

유리섬유강화 자연형 인조암의 경관 및 환경부하저감능 기준 연구

윤복모* · 구분학**

*상명대학교 대학원 환경자원학과 · **상명대학교 환경조경학과

I. 서론

소득증대 및 문화생활에 대한 관심이 증가함에 따라 야외공간에 인조암을 활용한 폭포, 벽천과 같은 경관시설물이 도입되고 있으며, 지역을 대표할 수 있는 특화 공간 및 휴식공간의 다양한 역할로 이미지를 제고하고 있다.

그러나, 자연석 고갈로 인해 자연석에 가까운 질감을 지닌 자연형 인조암과 같은 대체소재 및 효과적인 시공 개발이 요구되고 있다.

자연형 인조암은 자연석 대체재로서 활용도가 높아짐에도 불구하고, 현재까지 명확한 성능기준이 정립되지 않은 상황이다. 이에 따라 제품의 품질 저하, 부실시공, 하자율 증가 등이 발생하고 있으며, 경관적인 측면의 문제점이 증가하고 있는 추세이다.

이런 이유로 인조암의 활용성이 높은 조경분야를 비롯한 건설산업 분야에서 성능기준에 관한 연구는 필수적인 것으로 인식되고 있으나, 재료의 물성 및 내구성(건설교통부, 2004; Marikunte *et al.*, 1997; Butler *et al.*, 2010; Eren, 2002)에 주로 국한되어 있고, 조경분야의 경우 습지(정진용, 2009; 구분학 등, 2011) 등 극히 일부 대상에 한하여 생태성능 중심으로 도입되고 있으며, 경관성능, 환경부하저감성능과 관련된 연구는 거의 전무한 상태이다.

본 연구에서는 최근에 필요성이 대두되고 있는 경관 및 환경부하저감성능을 중심으로 자연형 인조암의 성능평가기준 설정 및 성능평가를 실시함으로써 건설산업 전 분야의 설계기준 및 표준시방서에 적용이 가능하며, 성능 지침 수립을 위한 기초자료로 활용하고자 한다.

II. 재료 및 연구방법

1. 대상지 선정

본 연구의 대상인 요구성능은 시험 및 시공대상지의 현장조사가 필수적이므로 경관성능의 경우 자연형 인조암 GFRC로 시공된 수도권권의 인공폭포를 대상으로 시공면적 1,000m² 이상의

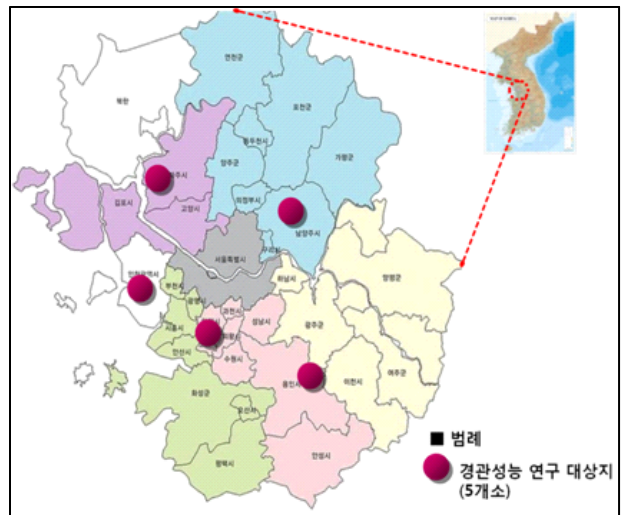


그림 1. 경관성능 연구 대상지

규모 및 2006년 KICM-GQ-066 인증 획득 이후 시공된 인공폭포를 고려하여 대상지 5개소(안양 B 인공폭포, 인천 S 인공폭포, 남양주 J 인공폭포, 용인 B 인공폭포, 파주 D 인공폭포)를 선정하였다.

2. 연구방법

1) 전문가설문

국내·외의 성능기준 사례 및 제도와 국가 공인 기관의 지침 등을 분석하여 총 8개의 예비항목을 선정하였다. 8개 예비항목을 대상으로 40명의 관련 전문가(교수, 박사, 기술사 등) 설문을 통해 중요도 평가결과에 따라 총 6개의 요구 성능 항목을 선정하였다.

2) 성능평가기준 개발

성능평가기준은 공인된 국가 기관인 건설교통부(2003), 서울특별시(2008), 경기도시공사(2008) 등의 지침과 관련 법, 일본 토목학회(2005), 일본(Nippon GRC), 학술논문, 보고서에서 제시된 시험방법 및 평가기준들을 검토하였으며, 본 연구에서는

항목별로 동일 혹은 부분 수정을 통해 적용, 기준을 제시하였다. 제시된 기준은 설문문을 통해 타당성을 검증하였다.

3) 성능평가

경관성능은 질감, 변색, 색채가 선정되었으며, 요구성능 항목별로 개발된 기준에 의거, 현장조사를 실시하였다. 조사기간은 예비조사를 포함하여 2011년 10월부터 2012년 10월에 걸쳐 실시하였다.

환경부하저감성능 CO₂ 저감율의 경우 기존 보통 시멘트제품과 고로슬래그 제품의 제조과정에서 발생하는 CO₂ 배출량을 측정하였다.

재료 재활용률의 경우 폐기되어 분쇄된 자연형 인조암을 미분말로 재활용하여 기존 소재의 재료인 세골재를 0~60% 범위로 치환하였다.

수질의 경우 본 연구대상의 주재료인 GFRC(보통시멘트)와 GRS(고로슬래그)를 대상으로 시험을 실시하였다. 시험 방법은 김재근 등(2004)에 따랐다.

성능기준의 경우 평가의 민감도, 평가의 용이성 등을 고려하여 항목별 3등급으로 설정, 제안하였다.

III. 결과 및 고찰

각 요구성능별 예비항목으로 선정된 4개의 항목 중 전문가 설문문을 통해 도출된 3개의 항목을 대상으로 기존 사례 및 국가기관 등의 지침 등에 의거, 기준을 설정하였으며, 기준에 대한 타당성은 추가설문에 의해 검증하였다. 또한, 기준에 따른 현장조사를 통한 성능평가를 실시하였다.

1. 경관성능의 성능기준 및 성능평가

표 1. 경관 성능 기준 및 평가 결과

요구 성능	요구 성능항목	측정 결과					평균치 범위	성능평가 기준
		안양 B 인공폭포	인천 S 인공폭포	남양주 J 인공폭포	용인 B 인공폭포	파주 D 인공폭포		
경관 성능	질감	A	A	B	B	B	A~B	A. 자연스러운 질감 B. 보통 질감 C. 인공적인 질감
		자연스러운 질감	자연스러운 질감	보통 질감	보통 질감	보통 질감		
	변색 (%)	14%	4%	3%	2%	2%	2~14%	A. 미약: 5% 미만 B. 보통: 5~20% 미만 C. 심함: 20% 이상
		B(보통)	A(미약)	A(미약)	A(미약)	A(미약)		
	색채	C	A	B	A	A	A~C	A. 유사함 : 색상 ±1 이하, 명도 ±1 이하, 채도 ±1 이하 B. 보통 : 색상 ±2 이하, 명도 ±2 이하, 채도 ±2 이하 C. 유사하지 않음 : 색상 ±3 이상, 명도 ±3 이상, 채도 ±3 이상
		유사하지 않음	유사함	보통	유사함	유사함		

질감의 경우 대상지 중 2개소(안양 B 인공폭포, 인천 S 인공폭포)는 기준 자연석에 비해 전반적으로 자연스러운 표면연출이 확인되어 A. 자연스러운 질감으로 각각 판정되었다. 또한, 3개소(남양주 J 인공폭포, 용인 B 인공폭포, 파주 D 인공폭포)는 기준 자연석에 비해 전반적으로 자연스러운 표면 연출이 미흡하나, 인공적이지는 않음에 해당하여 B. 보통 질감으로 평가되었다(표 1 참조).

변색의 경우 안양 B 인공폭포에서 발생면적 비율은 평균 14%로 측정되어 기준범위 5~20% 미만에 해당하였으며, B. 보통으로 평가되었다. 그 외 4개소(인천 S 인공폭포, 남양주 J 인공폭포, 파주 D 인공폭포, 용인 B 인공폭포)는 국지적으로 일부분에 발생하였으며, 면적비율이 평균 2~14%를 나타내어 기준범위 5% 미만에 해당하여 A. 미약으로 평가되었다(표 1 참조).

색채의 경우 구현화 정도에 따라 멘셀 표색계를 응용하여 평가를 실시하였다.

조사대상지 중 3개소(인천 S 인공폭포, 용인 B 인공폭포, 파주 D 인공폭포)는 색상, 명도, 채도의 3속성에서 모두 ±1이하에 해당하여 자연석과 유사함 등급인 A. 유사함으로 평가되었다. 남양주 A 인공폭포의 경우 색상, 명도, 채도의 3속성에서 ±2 이하에 해당하며, 원색과 가까우나 부분적으로 이질적인 색이 나타나는 B. 보통으로 평가되었다. 안양 B 인공폭포의 경우 색상, 명도, 채도의 3속성에서 ±3 이상으로 조사되어 자연석과 이질적인 색이 나타나는 C. 유사하지 않음으로 평가되었다(표 1 참조).

2. 환경부하저감의 성능기준 및 성능평가

CO₂ 저감율의 경우 시멘트 및 고로슬래그를 이용한 제품 제조시 발생하는 CO₂ 저감율을 산출하기 위하여 측정을 실시하였다. 측정 결과, 일반 시멘트제품(GFRC)의 경우 CO₂ 배출량은 0.879

~0.903(kg-CO₂/kg)의 범위를 나타냈으며, 평균값은 0.880(kg-CO₂/kg)으로 산출되었다. 고로슬래그 제품(GRS)의 CO₂ 배출량은 0.393~0.477(kg-CO₂/kg)의 범위를 나타냈으며, 평균값은 0.420(kg-CO₂/kg)으로 산출되었다.

두 제품의 CO₂ 배출량에 따른 저감율을 비교했을 때, 일반시멘트 제품에 대한 고로슬래그 제품의 CO₂ 저감 비율은 평균 47.73%로 산출되어 본 기준에서는 보통에 해당하였다(표 2 참조).

재료 재활용률은 폐기 시기인 자연형 인조암 GFRC 패널을 미분말 처리하여 제시된 기준에 의거, 치환비율에 따라 시편을 제작하여 휨강도 변화를 측정하였다.

선정 기준에 의거, 폐기 전 휨강도가 10MPa 이상이 측정되는 시편을 대상으로 시험을 실시하였다. 치환비율에 따른 시험결과, 0%(11MPa), 20%(15MPa), 40%(17MPa), 60%(20MPa)를 기록하였다. 즉, 치환 후 측정범위 0~60% 사이에서 모두 10MPa 이상을 기록하였다. 본 연구에서는 재생미분말 치환비율을 60%까지 활용하여 측정시험을 실시하였으므로 A. 좋음으로 평가되었다(표 3 참조).

수질은 GFRC와 GRS를 대상으로 2L 증류수에 1/5부에 해당하는 시편을 제작하여 물에 투입, 수질을 측정하였다. 측정대상 항목 중 수소이온농도(pH)는 GFRC의 경우 평균 pH 7.2로 나타나 본 연구에서 제시한 기준 범위 pH 6.5~8.5 내에 해당, 등급은 A. 좋음으로 판정되었다. GRS의 경우 평균 pH 7.5를 기록하여 역시 A. 좋음에 해당하였다.

용존산소량(DO)은 GFRC의 경우 평균 5.3mg/l를 기록하여

표 2. 환경부하저감성능 기준 및 평가 결과 (CO₂ 저감율)

요구 성능	요구 성능 항목	시험시편	시험 결과		성능평가 기준
			GFRC	GRS	
환경 부하 저감 성능	CO ₂ 저감율	I	0.879	0.477	A. 좋음: 60~80% 이상
		II	0.903	0.393	
		III	0.886	0.416	B. 보통: 30~60% 미만
		평균값*	0.880	0.420	
CO ₂ 저감율	47.73% (B. 보통)		C. 나쁨: 0~30% 미만		

*: 각 시험 시편 3개(I, II, III)에 대한 평균치

표 3. 환경부하저감성능 기준 및 평가 결과 (재료재활용률)

요구 성능	요구 성능 항목	치환비율 (%)	휨강도(MPa) 시험 결과	성능평가 기준
환경 부하 저감 성능	재료 재활용률 (재활용 미분말 치환율)	0	11	A. 좋음: 치환율 40~60%
		20	15	
		40	17	B. 보통: 치환율 20~40% 미만
		60	20	
		등급	A. 좋음 (0~60%)	

표 4. 환경부하저감성능 기준 및 평가 결과 (수질 및 토양)

요구 성능	요구 성능 항목	측정 항목	측정결과		성능평가 기준
			GFRC	GRS	
환경 부하 저감 성능	수질 (pH, DO, SS)	pH	7.2	7.5	A. 좋음: pH 6.5~8.5, DO 5.0mg/l 이상, SS 5mg/l 이하 B. 보통: pH 6.5~8.5, DO 5.0mg/l 이상, SS 15mg/l 이하 C. 나쁨: pH 6.0~8.5, DO 2.0mg/l 이상, SS 30mg/l 이하
		DO (mg/l)	5.3	5.6	
		SS (mg/l)	4.4	4.8	
		등급	A. 좋음	A. 좋음	

A. 좋음에 해당하였으며, GRS의 경우 평균 5.6mg/l를 나타내어 역시 A. 좋음에 해당하였다.

부유물질(SS)은 GFRC의 경우 평균 4.4mg/l를 기록하여 A. 좋음에 해당하였으며, GRS의 경우 평균 4.8mg/l를 나타내어 역시 A. 좋음에 해당하였다.

결과적으로, GFRC와 GRS는 3가지 측정항목에서 모두 등급 A. 좋음에 해당하여 수질 및 토양 항목에서는 양호한 것으로 파악되었다(표 4 참조).

IV. 결론

본 연구는 품질인증 등을 통해 공인된 자연형 인조암에 대한 경관성능 및 환경부하저감성능의 기준 설정 및 평가를 실시함으로써 건설산업 전반에 적용할 수 있는 성능기준을 정립하고자 하였다.

국내·외 제도, 문헌, 기준, 관련 사례 등을 고찰하여 8개 예비 항목을 선정하고, 관련 분야 전문가를 대상으로 설문을 실시하여 6개 항목을 설정하였다. 경관성능에 해당하는 항목으로는 질감, 변색, 색채였으며, 환경부하저감성능은 CO₂ 저감율, 재료 재활용률, 수질이였다.

선정 항목에 대해 국내외의 사례 및 국가기준 등을 검토하여 각각의 기준을 설정하였으며 평가의 용이성 등을 고려하여 3등급으로 제안하였다. 또한 기준에 대한 전문가설문을 통해 타당성 여부를 검증하였다. 기준에 대한 실제 대상지의 현장조사 및 시험을 통해 평가를 실시하였다.

추후, 지속적인 시험 및 모니터링을 실시하여 객관적인 데이터 확보가 필수적이며 자연형 인조암을 활용한 시공물의 효율적이고 체계적인 관리를 위한 추가적인 성능연구가 요구된다.

참고문헌

1. 건설교통부(2003) 안전점검 및 정밀안전진단 세부지침.
2. 건설교통부(2004) 콘크리트표준시방서 내구성편.
3. 경기도시공사(2008) 광고신도시 색채가이드라인.

4. 구분학, 정진용, 박미옥(2011) 표준습지 분석을 통한 대체습지의 생태 성능 기준 개발. 한국환경복원기술학회지 14(1): 11-22.
5. 국토해양부(2009) 도로비탈면 녹화공사의 설계 및 시공 지침.
6. 김재근, 박정호, 최병진, 심재한, 권기진, 이보아, 이양우, 주은정(2004) 생태조사방법론. 보문당.
7. 서울특별시(2008) 서울색 정립 및 체계화.
8. 정진용(2009) 습지의 생태성능기준 개발. 상명대학교 대학원 박사학위 논문.
9. Butler, M., V. Mechtcherine, and S. Hempel(2010) Durability of textile reinforced concrete made with AR-glass fibre: effect of the matrix composition. *Materials and Structures* 43: 1351-1368.
10. Eren, Ö(2002) Strength development of concretes with ordinary Portland cement, slag or fly ash cured at different temperatures. *Materials and Structures* 35: 536-540.
11. Marikunte, S., C. Aldea, and S. P. Shah(1997) Durability of glass fiber reinforced cement composites: Effect of silica fume and metakaolin. *Advn. Cem. Bas. Mat.* 5: 100-108.
12. 日本土木學會(2005) 콘크리트構造物의 環境性能照査指針(試案). pp. 48-52.