 일반화 가능한 패턴을 도출하는 후속 연구가 가능할 것으로 기대된다.

이외에도 학교 통합으로 발생하는 구 학교 부지의 처리 방식(주택 재개발, 매각, 다른 공공시설로의 전환 등)은 지자체의 자산 운용 및 지역 정책과 연계되는 중요한 사안이나, 본 연구의 범위인 친환경 건축 성능과는 별개의 주제로서 후속 연구의 과제로 남는다.

본 연구는 스코틀랜드 사례를 중심으로 분석하였으므로 기후, 법제도 및 교육운영체계가 상이한 국가에 직접 일반화하기에는 한계가 있다. 향후에는 북유럽 국가와의 비교 연구 및 국내 실증 연구를 통해 설계전략의 적용성을 검증할 필요가 있다.

References

- [1] Scottish Government, Scotland to become a net-zero society, <https://www.gov.scot/>, 2019.09.25.
- [2] UK Parliament, Scotland Act 1998, Schedule 5, <https://www.legislation.gov.uk/>, 1998.
- [3] UK Parliament, Education Act 2002, <https://www.legislation.gov.uk/>, 2002.
- [4] National Audit Office, The building schools for the future programme: Renewing the secondary school estate, <https://www.nao.org.uk/>, 2009.
- [5] Scottish Futures Trust, hub Programme — Workstreams, <https://www.scottishfuturestrust.org.uk/workstreams/hub-programme>, 2026.07.24.
- [6] Project Scotland, Landmark Scottish passivhaus school is outperforming targets,

- <https://projectscot.com/2025/07/landmark-scottish-passivhaus-school-is-outperforming-targets/>, 2026.07.24.
- [7] Scottish Parliament Information Centre, Scotland's schools: A new LEIP forward?, <https://spice-spotlight.scot/>, 2019.10.02.
- [8] Scottish Futures Trust, LEIP outcomes based funding briefing document, <https://www.scottishfuturestrust.org.uk/>, 2026.07.24.
- [9] J. Boys, A. Jeffery, Valuing urban schools as social infrastructure, In: Schools as community hubs, Singapore: Springer, 2023, pp.113-130.
- [10] Scottish Government, Scotland's learning estate strategy: Connecting people, Places and Learning, <https://www.gov.scot/>, 2019.
- [11] Scottish Futures Trust, Net zero buildings — Workstreams, <https://www.scottishfuturestrust.org.uk/workstreams/net-zero-buildings>, 2026.07.24.
- [12] Scottish Government, Energy Performance Certificates: guide, <https://www.gov.scot/publications/energy-performance-certificates-guide/>, 2026.07.24.
- [13] Engineered Panels in Construction, An introduction to section 6 — Scottish building standards' answer to energy efficiency, <https://www.epic.uk.com/>, 2025.08.11.
- [14] Scottish Government, 6.1 Annex — Building standards technical handbook 2023: Non-domestic, <https://www.gov.scot/>, 2023.
- [15] Scottish Government, 7.1 Statement of sustainability — Building standards technical handbook 2022: Non-domestic, <https://www.gov.scot/>, 2022.07.29.
- [16] Scottish Government, New build heat standard: Guidance and research, <https://www.gov.scot/collections/new-build-heat-standard/>, 2026.07.24.
- [17] Passive House Accelerator, Scottish schools mind the gap, <https://passivehouseaccelerator.com/>, 2024.
- [18] Scottish Government, Town and country planning (use classes) (Scotland) order 1997, <https://www.legislation.gov.uk/>, 1997.
- [19] Scottish Design Awards, Jedburgh grammar campus, <https://www.scottishdesignawards.com/>, 2022.
- [20] Building Design Partnership, Maybole community campus, <https://www.bdp.com/uk/projects/maybole-community-campus>, 2026.07.24.
- [21] Ayrshire Today, Former Maybole police station could be turned into flats, <https://www.ayrshire-today.co.uk/>, 2025.09.04.
- [22] Passivhaus Trust, Riverside primary - A passivhaus first for Scotland, <https://passivhaustrust.org.uk/news/detail/?nid=1220>, 2026.07.24.
- [23] Project Scotland, External air barrier solution earns top marks on Scottish school projects, <https://projectscot.com/>, 2025.09.09.
- [24] Architype, Riverside primary school, <https://www.architype.co.uk/project/riverside-primary-school/>, 2026.07.24.
- [25] GOV.UK, Ventilation, thermal comfort and indoor air quality: BB101 <https://www.gov.uk/>, 2018.
- [26] University of Strathclyde, Survey results — Building standards - Non-domestic buildings - Ventilation: Research, <https://www.gov.scot/>, 2023.05.03.
- [27] Architects' Journal, Case study: Riverside primary school by architype, <https://www.architectsjournal.co.uk/specification/case-study-riverside-primary-school-by-architype>, 2026.07.24.
- [28] Junckers, Riverside primary school, <https://www.junckers.co.uk/sports-flooring/sport-flooring-projects/case/riverside-primary-school>, 2026.07.24.
- [29] Passive House Institute, Passive house requirements, https://passivehouse.com/02_informations/02_passive-house-requirements/02_passive-house-requirements.htm, 2026.07.24.
- [30] International Organization for Standardization, Energy performance of buildings — Calculation of energy use for space heating and cooling, ISO 13790:2008, <https://www.iso.org/home.html>, 2008.
- [31] Climate-Data, Perth climate: Weather perth & temperature by month, <https://en.climate-data.org/europe/united-kingdom/scotland/perth-101/>, 2026.07.24.
- [32] Procurement Hub, Delivering Dundee's flagship passivhaus campus through major projects framework, <https://www.procurementhub.co.uk/>, 2025.10.27.
- [33] e-architect, East end community campus Dundee, <https://www.e-architect.com/dundee/east-end-community-campus-dundee>, 2026.07.24.
- [34] Atelier Ten, Dundee east end campus, <https://atelier10.com/>, 2025.11.21.
- [35] Holmes Miller, Drumgeith community campus, <https://www.holmesmiller.com/>, 2025.11.10.
- [36] JM Architects, Ardrossan community campus, <https://jmarchitects.net/>, 2023.07.27.
- [37] Carbon Futures, Ardrossan community campus, <https://www.carbonfutures.co.uk/>, 2025.09.24.
- [38] North Ayrshire Council, Ardrossan community campus newsletter — September 2025, <https://www.north-ayrshire.gov.uk>, 2025.09.30.
- [39] 교육부, 그린스마트 미래학교 종합 추진계획, 2021. // (Ministry of Education, Comprehensive promotion plan for green smart future schools, 2021.)
- [40] 한국에너지공단, 제로에너지건축물 인증 개요, https://zeb.energy.or.kr/BC/BC03/BC03_05_001.do, 2026.07.24. // (Korea Energy Agency, Overview of zero energy building certification, https://zeb.energy.or.kr/BC/BC03/BC03_05_001.do, 2026.07.24.)
- [41] 국가법령정보센터, 학교복합시설 설치 및 운영·관리에 관한 법률, <https://law.go.kr/lsInfoP.do?lsiSeq=268507&viewCls=lsRvsDocInfoR>, 2026.07.24. // (Korean Law Information Center, Act on the installation, operation and management of school complex facilities, <https://law.go.kr/lsInfoP.do?lsiSeq=268507&viewCls=lsRvsDocInfoR>, 2026.07.24.)
- [42] 교육부, 2025년 학교복합시설 사업 1차 공모 결과, <https://www.korea.kr/briefing/pressReleaseView.do?newsId=156683378>, 2026.07.24. // (Ministry of Education, Results of the first open call for school complex facility projects in 2025, <https://www.korea.kr/briefing/pressReleaseView.do?newsId=156683378>, 2026.07.24.)
- [43] 국토교통부, 제로에너지건축 보급 확산 방안, http://www.molit.go.kr/USR/NEWS/m_71/dtl.jsp?lcmSpace=1&id=95082443, 2026.07.24. // (Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Measures for expanding the dissemination of zero-energy buildings, http://www.molit.go.kr/USR/NEWS/m_71/dtl.jsp?lcmSpace=1&id=95082443, 2026.07.24.)