

커튼월 공사의 성능·사양 연계 시방서 프로토타입

Hybrid Prototype of Performance and Prescriptive Specifications in Curtain Wall Construction

이 준 호¹ 조 동 현² 구 교 진^{2*}

Lee, Jun-Ho¹ Cho, Dong-Hyun² Koo, Kyo-Jin^{2*}

Graduate School, the University of Seoul, Dongdaemun-Gu, Seoul, 130-743, Korea¹

Department of Architectural Engineering, the University of Seoul, Dongdaemun-Gu, Seoul, 130-743, Korea²

Abstract

The most design criteria and specifications in Korea utilized to ensure appropriate quality are based on process and prescriptive criteria determining materials, measure and methods. It has many problems including a loss of competitiveness resulting from inhibited creativity of the contractors. The performance-based specifications focused on final product are being proposed, but have difficulty in adapting to the architectural field. In this study the hybrid specification prototype for curtain wall construction was suggested. The specification framework was presented through analysis of linkage between the performance and prescriptive specification cases. Based on the survey with practitioners, the performance inspection process and the sample specification were developed by identifying the essential performance test timings. The applicability of the specification prototype was evaluated by interviews with experts. It was found that the prototype was active and a progressive supporting tool which could support to secure phased performance during construction as well as final performance.

Keywords : curtain wall, standard specification, phased performance test, performance specification

1. 서 론

국내 건설공사 시 적정 품질 확보를 위한 기준으로서 건축 구조기준 등 설계기준 19종과 더불어 건축공사 표준시방서 외 19종의 표준시방서, 8종의 전문시방서, 다양한 특기시방서 등이 활용되고 있다. 2013년 개정된 건축공사 표준시방서를 비롯한 대부분의 국내 설계 기준 및 시방서는 재료나 형상, 또는 치수, 공법 등을 규정하는 사양 기반의 기준이다[1]. 이러한 사양시방서가 가지는 다양한 문제점들은 1)창의적 접근 방해, 2)시설물 성능저하로 인한 유지관

리비용 증가, 3)건설 산업의 국제화 저해, 4)신기술·신공법 선택의 자율성 부족 등이 있다[2,3].

해외의 경우 CIB 및 미국의 NIST, 유럽의 CEN 등¹⁾을 중심으로 성능시방서를 활용한 성능보증계약 등 성능 기반의 기준체계로 변화하기 위한 다양한 연구가 진행되고 있다. ‘성능시방서’는 ‘기능적 요구사항을 개술하는 일련의 지침들(미국레미콘협회)’, ‘최종 성과물과 시공, 재료 등의 성능 특성들을 정의하는 시방서(영국고속도로청)’ 등 국가 및 기관별로 다르게 정의되고 있다[4]. 국내의 경우 콘크리트 분야는 이미 한국산업규격(이하 KS)과 시방서에 요구 성능을 제시하고 있다[5]. 토목분야(재료 및 도로포장)에서도 성능 중심의 건설기준 표준화 연구 등의 성능 중심 시방서 및 프로세스 연구가 수행되었다[6]. 그러나 건축분야에서는 상대적으로 복잡한 공정 등의 원인으로 관련 연구

Received : March 13, 2014

Revision received : July 31, 2014

Accepted : August 11, 2014

* Corresponding author : Koo, Kyo-Jin

[Tel: 82-2-6490-2760, E-mail: kook@uos.ac.kr]

©2014 the Korea Institute of Building Construction, All rights reserved.

1) International Council for Research and Innovation in Building and Construction (CIB), National Institute of Standard and Technology (NIST), European Committee for Standardization (CEN)

가 미비한 실정이다. 제도적인 사업의 절차 및 규정이 존재하며 성능보증이 제도화 되어있지 않은 국내 건설 산업 여건 상 정량적 품질척도를 성능 요건만으로 규정하는 데에는 한계가 있다[7].

본 연구에서는 표준은 아니나 단계별 점검 시기 및 방법 등을 포함하여 다양한 현장에 적용 가능하며, 최종 성능뿐만 아니라 공사 단계별 성능 확보를 지원할 수 있는 성능·사양 연계 시방서 프로토타입을 제시한다. 사례기반의 성능 점검 시점 및 방법을 제시함으로써 실무적용성을 반영한 최소한의 성능 확보 기준을 도출한다. 대상 공사는 제품이 유닛화 되어 성능지표가 뚜렷하고 점검이 용이한 알루미늄 커튼월 공사로 한정한다. 커튼월 각 구성요소의 요구 성능 기준 등 기술적인 부분은 본 연구 범위에서 제외한다.

2. 예비적 고찰

2.1 건축공사시방서

시방서는 설계도에 표현할 수 없는 사용재료, 공사방법 등을 규정하는 도서로 대상 공사의 특성·목적 등에 따라 구성 내용이 달라진다. 1997년 정부는 15종의 각기 다른 공사별 표준시방서들을 통합하여 ‘표준시방서’ - ‘전문시방서’ - ‘공사시방서’의 위계를 정립하였다[8]. 2013년 국토해양부(現 국토교통부)에서 개정·고시한 ‘건축공사 표준시방서 (이하 건축표준시방서)’는 KS에 따른 자재 품질 통과 기준 및 시공 공법 등을 기술하고 있다. 총 24개의 장으로 구성되며 치수 및 규격을 명시하여 적합한 자재 규격을 제한하고 있다. 서울시에서는 공사 시 고려해야 할 지역적 특성 등을 반영하여 건축표준시방서를 기본으로 시공기준을 재정립한 ‘2011 서울특별시 전문시방서 (이하 서울전문시방서)’를 제정하였다. 서울전문시방서는 공사시방서 작성 시 기본적인 내용을 제공하는 가이드 시방서로 활용되며, ‘건축총칙’ 외 15개 공사에 대한 ‘건축공사’ 편으로 구성되어있다.

표준 및 전문시방서의 개선을 위한 다양한 연구가 수행되어 왔다. 시방서 구성 체계 개선에 관한 연구[8,9], 시방서 작성 및 기술방법 개선에 관한 연구[10,11], 로컬 또는 웹기반의 시스템 개발에 대한 연구[12,13]로 요약된다. 각 선행연구들은 사양시방서를 대상으로 개선방안이 도출되어 최근 범국가적으로 활발히 연구되고 있는 성능시방서는 다

루지 못한 한계가 있다. 국내·외의 성능시방서 관련 연구는 주로 도로포장 분야에서 활발히 수행되고 있으며 사례분석 및 현장 조사, 필드테스트를 통해 보다 개선된 성능기준, 보증항목 및 기준을 제시하고 있다. 주요 연구주제는 도로포장 성능기준 개선 및 개발[14,15,16] 고속도로 성능시방서의 이해 및 도입[17]으로 요약된다. 건축분야의 경우 해외사례 분석결과를 바탕으로 성능시방서의 국내 도입을 위한 정성적 개선방향 제시가 주로 수행되었으며[18,19], 일부 국내에 적합한 성능항목을 도출 또는 성능보증계약의 도입을 위한 개선방안 연구가 수행되었다[7].

2.2 커튼월 공사

커튼월은 알루미늄, 유리, 실링재 등이 복합적으로 구성되어 있어 시공의 정밀도에 따라 품질이 결정된다[20]. 커튼월 공사는 일반적으로 기획 및 기본설계, 입·낙찰, 조달, 양중 및 설치, 검사로 진행된다(Figure 1). 특히, 양중 및 설치, 검사는 대상 시설물 각 층별로 반복 수행되기 때문에 각 층별로 설치되는 커튼월의 성능 점검은 커튼월 공사의 최종 품질 확보에 매우 중요하다.

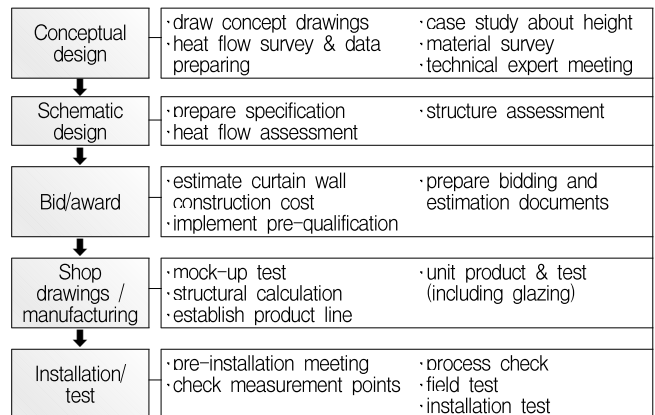


Figure 1. Aluminium curtain wall construction process

3. 국내·외 커튼월 공사시방서

문헌 및 사례분석을 통해 국내·외 커튼월 공사시방서 구성 체계를 조사하고 커튼월의 주요 성능요구사항(Table 1의 음영)을 비교·분석하였다.

3.1 국내 시방서 현황

커튼월 공사 관련 표준 및 전문시방서의 구성 체계 및 주

Table 1. Structure of curtain wall specification cases

Architectural standard specification ¹⁾	UFGS ³⁾	Performance Specification for Leeds College ⁴⁾	JASS 14 ⁵⁾
1. General	PART 1 GENERAL	1.0 INTRODUCTION	1. General provisions
1.1 Scope of application	1.1 References	1.1 Building Description	1.1 Scope
1.2 Reference standard	1.2 Submittals	1.2 Terminology	1.2 classification
1.3 Required design performance of metal curtain-wall	1.3 Requirement for design data	1.3 Scope	1.3 Terminology
1.4 Performance test for metal curtain wall	1.4 Quality assurance	1.4 Tender Submission	2. Performance
1.5 Submission for construction approval	1.5 Glazed curtain wall system requirements	1.5 Language and Units of Measurement	2.1 General
1.6 Quality assurance	1.6 Qualification of welders	1.6 Standards	2.2 Fireproof
2. Materials	1.7 Delivery and storage	1.7 Contractor Responsibility	2.3 Structural safety
2.1 Applicable material for metal curtain-wall	1.8 Warranty	1.8 Submittals	2.4 Wind pressure resistance
2.2 Details of materials	1.9 Interpretation of aws code	1.9 Restricted Materials	2.5 Earthquake resistance
2.3 Fabrications and assemblies	1.10 Qualifications for the curtain-wall installer	1.10 Access to Works	2.6 Temperature difference resistance
2.4 Fabrication and assemblies of structural steel	1.11 Performance requirements	1.11 Handover	2.7 Load combination Safety
3. Construction	1.12 Drawings	2.0 PERFORMANCE REQUIREMENTS	2.8 Watertight
3.1 General	1.13 Manufacturer's information	2.1 Environmental Conditions	2.9 Airtight
3.2 Preparing work schedule and work implementation plan	PART 2 PRODUCTS	2.2 Service Temperature Ranges	2.10 Sound insulation
3.3 Installation	2.1 Materials	2.3 Loading Requirements	2.11 Thermal and solar radiation shielding
3.4 Metal curtain wall Inspection	2.2 Metals for fabrication	2.4 Movement Accommodation and Building Tolerances	2.12 Condensation prevention measure
Technical specification of Seoul ²⁾	2.3 Nonskinning sealing compound	2.5 Structural Performance	2.13 Endurance-life
1. General	2.4 Fabrication	2.6 Durability	2.14 Other
1.1 Scope of application	2.5 Curtain-wall framing members	2.7 Resistance to Human Impact	2.15 Full-scale test, etc.
1.3 Reference standard	2.6 Aluminum doors and frames	2.8 Air Leakage	3. Material
1.4 Submittals	2.7 Metal accessories	2.9 Water Penetration Resistance	3.1 General
1.5 Quality assurance	2.8 Panels	2.10 Light and Heat Transmission	3.2 Material
1.6 Transporting, storage, handling	2.9 Thermal insulation materials	2.11 Thermal Transmission	4. Creating a construction document
2. Materials	2.10 Sealants and caulking	2.12 Condensation	4.1 General
2.1 Aluminum	2.11 Curtain-wall installation materials	2.13 Acoustic Performance	4.2 Creating a setting performance confirmation, etc.
2.2 Steel and stainless steel	PART 3 EXECUTION	2.14 Fire	4.3 Creating construction drawings, etc.
2.3 Subsidiary	3.1 General	2.15 Ventilation	4.4 Creating construction plans, etc.
2.4 Manufacture	3.2 Fabrication	2.16 Security	5. Production
2.5 Manufacturing tolerances	3.3 Installation	2.17 Corrosion	5.1 General
2.6 Quality management of materials	3.4 Finishes	2.18 Infestation	5.2 Production of metal curtain wall
3. Construction	3.5 Field tests	2.19 Earthing and Lightning Protection	6. Construction
3.1 Confirmation of construction conditions	3.6 Cleaning and protection	2.20 Signage and Lighting	6.1 General
3.2 Installation of metal curtain wall	3.7 Schedule	3.0 PERFORMANCE TESTING	6.2 Storage, transportation, storage
3.3 Dimensional tolerance of installation position	3.8 Materials embedded in other construction	3.1 Laboratory Testing - General	6.3 Installation
3.4 On-site quality management	3.9 Fastening to construction-in-place	3.2 Laboratory Testing - Curtain Wall	6.4 Glazing
3.5 Site cleanup	3.10 Setting masonry anchorage devices	3.3 Site Water Testing	6.5 Fire preventing floor
	3.11 Field-welding steel and touchup painting	3.4 Fire Testing	6.6 Sealing work
	3.12 Installation tolerances	4.0 BASE MATERIALS	6.7 Finishing work
	3.13 Placing curtain-wall framing members	4.1 General	6.8 Curing
	3.14 Panel installation	4.2 Aluminium Alloy Components	6.9 Cleaning
	3.15 Inspection and acceptance provisions		6.10 Safety
			7. Inspection
			7.1 General
			7.2 Manufacturing process inspection
			7.3 Construction process inspection

1) The Architectural Institute of Korea (2013), Korean Architectural Standard Specification (Curtain Wall)
 2) Seoul Metropolitan Government (2011), Technical specification of Seoul (Architectural part) 「A12051 Curtain Wall」
 3) USACE, NAVFAC, AFCEC, NASA (2013), Unified Facilities Guide Specifications (UFGS) 「SECTION 08 44 00 CURTAIN WALL and GLAZED ASSEMBLIES」
 4) Leeds College of Art (2010), Performance Specification for the Installation of Curtain walling, Windows, Doors and Roof Level Balustrades
 5) Architectural Institute of Japan (2012), Japanese Architectural Standard Specification 14-Curtain Wall Construction

요 성능요구사항에 대한 기술을 분석하였다. 건축표준시방서는 ‘1. 일반사항’, ‘2. 자재’, ‘3. 시공’의 3개 항목으로, 서울전문시방서 또한 ‘1. 일반사항’, ‘2. 재료’, ‘3. 시공’의 3개 항목으로 기술되어 매우 유사한 구성 체계를 가진다. 건축표준시방서는 ‘1. 일반사항’에 금속 커튼월의 요구 성능과 성능시험, 품질 보증에 대한 내용을 명시하고 있다 [21].

건축표준시방서 및 서울전문시방서의 커튼월 성능요구사항은 Table 2와 같이 기술되어 있다. 건축표준시방서는 설

계 하중 및 구조 요구 성능뿐만 아니라, 기밀수밀단열내화에 대한 성능측정 단위를 구체적으로 제시하고 최소한으로 충족해야 할 객관적 수치를 명시하고 있다. 특히, 기밀성과 관련하여 ‘1.4.1 Mock up test’ 항목에서 미국의 ASTM 및 AAMA기준을 따르도록 명시하고 있다. 반면, 서울전문시방서는 일부 재료에서만 품질만족 등급을 요구하고 있다. 예를 들어 ‘2.1.2 알루미늄창 및 창틀’의 경우 성능항목으로 ‘기밀성’을 명시하고 있으나, 구체적인 수치가 아닌 KS 등급을 요구할 수 있게 되어있다.

Table 2. Performance requirements of Standard/Technical Specification

Type	Contents
Standard specification	1.3.3 Performance requirements for airtightness, watertightness and heat insulation a. airtightness : follow project specifications, if no airtightness related pre-specified rules, requirements follows: (omission) 2) (omission) If no airtightness related pre-specified rules, test should be done with 75 Pa up to 299 Pa . Air leakage amount should be designed equal to or less than 18.3 ℓ/m²·min (fixed window) and 23.2 ℓ/m²·min (vent window) .
Technical specification	2.1.2 Aluminium windows and frames (3) Performance items - wind pressure resistance: () grade - airtightness: () grade (does not exceed the criteria specified in KS F 2292)

3.2 국외 시방서 현황

미국의 Unified Facilities Guide Specifications (이하 UFGS)는 국내의 표준 및 전문시방서와 유사한 구성 체계로서 3개의 PART로 구분된다[22]. 성능요구사항을 ‘PART 1 GENERAL’에 기술하고 있으며 보증항목이 포함되어 있다. 영국 Leeds College의 커튼월 공사에 적용된 성능시방서(이하 PSL)는 총 7개장으로 구성되어 있다[23]. 성능 요구 사항 및 성능 테스트를 각각 최상위 장으로 구성하였으며 사례 시방서 중 가장 많은 20개의 요구 성능에 대해 기술하고 있다. 일본의 ‘건축공사표준시양서 JASS 14 커튼월 공사(이하 JASS 14)’는 총 7개의 장으로 구성되어 있다[24]. PSL과 같이 ‘2. 성능’ 항목이 별도 편성되어 있으며 ‘7. 검사’ 항목을 통해 제작 및 시공과정의 검사 내용을 기술하고 있다.

각 국가별 성능요구사항 기술은 Table 3과 같다. 미국 UFGS는 커튼월의 요구 성능에 대해 다른 기관이나 협회의 기준을 따르거나 별도의 노트를 통해 관련 기준을 명시하고 있다. ‘1.11’에는 기밀성이 포함되어있지 않지만, ‘1.4.3’의 ‘1.4.3.3 Air Infiltration Test’ 항목에서 관련 기준인 ASTM E283을 참조하도록 되어있다. 영국 PSL의 경우 ‘2.8 Air Leakage’에 관련 항목이 있으며 기압수준별로 요구되는 Air Leak Rate를 도표로 제공하고 있다. 일본 JASS 14는 커튼월의 기밀성능을 내·외부의 압력차, 공기 흐름 등을 고려할 수 있는 수식을 명시하여 측정토록 하고 있다.

Table 3. Performance requirements of UFSS, PSL, and JASS 14

Type	Contents											
UFGS	1.4.3.3 Air Infiltration Test Air infiltration through the wall, when tested in accordance with ASTM E283 , shall not exceed 0.005 cms per sq.m 0.06 cfm per square foot of fixed wall area, plus the permissible allowance specified for operable windows within the test area.											
PSL	2.8 AIR LEAKAGE 2.8.1 Curtain Wall and Windows The air leakage rate through the Contractors works shall not exceed the following when measured in accordance with the procedure contained in section 3.0 of this specification. <table border="1" style="margin-left: 20px;"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Pressure Difference Pa</th> <th colspan="2">Air Leak Rate (m³/h/m²)</th> </tr> <tr> <th>Infiltration</th> <th>Exfiltration</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>+50</td> <td>0.29</td> <td>0.6</td> </tr> <tr> <td>∴</td> <td>∴</td> <td>∴</td> </tr> </tbody> </table>	Pressure Difference Pa	Air Leak Rate (m ³ /h/m ²)		Infiltration	Exfiltration	+50	0.29	0.6	∴	∴	∴
Pressure Difference Pa	Air Leak Rate (m ³ /h/m ²)											
	Infiltration	Exfiltration										
+50	0.29	0.6										
∴	∴	∴										
JASS 14	2.9 airtightness performance (1) description and test method (omission) estimate unit area of wall and air flow amount per unit time using follows: $q = (Q/A) \times (P_1 \times T_0) / (P_0 \times T_1)$											

Table 2와 3의 비교를 통해 모든 시방서에서 공통적으로 수준의 차이는 있지만 허용 가능한 기준치를 정하고 이를 준수하도록 하고 있음을 알 수 있다. 다만 서울전문시방서는 KS기준 등급을 정하며 일본 JASS 14는 기밀 성능 측정을 위한 수식을 함께 명시하고 있음이 다르다.

3.3 국내 시방서의 한계점

영국과 일본 사례는 커튼월 요구 성능을 별도의 장으로 상세히 기술하고 있는 반면, 미국 및 국내 사례들의 경우 ‘1.일반사항’의 일부로 제시하고 있으며 성능시험의 통과 기준으로서 미국의 ASTM 및 AAMA 기준을 활용하고 있다. 보증과 관련하여 UFGS는 커튼월 조립 및 마감에 대한 보증기간 등 샘플 보증항목을 제공하고 있다. PSL 또한 부속자재의 보증기간과 예상수명 등의 최소기준을 명시하고 있다. 반면 국내 건축표준시방서의 경우 보증대상 시험유형 등 개괄적으로만 언급하고 있어 발주자가 요구하거나 기본적인 커튼월 자재의 성능이 충족되지 못했을 시에 대한 사후관리가 어려운 문제가 있다. 국내외 시방서 사례별 구성 체계의 비교분석 결과를 바탕으로 국내시방서의 한계점을 1) 자체 커튼월 성능 기준 미비, 2) 보증관련 항목 미비의 2가지로 도출하였다.

4. 커튼월 공사시방서 활용 현황

4.1 공사시방서 사례분석

실무에서 활용중인 공사시방서 상의 커튼월 성능기준을 조사하고 시방서 프로토타입이 갖추어야할 필수 항목 및 보

완사항을 도출하기 위해 사례분석을 실시하였다. 커튼월이 적용된 민간(Project A, B) 및 공공공사(Project C) 3개 현장의 공사시방서 사례를 대상으로 구성 체계 및 성능요구사항을 비교·분석하였다(Table 4).

Table 4. Structure of project specification cases

Project A	Project B	Project C
1. Introduction	1. General	1. General
1.1 Project summary	1.1 Specification scope	1.1 Specification scope
1.2 Specification scope	1.2 Applicable project criteria	1.2 Reference standards
2. General	1.3 Project scope	1.3 Submittals
2.1 General	1.4 Explanatory paragraph for project	1.4 Design criteria of curtain wall
2.2 Material test	1.5 Design criteria of curtain wall	1.5 Warranty
2.3 Safety management	1.6 Bidding	1.6 Transporting, storing and handling (omission)
2.4 Site management	1.7 Warranty	2. Materials
2.5 Project management	1.8 Mock-up test	2.1 General
2.6 Applicable project scope	1.9 Quality management	2.2 Aluminum extrusion
2.7 Applicable project criteria	2. Production	2.3 Aluminum exterior
2.8 Project scope	2.1 Manufacturers	2.4 Stainless steel sheet panels
2.9 Explanatory paragraph for project	2.2 Materials	2.5 Steel
2.10 Description of curtain wall system	3. Fabrications and assembles	2.6 connecting materials, anchors
2.11 Design criteria of curtain wall	3.1 Summary	2.7 Finish
2.12 Warranty	3.2 Join members	2.8 Thermal insulation
2.13 Quality management	3.3 Fabrication in factory	2.9 Thermal breaker
2.14 Related test	3.4 Factory Glazing (Unitized curtain wall)	2.10 Back panel
3. Production	3.5 Field Glazing	2.11 Sealant
3.1 Manufacturers	3.6 Protection measures for contact with dissimilar metals	2.12 Gasket
3.2 Materials	3.7 Welding	2.13 Setting block
4. Fabrications and assembles	3.8 Installment of gaskets and affiliated materials	2.14 Interlayer fire Compartment
4.1 Summary	3.9 Cut section of extruded material	2.15 Flue equipment
4.2 Process and fabrication in factory	3.10 Fabrication of unit	2.16 Window hardware
4.3 Assembly tolerance	4. Installment	2.17 Louver
4.4 Shop glazing	4.1 General	2.18 Flashing gutter
4.5 Protection measures for contact with dissimilar metals	4.2 Installment tolerance	2.19 Screen windows
4.6 Welding	4.3 Anchorage	2.20 Manufacturing
4.7 Installment of gaskets and affiliated materials	4.4 Packing, carrying and protection measure	3. Construction
4.8 Installment of insulation and back panel	4.5 Sealing	3.1 General
4.9 Cut section of extruded material	4.6 Curing, cleaning, test and maintenance	3.2 Installment tolerance
5. Installment		3.3 Anchorage
5.1 General		3.4 Packing, carrying and protection
5.2 Installment tolerance		3.5 Sealing
5.3 Anchorage		3.6 Curing, cleaning, test
5.4 Lifting, packing, carrying and protection measure		
5.5 Sealing		
5.6 Curing, cleaning, test and maintenance		

서울전문시방서 체계를 따르는 공공공사 사례와는 달리 민간공사 사례의 경우 시방서 구성항목 및 내용기술 등에 있어 국외 시방서를 준용하고 있다. Project A와 B의 경우 개요, 총칙 등 일반사항 부분에서 차이가 있을 뿐 나머지 부분에서는 거의 동일한 목차구성을 보인다(Table 4의 음영부분). 특히, ‘생산’, ‘가공 및 조립’ 항목은 영국 PSL과, ‘하자 보증’ 항목의 경우 구체적인 보증기간 등 미국 UFGS와 유사한 것으로 나타났다.

성능요구사항의 경우 모든 사례가 ‘커튼월 설계기준’ 별도의 항목으로 명시하고 있다. 두께, 무게 등에 대한 규격

및 치수 등 커튼월 자재의 사양을 제시하고 있을 뿐만 아니라, 성능요구사항으로서 주요 부재의 팽창률 등의 구조적 허용치, 열관류율 등 합격 기준을 제시하고 있다(Table 5). 특히 내화성, 기밀성, 수밀성의 경우 미 ASTM 기준을 적용하여 허용한계를 제한하고 있다. 일부 마감분야에서 특정 상품이나 제품명을 지정하고 있어 사양시방서의 특성 또한 함께 가지고 있는 것으로 도출되었다.

Table 5. Performance requirements of project specification cases

Type	Contents
project A	<p>(9) Air leakage</p> <p>a) pressure difference under constant pressure is 75PA (7.6 kg/m²), referenced to ASTM E283.</p> <p>b) Air leakage tolerance</p> <p>- FIX windows : 0.0183 m³/min.m²</p> <p>- Open and close windows : 0.0232 m³/min.m²</p> <p>c) air leakage performance of Curtain-wall including glass and the opening and closing windows must maintain a ventilation volume of less than 2.0 m³/min.m²</p>
project B	<p>(7) Air leakage</p> <p>1) pressure difference under constant pressure is 75 PA, referenced to ASTM E283.</p> <p>2) Air leakage tolerance by window type</p> <p>a) FIX : 0.06 CFM / FT2 (0.0182 m³/min.m²)</p> <p>b) Open and close : 0.25 CFM / FT (0.0232 m³/min.m²)</p>
project C	equal to project B

4.2 설문조사

공사시방서의 현장 활용현황 조사를 위해 설문조사를 실시하였다. Table 6과 같이 커튼월 공사 실무자 15명을 대상으로 현장 방문 및 이메일, 전화 통화를 통해 2012년 9월부터 11월까지 설문을 진행하였다. 5점척도 및 의견기술을 통해 성능점검 항목구성의 적정성, 최적 성능점검 시점 및 횟수 등을 조사하고 문제점을 도출하였다.

Table 6. Composition of respondents

Type of business (Multiple choice)	Position	Working experience with curtain wall	Age
Design firms (12%)	executive (27%)	0~5 years (7%)	30~40 (33%)
Supervision & CM (29%)	department head (7%)	6~10 years (20%)	41~50 (47%)
	deputy department head (20%)	11~15 years (20%)	
General contractor (35%)	section chief (27%)	more than 15 years (53%)	more than 50 (20%)
Specialty contractor (curtain wall) (24%)	deputy section chief (20%)	non-response (7%)	

성능점검 항목구성 적정성에 대한 설문 결과 기존 커튼월 공사시방서에는 성능점검 단계 및 수행주체가 명시되지 않아 시공자의 경험에 의존하고 있으며 업체별·지역별로 상이한 것으로 나타났다. 또한 해당 프로젝트와 관련 없는 내용 기술, 시방서 상 요구되는 현장시험 점검항목과 실제 현장시험의 점검 항목의 상이 등의 문제가 도출되었다.

주요 불일치항목은 ‘시험시기 (30%)’ 및 ‘시험범위 (30%)’ 등으로 조사되었다(Figure 2의 (a)). 현장시험항목 구성현황에 대한 설문에서는 기존 커튼월 공사시방서에는 성능점검 단계 및 수행주체가 명시되지 않아 시공자의 경험에 의존하고 있으며 업체별로 상이한 문제가 도출되었다. 또한 시방서에 제시되어야 할 현장시험의 적정 실시빈도에 대해서는 ‘10개 층마다 1회’가 전체의 43%로서 가장 높은 것으로 조사되었다(Figure 2의 (b)). 커튼월 공사 시 반드시 실시되어야 하는 성능점검 시기 및 검사유형으로는 ‘자재 현장반입 후 자재검수 (36%)’가 도출되었다(Figure 2의 (c)).

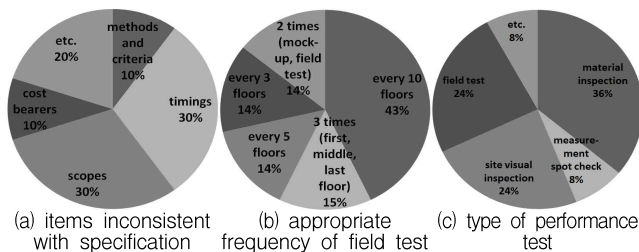


Figure 2. Analysis result of survey

4.3 커튼월 공사시방서 개선방향

설문조사 결과 도출된 기존 공사시방서의 문제점은 첫째, 체계화되지 못한 성능점검 내용 및 성능기준의 미흡으로 실무적용에 한계가 있다. 둘째, 기존 시방서는 성능점검 단계 및 수행주체가 명확하지 않아 시공자의 경험에 의존하고 있으며 업체별로 상이한 문제가 있다. 문제점을 바탕으로 커튼월 공사시방서의 개선사항을 도출하였다. 첫째, 지역/규모 등에 따라 상이한 현장에서의 체계적인 성능시방 기반의 공사를 시행하기 위해 시공 중 또는 시공 후 요구 성능과 기준미달 시 각 참여주체별 책임조항 및 조건 등을 명시하는 것이 필요하다. 둘째, 공사단계별 주요 성능점검 시기를 명확히 하고, 이를 효율적으로 활용할 수 있는 참여주체별 성능점검 프로세스를 개선하여 최종 성능뿐만 아니라 중간 단계의 안정적인 커튼월 성능을 확보하여야 한다.

5. 커튼월 공사 성능·사양 연계 시방서 프로토타입

5.1 성능·사양 연계 시방서 프레임워크

5.1.1 시방서 구성 체계

제도적 사업 절차 및 규정이 존재하는 국내 건설 환경으로 인해 기존의 사양시방서를 목표 성능만을 달성하도록 기술된 성능시방서로 바로 전환하는 것은 한계가 있다. 따라서 성능과 사양 기준을 연계한 시방서 항목구성과 공사 단계별 성능점검 시기 및 방법 명시가 필요하다. 이를 반영하기 위해 시방서 프로토타입은 국내 표준 및 전문시방서, 공사시방서의 사양항목과 해외 시방서 사례의 성능항목을 바탕으로 Figure 3과 같이 개요, 재료, 시공, 성능점검, 보증의 5개 항목으로 구성된다.

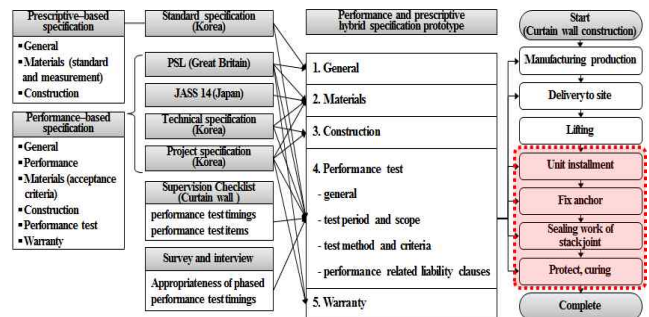


Figure 3. Framework of hybrid specification prototype

5.1.2 성능·사양 연계 시방서 기반 주체별 성능점검 프로세스

성능·사양 연계 시방서의 실무활용 방안으로서 커튼월 설치단계의 각 참여주체들의 성능점검 역할 및 이행시기를 반영한 성능점검 프로세스를 Figure 4와 같이 제시하였다. 커튼월 유닛설치 후 건설업체에 의한 ‘유닛 설치 확인’이 실시되며 설치된 커튼월이 성능기준을 충족할 경우 앵커로 고정한 후 커튼월 설치 업체의 ‘설치 검측’이 실시된다. 만약 시방서 기준에 미달하면 unit을 재설치 하게 되며, 만족하면 실링작업 후 건설업체 및 발주자/감리자에 의한 ‘현장 육안검사’가 실시된다. 커튼월 보양 후에는 Mock-up test와 동일한 방법 및 기준으로 현장시험을 실시한다. 현장시험은 커튼월 설치 후 최종 성능점검이며, 일정 단위 공사 진행 후 실시된다(10개 층마다, 시공 진행의 15%, 70% 시점 등).

5.2 커튼월 공사 단계별 성능점검 시점

일반적으로 커튼월 성능점검은 전문가의 지식과 경험에 의해 점검 시점과 빈도가 결정된다. 국내 커튼월 공사 시 '현장 검사'는 의무가 아니며 관련 기준이 없다. 현장검사를 수행하지 않거나 시공업체별로 점검방법 및 시기가 상이하여 요구 성능의 만족 여부 확인에 한계가 있다.

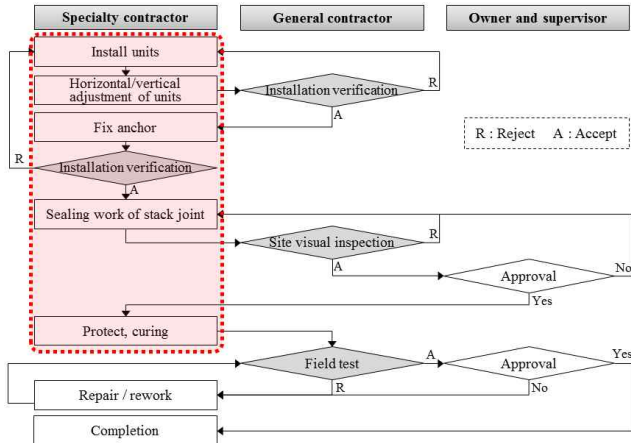


Figure 4. Performance test process for participants

또한 층별로 반복 수행하는 특성이 있어 각 층별 커튼월 설치를 완료할 때 마다 성능을 점검하는 것이 중요하지만, 비용 및 인력 등의 제약으로 인해 현실적으로 어렵다. 본 연구에서는 커튼월 공사시방서 및 커튼월 감리 체크리스트 분석을 통해 성능점검 시점을 Figure 5와 같이 선정하였다. 예를 들어 설치단계에서는 커튼월 유닛 설치 후 '유닛 설치 확인' 및 '설치점검'이 각각 종합건설업체 및 커튼월 전문 시공업체 담당자에 의해 실시된다. 또한 유닛 고정 후 '육안 검사'를 통해 보양재 부착상태 등의 설치오차를 점검한다.

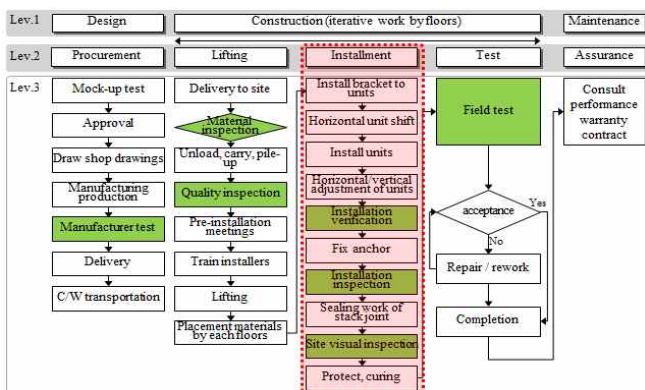


Figure 5. Timings of phased performance test

5.3 커튼월 공사 성능 사양 연계 시방서 프로토타입

기존 건축표준시방서 구성 체계의 기본 형태를 유지하며 성능과 사양을 연계한 시방서 프로토타입 항목구성을 위해 건축표준시방서 및 PSL의 구성항목 간 매트릭스 분석을 실시하였다. PSL은 전형적인 성능 중심의 시방서 사례로서 커튼월에 대한 가장 다양한 성능 요구조건을 명시하고 있어 현재의 건축표준시방서가 포함하고 있거나 또는 추가로 요구되는 성능 항목의 비교·분석에 가장 적합하다.

Table 7은 PSL을 기준으로 건축표준시방서의 구성내용을 자재의 규격 등 사양항목 (▲), 시공 허용오차 등 공사 완료 전 성능항목 (■), 현장 성능 테스트 등 공사 완료 후 성능항목 (○) 등 3가지 유형으로 분류한 결과의 일부이다. PSL의 '2.0 PERFORMANCE REQUIREMENTS'는 발주자의 의견과 현장에 적합한 성능조건을 명시하는 공사완료 후 품질의 척도이다. 건축표준시방서의 경우 '1.3 금속 커튼월의 설계 요구 성능' 항목에 설계 하중, 구조 요구 성능 등 일부만 반영되어있다. '4.0 BASE MATERIALS'의 경우 재료시험 통과기준 및 환경조건만을 제시함으로써 공사 완료 전 성능을 반영하고 자재선택의 자율성을 보장하고 있다. 표준시방서의 경우 자재의 성능기준을 수치적으로 제한하고 관련참조표준을 명시하되 이에 우선하여 공사시방서를 따르도록 하고 있다. '5.0 COMPONENTS, FABRICATIONS AND ASSEMBLIES', '7.0 METHODS OF CONSTRUCTION'의 경우 현장 설치 시 유의사항 등 내용 구성 상 건축표준시방서와 유사하였다. 건축표준시방서는 커튼월의 시공 중의 성능요구사항을 '2.자재' 및 '3.시공' 항목에서 일부 반영하고 있지만, 공사 완료 후의 성능점검에 대한 부분은 미약한 것으로 분석되었다. 매트릭스 분석결과를 바탕으로 시방서 사례의 구성항목을 활용하여 성능·사양 연계 시방서 프로토타입을 Table 8과 같이 구성하였다. '1.개요'는 공사시방서 사례와 PSL을 중심으로 구성하되 국내의 기준 및 절차를 반영하기 위하여 전문시방서 내용을 일부 활용하였다. '2.재료'와 '3.시공'의 경우 공사시방서 작성 기준이 되는 전문시방서의 내용을 준용하였으며, PSL의 '1.8.5 Experience' 항목을 참고하여 '2.1 Manufacturers'를 추가하였다. '4.성능점검'의 경우 시공오차는 전문 및 공사시방서를, 재료적 특성 및 허용한계, 점검과 관련된 주요 내용은 PSL을 준용하였다.

'4.성능점검'에 대하여 커튼월 공사 단계별·주체별 역할을 명시한 샘플시방서를 Table 9와 같이 제시하였다.

Table 7. Correlation matrix analysis result between standard specification and PSL

PSL	SS (Level 1)		1. General						2. Materials							3. Construction												
	SS (Level 2)	SS (Level 3)	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	2.1	2.2	2.3			2.4				3.1	3.2	3.3		3.4						
			1.3.1	1.3.2	1.3.3	1.3.4	1.4.1	1.4.2	2.1.1	2.2.1	2.2.2	2.3.1	2.3.2	2.3.3	2.3.4	2.3.5	2.3.6	2.4.1	2.4.2	2.4.3	2.4.4	2.4.5		3.3.1	3.3.2	3.3.3	3.3.4	
5.0 COMPONENTS, FABRICATIONS AND ASSEMBLIES																												
5.1 INSULATING GLAZING UNITS					■																					▲	■	■
5.2 GLASS TO GLASS CORNERS																												■
5.3 PRESSED METAL (ALUMINIUM)																												▲
5.4 FASTENERS AND ANCHORS																												▲

▲ : Prescriptive items, ■ : Performance items during construction, ○ : Performance items after completion of construction

Table 8. Structure of hybrid specification prototype

Items	Reference
1. General	
1.1 Project summary	
1.2 Scope	PSA 1.2 Specification scope
1.3 Units of measurement	PSU 1.5 Language and Units of Measurement
1.4 Reference standards	TS 1.3 Reference standards
1.5 Submittals	TS 1.4 Submittals
1.6 Experience	PSU 1.8.5 Experience
	PSC 1.10 Qualification
1.7 Implementation details of contractor	PSA 2.8.8 Implementation details of contractor
1.8 Restricted materials	PSU 1.9 Restricted materials
	PSU 1.11 Handover
1.9 Quality warranty	TS 1.5 Quality warranty
1.10 Transporting, storing and handling	TS 1.10 Transporting, storing and handling
2. Materials	
2.1 Manufacturers	PSU 1.8.5 Experience
2.2 Aluminum materials	TS 2.1 Aluminum materials
2.3 Steel and stainless steel materials	TS 2.2 Steel and stainless steel materials
2.4 Subsidiary materials	TS 2.2 Steel and stainless steel materials
2.5 Production	TS 2.4 Production
2.6 Manufacturing tolerances	TS 2.5 Manufacturing tolerances
2.7 Materials quality management	TS 2.6 Materials quality management
3. Construction	
3.1 Identify construction conditions	TS 3.1 Identify construction conditions
3.2 Metal curtain wall installation	TS 3.2 Metal curtain wall installation
3.3 Installation location tolerance of main components	TS 3.3 Installation location tolerance of main components
3.4 Site quality management	TS 3.4 Site quality management
3.5 Site clearance	TS 3.5 Site clearance
4. Performance test	
4.1 Mock-up test	SS 1.4.1 Mock-up test
	TS 2.6.4 Mockup test
4.2 Manufacturer test	PSA 2.1.3 Quality management
	TS 2.5 Manufacturing tolerance
4.3 Material inspection	TS 2.1.1 Aluminium materials
	PSA 2.1.3 Quality management
	PSB 2.2 Materials
4.4 Quality inspection	equal to 4.3
4.5 Installation verification and inspection	PSU 7.1. Vertical curtain walling general
	PSU 7.7 Tolerances
4.6 Site visual inspection	TS 3.3 Installation location tolerance of main components
	TS 3.4.1 status inspection of construction
	TS 7.7 Tolerances
4.7 Field test	SS 1.4.2 Site, visual and other tests
	PSA 2.1.4 Related tests
5. Warranty	
	PSA 2.1.2 Warranty
	PSB 1.7 Warranty
	PSA 2.6.2 Warranty and predicted service life

PSA : Project specification of case A, PSB : Project specification of case B, PSC : Project specification of case C, TS : Technical specification of Seoul City, SS : Korean architectural standard specification, PSU : Performance Specification for Leeds College

샘플시방서는 각 성능점검의 주체별 역할이 명시된 ‘개요’, 점검기준과 허용오차가 명시된 ‘시험방법 및 기준’, 관련 참여주체별 의무사항 및 책임범위를 한정된 ‘책임조항’으로 구성된다.

Table 9. Sample of hybrid specification prototype

4.2 Manufacturer test												
4.2.1 general												
The owner and supervisor are entitled to inspect whether the manufacturer comply with the procedures at the factory.												
4.2.2 test period and scope												
the test should be done during and/or after factory work of the curtain wall materials												
4.2.3 test method and criteria												
a. tolerances inspection												
1) tolerances of curtain wall aluminum alloy casting products (mm)												
<table border="1"> <thead> <tr> <th>items</th> <th>tolerances</th> <th>items</th> <th>tolerances</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>perimeter</td> <td>±3</td> <td>diagonal length error</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>:</td> <td>:</td> <td>:</td> <td>:</td> </tr> </tbody> </table>	items	tolerances	items	tolerances	perimeter	±3	diagonal length error	5	:	:	:	:
items	tolerances	items	tolerances									
perimeter	±3	diagonal length error	5									
:	:	:	:									
b. finishing status inspection												
1) extrusion, calibration, cutting												
The surface should be in good and free from detrimental defects to practical using. (omission)												
4.2.4 performance related liability clauses												
a. Contractors and manufacturers should implement on-spot attending inspection for shape, measurement, materials and finishings when required by construction supervisors. (omission)												

5.4 검증

성능·시양 연계 시방서의 현장적용성 검증을 위해 전문가가 면담을 실시하였다. 면담대상으로 커튼월 공사 실무경력 15년 이상의 시공업체 4명, 커튼월 전문시공업체 1명, 감리·CM업체 1명, 설계업체 2명 등 총 8명의 전문가를 선정하였다. 프로토타입 시방서의 성능점검 시기의 적정성, 커튼월 품질확보 효용성 등에 대해 평가하고 개선의견을 수렴하였다. 매우 낮음, 낮음, 보통, 높음, 매우 높음의 5점 척도 기반으로 평가한 결과는 Table 10과 같다. 현장 적용성의 경우 커튼월 공사 시공 단계별 성능을 점검하는 동시에 최종 성과물의 품질 및 성능점검 또한 지원 가능하기 때문에 비교적 높은 것으로 평가되었다(3.81). 비용감소 효과는 기존 대비 성능점검 빈도 증가로 인한 비용증가에 대한 우려로

상대적으로 낮은 것으로 도출되었다(3.5). 재작업 횟수 감소 및 유지관리비용 감소를 통해 장기적으로는 비용 감소 효과를 기대할 수 있음을 기타의견으로 수렴하였다.

요 약

건축공사 시 적정 품질 확보를 위해 활용되고 있는 대부분의 국내 설계기준 및 시방서는 절차를 중요시 하며 재료·치수 등을 규정하는 사양 기반이다. 공사업체의 창의성 저해 및 이로 인한 경쟁력 약화 등 사양시방서의 다양한 문제점에 기인하여 최근 최종 결과물을 중요시 하는 성능 기반의 시방서가 제시되고 있지만 건축 분야 적용에 한계가 있다. 본 연구에서는 국내의 시방서 사례의 성능 및 사양 항목 기반의 커튼월 공사 성능·사양 연계 시방서 프로토타입을 제시하였다. 설문조사를 통해 중요 성능점검 시점을 도출하였으며, 각 시점별 관련 참여주체 역할을 반영한 성능점검 프로세스와 샘플시방서를 제시하였다. 전문가면담 기반 검증 결과 현장적용성이 높고 공사 진행단계에서의 성능 확보를 적극적으로 지원할 수 있는 효과적인 도구로 평가되었다.

키워드 : 커튼월, 표준시방서, 단계별 성능점검, 성능시방서

Table 10. Analysis result of interview

Evaluation Item	GC (4)	S&CM (1)	SC (1)	DF (2)	Avg.
1. Field applicability	4.2	4.0	4.0	3.0	3.81
2. Appropriateness of phased performance test timings	4.0	4.0	4.0	3.5	3.88
3. Effectiveness to quality improvement	4.5	4.0	4.0	4.0	4.38
4. Effectiveness to productivity improvement	4.2	5.0	5.0	3.5	4.18
5. Effectiveness to cost saving	4.0	3.0	3.0	3.5	3.38

* GC : General contractor SC : Specialty contractor
S&CM : Supervision and CM DF : Design firm

6. 결 론

본 연구는 커튼월 공사의 단계별 성능점검을 통해 최종 성능뿐만 아니라 단계별 성능 확보가 가능한 성능·사양 연계 시방서 프로토타입을 제시하였다. 업체별·현장별로 상이하게 활용되고 있는 커튼월 공사 성능기준 사례분석을 통해 이를 반영한 최소한의 성능점검 시점 및 방법을 제시함으로써 현장에서의 성능기준 필요성을 충족시키기 위한 노력에 기여하고자 하였다.

7개 커튼월공사 단계별 성능점검 시점을 도출하고 이를 바탕으로 참여주체별 성능점검 프로세스를 제시하였다. 시방서 프로토타입은 국내·외 시방서 사례의 사양 및 성능항목을 바탕으로 개요, 재료, 시공, 성능점검, 보증의 5개 항목으로 구성된다. ‘1.개요’에는 모든 시방서 사례가 활용되었으며, ‘2.재료’ 및 ‘3.시공’에는 서울시 전문시방서가, ‘4.성능점검’ 및 ‘5.보증’에는 영국의 성능시방서 및 국내 공사시방서 사례가 중점적으로 활용되었다. ‘4.성능점검’을 구성하는 각 성능점검에 대해 관련 참여주체의 역할과 시험방법 및 기준, 책임조항이 명시된 샘플시방서를 제시하였다. 전문가 면담을 통한 검증결과 시방서 프로토타입의 성능점검 시기가 적절하며 현장 적용성이 높은 것으로 나타났다. 또한 커튼월 공사의 최종성능 및 공사 진행단계에서의 성능 확보를 적극적으로 지원할 수 있는 효과적인 도구로 평가되었다. 제시된 구성항목별 성능기준의 적정성 및 성능점검 시점의 일반성 확보를 위해 보다 다양한 현장 사례분석 및 현장적용이 요구된다. 또한 콘크리트 골조 공사 등 타 공종으로의 적용 확대에 대한 추가연구가 필요하다.

Acknowledgement

This research was supported by a grant(11 Technology Standardization 10-1) from R&D Program for Construction and Transport Technology funded by Ministry of Land, Infrastructure and Transport of Korean government.

References

1. Lee KK (The Architectural Institute of Korea, Seoul, Korea). Development of the Global Green KBC and Specification, Interim report, 8 Nov 2011-7 Sep 2012, Seoul: Korea Agency for Infrastructure Technology Advancement (Korea); 2012. 451 p. Report No.: RP09207. Korean.
2. Science Applications International Corporation, Performance Contracting Framework Fostered by Highways for LIFE, U.S. Department of Transportation FHWA, 2006.
3. Lee GB, Introduction of the Performance-oriented Procurement Process for PPI projects, Anyang (Korea): The Architectural Institute of Korea; 2002. 174 p. Report No.: KRIHS 2002-59. Korean.

4. Bickley J, Hooton RD, Hover KC. Preparation of a performance-based specification for cast-in-place concrete. 1st ed. Maryland: RMC Research Foundation; 2006. 155 p.
5. Sim JI, Yang KH. Practical Application of GGBS-Based Alkali-Activated Binder to Secondary Products of Concrete. *Journal of the Korea Institute of Building Construction*. 2010 Oct;10(5):37-44.
6. Kwon SA, Koo JD, Kim TS. Research Group for Standardization of Construction Specifications and Design Criteria Based on Performance. *Magazine and Journal of Korean Society of Steel Construction*. 2009 Oct;21(5):7-10.
7. Ko H, Kim KH, Lee YS, Kim JJ. A Study on Application of Performance Warranty Contract to Building Construction. *Proceedings of the Korean Institute of Construction Engineering and Management*; 2007 Nov 9-10; Pusan, Korea, Seoul (Korea): Korea Institute of Construction Engineering and Management; 2007. p. 687-90.
8. Kim TS, Chin KH, Koo JD, Lee YG, Cho MY. A Study on the Improvement of the Constuction Specifications Formats. *Journal of the Architectural Institute of Korea*. 1998 Mar;14(8):103-13.
9. Yu JE, Jun JW, Lee SS. A Study on Improvement and Change Properties of Landscape Construction Standard Specification. *Journal of Korean Institute of Landscape Architecture*. 2013 Feb;41(1):60-70.
10. Hyun MH, Kim CD. Study for Descriptive Properties of Construction Standard Specification. *Journal of the Architectural Institute of Korea*. 1999 Jun;15(6):131-40.
11. Koo JD, Kim TS. A Study for the Development of Writing National Standard Specification, Owner's Standard Specification and Project Specifications. *Korean journal of construction engineering and management*. 2000 Sep;1(3):81-8.
12. Kim KT, Kim TS, Koo JD, Cho MY. Development of a Supporting System for writing Construction Project Specification. *Journal of the Architectural Institute of Korea*. 2001 Sep;17(9):183-91.
13. Kim KT, Kim TS, Ryoo BY, Koo JD. A Web-Based Writing Support System for Construction Project Specification. *Journal of the Architectural Institute of Korea*. 2002 Jul;18(7):139-46.
14. Yeo HD, Nam JH, Suh YC, Jeong JH. A Study on Performance Criteria of Asphalt Pavements for Development of Performance-based Warranty Specification. *KSCE Journal of Civil Engineering*. 2011 Nov;31(6D):793-801
15. Diefenderfer B, Bryant J. Development of a Pavement Warranty Contract and Performance Specification for a Hot-Mix Asphalt Resurfacing Project. *Airfield and Highway Pavements Specialty Conference 2006*; April 30-May 3; Atlanta, GA, Reston (VA), American Society of Civil Engineers; 2006. p. 996-1007.
16. Shenoy A. Refinement of the Superpave Specification Parameter for Performance Grading of Asphalt. *Journal of Transportation Engineering*. 2001 Oct;127(5):357-62.
17. Ohrn L, Schexnayder C. Performance-Related Specifications for Highway Construction. *Journal of Construction Engineering and Management*. 1998 Jan;124(1):25-30.
18. Roh TI, Kim SH, Choi SK. An Fundamental Study on the Standardization of Performance-Based Building Codes Focused Building Materials. *Journal of the Architectural Institute of Korea*. 2009 Mar;25(3):77-84.
19. Lobo C, Lemay L, Obla K. Performance-Based Specifications for Concrete. *Architectural Engineering Conference 2006*; 2006 Mar 29-Apr 1; Omaha, NE, Reston (VA), American Society of Civil Engineers; 2006. p. 1-13.
20. Lim TK, Lee DE. Developing the Quality and Cost Optimization System for Metal Curtain Wall Using Genetic Algorithm and Quality Function Deployment. *Journal of Architectural Institute of Korea*. 2011 Dec;27(12):189-98.
21. Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (KR). *Korean Architectural Standard Specification* [Internet]. Seoul: The Architectural Institute of Korea; 2013 Jul [cited 2013 Jul 26]. 1890 p. Available from: <http://www.codil.or.kr:8088/Codil/doc/CIGCSSD90152>
22. Seoul Metropolitan Government (KR). *Technical specification of Seoul: Architectural part* [Internet]. Seoul: Seoul Metropolitan Government; 2011 Dec [cited 2011 Dec 21]. 1287 p. Available from: http://infra.seoul.go.kr/spec_sheet/54
23. U.S. Army Corps of Engineers; Naval Facilities Engineering Command; Air Force Civil Engineer Center; National Aeronautics and Space Administration. *Unified Facilities Guide Specifications-08 44 00 Curtain Wall and Glazed Assemblies* [Internet]. Washington, DC: National Institute of Building Sciences; 2011 Aug [cited 2011 Oct 11]. 54 p. Available from: <http://www.wbdg.org/ccb/DOD/UFGS/UFGS%2008%2044%2000.pdf>
24. Leeds College Of Art And Design (GB). *Performance Specification for the Installation of Curtain Walling, Windows, Doors and Roof Level Balustrades* [Internet]. Leeds: Leeds City Council; 2013 Jul [cited 2010 May 19]. 90 p. Available from: <http://plandocs.leeds.gov.uk/WAM/doc/BackGround%20Papers-280328.pdf?extension=.pdf&id=280328&location=VOLUME2&contentType=application/pdf&pageCount=90>
25. Architectural Institute of Japan. *Kenchiku kōji hyōjun shiyōga-ki · dō kaisetsu 14-kāten'u-ōru kōji* [Japanese Architectural Standard Specification 14-Curtain Wall Construction]. 3rd ed. Tokyo: Maruzen Publishing; 2012. 349 p. Japanese.