

한국의 공업화건축 공법 도입활용과정 분석을 통한 3D 프린팅기술 개발 방향성 연구

Discovering Applicable Lessons for '3D Printing R/D Project' Implementation Through Studying the Process of Adopting Overseas Industrialized Building Production Technological Knowhow in the Korean Context

이 성 민*
Lee, Sung-Min

이 필 원**
Lee, Pil-Won

조 후 영***
Cho, Hoo-Young

이 재 현****
Lee, Jae-Heon

Abstract

This paper aims at finding some lessons applicable to successful implementation of 'The 3D Printing R/D Project' through both examining the process of adopting overseas industrialized housing production technological knowhow by home builders during the 1970's-1980's period and thereafter until now the various efforts to adjust the technologies efficiently to the Korea's unique situation. Some meaningful lessons can be summarized as follows; I) Deep understanding of 3DP technological know-why along with its inheritance, II) Readjusting of R/D period and goals(cf. Global leader Winsun's 15 years experiment), III) Restructuring for more collaborative R/D B&E system among participating researchers IV) Fostering 3DP expert-engineers and technicians from the early stage, V) Clearing legal barriers in users' adopting 3DP methods necessary, VI) Development of appropriate building material besides concrete. Therefore, it is highly recommended that the above-mentioned 6 lessons positively accepted and applied to the Research Implementation Plan in due course, especially by KICT consortium and KAIA under the guidance of Ministry of Land, Infrastructure and Transport.

Keywords : *Industrialized housing production system technology(Prefabricated housing production technology), 3D Printing, Free-form design structure, Modular coordination, Industrialized housing production system certification, Patent register*

1. 서언

1.1 연구 목적

우리나라에서도 건설 산업의 신 성장 동력 창출을 주요목적으로 국토교통부(이하 국토부)가 2015년부터 3D Printing(이하 3DP) 건축기술 연구 개발

사업을 국토교통과학기술진흥원(이하 KAIA)과 함께 착수하였다. 4차 산업혁명의 핵심기술 중 하나인 3D 프린팅 건축기술은 기존의 공업화건축에서 지향 하였던 대량생산, 공기단축, 인력절감 뿐 아니라, 다양한 디자인으로 발전해가는 건설산업의 추세에 맞춰 비정형 건축물에도 크게 유용한 기술로서, 앞으로의 건설시장에 큰 변화를 가져올 것으로 예측된다. 본 연구의 궁극적인 목적은 3D 프린팅 기술이 조기에 정착되어 활용되기 위한 방향을 제안하는 것이다. 3D 건축기술 개발 사업을 보다 효율적으로 추진하기 위한 방안의 하나로서, 1970년대 초 우리나라에 도입되어 활용되고 있는 외국의 공업화주택 공법에 대한 사례분석을 통해, 도입·정착과정에서 우리가 겪은 시행착오의 근본원인과 교훈을 의미 있는 수준으로 찾아내보고자 한다. 이를 통해 앞으

* 정희원, (재)한국건설품질연구원 부원장, 공학박사
Korea Construction Quality Research Center(KCQR)
** 교신저자, 정희원, (재)한국건설품질연구원 연구위원
Korea Construction Quality Research Center(KCQR)
Tel: 031-753-0657 Fax: 031-753-0669
E-mail: pwlee12@hanmail.net
*** 정희원, 미래3D프린팅 주택제작원 고문
Future 3D Printing Housing
**** 학생회원, 서울대학교 건축학과
Dept. of Architecture & Architectural Engineering,
Seoul National University

로 개발될 3D 프린팅 기술의 개발과 활용이 실패하지 않도록 연구 개발의 방향성을 제시하고자 한다.

1.2 연구방법과 범위

1) 연구방법

본 연구를 위해 국내 문헌 조사를 통한 관련 자료 수집 및 분석, 학계·산업계 전문가를 대상으로 한 설문조사, 전문가 자문회의 3회, 현장방문 5회 등을 실시하였다.

2) 연구범위

3D 프린팅 기술개발 방향을 연구하기 위해 우리나라에 도입되어 활용되고 있는 공업화주택공법과 관련한 사례를 분석하였으며, 1971년부터 2017년 초까지 46년을 연구조사 대상기간으로 하였다. 또 공업화건축공법을 적용한 건축물의 대상 범위가 넓기 때문에 본 연구에서는 조립식주택공법을 포함하는 공업화주택공법을 연구대상으로 하였다.

1.3 연구의 의미

종전 공업화주택기술의 내재적 속성(Inheritance)과 3D 프린팅 건축기술의 내재적 속성은 많이 다르다. 후자는 비정형건축물의 단기간 내 설계, 시공에 적합하고, CNC, Robotics, BIM 등 IT 기술 활용이 거의 필수적이며, 친환경적 기술이라 볼 수 있다. 아울러 그 개발 또는 적용 과정의 차이가 적지 않고, 시기적 차이도 50년 정도로 매우 길다는 점에서 볼 때, 엄밀한 의미에서 비교의 대상으로 삼기에는 다소 무리한 측면이 있다.

그럼에도 국가 및 사회가 사용하는 기술은 가치 독립적인 것이 아니라 인간과 사회와 관계 속에서 형성되고 변화된다는 '기술형성론'의 관점에 비추어 볼 때, 우리나라가 경험해 온 약 50년 간의 특유의 경제, 사회적 조건이 반영되는 것이 좋을 것이다. 또 공업화주택기술의 도입, 소화 및 개량 과정을 통해 체득한 성공과 실패의 경험을 앞으로 전개될 건축분야 3D 프린팅 연구 개발 과정에서 효과적으로 활용한다면 얻게 될 이점과 효과가 클 것으로 기대된다.

1.4 선행연구조사결과

이 주제와 관련하여 연구되어 발표된 학술논문, 석·박사 학위 논문과 단행본(연구조사보고서 포함)은 많지 않으며, 그 주요내용을 연대기적으로 보면 다음과 같이 요약할 수 있다.

1) 학술논문 정보서비스 기관인 AURIC, Codil, 대한건축학회를 검색한 결과, 공업화주택 혹은 조립식주택 주제어 아래 약 250여 건을 찾아낼 수 있었으나, 본 논문 주제와 밀접하게 관련된 자료는 소수였다. 대부분 공법의 개선·개량 관점이고, 연구주제와 관련이 일부 있는 박사 학위 논문은 10건을 찾을 수 있었다.(1970~80년대 각 1건, 1990년대 2건, 2000년대 7건) 단행본은 심포지엄 발표 자료집 등 2건과 비전문가용으로 내집 마련 안내서를 합해 3건이었다.

2) 1970년대 초·중반에 국립건설연구소와 주택공사 등 공공 부분이 공업화주택공법 도입의 초기단계를 주도하였으며 특히 국립건설연구소에서 모듈설계, 조립식주택 기술 지침서 등 5건을 발간해 대학과 산업계에 조립식주택공법에 대한 이해도를 넓히는 데 기여하였다. 주택공사의 주택연구소에서 3차례 걸쳐 수행한 '조립식 주택 공법조사연구(1986)'에서는 1970년대 초부터 1990년대 후반까지 20여 년에 걸친 우리나라 조립식주택공법의 변천과정을 기술적 관점에서 체계적으로 다루었다.

3) 2010년 이후 최근까지 연구조사동향을 보면, 공업화주택기술과 제도정비를 위해 국토교통부가 한국건설기술연구원(이하 KICT)에 조사연구 용역을 지속적으로 위탁하고 있고, 특히 2012년 이후 공업화주택 성능인정제도의 정비, 장수명 주택기술개발과 모듈러 건축기술 관련 연구가 실증단지사업과 함께 진행되고 있다.

4) 한편 1990년대부터 산·학·연의 공동연구를 추진한 사례가 약 10건 있었는데, 주로 KICT와 주택건설회사의 공동연구이다.

2. 공업화공법의 도입 및 발전과정

2.1 공업화공법의 도입과정 분석

1950년대 후반부터 전후 복구가 본격화되고 군사혁명정부가 1차 경제개발 5개년 계획에 착수하면서 도시 주택문제의 신속한 해결을 위해, 우선 단독주택용 PC 공법 적용과 공장건설(한미재단, 주택영단, 대한주택공사)이 시도되었으나 생산 공장의 규모와 설비 측면에서 보면 파일럿 플랜트(Pilot plant) 성격이 크다¹⁾.

이후 1970년 유엔 파견 대한주택공사 고문 Karl Blach의 Prefabrication 기술도입에 대한 특별 강연^{2),5)}은 건축 학계의 관심을 일깨웠고, 이후 박윤성, 홍성목, 조창걸, 원정수, 이문섭, 김문한, 문재경, 조후영 등에 의해 기초적 연구 개발이 시작되었다. 정부에서는 1971년 건설부 관계자 일행이 덴마크의 조립식 공동주택 생산 공장 등을 시찰하고 정책적 도입 필요성을 인식하였다. 1972년에는 대한주택공사가 일본 대성건설과 합작으로 (주)한성PC를 설립하여 PC 콘크리트 판넬을 생산하기 시작하였다⁶⁾. 따라서 본 논문에서는 우리나라 공업화주택공법 도입 원년을 1972년으로 판단하였다.

<Table 1> Adopted overseas industrialized housing production technological methods and Korean partners (Source: Collected from various literatures)

Adopted method	No. of Korean partners	Name of Korean partners
LN (Denmark)	3	Kyungnam(Hanyang), Hanjoo Developer, SeyangJoowon
sbg (Denmark)	4	Woosung, Kwangjoo Express, Yongshin Developer, KangnamKunyoung
Camus (France)	1	SamWhan-Camus
Konz (Switzerland)	2	Samsung Const., Dongah Const.
P .Hous	1	ChungKu
Total	11	-

5 more methods were excluded because they were mainly applied to single detached house and low-rise apartments (4 from Japan, 1 from Germany)

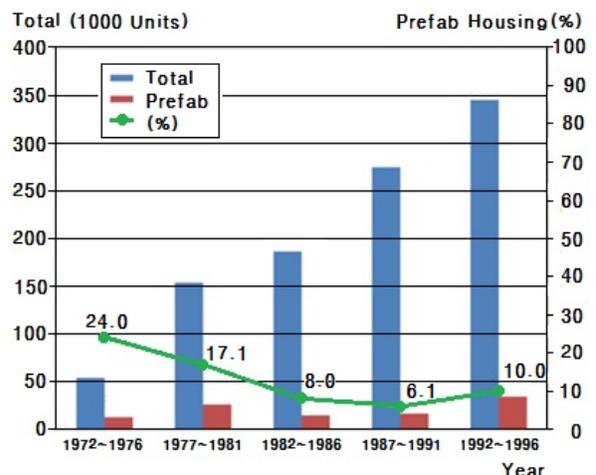
이를 계기로 1970년대 후반, 1980년대 중반까지 민간건설 기업들이 경쟁적으로 아래 <Table 1>과 같이 외국기술을 도입함으로써 우리나라가 공업화주택공법의 각축장이 되었고, 5개국 7개사 11개 공법을 10여 개 국내 건설 업체가 아파트 설계 및 건설공사에 적용하였다.

2.2 주요지표별 변화추이 분석

1) 조립식주택공법 건설실적

1972~1996년 대한주택공사의 공업화공동주택 건설 실적 합계는 105,941호로서 점유율은 9.7%로 집계됐다(1998년 주택핸드북). 이 비율은 정부 종합대책의 목표치였던 1993년 이후 점유율 20%에 비하면 매우 미흡하였다. 1997년 이후 대한주택공사의 실적 집계도 중단되었는데 기술성·경제성 등으로 인해 공법 채택이 중단된 결과로 보인다.

서정규³⁾는 1972~1996년까지 민간 포함 조립식주택 건설실적이 209,900,000호로 이는 관련업체 전체 생산능력 합계의 10% 내외라고 추계하였다. 참고로 일본은 '공업화주택율'이라는 지표를 사용하는데 1985년에는 14.9%였다. 이 지표에 따르면 우리나라는 최대 3.5%를 접하였던 것으로 추정된다.



<Fig. 1> Amount & percentage of prefabricated apartments (Source: Housing handbook '72-'96)

2) 공업화주택 생산업체의 지표별 변화추이

생산업체 수는 1982년 17개, 1986년 18개, 1994년 27개, 1996년 29개로 파악되었다. 지속적인 통계수치가 부족한 사유는 등록기관이 초기 건설부에서

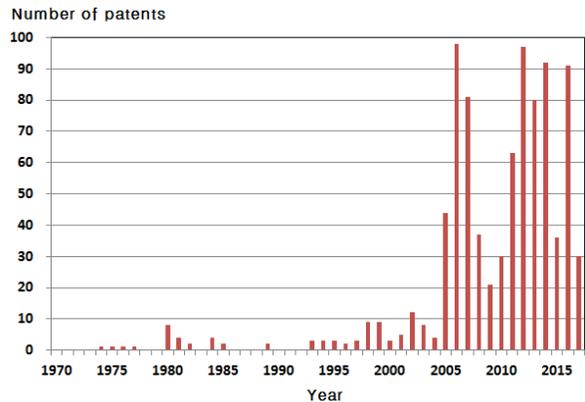
후기에 시·도지사로 변경되었기 때문이다. <1996년 주택핸드북>에서는 업체별 공법 특징과 기술적 자료를 <Table 2>와 같이 인용하였다. 이들 업체 중에서 2017년 상반기 현재 계속 영업활동을 하고 있는 업체 수는 공업화주택의 활성화였던 1996년의 29개의 1/3 수준인 11개로 파악되고 있다.

<Table 2> List of registered industrialized housing production system builders, 1986
(Source: KNHC, Housing handbook 1997)

	Co. name	Basic systems	Foreign partners
PC Conc. method	Hansung	PC Conc. panel	Japan, Daisei Const.
	Hanyang	PC Conc. panel	Self- Help
	Samhwan-Camus	PC Camus	France Raymond-Camus & CIE
	Woolim Conc.	PC Conc. panel	Self-help
	Samik-Ceramic Home	Lightweight unit frame+ New ceramic panel	Japan, MISAWA Home
Light-weight steel structure method	Woolsan Heavy Industry	Lightweight steel frame+ Sandwich panel	Self-Help
	Hankook S.E.C. Int.	Lightweight steel structure+ Sandwich panel	Honkong, Isowall Int. Ltd, 5 year contract

3) 공업화주택 관련 기술 특허등록 추이

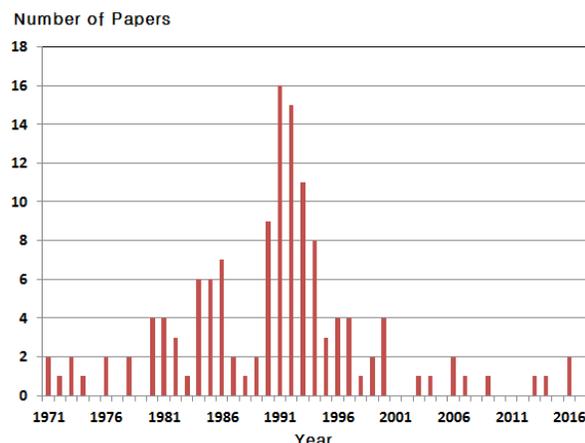
특허정보검색서비스(KIPRIS)에 조립식주택(Prefabricated house)이라는 주제로 검색한 결과, 2004년 이후부터 10여 년 간 등록 건수가 그 이전 약 30여 년 간 평균치보다 5~10배로 급격히 증가하고 있다. 여러 요인이 있으나, 우리가 공업화주택기술의 개량·정착단계를 지나 심화·확산단계로 진입하는 청신호로 해석할 수 있다고 본다. 물론 시장에서 기술수요가 많아지고 기술자의 기술 개발 역량이 커진 점도 크게 작용하고 있다고 본다.



<Fig. 2> Statistics of registered patents related to 'prefabricated house'
(Source: Kipris '17.07)

4) 학술논문 발표추이

학문적·이론적 관심과 성과가 약간의 시차를 두면서 연구논문으로 활발히 나타나는 경향을 고려할 때, 1990~1995년에 활발한 발표활동을 보이는 배경은 주택 200만호 건설추진계획이 1988년 발표되고, 정부의 공업화주택 촉진 종합대책이 1991년에 발표된 데 영향을 많이 받은 것으로 보인다. 그해 대한건축학회 주관으로 개최된 <공업화주택에 관한 국제 심포지엄>⁷⁾도 여기에 영향을 미친 것으로 보인다. 참고로 학위논문 범주에는 정부 및 연구기관 등의 연구조사 보고서도 포함시켰으나 그 비중은 경미한 편이다.



<Fig. 3> Yearly published theses for Ph.D. and master's degree mainly related to industrialized housing production issue
(Source: RISS+ Codil)

5) 공업화주택인정추이

정부의 공업화주택 인정제도를 보면, 1988년 우량주택 자재의 인정제도를 시행하였고, 1993년에는 공업화주택 인정제도를 시행하였다. 또 정부는 주택법51조에 근거를 두고 2012년, 2015년에 대폭 정비하여 시행중이다. 그 인정실적을 보면, 1996년 1건, 2010년, 2012년, 2014년에 각각 1건, 2015년에 2건이 있다. 인정요건은 '주요구조부의 전부 또는 일부가 정한 성능기준 및 생산기준에 따라 공업화공법으로 건설하는 주택'으로서 심사는 KICT 건설품질인증센터에서 담당한다. 인정되는 경우 부여되는 혜택은 사업자에 사용권고, 건축사에 의한 설계감리 면제가 있으나 촉진효과가 장수명 주택이나 녹색건축물의 경우에 비해 상대적으로 미흡한 편이다.

6) 정책 및 제도 변화

정책 및 제도의 변화 과정은 <Table 3>에 기술되어 있다. 1972년, 1988년, 1991년에 2건의 정책이 입안되었으며, 1977년, 1981년, 1983년, 1992년, 1993년, 2005년, 2008년, 2010년, 2012년, 2014년, 2015년에 1건씩의 관련 정책이 입안되었다.

7) 변화추이 검토 결과

앞에서 분석한 공업화주택 관련 여러 지표별 변화추이를 종합하여 정리하면 <Table 5>와 같다. 이를 통하여 보면, 우리 공업화주택공법은 여러 번의 소활성화기, 소침체기를 거치면서 도입·소화단계, 개량·정착단계를 거쳐 2000년대 초부터 심화·확산 단계로 진화하고 있는 것으로 평가할 수 있다.

3. 공업화주택공법 발전과정에서의 장애요인 및 시행착오 분석

3.1 공업화주택의 보급 활용상 장애 요소

앞에서 공업화주택공법의 활용을 촉진하거나 유도하는 측면의 각종 기술적·정책적 수단을 1972년부터 2016년까지 살펴보았으나, 주택정책에 도입시행이 불가피했던 표준건축비제도 등 공업화에 큰 장애요소를 열거하면 아래와 같다.

1) 1980년대 후반에 도입된 아파트 표준건축비제도, 분양가 승인상한제(공사비 절감을 우선시하는

<Table 3> List of major legislation and policy programs related to I/Housing systems

Year	Major legislation / Policy plans
1972	Public Announcement Of 2.5 Million Housing Construction National Plan(Policy) Enactment of Housing Construction Promotion Act(Leg.)
1977	Development and Demonstration Project of Prefabricated Rural Housing(Policy)
1981	Establishment of Structural Design Standards for Prefabricated Buildings(Leg.)
1983	Establishment of Standards for Housing Const.Material /Registration Process(Leg.)
1988	Public Announcement of Two Million Housing Construction Plan Enforcement of Accreditation System for Quality Housing Const. Materials(Leg.)
1991	Enforcement of Ministry Level Policy for Promotion of Industrialized Housing Construction System(Policy) Establishment of Standards for Housing Design and Construction(Leg.)
1992	Enforcement of Ministry Level Policy for Standardization of Building Material(Policy)
1993	Introduction of Accreditation Systems for Industrialized Housing System(Leg.)
2005	Enactment of New Housing Act through Complete Revision/Start of R/D project on Long-life Multi-family Housing(R/D)
2008	Nationwide Housing Supply Ratio reached up to 100%(Policy)
2010	Establishment of Housing Design Drawing & Documentation Criteria(Leg.)
2012	Revision of Accreditation Systems for Industrialized Housing System(Leg.)
2014	Introduction of Certification System for Long-life Multifamily Housing(Leg.)
2015	Reconsolidation of Accreditation System for Industrialized Housing System(Leg.)

결과초래)

- 2) 아파트 터널공법 및 벽식구조의 대대적 채택 유행(공기 및 비용 면에서 조립식보다 매우 유리)
- 3) 1989년 평촌 신도시 건설 아파트 현장에서 일어난 대형 안전사고(사회적 신인도의 장기간 추락)
- 4) 1988년부터 내진설계의 의무화(6층 이상 건물에 적용)

3.2 도입활용 과정상 주요 시행착오 분석

<Table 4>에 의하여 우리나라 공업화주택의 현재 단계를 심화·확산단계로 보는 큰 이유는 공업화주택기술과 관련한 특허의 등록 급증 추이현상 때문이다. 다만 심화·확산의 주요 대상으로는 '비주거용 민간건축물'로 파악되나, 공공주택에서도 서민 임대아파트를 대상으로 장수명 주택공법개발⁴⁾과 고난도의 모듈러 건축공법⁵⁾을 활발히 개발하면서 실증단지를 건설하는 등 장기적이고 종합적으로 추진하고 있어 기대를 갖게 한다. 이와 관련한 연구논문 발표도 활발하게 진행되고 있다.

그러나 지난 40여 년 과정을 통하여 우리나라가 선진국에서 30~50여 년간 쌓아올린 고급 건축기술을 단기간에 지나치게 서둘러 도입하여 활용하는 과정에서 실패하였거나 소홀히 했던 점은 아래와 같다.

1) 외국기술이 특정시기에 편중, 10여 개의 민간기업 중심으로 경쟁적으로 도입·적용(약 11개 공법) 되었으며, '공업화를 뒷받침하는 과학화와 합리화'⁹⁾에 대한 기본적 이해가 매우 부족했다. 다시 말해 외래 공법을 제대로 체득하려는 산업계와 학계, 그리고 정부의 리더십도 초기단계에서 미흡한 편이었다. "Know-how(기법)만 배우고 Know-why(원리)는 못 배웠다"는 반성이 1970년대 초 기술도입 시작 후 20년만인 1991년 대한건축학회 주최 국제 심포지엄의 전문가 토론에서 심각하게 제기되었다¹⁰⁾.

2) 우리정부가 선진국이 공통적으로 지향한 목표 즉 'Open-system에 의한 공업화주택 중심의 양산체제의 확립'을 주택공급정책의 주요 목표·수단으로 초기단계인 1970년대부터 설정하지 못하였고, 지나치게 민간기업에 맡김에 따라 장기적이고 종합적인 정책추진이 미흡하게 되었다. 이로써 중장기적인 기술 및 제도 발전의 유도, 전문업체의 육성 및 기술인력 양성을 추진하는데도 소홀히 하게 되었다. 여기에 적극적인 정책은 공업화주택 확대보급대책(1991~1993년)⁸⁾, 건축자재 및 설계의 표준화 종합추진대책(1993), 공업화주택 성능인정제도의 도입(1993) 등 3건에 불과하였다.

그 결과, 공업화주택의 성공요소 중 하나인 중심추진조직체의 부재로 산·학·연·관의 역할분담이 아

<Table 4> Summary of 6 indicators showing industrialized housing promotion and phase identification(1972-2016)

No. of I/ H (KNHC)									
No. of Regist. papers									
No. of Regist. patent									
No. of Regist. builder	0	0	17 / 18	0	27 / 29	0	0	0	0
No. of Regist. policy	2	2	1	4	2	1	1	3	3
No. of certification	0	0	0	0	1	0	0	1	4
Year	1972-1976	1977-1981	1982-1986	1987-1991	1992-1996	1997-2001	2002-2006	2007-2011	2012
Photos									
Major characteristics	<ul style="list-style-type: none"> • Unclear policy for industrialized housing • Insufficient understanding of know-why • Private sector initiative for technological knowhow from overseas 			<ul style="list-style-type: none"> • Absence of long term policy plan • 2 Million house construction project implementation • Preference of steel form system • Late setup of detailed MC criteria 		<ul style="list-style-type: none"> • Start of long-life housing R/D • Test bed project for MC housing • Consolidation accreditation system(I/H) • Application of composite PC method 			
Phase	Introduction / Learning phase			Improvement phase		Spreading / Up-grade phase			
% of favored reply	42			16		42			

주 미흡했다. 다행인 것은 2016년도부터 민간 자율로 <모듈러협의회>가 KICT를 중심으로 결성되어 관련된 기업 및 기관이 다수 참여 중이나 법인화나 법적기구화가 시급한 상황이다.

3) 설계 및 자재 대한 MC(기준척도조정) 등 기술적 기반이 적기에 충분히 다져지지 못한 채 현장 및 생산 공법 위주로 도입, 활용되고 기술의 고도화에 필요한 표준화, 규격화, 부품화의 발전이 상당히 지연되었다. 영국이나 덴마크의 경우 30~50년 동안 기반을 다진 것으로 알려져 있다.

4) 기업 측면에서 볼 때, 주택산업구조의 낙후성과 과도한 이윤추구 경향으로 기술투자와 신공법 개발에 소홀한 경향이 있었다. 이로 인해 IMF 사태 발생 시 여러 주택 전문 중대형 기업이 도산하였다. 특히 도입단계 후반기인 1991년에 발생한 안전사고와 일부 부실시공에 따른 하자로 경영자, 기술자 및 다수의 소비자에게 공법 자체에 대한 부정적 인식이 상당기간 지속되어 보급 활용에 크게 지장을 주었다. 다만 1970~1980년대 중동건설 붐 시기에 국내에서 습득한 조립식공사 경험을 사우디 등 중동의 대형 아파트단지 공사의 수주 및 건설에 적극 활용한 측면은 긍정적으로 보아야 할 것이다.

5) 대학 등에서 공업화주택 관련 기초적 강의가 빈약하였으며, 전문 기술 인력에 대한 관련 공공기관의 교육 또는 양성을 소홀히 함으로 인해 숙련도가 낮은 기능 인력이 공사하자를 다수 발생시킨 주요 요인이 된 점도 무시할 수 없다.

3.3 공업화주택의 도입 및 발전과정의 시사점

우리 주택정책의 초기단계(1970년대) 기초가 단기간 내 양적충족에 두었으므로 공법 개발 등 질적인 성과는 상대적으로 미흡했던 한계가 크게 작용하여, 공업화주택공법이 발전하지 못한 근본 요인은 보다 적극적인 정부의 역할이 미흡했기 때문이라고 주장할 수도 있을 것이다. 학문적으로도 과학기술의 육성을 위해서는 정부의 정책적 개입이 필요한 논리적 근거로 '과학기술은 대부분 공공재 성격이므로 어느 분야의 기술적 문제가 발생한 경우 시장실패(Market failure)와 동시에 관련 산업분야의 시스템

의 실패(System failure)로 이해할 수 있다는 주장¹¹⁾처럼 공업화주택 등 주택산업기술에도 적용하면 지난 약 50년 간 '기업 등 시장의 실패와 정부 등 시스템 실패'가 결합된 결과로 볼 수 있다. 보다 넓은 사회학적 측면에서 보면 지난 30~50년 간 사회 전반에 팽배해온 '외형적 실적주의와 속도주의'에 의한 실패로도 이해할 수 있을 것이다.

따라서 이를 교훈 삼아 지난 약 50년 간 겪은 유사한 시행착오가 재발하지 않거나 최소화되도록 하기 위해 3D 프린팅 연구 개발 사업에서는 초기단계부터 예상문제점을 심층적으로 점검하고 방지대책을 적극적이고 신속히 수립할 필요가 있다.

4. 3D 프린팅기술의 발전 방향

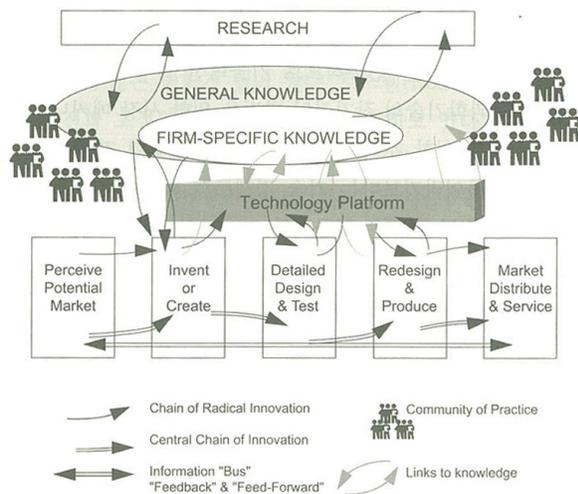
4.1 3D 프린팅기술 연구 개발의 방향성

국토교통과학기술진흥원이 2015년 말 과제를 기획하고, KICT가 2016년 말 연구주관기관으로 선정된 3D 프린팅 연구 개발 사업의 핵심 기술 목표는 아래와 같고, 목표하고 있는 성과품은 <Table 5>와 같다^{11),12)}.

- 1) 3D 프린팅 10종 건축 상품의 상용화 및 플랫폼 구축
- 2) 연속적 층고 3m 이상 등을 만족시키는 3D 프린팅 재료기술개발
- 3) 소형건축물 기준 골조공기 60% 단축을 위한 장비 개발

<Table 5> Planned research outcomes / products (Sources: 3DP R/D consortium brochure)

Phase	#1	#2	#3	
	(14mon)	(24mon)	(24mon)	
Main out-comes	Small size Bldg.	2x1m, Depth of wall 0.3m	10x10x3m Vertical structure (On site)	2 test beds (Designing, Construction) Legislation and policy proposal
	Free form members /Bldg.	1x1x2m Free form designed members	3x3x3m Free form designed members	marketability testing



<Fig. 4> Total process model of scientific technology innovation

4.2 교훈의 도출과 활용제한

앞에서 논의한 공업화주택공법의 도입·활용 과정에서 약 50년 기간에 걸친 시행착오 사례와 실패 경험을 종합적으로 고려할 때, 바람직한 주요 활동 및 조치 사항들을 정리해보면 <Fig. 4>와 같이 도식화할 수 있다. 이를 감안할 때 3D 프린팅 연구 개발 사업에 적절히 활용할 수 있는 교훈이나 시사점을 아래와 같이 도출 할 수 있을 것이다.

1) 3D 프린팅 건축기술에 관한 Know-why(원리)를 더 적극적으로 탐구하고 이해하여야 한다. 앞으로 대두되는 3D 프린팅 건축 기술의 내재적 속성(Inheritance)의 변화를 지속적으로 파악하여 반영해야 한다. 돌이켜보면 공업화주택공법에 관한 기술은 선진국에서 30~50년의 오랜 기간 동안 개발한 것으로서, 후진국이었던 우리가 1970년대 초에 너무 서둘러서 도입·활용하면서 외면적인 Know-how(기법)에만 치중하고 내면적 Know-why(원리)의 이해에 소홀했었기 때문에 어려움이 컸다¹³⁾.

2) 3D 프린팅 기술 연구 개발에 있어서도 개발 초기단계이므로, 현실에 부합하지 않는 과도한 추진 목표와 짧은 개발 기간에 대한 재검토가 필요하다. 우리나라의 공업화주택공법은 약 50년에 걸쳐 도입, 소화개량, 정착심화, 확산단계를 밟아왔었다. 이 분야 선두주자인 WinSun 그룹의 경우 현재 수준에

오기까지 15년의 연구 개발 기간이 소요되었다¹⁴⁾.

3) 협력적 R/D B&E 체제로 재구축과 운용이 필요하다. '과학기술정책론'의 저자인 홍형득 교수의 이론을 원용하면 종전의 공업화주택공법에 대한 기술도입 활용방식은 과학 기술혁신의 고전적 선형 모델(Linear model)로 볼 수 있고, 앞으로 미래 건축을 위해 추진되는 3D 프린팅 R&D 프로세스는 <Fig. 4>와 같은 총체적 과정 모형(Total process model)으로 이해하고 추진하는 것이 바람직할 것이다¹⁵⁾.

구체적인 개선조치로서는 기술사업화를 촉진키 위한 LH, SH 등 공기업 및 공공기관의 적극적인 참여 및 활용, 실증단지의 조기 및 확대 시행, 참여기업의 대대적 보장 등이 있어야 한다. 특히 국제적인 산·학·연 협력 연구 개발 체제로 공동 연구 개발 추진, 생산 및 판매부문의 플랫폼 구축 활용과 이를 통한 마케팅 강화 방안 등에 대한 실용성 있는 연구 개발 결과가 제시되어야 한다. 이러한 체제에서 정부의 역할을 재정립하여 관련 정부 기관과 연구 부처들이 참여하는 협의 조정기구가 실질적으로 운영되어야 할 것이다.

4) 체계적인 기술인력 양성 시스템을 초기부터 마련하는 것이 중요하다. 공업화기술이 보유한 강점 중 하나는 '설계에서 준공에 이르기까지 전 과정의 효율적 통합관리 시스템'인데, 종전에는 주택건설업체가 개별적 단기훈련에 치중함으로써 인해 이러한 장점이 발휘되기 어려웠고, 또 숙련도 부족에 따른 안전사고의 위험 증가, 품질 저하 등의 문제성이 노출되었다. 이러한 경험을 되살려 대학에도 3D 프린팅 전문가 특별과정을 마련하는 등 교육프로그램의 강화가 필요하다.

5) 건축설계허가기준 등 인허가 관련제도를 정비하고, 건축 법령 등 관련 법제도와 기술적 기준 마련 등 기반 구축이 알맞은 시기에 정비되고 관계자교육이 필요하다. 예로, 안목 치수에 의한 MC 주택설계기준마련(1993)은 공업화공법의 도입·활용 시기보다 많이 늦어져 표준화부품화에 장애요인으로 작용하고 있고, 더 나아가 통일 후 남북 상호 간 MC 시스템이 너무 달라 ISO 규격으로 양측이 각자 방식을 폐기, 동시수용이 바람직하다¹⁶⁾.

6) 또 현재의 공업화주택 인정제도도 장수명 주택 인증제도에 비해 큰 효과를 보지 못하고 있는 바, 일본의 B/L을 참고하여 장수명 주택인증제도 수준 이상으로 보완하여야 할 것이다. 특히 BIM의 활용도를 현재보다 대폭 높여야 3D 프린터를 원활히 구동시킬 수 있는 수준의 Design modelling이 가능할 것으로 판단된다¹⁷⁾.

7) 우리 실정에 적합한 3D 프린팅용 건축재료의 조기개발이 시급하다. 앞에서 인용한 연구단 연구개발 계획서에 의하면 콘크리트 위주의 복합재료를 개발 예정인데 토산재료인 Steel slag, 황토 등 보다 다양한 재료가 개발되고 시공성과 경제성 등이 검증되어야 한다. 동시에 Total PC 공법이 근래 복합 PC 공법, PC 부분 적용 등으로 진화하여 온 것처럼 3D 프린팅 기술개발의 경우도 On site와 Off site operation의 적절한 통합(Integration)에 대한 기본 원칙을 초기단계부터 집중적으로 연구하여야 할 것이다¹⁸⁾.

5. 결론

1970년대 초 우리나라에 도입되어 활용되고 있는 외국의 공업화주택공법에 대한 사례분석을 통해, 도입·정착과정에서 우리가 겪은 시행착오의 사례와 근본원인을 본 연구를 통해 찾았으며 이를 통해 앞으로 3D 프린팅 기술의 개발과 활용이 실패하지 않도록 연구 개발의 방향성을 다음과 같이 제시하고자 한다.

1) 이 연구를 통하여 약 50년 간 우리나라에 도입·활용되어 온 외국의 공업화주택공법에 대하여 외래 기술이 장기간에 걸쳐 심화확산단계로 진입중임을 평가하였다. 이 단계까지 오면서 보여준 여러 특징을 다음의 2가지로 요약할 수 있다.

(1) 1970년대 초부터 1990년대까지 걸친 소위 개발시대에는 총 주택 공급량의 약 3~4% 수준까지 공업화공법공동주택이 점유하였다. 그 후 2000년까지 지속된 침체기를 극복한 일부 기술개발역량과 경영능력(MOT)이 있는 소수의 업체를 중심으로 기술의 심화확산단계가 상당히 진행되고 있고 전망도 밝아 보인다.

(2) 특히 최근 현장기능 인력 수급 곤란과 건축물 주요부재의 경량화 필요성이 절실해짐에 따라 부분 PC 사용 공법/복합 PC 공법과 아울러 모듈러 건축 공법의 필요성이 시장에서 많이 요구되는 추세이다.

2) 우리나라가 경험한 민간기업 중심의 공업화주택분야 외래기술 도입 및 활용에 대하여 비교적 종합적인 조사 및 연구를 수행한 결과, 국가 주도의 3D 프린팅 사업에도 유용한 6가지 방안을 다시 요약하면 아래와 같다.

(1) 3D 프린팅 건축기술에 대한 Know-why(원리)를 철저히 탐구하고 이해하여야 한다.

(2) 연구 개발 계획의 과도한 추진목표와 짧은 연구기간을 지양해야 한다.

(3) 연구 개발 당사자 간 협력적 R/D B&E 체제 구축 운영이 필수적이다.

(4) 체계적인 기술인력 양성시스템을 초기부터 강구하고 실효성이 있는 운영이 중요하다.

(5) 인허가 법령 등 기술적, 행정적 기반을 적절한 시기에 미리 정비하고 일선 실무자에게 시행 전 철저한 교육을 하는 것이 필요하다.

(6) 우리 실정에 적합한 3DP용 건축 재료의 조기 개발, 검증작업과 On/Off site operation의 통합적 운영방안이 필요하다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 도시건축 연구비지원(7AUDP -B121596-02)에 의해 수행되었습니다. 이에 감사를 표합니다.

References

1. Y. S. Park. Etude sur le Probleme du Logement a Seoul 1. (COREE). Ph.D. Dissertation, France, 1975.
2. Klaus Blach. The Latest Inter'nal Development Trends in Prefabricated Housing. KIA, Keynote Speech, 1970.
3. J.K Suh. Study on The planning for The Industrialization of Housing Construction

- focused on the Institutional Reform, 1996. 12, P53
4. S.A.KIM, et al., Present Status and Direction of Long-life Multi-Family Housing, KIA magazine, pp.8-42.
 5. D.H, Kim, Present Situation of Modular Housing Technology and Promotion Direction, Journal of KIA, 2012.
 6. Y. S. Park, "Study of Agreement for Housing Industrialization", Journal of the Architectural Institute of Korea, Vol.27, No.110, pp.17~22, 1983
 7. H.H, Lee, Summary Review on International Symposium for Industrialized Housing by KIA, 1991. 6, Seoul
 8. P.W. Lee, Perspective Review on Promotion Policy for Industrialized Housing in Korea, Presentation at International Symposium on I/Housing by KIA, Seoul, 1991, PP29-397
 9. S. S. Chang, Study on The Development Stages of Apartment during 1960-70's in Korea, Phd Dissertation , SNU.2016.8 , P124
 10. H. D. Hong, Study on Science- Technology Policy. Daehyung Printing co. Seoul, 2016., pp76-78
 11. KICT CONS. 3DP R/D, Planning Proposal, 2017, PP26
 12. KAIA. Research Design Report for 3D Printing in Building. 2015, 10, pp87
 13. S.C, Lee, Experience at Construction Site of Industrialized Apartment ,Presentation at Symposium by KIA, 1993.5, PP 23,24.
 14. WinSun Group, Corporate Brochure, Shanghai, China, 2017,6 p6
 15. H . K. Lee, Comparative analysis between South and North Korea's modular coordination in building", Ph.D. Dissertation, Inha Univ., pp229, 2000.
 16. Housing Research Institute, Study on the Change of Multifamily Housing Production in Korea(1960- 1990) KNHC. 1995, P.P90
 17. KAIA+ Super Tall Bldg R/BD&E Center (RIST), Restructuring Program Plan ,2006.5, PP1-34
 18. Jack Balderrama Morley, Architects : Here's the Problem with 3D Printed Buildings, [https://architizer.com/blog/3-d printed-buildings-future-or-gimmick](https://architizer.com/blog/3-d-printed-buildings-future-or-gimmick)
- Received : October 10, 2017
 - Revised : October 28, 2017
 - Accepted : October 30, 2017