

건축물 에너지 효율화를 위한 IEA의 국제 연구 동향

글 / 한국건설기술연구원 선임연구위원 이승언 (IEA EBEC 집행위원회 한국대표)

1. 국제에너지기구(IEA)의 건물에너지연구 체계

국제에너지기구(IEA)는 OECD(경제협력개발기구)의 산하 조직으로 원자력기구(Nuclear Energy Agency) 등과 함께 독립적 예산운영 및 자체 사무국을 갖고 있는 준 자율적 부속기구(Semi-Autonomous Body)이다. IEA는 제1차 석유위기가 발생한 1973년 직후 에너지 공급과 수요, 국제석유시장의 안정, 에너지 효율적 이용과 관리, 국제협력 및 공동연구 그리고 환경과 에너지 정책의 조화 등을 위한 활동을 목적으로 설립되었으며 현재 세계 28개국이 가입하여 활동하고 있다.

IEA는 이사회 하부에 에너지 R&D를 총괄하는 CERT(Committee on Energy Research & Technology)를 두고 있으며 CERT 밑에는 에너지 절약(Energy End-Use), 신재생에너지(Renewable Energy), 화석연료(Fossil Fuel), 핵융합발전(Fusion Power) 등 4개의 워킹 그룹을 두고 있다. 건물부문 에너지 연구를 수행하는 것은 EBC(Energy in Buildings and Communities)로 Working Party on Energy End-Use Technology에 배치되어 있다. 같은 워킹파트에는 연료전지, 자동차, 수효관리, 지역냉난방, 에너지 저장, 히트펌프, 수소 전기 자동차 등이 같이 소속되어 있다. 신재생에너지에는 Solar Heating and Cooling 프로그램이 있으며 건물분야 관련 연구를 많이 수행하고 있다. 그림 1은 이러한 IEA의 연구 조직 체계를 나타내며 그림 2는 EBC에 참여하고 있는 국가를 보여준다. 표 1은 Working Party별 에너지기술협력 프로그램을 보여주고 있다.

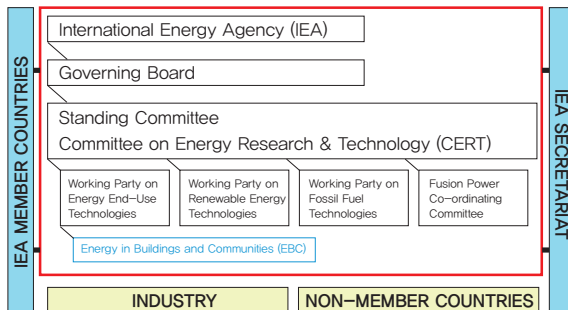


그림 1. IEA 조직에서의 EBC의 위치

EBC Participating Countries – 26개국	
<input type="checkbox"/> Australia	<input type="checkbox"/> New Zealand
<input type="checkbox"/> Austria	<input type="checkbox"/> Netherlands
<input type="checkbox"/> Belgium	<input type="checkbox"/> Norway
<input type="checkbox"/> Canada	<input type="checkbox"/> Poland
<input type="checkbox"/> Czech Republic	<input type="checkbox"/> Portugal
<input type="checkbox"/> Denmark	<input type="checkbox"/> Sweden
<input type="checkbox"/> Finland	<input type="checkbox"/> Switzerland
<input type="checkbox"/> France	<input type="checkbox"/> United States of America
<input type="checkbox"/> Germany	<input type="checkbox"/> China
<input type="checkbox"/> Greece	<input type="checkbox"/> Israel
<input type="checkbox"/> Iceland	<input type="checkbox"/> Ireland
<input type="checkbox"/> Italy	<input type="checkbox"/> Turkey
<input type="checkbox"/> Japan	<input type="checkbox"/> Greece
<input type="checkbox"/> Korea	<input type="checkbox"/> Russia
	정식 가입 추진 중

그림 2. EBC 참여 국가

기술분야 (Working Party)	협력 프로그램(IA)
Energy End-Use Technologies (13개 프로그램)	<ul style="list-style-type: none"> • Advanced Fuel Cells • Advanced Materials for Transportation • Advanced Motor Fuels • Assessing the Impacts of High-Temperature Superconductivity (HTS) • Demand-Side Management • District Heating and Cooling • Energy Conservation and Emissions Reduction in Combustion • Energy in Buildings and Communities (EBC) (건축 및 도시 에너지) • Energy Conservation Through Energy Storage • Heat Pumping Technologies • Hybrid and Electric Vehicles • Process Integration • Pulp and Paper
Fossil Fuels (6개 프로그램)	<ul style="list-style-type: none"> • Clean Coal Sciences • Enhanced Oil Recovery • Fluidized Bed Conversion • IEA Clean Coal Centre • IEA Greenhouse Gas RD Programme • Multiphase Flow Sciences
Fusion Power (8개 프로그램)	<ul style="list-style-type: none"> • Environmental, Safety and Economic Aspects of Fusion Power • Fusion Materials • Large Tokamaks • Nuclear Technology of Fusion Reactors • Plasma Wall Interaction in TEXTOR • Reversed Field Pinches • Stellarator Concept • Toroidal Physics in, and Plasma Technologies of Tokamaks with Poloidal Field Divertors (ASDEX-Upgrade)
Renewable Energy Technologies (9개 프로그램)	<ul style="list-style-type: none"> • Bioenergy • Ocean Energy Systems • Solar Heating and Cooling • Geothermal • Photovoltaic Power Systems • SolarPACES • Hydrogen • Wind Turbine Systems • Hydropower
Intersectoral (4개 프로그램)	<ul style="list-style-type: none"> • Climate Technology Initiative (CTI) • Energy and Environmental Technologies Information Centres (EETIC) • Energy Technology Data Exchange (ETDE) • Energy Technology Systems Analysis Programme (ETSAP)

표1. Working Party별 에너지 기술협력 프로그램

2. EBC의 연구 프로젝트(Annex)

건축물과 커뮤니티(도시) 차원의 에너지 효율화를 위한 연구 조직인 EBC는 1977년 ECBCS(Energy Conservation in Buildings and Community System)으로 출발하여 2013년에 EBC로 이름을 바꾸었다. EBC에서는 연구단위를 Annex라고 하며 연구기간은 3~5년 정도 수행되는데 발족이후 현재까지 승인된 Annex는 총 65개이다. 2013년 11월 기준으로 51개가 종료되었으며 14개가 진행되고 있다. 표 2는 종료된 Annex를, 표 3에는 진행되고 있는 Annex를 나타낸다.

표 2. 종료된 Annex

Annex	Title	연구기간
53	Total Energy Use in Buildings: Analysis and Evaluation Methods	2008-2013
51	Energy Efficient Communities	2007-2013
50	Prefabricated Systems for Low Energy Renovation of Residential Buildings	2006-2011
49	Low Energy Systems for High Performance Buildings and Communities	2006-2010
48	Heat Pumping and Reversible Air Conditioning	2006-2009
47	Cost Effective Commissioning of Existing and Low Energy Buildings	2005-2009
46	Holistic Assessment Tool-kit on Energy Efficient Retrofit Measures for Government Buildings (ENERGo)	2005-2009
45	Energy-Efficient Future Electric Lighting for Buildings	2004-2009
44	Integrating Environmentally Responsive Elements in Buildings	2004-2009
43	Testing and Validation of Building Energy Simulation Tools	2003-2007
42	The Simulation of Building-Integrated Fuel Cell and Other Cogeneration Systems (COGEN-SIM)	2003-2007
41	Whole Building Heat, Air and Moisture Response (MOIST-EN)	2003-2007
40	Commissioning of Building HVAC Systems for Improved Energy Performance	2001-2004
39	High Performance Thermal Insulation (HIPTI)	2001-2004
38	Solar Sustainable Housing	1999-2003
37	Low Exergy Systems for Heating and Cooling	1999-2003
36	Retrofitting in Educational Buildings - Energy Concept Adviser for Technical Retrofit Measures	1998-2002
36WG	Annex 36 Working Group Extension 'The Energy Concept Adviser'	2003-2005
35	Control Strategies for Hybrid Ventilation in New and Retrofit Office Buildings (HybVent)	1998-2002
34	Computer-Aided Evaluation of HVAC System Performance	1997-2001
33	Advanced Local Energy Planning	1996-1998
32	Integral Building Envelope Performance Assessment	1996-1999
31	Energy Related Environmental Impact of Buildings	1996-1999
WG	Working Group on Indicators of Energy Efficiency in Cold Climate Buildings	1995-1999
30	Bringing Simulation to Application	1995-1998
29	Daylight in Buildings	1995-1999
28	Low Energy Cooling Systems	1993-1997
27	Evaluation and Demonstration of Domestic Ventilation Systems	1993-2002
26	Energy Efficient Ventilation of Large Enclosures	1993-1996
25	Real Time HEVAC Simulation	1991-1995
24	Heat, Air and Moisture Transport in Insulated Envelope Parts	1991-1995
23	Multizone Air Flow Modelling	1990-1996
22	Energy Efficient Communities	1991-1993
21	Environmental Performance of Buildings	1988-1993
20	Air Flow Patterns within Buildings	1988-1991
19	Low Slope Roof Systems	1987-1993
18	Demand Controlled Ventilating Systems	1987-1992
17	Building Energy Management Systems - Evaluation and Emulation Techniques	1988-1992
16	Building Energy Management Systems - User Interfaces and System Integration	1987-1991
15	Energy Efficiency in Schools	1988-1990
15WG	Working Group on Energy Efficiency in Educational Buildings	1992-1995
14	Condensation and Energy	1987-1990
13	Energy Management in Hospitals	1985-1989
12	Windows and Fenestration	1982-1986
11	Energy Auditing	1982-1987
10	Building HEVAC Systems Simulation	1982-1987
9	Minimum Ventilation Rates	1982-1986
8	Inhabitant Behaviour with Regard to Ventilation	1984-1987
7	Local Government Energy Planning	1981-1983
6	Energy Systems and Design of Communities	1979-1981
4	Glasgow Commercial Building Monitoring	1979-1982
3	Energy Conservation in Residential Buildings	1979-1982
2	Economics and Advanced Community Energy Systems	1976-1978
1	Load Energy Determination of Buildings	1977-1980

표 3. 진행 중인 Annex (2013년 11월 현재)

Annex	Title	연구기간
65	Long-Term Performance of Super-Insulation in Building Components & Systems	2013-2017
64	Optimized Performance of Community Energy Supply Systems with Exergy Principles	2013-2017
63	Implementation of Energy Strategies in Communities	2013-2017
62	Ventilative Cooling	2013-2016
61	Business and Technical Concepts for Deep Energy Retrofit of Public Buildings	2012-2016
60	New Generation Computational Tools for Building & Community Energy Systems	2012-2017
59	High Temperature Cooling and Low Temperature Heating in Buildings	2012-2015
58	Reliable Building Energy Performance Characterization Based on Full Scale Dynamic Measurements	2011-2015
57	Evaluation of Embodied Energy and CO2 Emissions for Building Construction	2011-2015
56	Cost-Effective Energy and CO2 Emission Optimization in Building Renovation	2010-2015
55	Reliability of Energy Efficient Building Retrofitting - Probability Assessment of Performance and Cost	2009-2013
54	Integration of Micro-generation and Related Energy Technologies in Buildings	2009-2013
52	Towards Net Zero Energy Solar Buildings (NZEBS)	2008-2013
5	Air Infiltration and Ventilation Centre	1979-

3. 진행되고 있는 Annex 소개

1) Long-Term Performance of Super-Insulation in Building Components & Systems (Annex65)

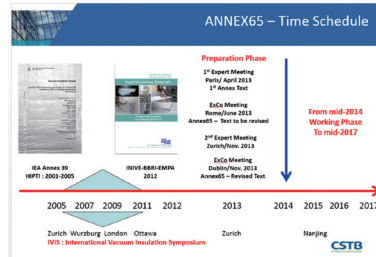


그림 3. Annex 65의 추진 일정

온실가스 감축 정책에 의해 건축물에 요구되는 단열성능은 점차 강화되고 있으며 패시브 주택의 경우 기존 단열재를 사용할 경우 두께가 20~30cm로 두꺼워짐에 따라 시공상의 문제 및 공간 손실 등의 문제가 야기되고 있다. 이에 최근 고성능 단열재에 대한 수요가 증가하고 있으며 진공단열재, 에어로겔 등 고성능 단열재의 상용화가 촉진되고 있다. 진공단열재는 에이징(경년변화)에 의한 성능 저하, 가속 / 진동 등에 의한 기계적 파손 등에 대한 우려가 있으며 에어로겔 단열재는 점차 가격이 낮아지고 공법도 개선되고 있으나 시공상의 문제 등이 완전히 해결된 상태는 아니다. 그러나 고성능 단열재는 제로 에너지 건물의 필수 자재임에 따라 현재의 기술적, 시공적 난점을 국제적 협력으로 풀기 위한 노력이 강조되게 되었으며 2013년 6월 73차 회의에서 본 프로젝트가 제안되어 승인되었다. 현재 준비단계이며 1년의 준비단계를 거쳐 2014년 6월 정식 활동단계(Working Phase)로 진입을 예상하고 있다.

2) LowEx Communities - Optimised Performance of Energy Supply Systems with Exergy Principles (Annex 64)

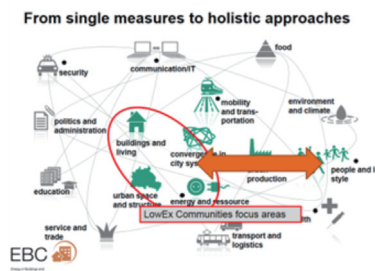


그림 4. Annex 64의 연구 개념도

Low Exergy 개념에 근거한 도시 에너지 시스템의 효율화를 목적으로 하는 본 과제는 독일이 제안하여 프라운호프 연구소의 Dr. Dietrich Schmidt가 책임자로 연구를 진행하고 있으며 오스트리아, 핀란드, 일본, 스웨덴, 스위스 등이 참여하고 있다. 엑서지 기법은 각 종 열 에너지 시스템의 최적화 연계 그리고 에너지 시스템계의 온도차 (ΔT)를 줄여 열손실을 최소화하는 것이 기본 개념이다. 2006년-2010년에 수행되었던 Annex 49 Low Energy Systems for High Performance Buildings and Communities의 후속 연구 성격을 갖고 있다.

3) Implementation of Energy Strategies in Communities (Annex 63)

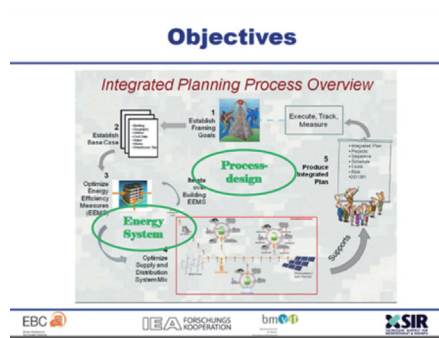


그림 5. Annex 63의 연구 개념도

오스트리아가 제안하여 진행되는 Annex로 커뮤니티(도시 규모) 레벨의 저탄소화 디자인 및 설계 프로세스를 개발하는 과제이다. 기존 도시를 저에너지화로 변환시키기 위한 디자인과 기술의 연계 전략 개발을 목적으로 진행되며 계획단계에서 의사 결정을 지원할 수 있는 프로세스와 툴 개발을 포함하고 있다. 2013년 6월 73차 회의에서 준비단계로 승인된 이 Annex는 오스트리아가 OA(주관국가)를 하고 있으며 도시의 저에너지화를 구현하기 위한 기술, 정책 방안을 실무적으로 접근하는 연구를 진행하고 있다.

4) Ventilative Cooling (Annex 62)



Annex Outcome

Annex 62 VentilativeCooling

- Guidelines for energy-efficient reduction of the risk of overheating by ventilative cooling
- Guidelines for ventilative cooling design and operation in residential and commercial buildings
- Recommendation for intergration of ventilative cooling in legislation, standards, design briefs as well as on energy performance calculation and verification methods
- New ventilative cooling solutions including their control strategies as well as improvement of capacity of existing systems
- Documented performance of ventilative cooling systems in case studies.

그림 6. Annex 62의 목표 성과물

환기는 실내공기의 청정 유지를 목적으로 사용되는 것이었으나, 환기를 보다 적극적으로 활용함으로써 저비용 건물 냉방 시스템으로 활용하자는 것이 연구의 목적이다. 특히 패시브 주택 등 고단열, 고기밀 주택에서 발생하는 비동계 기간의 과열 문제(Overheating)를 해소할 수 있는 방안으로 추진되고 있다. 이를 위한 수단으로 통풍형 냉방(Ventilative Cooling)을 제안하고 있으며 자연환기, 기계환기, 자연+기계 환기 병용 방식에 대해 종합 소루션 제공을 연구하고 있다. 2012년 12월 출발한 Annex로 Working Phase에 진입하여 진행되고 있다. 주관 기관(OA)는 Annex 44 Integrating Environmentally Responsive Elements in Buildings의 책임자였던 덴마크의 Per Heiselberg 교수가 맡고 있다. 16개국이 참여 의사를 표명하고 있으며 현재 중국, 아일랜드, 이탈리아, 일본이 공식 참여하고 있다.

5) Development & Demonstration of Financial & Technical Concepts for Deep Energy Retrofits of Government / Public Buildings & Building Clusters (Annex 61)

Subtask Progress	Preparation Phase		Working Phase			
	2012	2013	2014	2015	2016	
Case studies review						
Develop bundling options						
Subtask A: Technical and Economical Analysis						
Energy Efficiency Measure (EEM) bundles and Outlets						
Analysis of Business and Legal frameworks						
Subtask B: Develop Business Models of Deep Retrofits						
Support for case studies						
Project feasibility studies						
Subtask C: Decision-Making Process						
Project implementation						
Information collection						
Subtask D: IT-Tools for decision makers and ESCOs						
Report						

그림 7. Annex 61의 세부 과제와 연구 일정 계획

미국 공병단의 Dr. Alexander M. Zhivov(US Army Corps of Engineers, Engineer Research and Development Center, Construction Engineering Research Laboratory)가 주도하는 과제로 2012년 6월 준비단계 승인을 받고 2013년 6월로 활동단계에 진입한 과제이다. 기존 건축물의 에너지효율화에 대한 관심이 국제적으로 커짐에 따라 20개국이 참여 의사를 제시하였으며 미국, 핀란드, 스웨덴, 벨기에, 덴마크 등이 적극적으로 참여하고 있다. 기존 건물의 에너지효율화를 위하여 개별 기술보다는 번들형 기술을 경제적 관점에서 타당성이 있게 패키지 형태로 제공하는 것을 목적으로 하고 있다. 다양한 기존 건축물의 에너지효율화를 위한 다양한 프로그램에 대한 검토와 이를 종합적으로 연계 운영할 수 있게 하는 툴의 제공을 계획하고 있다.

6) New Generation Computational Tools for Building & Community Energy Systems Based on the Modelica & Functional Mockup Unit Standards (Annex 60)

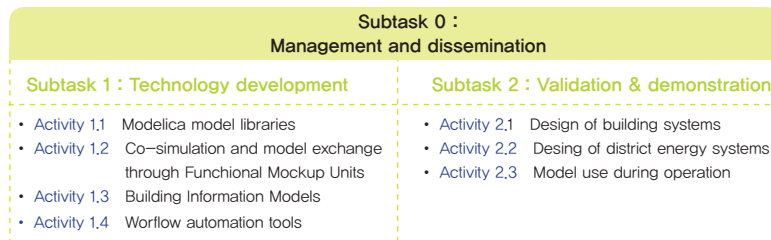


그림 8. Annex 60의 세부 과제와 연구 내용

개발 비용 및 시간 절감이 가능하고 각 모델간 연결을 용이하게 구현할 수 있는 모델리카 언어를 사용하여 객체 지향형 건물에너지 프로그램을 개발하는 것을 목표로 하고 있다. 모델리카를 사용할 경우 빌딩 컴포넌트 모델과 지오메트릭 모델과 같은 다른 모듈의 모델을 용이하게 코디네이트 할 수 있으며 다양한 도메인과의 연결을 가능하게 하는 Back Bone 역할을 하는 컴퓨터 언어이다. 모델리카는 1999년 개발된 컴퓨터 언어로 알고리즘과 인터페이스 등이 지속적으로 개선되어 왔다. 연구기간은 총 5년으로 계획되어 있으며 2012년 6월 준비단계 승인을 받고 2013년 6월로 활동단계에 진입한 과제이며, 11개국이 참여 의사를 제시하였다. 현재 미국, 독일, 아일랜드, 스웨덴, 중국, 이탈리아가 공식 참여 확정서를 제출한 상태이며 과제 책임자(OA)는 미국 LBNL의 Michael Wetter과 독일 Christoph Van Treeck가 공동으로 맡고 있다.

7) High Temperature Cooling & Low Temperature Heating in Buildings (Annex 59)

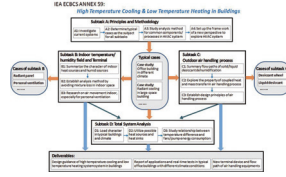


그림 9. Annex 59의 연구 구성

비주거용 건물의 HAVC에 대하여 고온냉방(Highr Temp. Cooling), 저온난방(Low Temp. Heating)을 구현하는 것을 목적으로 하는 과제이다. HAVC 시스템의 혼합손실과 반송손실 저감 방법론을 개발하고 실내 터미널(Terminal)의 혁신적인 디자인과 외기조화 프로세서의 효율적 경로 설계(Flow Path)를 제안하고 있다. 주관 기관은 중국 칭화대학이 맡고 있으며 벨기에, 덴마크, 핀란드, 독일, 이탈리아, 일본, 미국 등이 참여하고 있으며 한국은 서울대학교가 참여하고 있다.

8) Reliable Building Energy Performance Characterisation Based on Full Scale Dynamic Measurements (Annex 58)

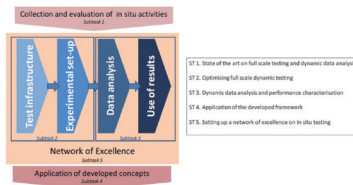


그림 10. Annex 58의 연구 구성

벨기에 루벤대학 Staf Roels 교수가 책임자이며 실물 규모(Full Scale) 측정을 통한 건물에너지 성능 특성을 보다 명확하고 정확하게 도출하는 것이 목적이다. 건물 구성요소와 건물 전체의 실제 에너지 성능 특성의 규명을 위하여 동적 테스트(Dynamic Test) 시험 장치, 동적 데이터의 분석 기법 그리고 기술 네트워크를 구축 등을 세부과제로 제시하고 있다.

9) Evaluation of Embodied Energy & CO2 Emissions for Building Construction (Annex 57)

일본의 타츠오 오가 교수가 책임자이며, 한국은 건설기술연구원이 Sub Task 1의 리더로 참여하고 있다. 건축물의 전과정평가(LCA, Life Cycle Assessment)를 기반으로 하여 건축물 자재 투입에 대한 내재에너지(Embodied Energy)와 이산화탄소 배출 평가, 설계 단계에서 적용할 수 있는 저 내재에너지 건축설계 방법론 개발을 연구 내용으로 하고 있다.

10) Cost Effective Energy & CO2 Emissions Optimization in Building Renovation (Annex 56)

포르투갈 민호 대학의 Manuela Almeida 교수가 책임자로 OA로 활동하고 있다. Annex 56은 건물 리노베이션 시 에너지소비와 탄소배출 저감을 경제적 관점에서 최적화하는 방법론을 제시하는 것을 목적으로 진행되고 있다. 기존 건축물의 탄소저감이 중요해짐에도 불구하고 명확한 정보와 의사결정 방법이 부재함에 따라 에너지효율화 수준별 맞춤형 의사결정 지원 방법론을 제공하고자 하며, 아울러 유럽 각국의 성공적인 실제 사례(Shining Examples)에 대한 조사 결과를 제시하고 있다.

11) Reliability of Energy Efficient Building Retrofitting - Probability Assessment of Performance & Cost (Annex 55)

책임자는 스웨덴의 Carl-Eric Hagentoft이며 에너지 사용과 생애주기 비용, 성능 향상을 위한 의사결정 방법과 틀 개발 등을 추계론적(Stochastic), 확률적(Probabilistic) 방법에 의해 도출하는 것을 목적으로 진행되며 유럽 주택의 에너지 성능, 결로 하자 등에 대한 케이스 스터디를 포함하고 있다.

12) Integration of Micro-Generation & Related Energy Technologies in Buildings (Annex 54)

연구책임은 캐나다 CANMET ENERGY Research Centre의 Evgueniy Entchev와 독일 TU Munich의 Peter Tzscheuschler가 공동으로 맡고 있다. 주택용 열병합 시스템인 마이크로 제너레이션 시스템 기술과 평가 기법의 개발을 목적으로 진행되었다. 11개국이 참여하고 있으며, 한국의 에너지기술연구원(KIER)도 참여하고 있다. 최종 종료 단계에 있다.

13) Total Energy Use in Buildings : Analysis & Evaluation Methods (Annex 53)

일본 도호쿠 대학의 요시노 교수가 진행한 Annex로 공식 종료 승인을 받아 보고서 최종 출간 단계에 있다. 건물에서의 실제 에너지 사용량에 대한 분석과 예측에 대한 연구이며 시뮬레이션과 실제에너지 사용량의 차이점에 대한 원인 규명, 거주자의 행태가 에너지사용량에 미치는 영향 등에 대한 분석을 수행하였다.

14) Towards Net Zero Energy Solar Buildings (Annex 52)

향후 건축물의 궁극적인 목표인 제로에너지 건물 구현을 위한 국제 공동연구로 NZEB(Near Zero Building) 개념을 건축 시장에 확대할 수 있도록 설계 및 평가기법을 제공하는 것을 목적으로 진행되었다. 종료 승인을 받아 보고서의 출간을 남겨두고 있다.

15) AIVC (Annex 5)

Annex 5는 다른 Annex가 약 4-5년의 기간을 갖고 수행되는 것과는 달리, 1979년 시작된 이후 지속적으로 운영되고 있다. 일종의 상설 기구형 프로젝트로 국가 회원제로 운영되고 있으며 참여 국가는 국가 분담금 납부 의무가 있다. 한국은 한국건설기술연구원이 참여하고 있다. 건축물의 환기와 기밀에 대한 연구와 기술보고서의 발간 그리고 기술과 시장과의 연계를 지원하는 역할을 하고 있다. 최근 저에너지 주택의 고기밀화에 의하여 발생하는 실내공기질의 문제, 실내 과열 등의 문제를 환기로서 풀기 위한 전략과 방안 모색을 제안하고 있다.

4. 맺음말

국제에너지기구의 건물 부문 연구를 EBC(Energy in Buildings and Communities) 프로그램 중심으로 간략히 살펴 보았다. 방대한 연구 분야를 짧은 지면에 소개하고자 함에 따라 충분한 소개가 되지 못하였다. EBC의 전반적인 정보는 <http://www.iea-ebc.org/>에서 찾아 볼 수 있으며, 각 Annex별 정보는 <http://www.iea-ebc.org/projects/>에서 현재 진행중인 과제와 종료된 것을 구분하여 제공하고 있다. 또한 각 Annex별로 개별 사이트를 운영하고 있으므로 Annex별 상세 자료를 확인할 수 있다.