한국조경학회지 40(5): 33~42, 2012. 10. http://dx.doi.org/10.9715/KILA.2012.40.5.033

유리섬유강화콘크리트를 이용한 자연형 경관석의 성능기준 연구

윤복모* · 구본학**

*상명대학교 대학원 환경자원학과 · **상명대학교 환경조경학과

A Study on the Performance Standards for a Natural Type Landscaping Rocks by Utilizing GFRC(Glass Fiber Reinforced Concrete)

Yoon, Bok-Mo* · Koo, Bon-Hak**

*Dept. of Environmental Landscape Architecture, Graduate School, Sangmyung University
**Dept. of Environmental Landscape Architecture, Sangmyung University

ABSTRACT

This study aims to establish the performance standard for natural type landscape stone GFRC. The required performance such as material performance, structural safety performance, durability performance, and landscape performance were selected through an examination of domestic and overseas performance related references and examples, and through the questionnaires obtained from 40 experts, and the verified items and performance standards were proposed.

Among the required performances, the material performance(glass fiber content, air-dried gravity), structural safety performance(flexural strength, compressive strength), durability performance(crack, corrosion resistance), and landscape performance(texture, efflorescence) were selected through the questionnaires obtained from the experts.

In the case of material performance and structural safety performance with the corresponding standards that existed, final performance evaluation standard was proposed by conducting a test and comparing it with the existing standard sample, and in the case of durability performance and landscape performance on which standard does not existed, they were verified by measuring directly through field examination of formative landscape items such as artificial waterfall etc.

In this study, performance standard for the material on natural type landscaping rocks GFRC and items which can be evaluated after construction such as material performance, structural safety performance, durability performance, landscape performance, and so forth were proposed, however, follow up study for pro-environmental and ecological performance standard which were recently gaining force would be required through a continuous monitoring for the construction samples afterwards.

Key Words: Required Performance, Material Performance, Structural safety Performance, Durability Performance, Landscape Performance

Corresponding author: Bon-Hak Koo, Dept. of Environmental Landscape Architecture, Sangmyung University, Cheonan 330-720, Korea, Tel.: +82-41-550-5300, E-mail: ecoculture@smu.ac.kr

국문초록

본 연구는 자연형 경관석 GFRC를 대상으로 성능기준을 설정하기 위해 국내·외 성능관련 문헌 및 사례 등의 고찰을 통해 요구성능인 재료성능, 구조안전성능, 내구성능, 경관성능의 항목을 40인의 전문가 설문을 통해 선정하였고, 검증된 항목 및 성능기준을 제안하였다.

전문가 설문을 통해 요구 성능 중 재료성능(유리섬유 함유율, 기건비중), 구조안전성능(휨강도, 압축강도) 그리고 내구성능(균열, 내부식성), 경관성능(질감, 백화)을 각각 선정하였다.

기준이 존재하는 재료성능과 구조안전성능의 경우, 시험을 거쳐 기존 기준사례와 비교하여 최종 성능평가기준을 제시하였으며, 기준이 존재하지 않은 내구성능과 경관성능은 기 시공된 인공폭포 등의 경관조형물을 대상으로 현지조사를 통해 직접 측정하여 검증하였다.

본 연구에서는 재료성능, 구조안전성능, 내구성능, 경관성능 등 자연형 경관석 GFRC의 재료 및 시공 후 평가 가능한 항목에 대한 성능기준을 제안하였으나, 추후 시공사례지에 대한 지속적인 모니터링을 통해 최근에 대두되고 있는 친환경적이고, 생태적인 성능기준에 관한 후속 연구가 필요하다.

주제어: 요구성능, 재료성능, 구조안전성능, 내구성능, 경관성능

Ⅰ. 서론

최근 소득수준이 증대되면서 테마공원, 워터파크 등의 조경공간 조성이 활발히 이루어지고 있으며, 공간 조형, 경관 향상, 기능적 공간 조성 등을 위해 인공폭포 및 벽천과 같은 시설 등이 도입되어 지역의 상징적인 Landmark 연출, 휴식 공간, 그리고 조경경관의 view point 역할을 하여 지역의 상징성과 이미지를 제고하고 있다. 이를 위해 자연석 쌓기, 식생옹벽 쌓기, 산벽쌓기 등 자연친화적인 경관창출을 위한 조경기법이 반영되기도 하나, 자연석 고갈로 인해 자연형 경관석과 같은 대체소재 개발 및 효과적인 시공기술이 요구되고 있다. 이에 따라 초기에는 유리섬유강화플라스틱(Fiber glass Reinforced Plastics; FRP)을 사용하였으나, 탈색, 폐기시 환경오염 문제 발생, 인공적인 질감 등의 성능 및 경관적 측면의 부작용으로 인해 사용하지 않는 추세이며, 최근에는 자연석 질감에 가깝고 성능이 우수한 유리섬유강화콘크리트(Glass Fiber Reinforced Concrete/Cement; GFRC) 소재가 개발되어 사용되고 있다.

그러나 자연석 대체재로서의 자연형 경관석 활용도가 높아짐에도 불구하고, 아직 자연형 경관석에 대한 성능기준이 정립되지 않은 실정으로서, 제품 패널의 품질 저하 및 불량, 부실시공, 하자율 증가 및 경관, 환경·생태적인 측면에서 자연형 경관석 자체에 대한 부정적 이미지의 원인이 될 수도 있다는 점에서 품질 및 성능기준을 시급히 마련해야할 필요성이 대두되고 있다.

한편, 건설분야의 품질 확보를 위해 설계기준, 표준시방서, 각종 하위 지침들이 마련되고 있으나, 대부분 재료, 합리적 설계, 공사관리, 품질 및 하자 등에 초점을 맞추고 있는 바, 정작 사용자들이 직접 대하고 만족도에 영향을 주는 시설물의 최종 성능을 간과함에 따라 성능이 저하되고 생애주기가 짧아지는 원인이 되고 있다. 이런 한계를 극복하기 위해 설계나 시공의 과정보다는 성능기준(Performance Standards) 및 성능보증계약(Performance Warranty Contracting)제도 도입과 각 건설분야에 적합한 성능기준 개발에 대한 요구가 높아지고 있다. 최종성능에 초점을 맞춘 건설기술기준을 성능기준이라 하며, 이를 통해 품질향상과 생애주기비용 감소 등 건설공사의 효율성을 높이고 있다. 이와 관련하여 조경시설, 건축물, 구조물 기초, 도로포장, 도로부대시설 등의 건설 전반에 대한 표준화 사업이 진행된 바 있다(한국건설기술연구원, 2007).

성능기준 관련 연구로는 제품 중심의 성능(한국산업표준(KS), 2011; 한국건설기술연구원, 2007) 및 기능 중심의 성능(김민수, 2007; 정진용, 2009) 등이 있고, 오상근 등(2007)에 의한 옥상 및 인공지반녹화용 방근재의 성능기준 설정을 위한 방근성 시험방법 연구, 노태임(2008)의 건축분야의 성능기준에 관한 전반적인 개념과 적용방안, 김홍도(2011)의 기존 건축물의 구조적 성능 평가를 통한 내진보강(Seismic Retrofit)에 대한 연구, 김동희(2005)의 철근콘크리트 건축물의 구조안전성능 평가기법 연구 등이 있다.

조경분야 성능연구로는 김민수 등(2007)에 의한 조경분야 성능 연구, 구본학 등(2008)에 의한 조경분야 생태성능 연구 등에 의해 조경분야 성능기준 적용 가능성이 제기되었고, 구체적인 적용 연구로서 한승호(2007)에 의해 조경용 투수포장의 환경성능 평가기법 연구와 국토해양부(2009)에 의해 도로비탈면 녹화공사의 설계 및 시공지침을 설정, 발표하여 친환경적인 복원을 위한 가이드라인이 작성되었고, 정진용(2009)은 습지의

생태적 성능 기준 개발을 통해 요구성능에 따른 성능기준을 설정하여 표준습지에 적용하였으며, 구본학 등(2011)에 의해 표준습지 분석을 통해 대체습지의 생태성능기준을 개발한 연구가 수행된 바 있다. 경관 성능과 관련해서는 주로 평가 방법론에 관한 연구(양병이, 1985; 이상락과 김세천, 2002; 나상훈, 2002)가 대부분이었고, 경관성능 자체에 대한 연구는 한국건설기술연구원(2007)의 성능중심의 건설기술 기준개발 연구로 일부 수행된 바 있다.

이와 같이, 성능기준에 관한 연구는 주로 건축물이나 콘크리트, 습지 등과 관련된 사례에 집중되어 있고, 조경분야의 성능연구는 도입을 위한 기초연구 수준이거나 습지, 비탈면, 친환경 포장재 등 극히 일부 대상의 생태성능 중심으로 도입되고 있어 구체적인 성능기준 연구는 아직 미진한 상태이다. 특히 자연형 경관석은 조경공간에서 점차 그 사용빈도가 많아지고 중요성이 강조되고 있음에도 아직 표준화된 성능기준이 마련되어 있지 않아 품질이 저하되고 자연석과 같은 질감이 적절하게 표현되지 못하기 때문에, 자연석과 같은 형태 및 느낌을 유지하는 고품질 자연형 경관석을 생산해 내기 위해서는 재료, 구조안전, 내구적인 측면 외에도 경관적인 측면까지 고려하여 품질을 판단할 수 있는 적합한 성능기준 마련이 필수적이다.

이러한 인식을 바탕으로 본 연구의 목적은 기존의 선행연구, Precast/Prestressed Concrete Institute(www.pci.org), 국제표준화기구(www.iso.org), 국내 및 주요 국가의 국가표준 및 관련 문헌 고찰을 통해 자연형 경관석에 적용 가능한 요구성능 항목, 성능평가 기준 등을 재료성능, 구조안전성능, 내구성능, 경관성능 등으로 구분하여 각각 제시하고, 전문가 설문 및 성능시험을 통해 타당성을 검증함으로써 조경분야에서 점차 그 용도가 확대되고, 경관조형물로서 중요도가 강조되고 있는 자연형 경관석 GFRC에 적합한 요구성능 항목 및 성능평가 기준을 제시하는데 있다.

II. 연구방법

본 연구는 문헌연구, 전문가 설문, 시험 및 현장 측정 등의 방법으로 수행되었다.

먼저 요구성능 항목 및 성능평가 기준을 설정하기 위해 이와 관련된 문헌, 규정, 법규, 제도 등의 사례를 비교 검토하여 자연형 경관석 성능으로서 적합한 성능 항목 및 평가기준을 도출하였다. 도출한 항목의 중요도를 검증하기 위해 관련 전문가 설문을 실시하였으며, 성능 항목 및 기준을 최종 선정하였다.

재료성능과 구조안전성능과 같이 명확한 기준이 존재하는 항목은 시험을 실시하여 국내·외 사례와 비교, 성능 평가기준을 제시하였으며, 기준이 존재하지 않은 내구성능과 경관성능 항목은 관련 문헌을 통해 성능 평가기준을 제안하였다. 그리고, 제안된 항목 및 기준에 대한 검증을 위해 기 시공된 현장에 대한 직접 측정을 통해 최종 성능 평가기준을 제시하였다.

구체적인 내용으로는 다음과 같다.

1. 요구성능 항목 및 성능평가 기준

본 연구에서의 요구성능은 김태송(2008)과 김민수(2007)에 의해 분류된 성능 유형에 따라 재료성능, 구조안전성능, 내구성능, 경관성능으로 선정하였다. 국내(KS, KICM-GQ-066), 일본(JIS, Nippon GRC), 미국(ASTM, PCI), 유럽(EN, GRCA) 등의 성능평가 사례 및 제도와 국가 공인 기관(건설교통부; 국토해양부, 한국시설안전기술공단; 한국시설안전공단 등)의 지침, 기준 등을 분석한 후 요구성능별 예비항목을 설정하였으며, 설정된 항목을 대상으로 중요도 평가를 실시하였다.

성능평가 기준은 국가표준과 관련한 문헌연구를 통해 공인된 국가 기관인 건설교통부, 한국시설안전기술공단, 일본건축학회, 일본 건설성 등에서 제시한 시험방법, 평가기준들을 검토하여 본 연구에 적합한 기준을 선정, 적용하거나, 일부를 대상 항목에 적합한 비율범위로 조정하였다. 또한, 등급설정의 축소를 통해 기존의 5등급으로 구분된 기준을 3등급으로 평가될 수 있도록 수정, 제시하였다. 사례가 없는 항목의 기준은 유사 관련 분야의 문헌 및 지침 등을 검토하여 새로운 기준을 제시하였다.

2. 요구성능 항목 중요도 평가 및 성능평가 기준 검증

1) 전문가 설문

기존 사례와 문헌을 통해 요구성능 예비항목을 대상으로 전문가 설문을 실시하여 중요도 평가 결과에 따라 요구성능 항목을 도출하였다.

설문기간은 2012년 5월부터 6월까지 진행하였으며, 조경(55.0%), 건축(27.5%), 토목(17.5%) 분야의 관련 기술사(45.0%), 박사(27.5%), 교수(15.0%), 관/공사(12.5%) 등을 포함하여 총 40명의 전문가를 대상으로 실시하였다. 설문방법은 직접면담과 이메일을 병행 실시하였으며, 이 중 77.5%(31명)가 회신하였다. 주요 설문내용은 요구성능 예비항목에 대한 중요도 평가 결과에 따른 항목 선정이었다. 항목에 대한 중요도 평가는 5단계 등간격 척도(1~5)로 표기된 중요도를 10점 만점으로 환산하여 평균 점수를 산출, 요구성능별 상위 높은 순으로 2개 항목씩을 선정하였다.

2) 성능시험

검증대상은 국내·외에서 제작, 시공되고 있는 자연형 경관석 공법이 다양하나, 연구결과의 신뢰성을 위해 국내에서 활용도가 가장 많고, 국내 건설기준에 의한 기술적 측면에서 대표

성이 있다고 인정되는 유리섬유 강화 콘크리트(Glass fiber reinforced concrete/cement; GFRC)로 한정하였다. 검증항목으로는 GFRC를 조경공간의 자연형 경관석으로 인식하여 일반적인 물성이 아닌 조경구조재로서 요구되는 성능기준을 고려하였다.

연구실 시험 및 의뢰분석으로 검증이 필요한 재료성능 및 구조안전성능은 시험에 의한 방법으로 검증하였다. 시험기간은 2012년 3월부터 2012년 7월까지였으며, 시험은 국제공인인증기관인 한국건설생활환경시험연구원에 의뢰 분석하였다. 시험용 시편은 재령28일 자연형 경관석 GFRC 패널 시편(40×40×160mm) 3개씩을 제작, 3반복 측정하여 평균값으로 환산하였다. 유리섬유함유율과 기건비중은 중소기업청표준(KICM-GQ-066), 압축강도와 휨강도의 경우 한국산업표준(KS F 2476)에 의거, 실시하였으며, 2~5%의 유리섬유함유율 시편을 제작하여 시험 후 결과를 도출하였다.

한편, 내구성능인 균열, 내부식성은 표준화된 시험방법이 없으므로 실제 자연형 경관석 GFRC로 기 시공된 대상지 5개소를 선정하여 현장조사를 통해 본 연구에서 제시한 성능 평가기준을 검증하였다(표 1, 그림 1 참조). 사례연구지 조사는 2012년 3월부터 7월까지 5차례 이루어졌으며, 내구성능 중 균열의 경우 균열폭 측정자(W9193, SWISS/Proceq)를 이용하여 시공 대상지별 5지점을 선정하여 1m^{2}당 평균 균열 폭 및 개수를 측정하여 등급을 판단하였다. 내부식성은 시공 대상지별 5지점의 1m^{2}당 부식현상이 발생하는 면적율을 측정하여 평균값으로 환산하였다. 경관성능은 제시된 기준에 의거, 현지조사를 실시하여 질감은 시공 대상지별로 표면 구현 정도에 따라 3등급으로 평가하였으며, 백화의 경우 시공 대상지별 5지점의 1m^{2}당 발생하는 면적율을 평균값으로 환산하여 등급을 판정하였다.

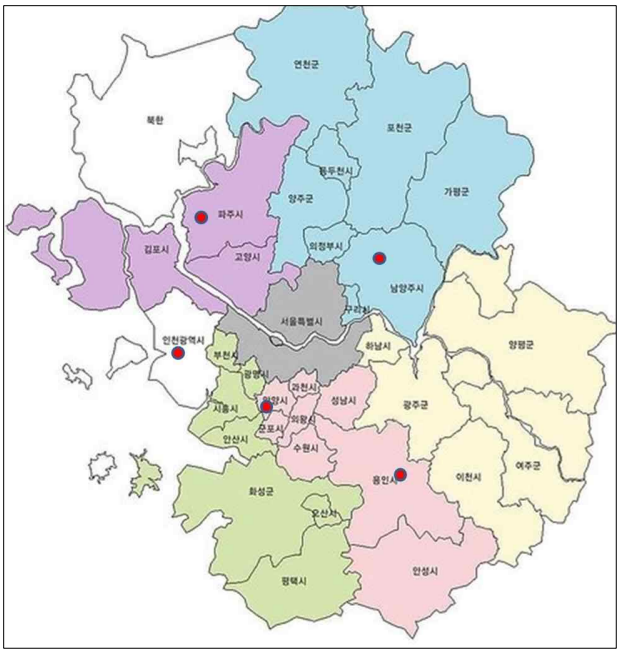


그림 1. 내구 및 경관성능 측정 대상지 위치도

III. 결과 및 고찰

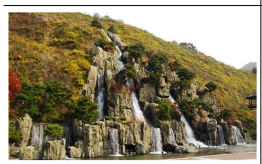
1. 자연형 경관석의 개념 및 특징

1) 자연형 경관석(Natural type landscaping rocks), GFRC (Glass fiber reinforced concrete/cement)

자연형 경관석은 자연석의 질감 및 외형을 나타내는 대체재로서 혼화재, 배합비율 조절, 마감처리, 기타 기술적 방법을 통해 제작되는 시멘트, 콘크리트를 의미한다. 대표적으로 FRP, GRC 및 GFRC 등의 기법이 있고, 점차 다양한 공법들이 개발되고 있으며, 대표적인 자연형 경관석 유형 및 재료 구성은 표 2와 같다.

본 연구의 대상인 자연형 경관석 GFRC(이하 GFRC)는 시멘트 모르타르 또는 콘크리트의 역학적 성질을 개선하기 위해 내알칼리성 폴리머(polymer)인 유리섬유를 혼합하여 만든 일종의 콘크리트로서, 1960년대 영국에서 개발되어 70~80년대 유럽, 미주에서 널리 사용되었으며, 국내에서는 1985년경 독립기념관 건립에 처음으로 사용한 이래 무역센터 전시동 내부벽, 예술의 전당, 올림픽 조형물 등으로 사용되었다. GFRC와 관련된 적용품목으로는 건축 내·외장재 및 인공폭포, 인공암벽 등과 같이 구조재의 마감재 또는 경관적 기능을 구현하는 제품에

표 1. 내구, 경관성능 연구 대상지

안양 ○○ 인공폭포	인천 ○○ 인공폭포	남양주 ○○ 인공폭포	용인 ○○ 인공폭포	파주 ○○ 인공폭포
2006년	2009년	2009년	2011년	2011년
H(높이) : 17m, W(폭) : 40m	H(높이) : 55m, W(폭) : 120m	H(높이) : 17m, W(폭) : 50m	H(높이) : 18m, W(폭) : 50m	H(높이) : 16m, W(폭) : 51m
				

* 각 시공 대상지별 1m×1m, 5개의 지점 측정{균열(크랙), 내부식성, 백화}

표 2. 자연형 경관석 유형 및 재료 구성

구분	재료구성							
Fiber glass Reinforced Plastics (FRP)	폴리에스테르 수지	유리섬유 (E-Glass)	경화제	탈크	안료	-	-	-
Glass fiber Reinforced Cement (GRC)	시멘트	유리섬유 (AR-Glass)	물	모래	안료	감수제	-	-
Glass Fiber Reinforced Concrete (GFRC)	시멘트	유리섬유 (AR-Glass)	물	모래	안료	감수제 (고성능 감수제)	펌프 에이드	폴리머

사용되고 있다.

GFRC는 시멘트와 모래 등을 주원료로 사용하고, 지르코니아(ZrO_2) 15~20%를 함유한 내알칼리 유리섬유(AR-Glass)를 사용하여 중량을 줄이면서도 패널의 강도를 증가시키며, 균열(크랙) 및 이형 등을 완화한 GFRC이다. 즉, 일반 포틀랜드 시멘트가 알칼리성이기 때문에 이를 견딜 수 있는 내알칼리성의 유리섬유인 AR-Glass가 필요하며, 화학성분으로는 ZrO_2, SiO_2, Na_2O 등이 함유되어 역할을 한다. GFRC는 인공폭포 등의 수경시설 시공에도 유용함으로 물에 대한 저항성이 커야 하며, 이 조건을 만족시키는 성분으로는 산화알루미늄(Al_2O_3) 및 지르코니아가 있다. 그러나 산화알루미늄은 FRP에 사용되는 E-Glass로서 내알칼리성을 저하시키므로, 내알칼리성과 내수성을 모두 갖춘 지르코니아가 포함된 AR-Glass가 대표적인 유리섬유로 사용되고 있다.

이와 같이, GFRC는 일반 시멘트/콘크리트의 장점인 내화성, 내구성을 유지하면서도 곡면처리, 요철, 질감 및 색감 등의 조형성을 갖추고 있고, 두께 및 중량의 감소, 휨강도, 압축강도 등 기타 구조안전성능을 보장할 수 있다.

2) 성능의 정의 및 구분

성능기준은 성능 달성 여부를 판단하기 위한 근거로서, 목적물의 요구수준을 설정하는 요구성능항목과 목적물이 목표를 달성했는지에 대한 여부를 가늠하는 성능평가 기준을 포함한다.

(1) 성능 정의

성능(performance)은 기능발휘를 위해 갖추어야 할 목적물의 성질과 특성으로서, 한국산업표준(www.standard.go.kr)에서는 사용에 대한 제품의 반응 특성(KS F ISO 6240, 2011), 사용과 관련된 제품의 특성(KS F ISO 6241, 2011), 아이템의 강도·출력물성 등 요구 기능을 수행하는 수준을 나타내는 척도(KS A 5607, 2006), 목적 요구에 응하여 물건이 발휘하는 능력(日本建築學會耐久性小委員會, 1988)으로 정의하였다.

본 연구에서는 경관효과를 지닌 시설물에 도입 가능하고, 조경분야를 중심으로 제반 건설분야에 폭넓게 적용되는 GFRC를 대상으로 하였으므로 '기능성이 발휘되어야 하는 실내·외에 설치하는 인공적으로 조성된 자연형 경관석 GFRC가 자연암과 유사한 기능발휘를 위해 갖추어야 할 목적물의 성질과 특성'이라고 성능을 정의하였다.

성능 기준은 특별한 성능 수준에서 평가되는 성능에 대한 요구로서 평균치, 최소치, 기대치 등을 의미하며, 성능 달성 여부를 판단하기 위한 근거로서 이러한 성능은 각각의 요구성능 유형별로 설정되며, 통합된 또는 별도의 평가도구에 의해서 성능수준을 평가할 수 있다.

요구 성능은 제품의 성능측면으로 표현한 사용자 요구조건(KS F ISO 6241, 2011)이며, 사용에 대한 추상적 요구수준(김민수, 2007), 제품의 성능으로 표시한 사용자의 요구(CIB, 1975)로 정의하고 있다. 정진용(2009)은 성능측면으로 표현한 사용자의 추상적 요구수준으로 정의하기도 하였다. 본 연구에서는 기존 정의들을 함축하여 사용대상에 대한 성능 요구 수준으로 제시한다.

성능에는 성능계약 등의 추가적인 단계가 포함되나, 본 연구에서는 요구성능과 성능평가에 관련된 범위만을 다루고자 하였다.

(2) 성능 구분

김민수(2007)는 조경분야 성능을 환경성능, 경관성능, 생태성능으로 구분한 바 있고, 김태송(2008)은 건설분야 성능을 재료성능, 내구성능, 구조안전성능, 사용성능 등으로 구분하였으며, 구본학 등(2008)은 인공습지 등 생태복원 분야의 성능을 문화·정서적인 관점의 경관성능, 물과 열, 바람 및 빗물의 저장, 순환, 바람에 의한 열섬효과 등을 다루는 환경부하저감성능, 생물종 다양성을 높이고 최소 에너지를 투입하여 생물서식처 유지 관리를 도모하는 생태성능으로 구분한 바 있다.

콘크리트를 포함한 건축재료, 건물, 조경재료, 조경시설물과 같이 옥외에 시공되는 구조물들은 용도에 따라 요구성능을 필요로 하게 된다. 특히, 건축물의 경우 하중 및 소재에 대한 재료, 구조, 내구성능이 우선적으로 중요하게 고려되는 경향이 있으며, 최근에는 도시경관 개선과 랜드마크 역할을 위한 경관성능 또한 중요하게 고려되고 있는 추세이다.

본 연구에서는 김민수(2007), 김태송(2008)의 성능 구분에 따라서 GFRC의 성능을 종합적으로 판단할 수 있도록 재료성능, 구조안전성능, 내구성능, 경관성능을 각각 선정하였다.

본 연구에서는 물성과 시공후의 성능으로 구분한 범위 내에서 성능 유형을 분류하였다. 재료 자체에 대한 물성(물리적 성질)을 파악하는 성능으로는 재료 및 구조안전성능, 시설물 시공 후 평가가 요구되는 성능으로는 내구 및 경관성능으로 구분하여 분류하였다.

재료성능과 구조안전성능은 시공된 제품의 성능보다는 재료 및 제품 자체의 물리적 성질을 파악하는 것으로, 본 연구에서는 물성에 대한 기준이 필수적인 것으로 판단하여 포함시켰으며, 실제 시험을 통해 검증이 가능하다.

2. 요구성능 항목 및 성능 평가기준 설정

1) 요구성능 항목 설정

본 연구에서는 요구성능의 유형 중 재료성능, 구조안전성능, 내구성능에 대한 예비항목으로는 국내(KS, KICM-GQ-066), 일본(JIS, Nippon GRC), 미국(ASTM, PCI), 유럽(EN, GRCA)의 성능평가 사례 및 제도와 국가 공인 기관(건설교통부;국토해양부, 한국시설안전기술공단;한국시설안전공단 등)의 지침, 기준 등을 분석하여 인용횟수가 많은 순으로 항목을 선정하였으며, 경관성능의 경우 국내(KS F ISO 6241, 2011; 김동희, 2005; 건설교통부, 2003; 김은희와 서치호, 2000; 오도석, 2006; 박종백, 1993; 오명성 등, 2008)와 국외(JIS, 일본(재)건재시험센터)의 사례를 분석하여 가장 많이 인용된 항목을 선정하였다. 분석을 통해 도출된 예비항목은 요구성능별로 4개씩 총 16개의 항목이었으며, 객관성 유지를 위해 전문가 설문을 실시, 성능별로 중요도를 산출하였다(표 3 참조).

전체 요구성능 예비항목의 중요도 평균치는 7.2로 나타났으며, 9개의 항목이 평균치 이상의 값으로 중요하게 인식되고 있었다. 물성에 해당하는 재료성능에서는 유리섬유 함유율(8.8), 기건비중(7.2)항목이 평균치보다 높은 수치를 나타냈으며, 구조안전성능에서는 휨강도(8.8), 압축강도(8.0), 충격강도(7.4)가 평균치보다 높게 나타났다. 시공 후의 성능에 해당하는 내구성능은 균열(9.0), 내부식성(8.4)이 높게 나타났으며, 경관성능에서는 질감(8.2)와 백화(7.2)가 평균치보다 높았다. 본 연구에서는 각 항목의 중요도 평균치를 비교하여 요구성능 유형 중 평균치를 상회하는 상위 2개 항목을 각각 선정하였으며, 구조안전성능의 충격강도는 평균치보다 높은 수치를 나타냈지만, 4개의 성능 유형 중 재료성능, 내구성능, 경관성능에서 2항목씩 각각 평균치 이상으로 도출되어 유형별 항목에 대한 일관성 유지를 위해 상대적으로 휨강도, 압축강도에 비해 수치가 낮은 충격강도는 제외하였다.

즉, 재료성능에서는 유리섬유 함유율과 기건비중, 구조안전성능에서는 휨강도와 압축강도, 내구성능에서는 균열과 내부식성, 경관성능에서는 질감과 백화가 각각 선정되었다(표 3 참조).

2) 성능평가 기준 설정

재료성능인 유리섬유 함유율과 기건비중, 구조안전성능인 휨강도, 압축강도는 GFRC에 적용된 국내·외의 성능 기준 사례를 분석하여 시험을 통해 검증한 후 최종기준을 제시하였다.

유리섬유함유율 기준에 대한 국내·외 사례로는 한국, 일본, 유럽의 기준이 조사되었으며, 한국(KICM-GQ-066)과 일본(Nippon GRC)은 2% 이상~4% 이하의 기준치였으나, 유럽(GRCA)의 경우 5%로 나타나 차이를 보였다. 휨강도에 대한 기존 사례는

표 4. GFRC 성능 평가기준(재료성능, 구조안전성능) 사례

요구성능	요구성능 항목	기존 사례의 성능기준 (draft)		측정방법
		기준치	기준근거	
재료성능	유리섬유 함유율 (%)	2 이상~4 이하	한국(KICM-GQ-066), 일본(Nippon GRC)	시험
		5	유럽(GRCA)	
	기건비중	1.8 이상~2.3 이하	한국(KICM-GQ-066), 일본(Nippon GRC)	시험
		1.8 이상~2.0 이하	유럽(GRCA)	
구조안전성능	휨강도 (Mpa)	10 이상	한국(KICM-GQ-066), 일본(Nippon GRC)	시험
	압축강도 (Mpa)	40~80	일본(Nippon GRC)	시험
		40~60	유럽(GRCA)	

표 3. 요구성능 예비항목 중요도에 대한 전문가 설문 결과

구분		요구성능 예비항목				본 연구항목
재료성능	항목명	기건비중	물흡수 계수	유리섬유 함유율	투수량	1순위: 유리섬유 함유율 2순위: 기건비중
	중요도	7.2	5.0	8.8	6.2	
구조안전성능	항목명	부착강도	압축강도	충격강도	휨강도	1순위: 휨강도 2순위: 압축강도
	중요도	5.0	8.0	7.4	8.8	
내구성능	항목명	균열	누수	내부식성	내충격성	1순위: 균열 2순위: 내부식성
	중요도	9.0	6.0	8.4	7.0	
경관성능	항목명	경관의 훼손 가능성	백화	색채	질감	1순위: 질감 2순위: 백화
	중요도	5.8	7.2	7.0	8.2	

한국과 일본의 기준은 10Mpa 이상, 압축강도에 대한 기존 사례로는 일본의 경우 40~80Mpa, 유럽의 경우 40~60Mpa로 각각 조사되었다(표 4 참조).

기건비중에 대한 기존 사례로는 한국과 일본 모두 1.8 이상~2.3 이하였으나, 유럽은 1.8 이상~2.0 이하로 상대적으로 낮은 범위가 설정되어 있었다(표 4 참조).

본 연구에서는 국내·외 사례 중 한국, 일본, 유럽의 기존 기준사례를 고찰하여 유리섬유 함유율에 대한 GFRC의 휨강도 및 압축강도 측정결과를 도출하여 기존 사례의 기준과 비교를 통해 검증하였다. GFRC의 유리섬유 함유율은 휨강도 및 압축강도에 직접적인 영향을 미치는 가장 핵심적인 항목으로, 한국과 일본의 휨강도 기준치인 10Mpa 이상, 일본과 유럽의 압축강도 기준치인 40~80Mpa, 40~60Mpa을 근거로 유리섬유 함유율에 따른 휨강도 및 압축강도 시험결과와의 비교를 통해 기준치를 제시하였다.

검증시험 결과, 유리섬유 함유율 2%(휨강도 13.5Mpa, 압축강도 46.4Mpa), 3%(휨강도 18.5Mpa, 압축강도 55.9Mpa), 4%(휨강도 28.5Mpa, 압축강도 67.3Mpa), 5%(휨강도 34.0Mpa, 압축강도 77.7Mpa)비율에 따른 평균값들이 측정되었다(표 5 참조).

재료성능의 주요항목인 기건비중 시험 결과, 시편 3개의 측정결과범위는 1.84~1.87로 나타났으며, 평균치로는 1.85로 산출되었다(표 6 참조).

유리섬유 함유율은 2~5% 범위에서 모두 휨강도 10Mpa 이상으로 나타나, 기존 사례에서 제시된 범위를 모두 충족하였지만, 4~5%의 유리섬유 함유율에 대한 휨강도 평균치가 28.5 Mpa, 34.0Mpa로 2~3%에 비해 상대적으로 높은 값을 나타냈다. 이는 기존사례에서의 휨강도 기준치(한국, 일본: 10Mpa 이상)를 크게 상회하고 있어 GFRC보다 큰 지지력을 필요로 하는 구조물에 적합한 것으로 판단되었다. 따라서, 유리섬유 함유율의 최종 기준은 일본(Nippon GRC) 및 국내 기준(KICM-GQ-066)과 유럽기준(GRCA) 기준치 중 본 연구의 시험을 통해 GFRC에 적정한 것으로 검증된 2~3%를 성능 평가 기준으로 제시하였다(표 7 참조).

휨강도의 최종 기준으로는 기존 사례인 한국(KICM-GQ-066)과 일본(Nippon GRC)의 기준에 적합하고, 시험검증을 통해 10Mpa 이상이 휨강도 성능평가 기준으로 제시하였다(표 7 참조). 압축강도의 시험 결과, 일본과 유럽의 기존사례 중 일본 기준인 40~80Mpa 범위를 충족하였지만, 유럽 기준인 40~60Mpa 범위와 비교했을 때 유리섬유 4~5%일 때의 압축강도 평균치가 67.3Mpa, 77.7Mpa로 나타나, 기존 사례 기준보다 상회하여 기존사례인 일본과 유럽의 최소기준을 적용한 40~60Mpa이 성능평가 기준으로 제시하였다(표 7 참조).

기건비중의 시험 결과, 1.84~1.87로 측정되어 유럽기준(GRCA)을 상회하였으나, 국내(KICM-GQ-066) 및 일본 기준(Nippon GRC)에 부합되었으므로 유럽기준 범위가 포함되는 국내 및 일본의 기준 범위인 1.8~2.3이 기건비중의 성능평가 기준으로 제시하였다(표 7 참조).

내구성능인 균열 및 내부식성에 대한 평가 방법은 실제 시공된 대상지에 대한 직접적인 현지 조사를 통해 이루어지며, 유사사례인 철근콘크리트의 판정 기준을 적용하여 제안된 기준에 의해 판정하는 방법으로 시행되었다.

균열은 일본 건설성의 3등급 척도 기준 사례인 외벽에서의 발생양상이 GFRC에서 발생하는 균열의 양상과 유사하며, GFRC

표 5. GFRC 성능평가 기준(구조안전성능) 시험 결과

요구 성능	요구 성능 항목	시험 시편	유리섬유 함유율				평균치 결과 범위
			2%	3%	4%	5%	
구조 안전 성능	휨강도 (Mpa)	Ⅰ	12.4	18.1	29.2	33.1	13.5~34.0
		Ⅱ	13.5	19.4	28.0	34.8	
		Ⅲ	14.6	17.9	28.3	34.2	
		평균치	13.5*	18.5*	28.5*	34.0*	
	압축 강도 (Mpa)	Ⅰ	44.2	56.3	66.2	77.6	46.4~77.7
		Ⅱ	46.4	53.5	68.4	77.2	
		Ⅲ	48.6	57.8	67.2	78.3	
		평균치	46.4*	55.9*	67.3*	77.7*	

※ 시험: KS F 2476에 의거, 실시
*: 각 시험 시편 3개(40×40×160mm)에 대한 평균치(한국건설생활환경시험연구원, KCL)

표 6 . GFRC 성능평가 기준(기건비중) 시험 결과

요구 성능	요구성능 항목	시험 시편		측정결과 범위
재료 성능	기건비중	Ⅰ	1.84	1.84~1.87
		Ⅱ	1.84	
		Ⅲ	1.87	
		평균치	1.85*	

※ 시험: KICM-GQ-066에 의거, 실시
*: 각 시험 시편 3개(40×40×160mm)에 대한 평균치(한국건설생활환경시험연구원, KCL)

표 7 . GFRC 성능 평가기준(재료성능, 구조안전성능) 설정

요구 성능	요구성능 항목	최종 제안 성능 평가기준 (final)		측정 방법
		기준치	평가방법	
재료 성능	유리섬유 함유율 (%)	2~3	KICM-GQ-066, KS F 2476	시험
	기건비중	1.8~2.3	KICM-GQ-066	시험
구조 안전 성능	휨강도 (Mpa)	10 이상	KS F 2476	시험
	압축강도 (Mpa)	40~60	KS F 2476	시험

표 8. GFRC 성능 평가기준(내구성능) 설정

요구성능	요구성능 항목	기존 사례의 성능기준 (draft)		최종 제안 성능 평가기준 (final)		측정방법
		기준치	기준근거	기준치	평가방법	
내구성능	균열(mm) (겉모양) -갈라짐	A: 0.3mm 이하 B: 0.3~0.5mm 미만 C: 0.5mm 이상	일본 건설성 (철근콘크리트)	A. 미약: 표면이 자연스러움(0.3mm 미만 3개 이하)* B. 보통: 부분적으로 미세하게 발생(0.3mm 5개 미만/0.5mm 3개 미만)** C. 심함: 전반적으로 발생(0.3mm 5개 이상/0.5mm 3개 이상)***	균열 발생 폭에 따라 평가	현지 측정 (등급화)
	내부식성(%) (겉모양)-휨, 패임, 기포, 꺼짐 (부식면적율)	Ⅰ: 0(부식 없음) Ⅱ: 1(0~5%) Ⅲ: 2(6~10%) Ⅳ: 4(11~20% 이하) Ⅴ: 6(20% 초과)	일본건축학회 (철근콘크리트)	A. 강함: 표면에 대한 변화가 거의 없는 상태(5% 미만) B. 보통: 부분적으로 기포 및 표면이 떨어진 상태(5~20% 미만) C. 약함: 반적으로 표면이 떨어지며 부식한 상태(20% 이상)	부식 여부를 면적 비율에 따라 평가	현지 측정 (등급화)

* : 0.5mm 미만은 미약에 해당되지 않음
** : 0.3mm 미만이 다수 존재하여도 보통에 해당함
***: 0.3mm 미만은 심함에 해당되지 않음

의 전체 및 부분적인 발생이 관찰되므로 본 연구에서는 균열 발생폭에 따라 크게 3등급으로 나누었으며, 표면의 상태 정도에 따른 세부적인 기준을 제시하였다(표 8 참조).

내부식성의 경우, 일본 건축학회의 5등급 척도를 바탕으로 부식면적 비율에 따라 3등급으로 축약하여 제시하였다. 기존 사례에서 제시하는 기준 내용 중 철근콘크리트에 해당하는 점녹에 대한 부분은 GFRC와 연관성이 없기 때문에 제외하였고, 기존 사례의 면적비율을 수정, 적용하였다(표 8 참조).

경관성능의 경우, 선정된 두 항목 중 백화는 기존 평가사례가 존재하여 본 연구에 적용하였는데, 건설교통부(2003)의 안전점검 및 정밀안전진단세부지침에서 제시한 누수 및 백태에 관한 평가지침의 경우 5등급으로 구분하여 평가하였으나, 본 연구에서는 평가의 용이성을 고려하여 기준이 중복되지 않는 범위 내에서 3등급으로 비율을 수정 제시하였다(표 9 참조).

질감의 경우, 항목 인용사례는 존재하였으나, 관련기준이 존재하지 않아 GFRC 제조 방법에 따른 표면 구현화 정도에 따

표 9. GFRC 성능 평가기준(경관성능) 설정

요구성능	요구성능 항목	기존 사례의 성능기준 (draft)		최종 제안 성능 평가기준 (final)		측정방법
경관성능	백화	기존 평가	표면의 누수 및 백태발생 정도에 따라 5등급으로 구분 a. 누수 및 백태 발생 없음 b. 누수부위가 건조한 상태의 경미한 누수흔적이 있거나, 백태 발생 면적율 5% 미만 c. 누수부위가 습윤한 상태의 현저한 누수흔적이 있거나, 백태 발생 면적율 5~10% 미만 d. 누수의 진행이 관찰가능하거나, 백태발생 면적율 10~20% 미만 e. 누수의 진행이 확연하거나, 백태발생 면적율 20% 이상	제안 평가	백화가 일어나는 재료 표면의 면적 및 상태에 따라 구분 A. 미약; 표면이 자연스러움(5% 미만) B. 보통: 표면에 미세한 백화 부분 발생(5~20% 미만) C. 심함: 표면에 전반적인 백화 발생(20% 이상)	현지 측정 (등급화)
		기준 근거	안전점검 및 정밀안전진단세부지침 (건설교통부, 2003)	제안 근거	건설교통부 사례에서 제시된 5단계 척도를 바탕으로 평가의 용이성을 고려하여 기준이 누락되지 않은 범위 내에서 3단계 척도로 축소하여 기준 제시	
	질감	기존 평가	(질감 관련 기준이 존재하지 않음)	제안 평가	자연형 경관석 GFRC 제조 방법에 따른 표면구현정도를 등급화 A. 자연스러운 질감: 자연스러운 표면 연출(기존 자연암 위에 실리콘 몰드를 떠서, 그 위에 성형 제작한 패널 기준) B. 보통 질감: 자연스러운 표면 연출이 약하나, 인공적이지는 않음(기존 자연암 모델을 조각하여 실리콘 몰드 작업 후 그 위에 제작한 패널 기준) C. 인공적인 질감: 부자연스러운 표면 연출(숏크리트 뿜칠 후 조각하여 그 위에 디테일하게 제작한 패널 기준)	현지 측정 (등급화)
		기준 근거		제안 근거	GFRC 제조 방법에 따른 표면 구현화 정도에 따라 3등급으로 구분하는 새로운 기준을 제시	

라 3등급으로 구분하는 새로운 기준을 제시하였다. 예로써, 자연암 위에 바로 모형을 본떠 제조하는 방법, 기존 자연암 모델을 조각하여 본뜨는 방법, 숏크리트 처리 후 조각하여 모형을 제작하는 방법 등 3가지로 구분할 수 있다. 첫 번째 방법의 경우, 자연암을 현장에서 그대로 본떠 질감을 표현하는 방법이므로 가장 자연스럽게 표면구현이 가능하다. 이를 바탕으로 질감에 대한 성능평가 기준 등급을 제시하였다(표 9 참조).

3. 시공 대상지 현장 검증시험

내구성능인 균열, 내부식성에 대한 평가 방법은 시험에 의한 방법이 아닌 실제 시공 대상지에 대한 현지 조사를 통해 GFRC 표면을 측정하였으며, 유사사례인 철근콘크리트의 판정 기준을 적용하여 제안된 기준에 따라 평가하는 방법으로 시행되었다. 균열의 경우, GFRC 및 건축물, 건축소재에서 일반적으로 발생하는 대표적인 현상으로서 발생 폭에 따라 A, B, C로 등급을 분류한 일본(건설성)기준에 준하여, 본 연구에서 제시한 평가기준에 따라 5개소의 각 시공 대상지 외벽부분 5개의 지점($1m^2$당)에 대한 현지 조사 측정 결과, 균열 발생 폭의 평균값은 4개소에서 0.3mm 미만 1~2개로 나타나 미약으로, 1개소는 0.4mm 3개로 나타나 보통으로 평가되었다(표 10 참조).

내부식성의 경우, 일본(건축학회) 기준을 바탕으로 본 연구에서 제시된 기준에 따른 대상지의 부식 발생 5개의 지점에 대한 측정 결과, 4개소에서 5% 미만으로 나타나 강함으로 판정되었고, 1개소에서 11%로 나타나 보통으로 평가되었다(표 10 참조).

경관성능의 경우, 내구성능과 유사한 평가방법으로 각 대상지별 5개 지점에 대하여 기준에 준한 조사를 진행하였다. 질감의 경우, 표면구현의 자연스러움을 기준으로 3등급으로 평가되며, 대상지 중 2개소는 자연스러운 질감, 3개소는 보통 질감으로 각각 판정되었다.

백화의 경우, 안양에 위치한 대상지만이 발생면적 14%를 기록하여 보통에 해당하였으며, 나머지 4개소는 면적율 5% 미만을 나타내어 미약에 해당하였다(표 10 참조).

Ⅳ. 결론

본 연구에서는 자연형 경관석 GFRC에 대한 성능기준을 설정하기 위해 국내·외 제도, 문헌, 기준, 관련 사례 등의 고찰을 통해 재료성능, 구조안전성능, 내구성능, 경관성능으로 요구성능을 구분하였으며, 각 요구성능별 항목 및 성능평가 기준을 제시하였고, 요구성능별 항목은 관련 분야 전문가를 대상으로 설문을 실시하여 항목의 중요도에 따라 도출하였다.

제시된 성능평가에 대한 검증을 위해 시험 및 현장 측정을 실시하였으며, 시험 측정이 가능한 재료성능과 구조안전성능은 공인기관 시험 의뢰에 의한 방법으로 검증하였고, 시험 측정이 가능하지 못한 내구성능과 경관성능은 기 시공 대상지 5개소에 대하여 직접적인 현장 측정을 실시하였다.

전문가 설문 및 시험 결과를 반영하여 국내에 적용 가능한 자연형 경관석 GFRC의 성능기준(요구성능 항목 및 성능평가 기준 방법)을 다음과 같이 최종 제시하였다.

1. 요구 성능 중 재료성능은 유리섬유 함유율 및 기건비중, 구조안전성능은 휨강도, 압축강도 그리고 내구성능은 균열, 내부식성, 경관성능은 질감, 백화를 각각 선정하였다.

2. 재료성능은 공인기관 시험에 의해 측정되며, 성능평가 기

표 10. GFRC 성능평가 기준(내구성능, 경관성능) 시험 결과

요구성능	요구성능 항목	시공 대상지					평균치 범위	최종 제안 기준치
		안양 ○○ 인공폭포	인천 ○○ 인공폭포	남양주 ○○ 인공폭포	용인 ○○ 인공폭포	파주 ○○ 인공폭포		
내구성능	균열* (mm)	0.42 (3개)	0.18 (1개)	0.25 (2개)	0.23 (2개)	0.24 (2개)	0.18~0.42 (1~3개)	A. 미약: 0.3mm 미만 3개 이하
								B. 보통: 0.3mm 5개 미만/0.5mm 3개 미만
								C. 심함: 0.3mm 5개 이상/0.5mm 3개 이상
	내부식성*	11%	3%	4%	3%	3%	3~17%	A. 강함: 5% 미만
								B. 보통: 5~20% 미만
								C. 약함: 20% 이상
경관성능	질감	A	A	B	B	B	A~B	A. 자연스러운 질감: 자연스러운 표면 연출
								B. 보통 질감: 자연스러운 표면 연출이 약하나, 인공적이지는 않음
								C. 인공적인 질감: 부자연스러운 표면 연출
	백화*	14%	4%	3%	2%	2%	2~14%	A. 미약: 5% 미만
								B. 보통: 5~20% 미만
								C. 심함: 20% 이상

*: 5개소의 각 시공 대상지 외벽부분 5개 지점($1m^2$당)에 대한 평균치

준으로서 유리섬유 함유율은 2~3%, 기건비중은 1.8~2.3으로 각각 제시하였다.

3. 구조안전성능은 공인기관 시험에 의해 측정되며, 성능평가 기준으로서 휨강도는 10Mpa 이상, 압축강도는 40~60Mpa로 각각 제시하였다.

4. 내구성능은 현장 조사에 의해 측정되며, 균열은 발생 폭에 따라 'A. 미약: 표면이 자연스러움(0.3mm 미만 3개 이하)', 'B. 보통: 부분적으로 미세하게 발생(0.3mm 5개 미만/0.5mm 3개 미만)', 'C. 심함: 전반적으로 발생(0.3mm 5개 이상/0.5mm 3개 이상)'으로, 내부식성은 부식 면적 비에 따라 'A. 강함: 표면에 대한 변화가 거의 없는 상태(5% 미만)', 'B. 보통: 부분적으로 기포 및 표면이 떨어진 상태(5~20% 미만)', 'C. 약함:전반적으로 표면이 떨어지며 부식한 상태(20% 이상)'으로 각각 제시하였다.

5. 경관성능은 현장조사에 의해 측정되며, 백화는 발생 면적율에 따라 A. 미약: 표면이 자연스러움(5% 미만), B. 보통: 표면에 미세한 백화 부분 발생(5~20% 미만), C. 심함: 표면에 전반적인 백화 발생(20% 이상)으로 제시하였다. 질감의 경우, 표면구현정도에 따라 A. 자연스러운 질감: 자연스러운 표면 연출, B. 보통 질감: 자연스러운 표면 연출이 약하나, 인공적이지는 않음 C. 인공적인 질감: 부자연스러운 표면 연출로 각각 제시하였다.

본 연구에서는 전문가설문, 시험, 현장조사를 통해 재료성능, 구조안전성능, 내구성능, 경관성능 등 자연형 경관석 GFRC의 재료 및 시각에 의해 판단 가능한 항목과 성능기준에 대한 객관성 및 타당성을 검증하였지만, 추후 시공사례에 대한 지속적인 모니터링을 통해 최근에 대두되고 있는 친환경적이고 생태적인 성능기준 등은 후속연구를 통해 밝혀야 할 것이다. 또한, 성능기준이외에도 성능규정화, 성능계약, 성능발주 등과 같은 기반 제도의 도입이 필요할 것이다.

인용문헌

1, 건설교통부(2003) 안전점검 및 정밀안전진단세부지침.
2. 구본학, 김민수, 이상석, 김성용(2008) 성능중심의 건설기술기준 작성지침. pp. 8-10. 건설기술연구원.
3. 구본학, 정진용, 박미옥(2011) 표준습지 분석을 통한 대체습지의 생태성능 기준 개발. 한국환경복원기술학회지 14(1): 11-22.
4. 국토해양부(2009) 도로비탈면 녹화공사의 설계 및 시공 지침.
5. 김동희(2005) 철근콘크리트 건축물의 구조안전성능평가기법에 관한 연구. 서울과학기술대학교 대학원 석사학위논문.
6. 김민수(2007) 조경분야 성능중심의 건설기술기준 개발방안. 한국조경학회 2007년도 추계학술대회 논문집. pp. 24-30. 한국조경학회.
7. 김은희, 서치호(2008) 공동주택 실내마감재료의 선정을 위한 재료별 요구 성능 기준의 현황에 관한 연구. 디자인학연구 21(4): 59-70.
8. 김태송(2008) 건설공사 성능보증계약제도 도입방안 연구. 중앙대학교 대학원 박사학위논문.
9. 김홍도(2011) 기존 건축물의 구조적 성능 평가를 통한 내진보강(Seismic Rrtrofit)에 대한 연구. 경북대학교 대학원 석사학위논문.
10. 나상훈(2002) 경관평가방법에 관한 연구. 서강정보대학 논문집 21: 197-208.
11. 노태임(2008) 성능중심 건축기준 적용 방안에 관한 기초적 연구. 건국대학교 대학원 석사학위논문.
12. 박종백(1993) 컴퓨터를 이용한 건축재료의 질감표현방법에 관한 연구. 경북대학교 대학원 석사학위논문.
13. 양병이(1985) 경관평가방법에 관한 연구. 자연경관평가를 중심으로. 환경논총 16: 109-130.
14. 이상락, 김세천(2002) 경관성능평가방법에 관한 연구. 한국디자인학회지. 46: 132-133.
15. 오도석(2006) 건축공간을 구성하는 표면요소의 평가에 관한 연구. 충남대학교 대학원 박사학위논문.
16. 오명성, 조현주, 이현택, 나정화(2008). 경관영향평가 항목선정을 위한 타당성 평가. 경북대농학지 26: 7-15.
17 오상근, 곽규성, 선윤숙, 권시원(2007) 옥상 및 인공지반녹화용 방근재의 성능기준 설정을 위한 방근성 시험방법에 관한 연구. 한국건축시공학회지 7(1): 79-84.
18. 정진용(2009) 습지의 생태성능기준 개발. 상명대학교 대학원 박사학위논문.
19. 한국건설기술연구원(2007) 성능중심의 건설기술기준 개발 기본계획 수립 -기본계획 수립 및 성능기준 작성지침개발- 연구보고서. 건설교통부: 한국건설교통기술평가원.
20. 한국산업표준(2011) KS 건축물의 성능 표준-내용 및 표기. KS F ISO 6240: 2011.
21. 한국산업표준(2011) KS 건축물의 성능 표준-작성 원칙 및 고려사항.KS F ISO 6241: 2011.
22. 한국산업표준(2006) KS 성능열화특성에 의한 신뢰성 보증. KS A 5607: 2006.
23. 한승호(2007) 조경용 투수 포장의 환경성능 평가기법 연구. 서울대학교 대학원 박사학위논문.
24. CIB(1975) The performance concept and its terminology. CIB Report No. 32.
25. 日本建築學會耐久性小委員會(1988) 建築物の耐久計劃に關する考え方.
26. http://www.iso.org
27. http://www.pci.org
28. http://www.standard.go.kr

원 고 접 수 일: 2012년 8월 2일
심 사 일: 2012년 9월 18일(1차)
게 재 확 정 일: 2012년 10월 15일
3인익명 심사필