

成形 콘크리트 複層마감塗裝 工法 改善에 關한 研究

A Study on the Improvement of Multi-Layer Coating Method on Concrete Base

김 종 원* 최 인 성**
Kim, Chong-Weon Choi, In-Sung

Abstract

The Precast Concrete(PC) method was developed for a large production of a structure in Europe. Afterwards, this PC method has been applied to a structure and an outside Coating of buildings extensively. The outside Coating of the building applied this PC method is a method to put tiles or stones to base concrete. And there is a method to use paints for, so the expression of various patterns is possible. The Multi-Layer Coating is one of the methods to use paints.

This Multi-Layer Coating method can show various designs of external appearance with Foam when it is made with the PC panel. Also, the paint film of the PC panel enables a splendid appearance, and a protective function of concrete is possible, too.

Therefore, it makes good durability of the PC. Besides, maintenance is easy to manage because it is free from pollution when it uses metallic materials, stones, or any other materials. You might have no trouble in applying the Multi-Layer Coating method in order to save a merit of an outside Coating on the PC panel. However, the Multi-Layer Coating method used as a current outside Coating method has pollution and bad working environment because Oil Epoxy Resins have toxicity and flammability.

Therefore, a lot of warnings are required for coating work in order to have appropriate quality because working hours are short, and production efficiency is low too. These reasons make the cost of construction of the Multi-Layer Coating method increase. And employers or designers may have problems in selecting this Multi-Layer Coating method.

Therefore, the purpose of this study is to get activation of the Multi-Layer Coating method by offering improvement measures about the problems of the existing Multi-Layer Coating method.

키워드 : 도장공법,복층마감도장, 성형콘크리트, 에폭시 수지

Keywords : Coating method, Multi-Layer coating, Precast concrete, Epoxy Emulsion resins & Oil Epoxy resins

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

성형 콘크리트(Precast Concrete) 구조에 의한 건축의 공업화 공법은 구조물의 대량생산을 위하여 유럽 각지에서 연구 개발되었으며 건축물의 고층화 추세에 따라 고층건물의 구조체는 물론 외장마감에 이르기까지 폭넓게 적용되고 있다.

성형콘크리트(PC) 위 복층 마감도장 공법은 바탕 콘크리트 패널 제작시 폼(Foam)의 형상에 따라 다양한 외관 디자인을 연출할 수 있으며, PC 패널의 도막은 화려한 외관을 자랑할 뿐만 아니라 바탕 콘크리트의 보호기능도 가능하다. 따라서 내구성이 좋은 성형콘크리트를 더욱 내구적으로 만들어주며 금속재나 석재등 다른 재료를 사용한 것보다 오염으로부터 더욱 자유로워 유지관리가 용이하다.

그러나 현재 외장용으로 사용되고 있는 복층 마감도장 공법은 독성이 강하고 인화성이 높은 유성 에폭시수지 재료를

사용하므로 공해 뿐만 아니라 작업성 또한 극히 나쁘다. 따라서 적정 품질을 확보하기 위해서는 도장작업에 많은 주의가 필요하며, 可使時間이 짧아 생산성이 낮다. 이러한 이유들은 복층 마감도장 공법의 원가상승으로 귀결되며, 건축주 또는 설계자로 하여금 복층 마감도장 공법의 선택을 어렵게 하는 요인이 되고 있다.

이에 본 연구는 기존의 복층 마감도장 공법에 대한 문제점의 개선방안을 제시함으로써 복층 마감도장 공법 적용의 활성화를 도모하는데 그 목적이 있다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구는 다음과 같은 범위와 방법에 따라 연구를 진행하였다.

- 1) 연구의 이론적 틀을 마련하기 위하여 외장 마감공법의 종류 및 공법별 특성을 고찰한다.
- 2) 기존공법의 문제점을 도출하기 위하여 복층 마감도장 공법별 품질기준, 사용 재료별 특성 및 시공성에 대하여 조사한다.

* 정희원, 정도건설(주), 부사장, 공학박사

** 정희원, 명지대학교, 건축공학과, 교수, 공학박사

- 3) 외장 마감도장 재료의 개발동향과 기존 복층 마감도장 공법의 공정을 분석하여 문제점을 도출하고 복층 마감도장의 개선공법을 고안한다.
- 4) KS기준에 의한 품질시험으로 개선공법의 품질기준 만족여부를 검토한다.
- 5) 시편 제작을 통하여 도장재료의 소요량 및 작업시간을 측정하고 통계적 분석으로 개선공법의 경제성을 검증한다.
- 6) 실물크기시험(Mock-up Test)을 통하여 개선공법의 시공성 및 경제성을 재검증한다.
- 7) 시공사례를 분석하여 개선공법의 장기적 내구성을 확인한다.
- 8) 위의 검증을 통하여 복층 마감도장의 개선공법을 제안한다.

2. 복층마감 도장공법의 이론적 고찰

2.1 도장재의 분류

복층마감 도장의 규격은 JIS A 6907 (1970년)로 제정된 이래 JIS A 6910(1975년)이 JIS A 6909(1995년 3월)의 건축용 복층마감 도장재로 통합정리되었는데 근래 일본공업표준조사회 JIS A 6909에 의하면 추가 개발된 CE계·Si계를 포함하여 복층마감 도장재를 구성하고 있는 종류 및 명칭은 <표 1>과 같고, 복층마감 도장재의 품질기준 및 종류별 성능은 <표 2>와 같다.

표 1. 복층마감 도장공법의 도장재 종류 및 명칭

工法	종 류	Type (명칭)	특징 (예)
C系	시멘트系 복층마감 도장재	복층도장재 ; C타입	시멘트계 뿔칠타일
	Polymer cement系 복층마감 도장재	복층도장재 ; C타입	시멘트계 뿔칠타일
CE系	可動形 Polymer cement系 복층마감 도장재	可動形 복층 도장재 ; CE타입	시멘트계 뿔칠타일 (可動形, 미탄성형, 유연성형)
	방수형 Polymer cement系 복층마감 도장재	방수형 복층 도장재 ; CE타입	시멘트계 뿔칠타일
Si系	규산질系 복층마감 도장재	복층도장재 ; Si타입	실리카타일
	可動形 규산질系 복층마감 도장재	可動形 복층 도장재 ; Si타입	실리카타일 (可動形, 미탄성형, 유연성형)
E系	합성수지 에멀전系 복층마감 도장재	복층도장재 ; E타입	아크릴타일
	방수형 합성수지 에멀전系 복층마감 도장재	방수형 복층 도장재 ; E타입	단세이타일 (복층탄성)
RS系	합성수지 용액系 복층마감 도장재	복층 도장재 ; RS타입	유성 에폭시타일
	방수형 합성수지용액系 복층마감 도장재	방수형 복층 도장재 ; RS타입	유성 에폭시타일
RE系	반응경화형 합성수지 에멀전系 복층마감 도장재	복층도장재 ; RE타입	수용성 에폭시타일
	방수형 반응경화형 합성수지 에멀전系 복층마감 도장재	방수형 복층 도장재 ; RE타입	수용성 에폭시타일

표 2. 복층마감 도장재의 공법별 품질기준 및 종류별 성능

공법별 종류	복층 도장재	可動形 복층 도장재	방수형 복층 도장재	복층 도장재						
				C	CE	Si	E	RS	RE	
시험항목										
저온안정성	덩어리가 없고 분리가 없으며 응집이 없을 것			○	○	○	○			○
연도변화 B법	-15 ~ +15 %			○	○	○				
초기진조에 의한 균열저항성	균열이 없을 것			○	○	○	○	○	○	○
부착 강도 N/mm ² (kgf/cm ²)	표준상태	1.0(10.2) 이상	-	1.0(10.2) 이상					○	○
		0.7(7.1) 이상	0.7(7.1) 이상	0.7(7.1) 이상			○	○		
		0.5(5.1) 이상	0.5(5.1) 이상	0.5(5.1) 이상	○	○				
	침수후	0.7(7.1) 이상	-	0.7(7.1) 이상					○	○
		0.5(5.1) 이상	0.7(7.1) 이상	0.5(5.1) 이상			○	○		
		0.5(5.1) 이상	0.5(5.1) 이상	0.5(5.1) 이상	○	○				
온냉반복 작용에 대한 저항성	시험체의 표면층에 벗겨짐·균열·팽창이 없는 것. 현저한 변색이나 팽배·저항이 없을 것			○	○	○	○	○	○	
침수성 B법 (mL)	0.5 이하			○	○	○	○	○	○	
내충격성	균열, 현저한 변형이나 벗겨짐이 없을 것			○	○	○	○	○	○	
내후성 A법	균열 및 박리가 없고 변형은 3호 이상일 것			○	○	○	○	○	○	
가동성	-	균열이 발생하지 않을 것	-							

2.2 도장재의 개발 동향

현재까지 시멘트계와 합성수지 에멀전계 복층마감 도장재는 무기질재를 바탕재로 하고, 그 위에 조금씩 내용이 다르기는 하나, [시멘트 + CaCO₃ + 초산비닐 + 석면(무기질) + 석분 + 안료]를 혼합한 것을 중도재로 사용하여 요구하는 패턴(Pattern)을 형성하였으며, 상도재(Top Coating)로는 일반적으로 아크릴계를 사용해 오고 있다.

이들은 무기질재료 자체에서 발생하는 가스나 시멘트의 경화에 따른 수축팽창으로 균열이 발생한다. 이 균열로 인하여 동해가 발생하고, 결국 표면층 분리를 일으켜 박리현상이 발생하는 결점을 가지고 있다. 이 결점을 보완하는 합성재료들이 개발되기는 하였으나 무기질재 만으로는 장기적으로 표면색소의 변화, 즉 黃變現狀을 방지하지는 못하는 문제점이 있다.

시멘트계와 합성수지 에멀전계를 한 걸음 진보시킨 재료로서 반응경화형 합성수지계에는 용액계와 에멀전계가 있다. 이들 재료는 콘크리트의 알칼리성, 자외선, 중도재의 팽창 수축으로 발생된 균열, 콘크리트의 수화열에 의한 변질 등의 문제점에서는 시멘트계와 합성수지계보다 우수한 성능을 가지고 있다.

건축물 외벽 마감도장재 개발에 있어서 요구되는 첫째 조건은 내구성 향상이다. 이에 대응하기 위해 에멀전 → 합성수지 에멀전 → 수지계 → 합성수지계로 발전되어 왔다. 특히 근래에 와서 유기계에서의 새로운 연구개발로 비탄화수소계 화합물과 무기 화합물의 고분자를 활용하거나 유기계와의 합성(Hybrid化)으로 새로운 성능을 보유하는 소재의 개발로 발전해 오고 있다.

2.3 複층 마감 도장의 공정 및 공사비

1) 도막층

<그림 1>에 콘크리트 표면의 뽀칠 複층 마감 도장의 도막층 구성을 나타내었다. 각 도장공정의 역할은 다음과 같다.

- ① 하도(바탕재) ; 콘크리트의 흡수율을 일정수준 이하로 조절한 다음, 프라이머를 도포하고, 뽀칠제를 균일하게 하며 주재와의 부착성을 좋게 하기 위한 퍼티작업까지의 공정
- ② 중도(主材) ; 두꺼운 도막을 형성하여 바름층의 모양을 형성하고, 질감 및 패턴을 표현하며, 도막의 내구성을 갖게 하는 공정
- ③ 상도(Top Coating) ; 주재의 내후성을 향상시키고, 마감면 색조의 선명성을 유지하며, 오염을 방지하여 유지관리를 용이하게 하는 최후의 공정

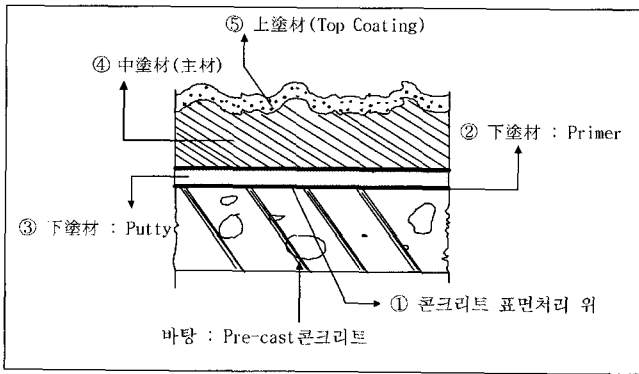


그림 1. 콘크리트 바탕 뽀칠 複층 마감 도장의 도막층 구성도

2) 도장공정

콘크리트 표면에 대한 뽀칠 複층 마감 도장공법 중에서 그 성능이 우수하여 흔히 사용되는 반응경화형 합성수지 용액계(RS系)와 에멀전계(RE系) 두 가지에 대하여 그 도장공정은 <표 3>과 같다.

표 3. 기존공법(RS系RE系)의 공정 및 도장회수

구분	複층 마감도장의 공정 및 도장회수				비고	
	RS系	도장회수	RE系	도장회수		
공정	하도	에폭시프라이머 도포	1	에폭시프라이머 도포	1	각 전용재 (유성에폭시)
	하도	에폭시 퍼티 도포	1	에폭시 퍼티 도포	1	각 전용재 (유성에폭시)
	중도	主材 도포	1	전용 主材 도포	1	RS系;유성에폭시 RE系;에폭시에멀전 사용
	중도	凸部 연마처리	-	凸部 연마처리	-	
	상도	마감 도장 상도(1회)	1	마감 도장 상도(1회)	1	아크릴·아크릴 우레탄 또는 불소수지(공통)
	상도	마감 도장 상도(2회)	1	마감 도장 상도(2회)	1	
공정	계	5	계	5		
시공 방법	뽀칠 및 롤러, 쇠풀손		뽀칠 및 롤러, 쇠풀손			

<표 3>에서 보는 바와 같이 RS系와 RE系는 각각의 전용 용제를 사용한다. 특히 하도·상도 공정에서는 동일한 성질의 전용 용제를 사용한다. 그러나 중도 공정에서는 유성에폭시와 수용성의 에폭시 에멀전을 각각 사용하는데 커다란 차이점이

있다. 도장회수는 두 공법이 모두 5회로 같다.

3) 도장공법에 따른 공사비

기존공법의 뽀칠 複층 마감 도장의 공사비는 <표 4>와 같다. 표에서 보는 바와 같이 각 공법의 재료비는 10,023원/㎡ 과 9,428원/㎡으로 RE系가 약간 낮다. 인건비는 두 공법에 차이가 없는 것으로 나타나 있다. 이것은 표준품셈에서 소요품에 차이를 두지 않고 있기 때문이다. 그러나 실제로 현장에서의 각 공법의 시공과정을 보면, RS계의 작업성이 RE계보다 떨어진다. 각 공법의 중도 공정에서 사용하는 재료가 유성과 수용성으로 다르기 때문이다. 유성의 경우에는 유독성·인화성이 있는데다가 可使時間이 짧아 수용성보다 도장작업의 생산성이 낮다. 따라서 두 공법의 공사비 차이는 표에 나타난 재료비만의 차이 이상이라 할 수 있다.

표 4. 기존공법(RE系RS系)의 공사비 [단위면적(㎡)당]

공법	품명	규격	단위	수량	단가(원)	금액(원)	
RS系	에폭시 신너		ℓ	0.050	1,500	75	
	에폭시 프라이머		ℓ	0.200	2,600	520	
	에폭시 퍼티		kg	0.500	2,800	1,400	
	에폭시 중도계(RS)		ℓ	1.200	3,350	4,020	
	상도재		ℓ	0.240	16,700	4,008	
	TOP COAT 신너		ℓ	0.048	1,500	72	
	재료비 계						10,023
	공기구 손료	재료비의 2%	식	1			200
	도장공		인	0.194		70,370	
	인건비 계						13,652
합 계						23,875	
RE系	에폭시 신너		ℓ	0.050	1,500	75	
	에폭시 프라이머		ℓ	0.200	2,600	520	
	에폭시 퍼티		kg	0.500	2,800	1,400	
	에폭시 중도계(RE)		ℓ	1.200	2,794	3,353	
	상도재		ℓ	0.240	16,700	4,008	
	TOP COAT 신너		ℓ	0.048	1,500	72	
	재료비 계						9,428
	공기구 손료	재료비의 2%	식	1			189
	도장공		인	0.194		70,370	
	인건비 계						13,652
합 계						23,269	

* 부분퍼티 처리의 경우이며, 도장공 소요품 0.194인/㎡는 표준품셈에 의한 수량임. 전면퍼티일 경우에는 총 인건비의 30%를 할증한다.

3 複층 마감 도장공법의 문제점

3.1 반응경화형 합성수지 용액계(RS계) 공법

1) 흡수율에 의한 하자 발생

현장에서의 시공 측면을 고려할 때, RS계는 콘크리트와 도막의 부착성에는 만족할 만한 내구성을 가지고 있지만, 바탕 처리재인 에폭시 프라이머와 퍼티, 그리고 중도재인 에폭시가 모두 강력한 접착성을 가지고 있어 오히려 콘크리트 표면에 결함이 있으면 콘크리트 바탕이 약해져서 부착에 문제가 생기게 된다.

일본건축용취부재공업회에 의하면 무기질계 시멘트 제품에 도장할 때에는 표면건조가 중요하므로 내알카리성 도료라도 반드시 3주일 이상(단, 강제 건조시에는 1주일 이상) 건조시켜야 하며, 함수율 10%이하, pH=10이하로 기준이 되어 있지만 기존형 도장에서의 사례를 보면 콘크리트 바탕의 함수율이 8%이상일 때 대부분 부착력이 저하되어 박리가 발생하게 되는데, 이는 유성의 하도재를 사용하기 때문이다. 실제로 RS계를 사용한 "S" 건축물의 경우, 시공후 초기에는 함수율 과다로 인한 박리·균열 등의 하자가 발생하여 보수가 필요하였다. 그러나 보수한 부분에서 추가로 박리·변색 등의 하자가 더 이상 발생하지 않았다. RS계 도장공법은 콘크리트의 수분이 기준치 이상으로 과다하면 균열·박리 등의 하자가 발생하게 되는 것이다. 그리하여 습도조절을 위한 현장작업 조건 개선을 위한 비용증가는 물론 공기지연으로 인한 비용증가도 발생하였다. 기존공법(RS형)의 시공 사례인 "S" 건축물에서의 함수율에 의한 하자조사는 <그림 2>와 같다.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	
	9	10	8	8	9	9	11	11	8	8	8	8	8	9	10	8	8	9	8
P1FL																			
26FL		10	9	8	11	12	12	10	11	9	13	13	12	10	13	10	11		
25FL		9	9	10	9	8	8	8	10	9	8	9	9	9	8	9	9		
24FL		9	8	8	10	8	8	8	11	8	8	9	10	9	9	8	8		
23FL		9	9	8	8	10	9	8	8	9	9	9	9	10	9	9	8		
22FL		9	8	9	9	8	8	10	9	9	8	9	9	9	8	8	9		
21FL		9	9	8	8	9	9	8	9	8	10	9	8	9	9	8	8		
20FL		9	9	9		8	9	8	8	9	10	9	8		8	8	9		
19FL		9	9	10	9	8	9		8	9	8	8		9	8	8	9		
18FL		9	9			10	8		9	8	9	9	9	8	8		8	10	
17FL		9	8	8		8			9	8	8	8	9	9	10	8	9		
16FL		9	8	8	8	8	6	8	9	8	9	8	8	8	8	9	8		
15FL		8	9	8		8		8	8	8	8	9	8	9	9	8	9		
14FL		9	9	8	8	9	9	9		8	9	10	9	8	8	9	8		
13FL		9	9	8	9	8	8	9	9	8	9	9	9	9	8	8	9		
12FL		9	8	8	9	8	8	9	9	9	8	9	9	9	8	8	9		
11FL		9	10	9	8	8	8	9	9	8	8	9	8	9	8	9	8		
10FL		9	9	9	9	8	8	9	8	8	9	8	9	8	9	9	9		
9FL		9	8	8	9	9	8	8	9	8	9	9	9	9	9	8	9		
8FL		9	9	8	8	8	8		8	8	9	10	9	9	9	9	8		
7FL		9	9	9	9	8	9	8	9	8	8	9	9	8	9	9	9		
6FL		8	9	8	9	9	8	9	9	8	9	9	8	8	8	9	9		
5FL		9	9	8	8	8	8	9	9	10	9	8	8	9	9	9			
4FL		9	9	9	8	9	8	8	9	9	9	8	9	9	8	9			
3FL		9	8	9	9	8	9	10	9	8	9	9	9	8	9	9			
2FL																			

* 수치표시가 없는 것은 함수율이 8%이하 임
"S" 건축물 음영부분은 하자발생부분임

그림 2. 기존공법(RS형)의 함수율 및 하자조사 Matrix

2) 유독성·인화성으로 인한 공해 및 작업환경 제약

에폭시 퍼티제는 경화제로 폴리아마이드(Polyamide)와 아민(Amine)을 에폭시 기체와 혼합하여 사용하는데, 이것은 유독성·인화성이 강하다. 따라서 환경오염·작업환경의 제약을 유발하는 원인이 된다.

<표 5>와 <표 6>은 유성 용제를 사용한 주제와 경화제의 유해성에 관한 자료이다.

표 5. 주제(경화형 에폭시수지도료)의 유해성

Material Safety Data Sheet				
1. 화학제품				
일반적인 특성	폴리아마이드 경화형 에폭시수지 도료(주제)			
유해성 분류	인화성 물질, 유해물질			
2. 유해위험성				
가. 긴급시 필수적인 정보 ① 인화성 ② 발화원으로부터 격리 ③ 흡입하지 말 것 ④ 삼키면 유독 ⑤ 눈, 피부, 의복에 접촉하지 말 것 ⑥ 취급 후 철저히 씻을 것 나. 잠재적인 건강영향 ① 눈: 점막(粘膜)을 자극하여 충혈, 눈물 및 희미한 증상을 일으킬 수 있다. ② 피부: 자극 증상을 일으킬 수 있음. ③ 흡입: 호흡기관을 자극하여 메스꺼움, 두통 등의 증상을 일으킬 수 있다. ④ 징후와 증상: 많이 흡입하면 국부적으로 자극되어 출음이 오고 근육의 경련, 쇠약 등을 일으킵니다.				
3. 인화성에 관한 정보				
인화점(℃)	20~27	자연발화점(℃)	자료없음	
최저인화한계치	1.1%	최고인화한계치	8.0%	
4. 독성에 관한 정보				
화학물질의 명칭	TLV	LD 50. 경구	LD 50. 경피	LC 50. 흡입
크실렌	100ppm	4300mg/kg. 라트	1700 mg/kg. 라트	자료. 5000~6700 ppm/4hrs. 인간
MIBK	50 ppm	267mg/kg 입	20 mg/kg. 토끼	2330~8000 mg/m ³ . 입
톨루엔	-	5000mg/kg	-	-
이소프로필알콜	-	5045mg/kg	-	-
5. 법규에 관한 사항				
(1) 산업안전보건법: 제39조(유해물질표시) 및 제41조, 동시행령 (2) 유해화학물질관리법 (3) 기타법에 의한 규제 ① 소방법: 제4류, 제2석유류				

* LD 50 = 경구 후 24hrs 以内に 50% 죽는 수치, LC 50 = 흡입후 24hrs 以内に 50%에 변화발생 수치 (실험용 쥐 대상)

표 6. 경화제(경화형 에폭시수지 도료)의 유해성

Material Safety Data Sheet				
1. 화학제품				
일반적인 특성	폴리아마이드 경화형 에폭시수지 도료(경화제)			
유해성 분류	인화성 물질, 유해물질			
2. 유해위험성				
폴리아마이드 경화형 에폭시수지 도료(주제)와 동일				
3. 인화성에 관한 정보				
인화점(℃)	20~29	자연발화점(℃)	자료없음	
최저인화한계치	1.1%	최고인화한계치	11.2%	
5. 독성에 관한 정보				
화학물질의 명칭	TLV	LD 50. 경구	LD 50. 경피	LC 50. 흡입
크실렌	100ppm	4300mg/kg. 라트	1700 mg/kg. 라트	자료. 5000ppm/4hrs. 인간
MIBK	50 ppm	267 mg/kg 입	20 mg/kg. 토끼	2330 mg/m ³ . 입
부타놀	50 ppm	4360 mg/kg	-	-
톨루엔	-	5500mg/kg	-	-
이소프로필알콜	-	5040mg/kg	-	-
6. 법규에 관한 사항				
표 5와 동일				

* LD 50 = 경구 후 24hrs 以内に 50% 죽는 수치, LC 50 = 흡입후 24hrs 以内に 50%에 변화발생 수치 (실험용 쥐 대상)

* MBK : Methyl Isocyanate Butyl Kethones

3) 可使時間의 제약에 따른 작업성 저하

RS계 공법은 모든 공정에서 유성제를 사용한다. 휘발성이 강한 유성 용제를 쓰는 것이다. 이것은 도장재료를 혼합한 후 일정시간(보통 10~30분) 이내에 시공을 완료해야 하는 제약이 따른다. 이렇게 되면 도장재료의 1회 혼합량은 可使時間 내에 시공할 수 있는 양으로 제약을 받게 된다. 다시 말하면 많은 양의 도장재료를 준비하지 못하게 되어 도장에 많은 시간이 소요된다. 따라서 마감도장의 패턴이 크고 두꺼울수록 도장에 필요한 재료량이 많아지게 되어 可使時間의 제약은 더욱 큰 영향을 미치게 된다. 기온 5℃이하, 습도 75% 이상, 비온 후, 강풍시에는 도장해서는 안되는 조건을 전제로 한다.

3.2. 반응경화형 합성수지 에멀전계(RE계) 공법

1) 합수율에 의한 하자 발생

RE계 공법은 RS계 공법과 비교할 때 중도재를 유성 에폭시수지 대신에 수용성의 에폭시 에멀전을 사용하는 차이가 있다. 중도의 바탕이 되는 하도 공정에서는 RE계도 RS계와 마찬가지로 유성 에폭시수지를 중복 사용한다. 즉, 에폭시 프라이머와 에폭시 퍼티재를 쓴다. 이로써 두텁고 강한 막이 형성되어 콘크리트의 내의 수분증발을 어렵게 한다. 이렇게 해서 남아 있게 되는 수분은 콘크리트와 도장면의 부착력을 저하시키는 결과를 초래하게 된다.

2) 유독성·인화성으로 인한 공해 및 작업환경 제약

RE계 공법에서도 바탕처리용 하도재로 유성 에폭시 퍼티를 사용하기 때문에 전항(3.1)의 2)에서 언급한 RS계 공법이 가지는 공해 및 작업환경 제약 문제는 여전하다.

3) 可使時間의 제약에 따른 작업성 저하

RE계 공법은 중도 공정에서 수용성 도장재료인 에폭시 에멀전을 사용한다. 중도 공정은 특히 도막층을 구성하는데 있어서 도막의 두께와 패턴을 좌우하는 주요 도막층이다. 그래서 소요되는 재료량도 다른 공정에 비하여 많다. 이와 같은 공정에 사용되는 도장재료가 수용성이므로 RS계 공법에 비하여 可使時間의 제약이 줄어든다. 그러나 하도 공정에서 비교적 다량으로 사용되는 퍼티재가 유성 에폭시수지이므로 可使時間의 제약에 따른 문제점이 약간 줄기는 하였지만 여전히 남아 있다. 기존공법이 가지고 있는 문제점을 정리하면 <표 7>과 같다.

표 7. 기존공법의 문제점

문제점	박리균열 발생	작업성 저하	변 색
재료			
에폭시 유성제	① 에폭시의 체질안료가 흡수되었을 때 ② 피착체의 수분함량이 높을때(8%이상) ③ 피착체의 강도가 약할 때 ④ 작업환경의 습도가 높을 때(80%이상)	① 인화성 ② 독성 ③ 공해 ④ 可使時間의 제약으로 시공성 악화, 생산성 저하 ⑤ 작업공수증가(인건비의 증가)	① 黃變現狀 발생

4. 복층마감 도장공법의 개선

본 장에서는 전장에서 분석된 기존공법의 문제점과 공법 개선의 실마리를 바탕으로 개선공법을 고안한다. 개선공법은 도장 공정이나 재료를 변경하는 방법으로 검토한다. 고안된 개선공법에 대해서 KS 규정에 의거하여 시편을 제작하고 품질시험 기준에 따라 그 성능을 평가한다.

4.1 도장재·공정 동시변경 공법

1) 공법 개선의 내용

도장재·공정 동시변경에 의한 개선 방법은 콘크리트 바탕 처리가 끝나고 하도 공정에서 가장 먼저 유성 에폭시 프라이머를 도포하는 대신에 수용성 아크릴수지의 퍼티를 바르는 것이다. 그 다음에 유성 에폭시 프라이머를 바르는 것으로 하도재 도포 공정을 마무리한다. 중도재 뽑칠 공정에서는 RE계와 마찬가지로 에폭시에멀전 수지를 바르는 것이다. 개선공법을 기존공법과 비교하면 <그림 3>과 같다. 이로써 유성 수지 사용에 따른 可使時間 제약·유독성·공해·인화성 등에 의한 작업성 저하를 방지하고, 바탕 콘크리트의 합수율에 의한 문제도 효과적으로 해결할 수 있을 것으로 판단하였다.

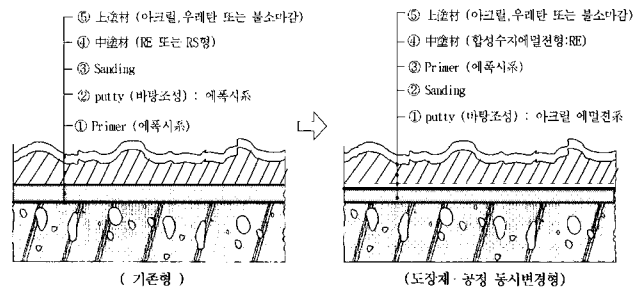


그림 3. 도장재·공정 동시변경 공법 공정도

2) 시편제작

표 8. 도장재·공정 동시변경 공법 시편(C)의 사용재료 조성비율

재료명	재료의 조성	조성비율 (%)	비 고
① Putty	아크릴에멀전수지	10.0 이하	“S” 제조회사
	H ₂ O <물>	15.0 이하	
	CaCO ₃ 및 기타	50.0 이상	
② Primer	Epoxy Resin	55-60	“D” 제조회사
	용 제 <신너>	35-44	
	Polyamide	10-12	
③ 중도재	Epoxy Resin <기제> (Emulsion형)	10~15	“D” 제조회사
	Amine <경화제>	0.1-0.15	
	Polyamide	4.0-8.0	
	CaCO ₃ (H) <Filler제>	60-70	
	H ₂ O <물>	15-20	
④ 상도재	기 타	10-15	“S” 제조회사
	불소수지	56-57	
	안 료	10-25	
	크롬산납염	0-30	
	xylylene <염료>	1~10	
MIBK <신너>	1~10		
기 타	1~10		

도장재·공정 동시변경에 의한 개선공법이 당초 의도한 효과를 거두면서 뽀칠 북층마감 도장의 품질기준을 충족시킬 수 있는지 여부를 확인하기 위하여 다음과 같이 시편을 제작하였다.

(1) 사용재료의 조성 및 배합

도장재·공정 동시변경 공법의 시편제작에 사용한 도장재료의 조성은 <표 8>과 같이 하였으며 배합 및 소요량은 <표 9>와 같다. 비교평가를 위하여 제작한 기존의 RE계 공법의 시편제작에 사용한 것은 <표 10~11>과 같다.

표 9. 도장재·공정 동시변경공법 시편(C)의 도장재료 배합 및 소요량

작업공정	작업내용	소재	배합비	所要量
하도	1차조정	Putty	Acryl Emulsion 일액형으로 적당량의 물로 희석 사용한다.	0.50 kg/㎡
	연마	연마작업 및 분진제거	-	-
	2차조정	Primer	유성 Epoxy계 기제 : 경화제 = 4 : 1 에폭시 신너를 적당량 희석 사용한다.	0.19 kg/㎡
중도	기초 및 분 도포	Spray	합성수지 아크릴 에멀전계 기제 : 경화제 = 20 : 1 적당량의 물로 희석 사용한다.	1.20 kg/㎡
상도	1회	Top Coating	합성수지 용액계 (불소수지) 기제 : 경화제 = 5 : 1 우레탄 신너를 적당량 희석 사용한다.	0.23 kg/㎡
	2회			

표 10. 기존공법(RE系) 시편(A)의 사용재료 조성비율

재료명	재료의 조성	조성비율 (%)	비고
① Primer (유성 Epoxy)	Epoxy Resin	55~60	"D" 제조회사
	용제 <신너>	35~44	
	Polyamide	10~12	
② Putty (유성 Epoxy)	Epoxy Resin	35~38	"D" 제조회사
	CaCO ₃	33~35	
	Talc(ISA~325)	20~20	
	TiO ₂ 및 기타	0.5~0.7	
③ 중도재 (RE형)	Polyamide	12~14	"D" 제조회사
	Epoxy Resin <기제> (Emulsion형)	10~15	
	Amine <경화제>	0.1~0.15	
	Polyamide	4.0~8.0	
	CaCO ₃ (H) <Filler제>	60~70	
	H ₂ O <물>	15~20	
④ 상도재	기타	10~15	"S" 제조회사
	불소수지	56~57	
	안료	10~25	
	크롬산납염	0~30	
	Xylene <염료>	1~10	
	MIBK <신너>	1~10	
기타	1~10		

표 11. 기존공법(RE系) 시편(A)의 도장재료 배합 및 소요량

도장재료	배합재료	단위	수량
에폭시 신너	용제 <신너> Epoxy Resin	ℓ	0.050
		ℓ	0.200
에폭시 프라이머	Polyamide	ℓ	0.200
에폭시 퍼티	Epoxy Resin CaCO ₃ Talc(ISA ~ 325) TiO ₂ 및 기타 Polyamide	kg	0.500
에폭시 중도재(RE)	Epoxy Resin <기제> (Emulsion형) Amine <경화제> Polyamide CaCO ₃ (H) <Filler제> H ₂ O <물> 기타	ℓ	1.200
상도재(TOP COAT)	불소수지 안료 크롬산납염 Xylene <염료> 기타	ℓ	0.240
TOP COAT 신너	MIBK <신너>	ℓ	0.048

(2) 시편 제작 공정

① 바탕처리 공정

콘크리트의 피로·노화·오염 등을 방지하고 미세균열에 대한 방수성을 얻을 수 있도록, 콘크리트의 표면에 묻은 이물질을 제거하고, 물로 청소한 다음 콘크리트 표면을 건조시키는 공정이다. 건조시킨 후에 콘크리트의 알카리도(pH)·함수율·온도 등이 일정 작업기준내에 있는지를 점검하고 배합된 아크릴에멀전계 퍼티재에 의하여 바탕처리를 시도하였다.

② 연마공정(Sanding)

바탕처리를 완료한 다음 합성수지 아크릴에멀전계 퍼티재를 24시간 이상 건조시켜 경화한 후 연마포로 표면을 평활하게 갈고 분진을 씻은 다음 다시 건조시켰다.

③ 2차 바탕재 조성공정(프라이머 도포)

바탕처리용으로 퍼티재를 조성한 다음 그 퍼티재에 유성 에폭시 프라이머를 도포·침투시켜 콘크리트 표면과의 부착성을 증가시키고, 또 중도재와의 부착력을 증대시키고자 하였다.

④ 중도재 뽀칠공정

북층마감 도장의 중도재에 의하여 지정된 마감패턴을 만들기 위해 스프레이 건 등을 이용하여 분사각도, 노즐의 구경, 압력 등을 조절하고 뽀칠거리를 확정된 다음 도장 조건에 맞도록 준비하여 1~2회에 나누어 합성수지 에멀전계(RE系 중도재)를 뽀칠하였다(시공방법은 JASS에 의함.)

⑤ 상도재 도포공정(Top Coating)

상도재(Final Top Coating재)는 롤러 또는 스프레이 건을 이용하여 도포할 수 있다.

4.2 도장재 변경 공법

1) 공법 개선의 내용

전절(4.1)에서 제시한 도장재·공정 동시변경에 의한 개선공법은 도장재료 중에서 하도재 도포 공정의 퍼티재를 유성에

서 수용성으로 바꾸고, 이렇게 바꾼 퍼티재의 도포공정을 프라이머 도포 이전에 함으로써 공정까지 함께 변경하는 것이었다.

이와 같은 개선 방법은 다음과 같은 결과를 나타냈다.

첫째, 품질시험을 실시한 결과 표준상태에서의 부착강도가 0.7N/mm², 침수후 부착강도가 0.6N/mm²으로 나타났다. 이와 같은 부착강도 값은 기존의 복층마감 도장재 품질기준(표준상태 0.5~1.0N/mm², 침수후 상태 0.5~0.7N/mm²)을 만족시키지만 다소 낮은 경향을 나타내는 것은 콘크리트 면과 가장 먼저 접착을 이루는 것이 접착성이 좋은 유성 프라이머가 아니라 수용성 퍼티재이기 때문인 것으로 분석된다.

둘째, 퍼티재 도포면 위에 프라이머를 도포하게 됨에 따라 프라이머가 퍼티재에 흡수되는 현상이 나타났다. 따라서 콘크리트 바탕 위에 프라이머를 도포하는 경우보다 더 많은 양의 프라이머가 필요하게 되었다.

이와 같은 문제점을 해결하기 위해서 도장재-공정을 함께 변경하지 않고 도장재만 변경한 것이 '도장재 변경' 공법이다. 개선공법을 기존공법과 비교하면 <그림 4>에 나타낸 것과 같다.

이로써 유성 수지 사용에 따른 可使時間 제약·유독성·공해·인화성 등에 의한 작업성 저하를 방지하고, 바탕 콘크리트와의 부착강도 문제도 효과적으로 해결할 수 있을 것으로 판단하였다.

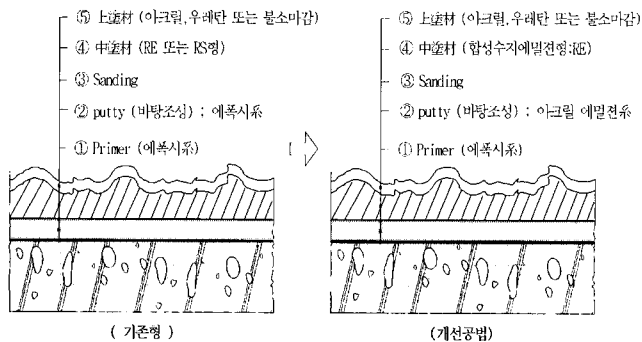


그림 4. 개선공법의 공정도

2) 시편제작

도장재 변경에 의한 개선공법이 당초 의도한 효과를 거두면서 복층마감 도장의 품질기준을 충족시킬 수 있는지 여부를 확인하기 위하여 그 시편을 아래와 같이 제작하였다.

(1) 사용재료의 조성 및 배합

도장재 변경형 개선공법의 시편제작에 사용한 도장재료의 조성은 <표 12>와 같이 하였으며, 배합 및 소요량은 <표 13>과 같다.

(2) 시편제작 공정

① 바탕처리 공정

콘크리트의 피로·노화오염 등을 방지하고 미세균열에 대한 방수성을 얻을 수 있도록, 콘크리트 표면의 이물질 제거하고, 물로 청소한 후 콘크리트 표면을 건조시키는 공정이다. 콘크리트가 건조되면(흡수율 8%이하) 알카리도(pH)·흡수율·표면온도 등을 점검한 후 유성 에폭시 프

이머를 도포하여 바탕처리를 하고 외기로부터의 수분을 차단시켰다.

표 12. 도장재 변경공법시편(B)의 사용재료 조성비율

재료명	재료의 조성	조성비율 (%)	비고
① Primer (유성 Epoxy)	Epoxy Resin	55-60	"D" 제조회사
	용제 <신너>	35-44	
② Putty (아크릴 에멀전)	Polyamide	10-12	"S" 제조회사
	아크릴에멀전수지	10.0 이하	
	H ₂ O <물>	15.0 이하	
③ 중도재 (RE형)	CaCO ₃ 및 기타	50.0 이상	"D" 제조회사
	Epoxy Resin <기제> (Emulsion형)	10-15	
	Amine <경화제>	0.1-0.15	
	Polyamide	4.0-8.0	
	CaCO ₃ (H) <Filler제>	60-70	
	H ₂ O <물>	15-20	
④ 상도재	기타	10-15	"S" 제조회사
	불소수지	56-57	
	안료	10-25	
	크롬산납염	0-30	
	xylene <염료>	1-10	
	MIBK <신너>	1-10	
기타	1-10		

표 13. 도장재 변경 공법 시편(B)의 도장재료 배합 및 소요량

작업공정	작업내용	소재	배합비	소요량
하도	1차 조성	Primer	기제 : 경화제 = 4 : 1 에폭시 신너를 적당량 희석 사용한다.	0.19 kg/m ²
	2차 조성	Putty	Acryl系 일액형으로 적당량의 물로 희석 사용한다.	0.50 kg/m ²
	연마	연마작업 및 분진제거	-	-
중도	기초 및 본 도포	Spray	합성수지 아크릴 에멀전系 기제 : 경화제 = 20 : 1 적당량의 불로 희석 사용한다.	1.16 kg/m ²
상도	1회	Top Coating	합성수지 용액계 (불소수지) 기제 : 경화제 = 5 : 1 우레탄 신너를 적당량 희석 사용한다.	0.23 kg/m ²
	2회			

② 바탕재 조성공정

바탕처리를 완료한 다음 콘크리트 표면에 독성이 있는 유성 에폭시 대신 제조회사가 조성한 합성수지 아크릴 에멀전 퍼티재를 바르고 24시간 이상 경화 건조시켰다.

③ 연마공정(Sanding)

상온에서 바탕재 조성이 완료된 후 24시간 이상 경과되면 굳은 상태를 확인한 다음 연마포로 전체 표면층을 평활하게 연마시켜 분진을 제거하고 물로 씻은 다음 다시 건조시켰다.

④ 중도재 뿔칠 공정

중도재에 의하여 소정의 패턴을 만들기 위해 필요한 도구(Gun 등)를 이용, 시공용도에 맞도록 분사각도, 노즐의 구경, 압력 등을 조절하여 뿔칠거리를 확인한 다음 도장조건에 맞도록 준비하여 1-2회에 나누어 합성수지 에멀전계(RE형 중도재)를 뿔칠하였다(시공방법은 JASS에 의함).

⑤ 상도재 도포공정(Top Coating)

상도재(Final Top Coating)는 롤러 또는 스프레이 건을 이용하여 도포 한다.

4.3 품질시험 및 결과 분석

1) 시험항목 및 방법

(1) 부착강도 (표준상태·침수후 상태)

KS F4723의 [6.9]에 의거하여 실시하였으며, [6.9.2 표준상태]와 [6.9.3 침수후 상태]의 시험방법에 따랐다. 부착강도는 다음 식으로 산출하였다.

$$\text{부착강도 (N/mm}^2\text{)}\{\text{kgf/cm}^2\} = \frac{T}{1600} \left\{ \frac{T}{16} \right\}$$

T : 최대인장하중 (N) {kgf}

파단될 때까지의 하중속도; 1,471~1,960 N/min{150~200 kgf/min} 침수후 부착강도 시험체의 표준모래는 KS L 5100에 규정한 것으로 하였다.

(2) 온냉 반복에 대한 저항성 시험

KS F4723의 [6.10]에 의하여 시험체를 제작한 다음 [6.10.2] 시험방법에 따라 시험하였다.

(3) 투수시험

KS F4723 [6.10]에 의하여 시험하였다.

(4) 내충격성 시험

KS F4723 [6.12]에 의하여 시험체를 제작하고 시험방법은 KS F2221에 규정한 모래 위에 둥근 모양추 W2-500을 높이 30cm에서 낙하시켜 균열·변형 등을 3곳에서 시험하였다.

(5) 내후성 시험

KS F4723의 [6.13]에 의하여 제작된 시편을 KS F 2274의 4에 규정한 선사인 카본 아크등(WS형)을 사용, 시험한 후 시험체는 KS K 0911에 규정하는 표준회색 색표를 사용 KS A 0065에 준하여 관찰하였다

2) 도장재·공정 동시변경 개선공법

도장재·공정 동시변경에 의한 개선공법의 품질시험 결과는 <표 14>와 같다.

현재 RS계나 RE계에서 사용하는 프라이머·피티·중도재 등은 단일회사 제품을 일괄적으로 사용하도록 하고 있다. 이는 각 제조회사가 자사 제품을 일괄적으로 판매하기 위한 전략으로 인지된다. 품질기준도 단일회사 제품에 의하여 설정되고 있다. 그 예로 KS F 4715의 규준 설정과정을 보면 국내 각 제조회사의 제품을 시험하고 그 결과를 평균하여 표준 규격을 정한 것으로 보고서에서 찾아 볼 수 있다.

표 14. 도장재·공정 동시변경 공법의 시험결과

시험항목	품질기준	시험결과
부착강도 (N/mm ²)	표준상태	0.5~1.0이상
	침수상태	0.5~0.7이상
온냉반복에 대한 저항성	시험체의 표면에 벗겨짐·균열·팽창이 없고, 현저한 변색이나 광택저하가 없을 것.	이상없음
투수성(mm)	0.5이하	0.1
내충격성	균열, 현저한 변형 및 박리가 생기지 않을 것	이상없음
내후성	겉모양	균열·벗겨짐이 없을 것.
	변 색	변색이 표준회색 색표 3호 이상일 것.

특히 부착강도의 경우, 0.5N/mm² 이상으로 충분하지만 일부 도장재료에서 개선된 성능을 반영하면서 상향조정되었다. 실제로 JIS에 의한 “뿔칠 복층마감 도장의 품질기준”을 살펴보면 RE계의 경우 부착강도가 표준상태 0.68N/mm², 침수후 상태 0.49N/mm²(JIS A 6910)이었던 것이 1.0N/mm², 0.7N/mm²(JIS A 6909)로 각각 상향조정되었다.

개선공법의 부착강도가 상향조정된 1.0N/mm² 및 0.7N/mm²에는 미치지 못하지만, 최소한도인 0.5N/mm²이상을 만족시키는 것으로 나타났다. 수용성의 부착강도가 유성에 비하여 약하기 때문인 것으로 분석된다.

그러나 이 개선공법은 최소한도 이상의 부착강도를 발휘하면서도 작업성을 크게 개선할 수 있다. 온냉반복에 대한 저항성, 투수성·내충격성·내후성도 모두 만족시켰다.

3) 도장재 변경 개선공법

도장재 변경에 의한 개선공법의 품질시험 결과는 <표 15>와 같다.

부착강도가 상향조정된 1.0N/mm², 0.7N/mm²에는 여전히 미치지 못하지만 최소한도인 0.5N/mm²를 충분히 만족시키는 것으로 나타났다. 여기에서도 도장재를 유성에서 수용성으로 바꾸었기 때문에 부착강도가 낮아진 것으로 분석된다.

그러나 도장재·공정 동시변경에 의한 개선공법보다는 0.1씩 커져 0.8N/mm²과 0.7N/mm²로 향상되었다. 또한 온냉반복에 대한 저항성, 투수성·내충격성·내후성 등 나머지 시험항목을 모두 만족시켰다.

표 15. 도장재 변경 공법의 시험결과

시험항목	품질기준	시험결과
부착강도 (N/mm ²)	표준상태	0.5~1.0이상
	침수상태	0.5~0.7이상
온냉반복에 대한 저항성	시험체의 표면에 벗겨짐·균열·팽창이 없고, 현저한 변색이나 광택저하가 없을 것.	이상없음
투수성 (mm)	0.5이하	0.1
내충격성	균열, 현저한 변형 및 박리가 생기지 않을 것	이상없음
내후성	겉모양	균열·벗겨짐이 없을 것.
	변 색	변색이 표준회색 색표 3호 이상일 것.

5. 개선공법의 현장 적용성

품질기준을 만족시킨 개선공법을 실제 현장에 적용시킬 수 있기 위해서는 도장재료 소요량 파악에 의한 재료비와 소모품 예측에 의한 인건비를 산출하여 기존공법 대비 경제성이 확보되어야 한다.

본 장에서는 이와 같이 개선공법의 현장 적용성을 평가하기 위하여 샘플판 도장작업 및 실물제작시험을 실시하여 시공성과 소모품을 예측한다. 이를 바탕으로 공사비를 산정하여 기존공법 대비 경제성을 평가한다. 또한 시공사들의 품질평가를 통하여 개선공법의 장기적 내구성을 파악한다. 이로써 개선공법의 현장 적용성을 파악한다.

5.1 도장재료 소요량 및 도장 작업시간

1) 도장재료 소요량

개선공법의 현장 적용성을 검토하기 위하여 각 공법별 도장재료 소요량을 측정하였다. 이를 위하여 크기 0.9m×1.8m의 샘플판 20개에 대하여 각각 도장작업을 실시하여 각 공법의 도장 공정별 재료 소요량 및 재료비를 산정하였다(<표 16> 참조). 이를 그림으로 표현하면 <그림 5~6>과 같다. 각 공법별 도장재료 소요량은 <그림 5>에서 보는 바와 같이 큰 차이를 보이지 않는 것으로 나타났다. 그러나 <그림 6>에서와 같이 비용 측면에서 살펴보면, 에폭시 프라이머·중도재·상도재에서는 별 차이가 없으나, 퍼티부분에서는 기존공법에서 사용한 고가의 에폭시 퍼티를 대신해서 저렴하면서 시공성이 좋은 아크릴 퍼티를 사용하였기 때문에 재료비용에서 크게 차이남을 볼 수 있다.

<그림 7>은 각 공법별로 소요되는 도장재료의 총비용을 비교한 것이다. 재료비의 차이를 분석하여 보면, 전체적으로 개선공법이 기존공법보다 재료비에서 약 10% 정도 절감되는 것을 알 수 있다.

표 16. 공법별 도장재료 소요량 및 재료비 (단위 : 원)

工法별	재료	소요량	단위	소요량에 대한 오차범위	소요 재료비용	비용에 대한 오차범위
기존공법 (RE系)	에폭시 프라이머	0.300	ℓ	0.002	780.00	4.991
	에폭시 퍼티	0.799	kg	0.002	2237.20	6.060
	중도재	1.875	kg	0.010	5238.75	26.929
	상도재	0.374	ℓ	0.002	6245.80	32.958
	합 계	3.348		0.010	14501.75	46.038
도장재-공정 동시변경공법	아크릴 퍼티	0.807	kg	0.003	674.65	2.110
	에폭시 프라이머	0.302	ℓ	0.002	845.60	4.807
	중도재	1.847	kg	0.009	5159.12	25.581
	상도재	0.375	ℓ	0.003	6262.50	50.683
	합 계	3.331		0.010	12941.87	59.537
도장재 변경공법	에폭시 프라이머	0.299	ℓ	0.003	776.10	7.372
	아크릴 퍼티	0.802	kg	0.003	670.05	2.291
	중도재	1.850	kg	0.009	5167.50	24.531
	상도재	0.373	ℓ	0.003	6229.10	45.493
	합 계	3.323		0.009	12842.76	44.981

※ 오차범위는 다음에 같은 실험을 통해 얻은 평균값이 이번 실험에서 얻은 평균값과 차이가 날 수 있는 범위를 뜻함.

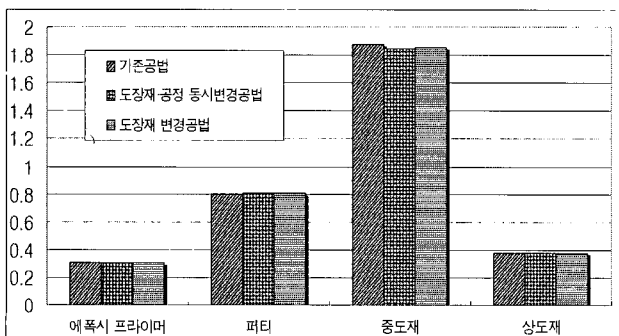


그림 5. 각 공법의 공정별 도장재료 소요량

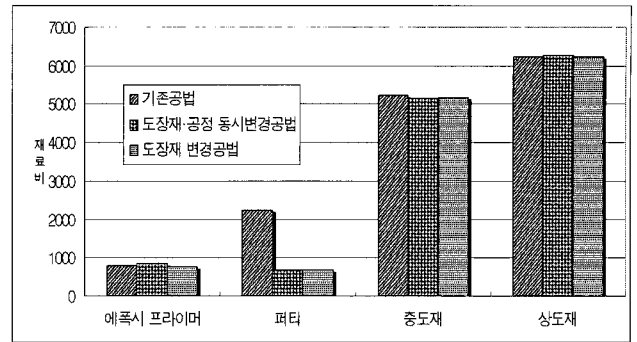


그림 6. 각 공법의 공정별 도장재료비

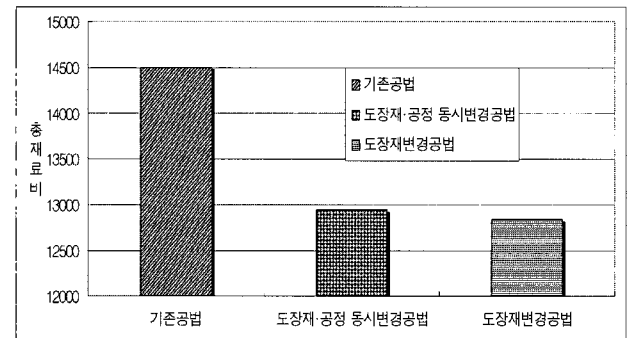


그림 7. 공법별 도장재료비 비교

2) 도장작업 소요시간

기존공법과 도장재 변경에 의한 개선공법의 전체 시공 소요시간의 차이여부를 검증하기 위하여 T-test를 실시하였는데, 다음과 같은 통계결과를 얻었다.

The TTEST Procedure Statistics

Variable	g	N	Mean ^③	Mean	Mean	Std Dev	Std Dev	Std Dev	Std Err
time	개선공법	20	1182.5	1228.1	1273.6	73.958	97.25	142.04	21.746
time	기존공법	20	1785.6	1795.3	1804.9	15.679	20.616	30.112	4.61
time	Diff (1-2)		-612.2	-567.2	-522.2	57.448	70.294	90.594	22.229

T-Tests		Variable	Method	Variances	DF	t Value	Pr > t
time	Pooled	time	Equal	38	-25.52	<.0001	
time	Satterthwaite	time	Unequal	20.7	-25.52	<.0001 ^②	

Equality of Variances		Variable	Method	Num DF	Den DF	F Value	Pr > F
time	Folded F	time	Folded F	19	19	22.25	<.0001 ^①

기존공법과 개선공법의 시공 소요시간 차이여부의 검증결과 ①에서 Pr > F 값이 <.0001로 0.05보다 작으므로 두 공법의 시공 소요시간의 분산에 차이가 없다는 가설을 기각하게 되어 ②의 Unequal에 해당하는 Pr > |t|값을 확인한 결과 <.0001로 0.05보다 작으므로 두 공법의 시공 소요시간의 평균에 차이가 없다는 가설을 기각, 신뢰수준 95%하에서 두 공법의 시공 소요시간의 평균은 서로 다르다고 할 수 있으며 “Statistics” 부분의 Mean값 ③의 확인 결과 개선공법의 평균이 낮게 나타나 기존공법보다 개선공법의 시공시간이 적게 소요된다고 할 수 있다.

따라서 개선공법은 도장작업 소요시간에 있어서 30% 이상의 절감효과가 있으며 그 평균값 및 절감율은 <표 17>과 같다.

표 17. 기존공법 대비 개선공법의 도장작업 소요시간 절감율

구분	통계적 평균값	재래형 대비 비율	비고
기존공법①	1785.6	100%	(기존공법) 0.194인/㎡ × 66.2% =0.128 인/㎡ (개선공법)
개선공법②	1182.5	66.2%	
시간절감율	① - ② = 612.2	33.8%	

<표 18~19>는 각 개선공법의 공정별 도장회수 및 작업공수를 나타낸 것이다. 도장회수는 기존공법과 개선공법 모두 5회로 동일하다. 그러나 각 공정별로 작업에 필요한 소요시간의 비율로 표현한 작업공수에서는 도장재·공정 동시변경공법이 23%, 도장재 변경공법이 38%정도 절감되는 것으로 나타났다. 문제점 분석에서 언급된 기존공법의 “작업성 저하”에 의한 영향으로 분석된다. 이 절감율은 전술한 시공 소요시간 분석의 결과와도 유사하다는 것을 알 수 있다.

표 18. 도장재·공정 동시변경공법의 도장회수 및 작업공수

공정	기존공법(RE系)	도장회수	작업공수	도장재·공정 동시변경공법	도장회수	작업공수
하도	① 바탕조정	-	1	① 바탕조정	-	1
	② Primer 도포 (유성 에폭시계)	1	1	② Putty 도포 (아크릴 에멀전)	1	4
	③ Putty 도포 (유성 에폭시계)	1	4	③ 凸部 처리 (연마작업)	1	4
	④ 凸部 처리 (연마작업)	-	12	④ Primer 도포 (유성 에폭시계)	-	1
중도	⑤ 중도뿔칠	1	2	⑤ 중도뿔칠	1	2
상도	⑥ 마감뿔칠	상도1회	1	⑥ 마감뿔칠	상도1회	1
		상도2회	1		상도2회	1
계		5회	22	계	5회	14
비고	재래형을 100% 기준으로 잡았을 때			공수 절감율		36%

* 작업공수 : 작업에 필요한 소요시간의 비율을 표시한 것.

표 19. 도장재 변경 공법의 도장회수 및 작업공수

공정	기존공법(RE系)	도장회수	작업공수	도장재 변경 공법	도장회수	작업공수
하도	① 바탕조정	-	1	① 바탕조정	-	1
	② Primer 도포 (유성 에폭시계)	1	1	② Primer 도포 (유성 에폭시계)	1	1
	③ Putty 도포 (유성 에폭시계)	1	4	③ Putty 도포 (아크릴 에멀전계)	1	4
	④ 凸部처리 (연마작업)	-	12	④ 凸部처리 (연마작업)		4
중도	⑤ 중도뿔칠	1	2	⑤ 중도뿔칠	1	2
상도	⑥ 마감뿔칠	상도1회	1	⑥ 마감뿔칠	상도1회	1
		상도2회	1		상도2회	1
계		5회	22	계	5회	14
비고	재래형을 100% 기준으로 잡았을 때			공수 절감율		36%

* 작업공수 : 작업에 필요한 소요시간의 비율을 표시한 것.

5.2 실물제작시험(Mock up Test)

본 항에서는 전형적인 부재 조건으로 실물크기 PC 커튼월 패널을 제작하고, 그 위에 개선공법에 의한 복층마감 도장작업을 수행하여 소요품을 산정하였다. 이를 바탕으로 개선공법에 의한 복층마감 도장작업의 공사비를 예측하고 기존공법에 의한 공사비와의 비교를 통하여 개선공법에 대한 경제성 평가의 기초자료로 삼고자 하였다.

시험부재는 두께 150mm, 크기 2,400×3,200(mm)에 창(1,200×1600)이 있는 패널 2개와, 동일 두께에 크기 1,200×3,200(mm)에 창(1,200×1600)이 없는 패널 1개를 각각 제작하였다.

1) 작업 소요시간 측정

도장면적 약 20㎡의 PC 패널 도장작업에 소요된 시간은 <표 20>과 같다.

1일 작업시간을 8시간으로 하였을 때, 안전교육 및 간식시간으로 1시간을 제외하고, 7시간 작업시간 중 1시간 마다 10분씩 휴식하면, 실제 작업시간은 350분(7×50분)이 된다. 전체 소요시간이 875분이므로 다음과 같은 계산에 의하여 0.125인/㎡의 소요품을 산출할 수 있다.

$$875\text{분}/20\text{㎡} \div 350\text{분/인} = 2.5\text{인}/20\text{㎡} = 0.125\text{인}/\text{㎡}$$

표 20. 도장재료 사용량 및 작업 소요시간(도장면적 약 20㎡)

공정	작업내용	재료 사용량	작업 소요시간(분)	비고
하도	프라이머도포용제	프라이머 6ℓ	60	재료준비포함 (0.3kg/㎡)
		용제 1ℓ		
	퍼티 도포	16kg	205	보양시간포함 (0.8kg/㎡)
연마	凸部 처리	-	225	
중도	중도뿔칠	24kg	111	재료준비포함 (1.2kg/㎡)
상도	상도재 2회도포용제	불소수지 6ℓ	53 (1회)	(0.3kg/㎡)
		용제 0.6ℓ	47 (2회)	
기타	소운반 및 뒷정리		116	순 공정에 해당
계			875	

이는 통계자료로 도출된 0.128인/㎡보다 0.003인/㎡이 적은데, 실제 도장 작업장에서 상품의 포장(최종보양)이나 출하 대기장소로 이동시키는 것 등을 감안한다면 약 3~5%의 증가는 있을 것으로 예상된다.

따라서 3% 증가를 가정한다면, 0.125인/㎡ × 1.03 = 0.129인/㎡이 되므로 통계에서 도출된 수치와 비교해 보면 비슷한 결과를 나타내고 있다.

5.3 개선공법의 경제성

실물제작시험에 의하여 산출된 도장작업의 소요품을 이용하여 기존공법 대비 개선공법의 경제성을 평가한 결과는 <표 21~22>와 같다.

따라서 개선공법을 적용할 경우 기존공법과 비교하면, 바탕면 정리비(PC생산 Maker의 작업범위)와 보양비는 별도로 하여 제외하고, 두 공법 모두에서 재료비(약 13%) 및 인건비(약 34%)를 낮출 수 있으며, 전체적으로 약 25%의 원가절감 효과를 거둘 수 있는 것으로 분석되었다.

재료비 절감은 유성 에폭시계 퍼티를 아크릴 에멀전계 퍼티로 변경한 것에 의해 이루어졌다. 인건비 절감은 기존공법의 작업성이 크게 개선되어 개선공법의 소요품이 줄어든 것에 의해 이루어졌다.

이로써 기존의 뿔칠 복층마감 도장공법에 대한 개선공법으로 제시한 두 공법, 특히 도장재 변경에 의한 개선공법은 도장공사의 품질기준을 만족시킬 뿐만 아니라 작업성 측면에서도 유리하고 경제성까지 확보할 수 있는 공법임이 밝혀졌다.

표 21. 기존공법 대비 도장재·공정 동시변경 공법의 경제성 평가

(원/㎡)

공정	기존공법(RE형)			개선공법			비고
	재료비			재료비			
I	바탕면 정리	-	-	바탕면 정리	-	-	별도공사 (PC Maker의 작업범위)
	소 계	-	-	소 계	-	-	
II	Primer 도포 (유성 Epoxy系)	520		Putty 도포 (Acryl Emulsion系)	422		국내생산 재료사용
	신너	75		Sanding (연마)		공기구 손료및 인건비	
	Putty 도포 (유성 Epoxy系)	1,400		Primer 도포 (유성 Epoxy系)	528		
	Sanding (연마)		공기구 손료및 인건비	신너	75		
	중도재 뿔칠 (Epoxy Emulsion系) (기초,본,치처리)	3,353		중도재 뿔칠 (Epoxy Emulsion系) (기초,본,치처리)	3,224		
	마감도장 (2회) <불소수지도료>	4,008		마감도장 (2회) <불소수지도료>	3,914		
	TOP COAT 신너	72		TOP COAT 신너	72		
	소 계	9,428		소 계	8,235		
III	보양비	-	-	보양비	-	-	별도공사
	소 계	-	-	소 계	-	-	
IV	공기구 손료 2%	188.56		공기구 손료 2%	164.7		
	재료비 합계	9,616.6		재료비 합계	8,399.7		약13% 절감
V	인건비 (0.194인/㎡)	13,652		인건비 (0.128인/㎡)	9,007		
	인건비 합계	13,652		인건비 합계	9,007		약34% 절감
	총 계	23,268.56		총 계	17,406.7		
	비율	100%		비율	74.8%		약 25% 절감

註) 1) 본 품은 피도장면이 모르터면 일 때에는 Primer, Putty의 량은 피도장면의 바탕 형상에 따라 20~30%를 할증하여야 함.

2) 인건비는 2002년 8월 정부노임단가(70,370원/인) 적용한 것임.

표 22. 기존공법 대비 도장재 변경 공법의 경제성 평가

(원/㎡)

공정	기존공법(RE系)			개선공법			비고
	재료비			재료비			
I	바탕면 정리	-	-	바탕면 정리	-	-	별도공사 (PC Maker의 작업범위)
	소 계	-	-	소 계	-	-	
II	Primer 도포 (유성 Epoxy系)	520		Primer 도포 (유성 Epoxy系)	485		국내생산 재료사용
	신너	75		신너	75		
	Putty 도포 (유성 Epoxy系)	1,400		Putty 도포 (Acryl Emulsion系)	419		
	Sanding (연마)		공기구 손료및 인건비	Sanding (연마)		공기구 손료및 인건비	
	중도재 뿔칠 (Epoxy Emulsion系) (기초,본,치처리)	3,353		중도재 뿔칠 (Epoxy Emulsion系) (기초,본,치처리)	3,230		
	마감도장 (2회) <불소수지도료>	4,008		마감도장 (2회) <불소수지도료>	3,893		
	TOP COAT 신너	72		TOP COAT 신너	72		
	소 계	9,428		소 계	8,174		
III	보양비	-	-	보양비	-	-	별도공사
	소 계	-	-	소 계	-	-	
IV	공기구 손료 2%	188.56		공기구 손료 2%	163.48		
	재료비 합계	9,616.6		재료비 합계	8,337.5		약 13% 절감
V	인건비 (0.194인/㎡)	13,652		인건비 (0.128인/㎡)	9,007		
	인건비 합계	13,652		인건비 합계	9,007		약 34% 절감
	총 계	23,268.56		총 계	17,344.48		
	비율	100%		비율	74.5%		약 25% 절감

註) 1) 본 품은 피도장면이 모르터면 일 때에는 Primer, Putty의 량은 피도장면의 바탕 형상에 따라 20~30%를 할증하여야 함.

2) 인건비는 2002년 8월 정부노임단가(70,370원/인) 적용한 것임.

5.4 시공사례

1) 사례 내용

PC 커튼월 패널의 뿔칠 복층마감 도장공사의 시공사례로는 기존공법(RS系 및 RE系), 도장재·공정 동시변경 공법 및 도장재 변경공법 각각의 도장공법을 다음과 같이 현장 적용하여 시공하였는데 그 개요는 다음과 같다.

(1) 복층마감 도장 기존공법 적용 사례(RS系 및 RE系)

“S” 건축물 외장공사에는 RS系 공법을, “L” 건축물 (“R” 건축물 및 “W” 건축물 외 다수건물) 외장공사에서는 RE系 공법을 각각 적용 시공하였다. 그 개요는 다음 <표 23>과 같다.

표 23. 기존공법 시공사례 개요

구분	“S” 건축물	“R” 건축물
건물규모	지하4층, 지상26층, 옥탑2층	지하3층, 지상37층, 옥탑4층
연면적	25,260평	33,299평
도장면적	약 21,000㎡	약 30,000㎡
적용공법	에폭시 뿔칠복층마감도장 (RS系)	에폭시 뿔칠복층마감도장 (RE系)
기타사례	“D” 건축물 외	“L” 건축물, “W” 건축물 외

(2) 복층마감 도장 개선공법 적용 사례

“D” 건축물 외장공사에 도장재·공정 동시변경 공법 및 도장재 변경 공법을 동시에 적용 시공하였다. 그 개요는 다음 <표 24>와 같다.

표 24. 개선공법 시공사례 개요

구분	“D” 건축물 개요
건물규모	지하4층, 지상11층
연면적	21,890평
도장면적	약 24,870㎡
적용공법	도장재·공정 동시변경 공법 ; 시공면적 약 5,000㎡
	도장재 변경 공법 ; 시공면적 약 19,800㎡

2) 품질 평가

“S” 건축물의 경우에는 RS계의 유성 에폭시 뿔칠 복층 마감 도장을, “L” 건축물, “W” 건축물의 외장 복층마감 도장은 RE계를 시공한 바 있고, 개선공법 시공으로는 “D” 건축물의 외장 성형콘크리트 패널의 복층마감 도장을 대상으로 시공하였다.

“S” 및 “L” 건축물의 외장도장은 시공자재 중 경화제(B濟)는 전량 수입하고 主劑(基劑 : A濟)는 기술제휴로 국내 가공조건으로 시공한 반면, “D” 건축물은 전량 국산자재를 사용하여 시공하면서도 소정의 품질을 확보하고자 하였다.

반응경화형 합성수지 용액계(RS系)의 뿔칠 복층마감 도장 공법으로 시공한 “S” 건축물은 준공후 정기적으로 외벽을 점검하였는데 4개월 이후부터 6개월 사이에 부분적으로 균열 및 박리 현상이 나타났다.

국내 기존공법(RS형)의 시공에서 단지 일부 제품의 제조상(Mixing)의 문제 외에 수분함량(함수율) 8% 이하에서는 하자가 발생하지 않았으나 그 이상에서는 하자가 발견되었다. 하자가 발생한 부분의 보수 후 이들 하자부분을 매년 점검한 결과 다시 하자가 발생하는 일은 없었으며, 준공 이후 부착성·내후성 등의 문제로 인한 하자도 발견되지 않았다. 역시 RS계의 경우에는 제품의 제조과정이 까다롭고 가격이 고가이며, 바탕재의 수분함량이 8%이하일 때만 품질이 보장되는 것으로 사료된다.

반응경화형 합성수지 에멀전계(RE계)는 RS계와 달리 중도재로 에멀전 수지를 사용하므로 재료 상호간의 접합 강성이 작아져서 부착력으로 발생하는 하자가 줄어드는 것이 시공경험으로 판단되었다. RS계(에폭시+에폭시)가 RE계(에폭시+에멀전)로 바뀌면 접합 강성이 약해진다. 유성의 부착력이 수용성의 그것보다 강하기 때문이다. 이것은 유성과 수용성의 고유한 성질에서 비롯된 것이다. 콘크리트와의 부착을 이루는 도장에서는 유성의 부착력이 지나치다고 할 수 있기 때문에 수용성일 때보다 부착과 관련된 하자가 많아지는 것으로 사료된다.

이와 같이 부착강도가 큰 에폭시수지의 성질로 인하여 오히려 콘크리트와의 부착력을 저하시킨다고 판단되어 대부분의 외장용 복층마감 도장에서는 RE계를 선호하게 되었다. 또 RE계는 RS계에 비하여 작업성이 유연하여 공기단축이 가능한 장점도 가지고 있다.

개선공법에 의한 “D” 건축물의 외벽도장은 전량 국내생

산 자재를 사용하였는데, 특이한 것은 비록 바탕처리용으로 유성 에폭시 프라이머를 사용하더라도 바탕재의 함수율이 일단 8%이하로 되고 나면, 우기등의 작업환경으로 함수율이 다시 9~11%정도로 증가해도 재료사용 공정기간 내에 시공이 가능하였다. 수용성이므로 작업 중 재료에 흡수된 수분이 증발되어 시공 후에도 박리·균열로 인한 하자는 발생하지 않았다. 콘크리트 패널 표면층 함수율의 증가로 인한 박리·균열의 하자과 상도재로 사용한 불소수지에서 표면층 변색등의 하자가 발견되지 않고 있으며, 도장재 변경공법으로 시공한 건축물의 함수율은 Kett 수분계를 이용하여 측정하였으며 그 결과는 <그림 8>과 같이 조사되었는데 9~11% 함수율에서도 박리·균열 하자는 발생하지 않았다.

* 측정시기 : 하절기

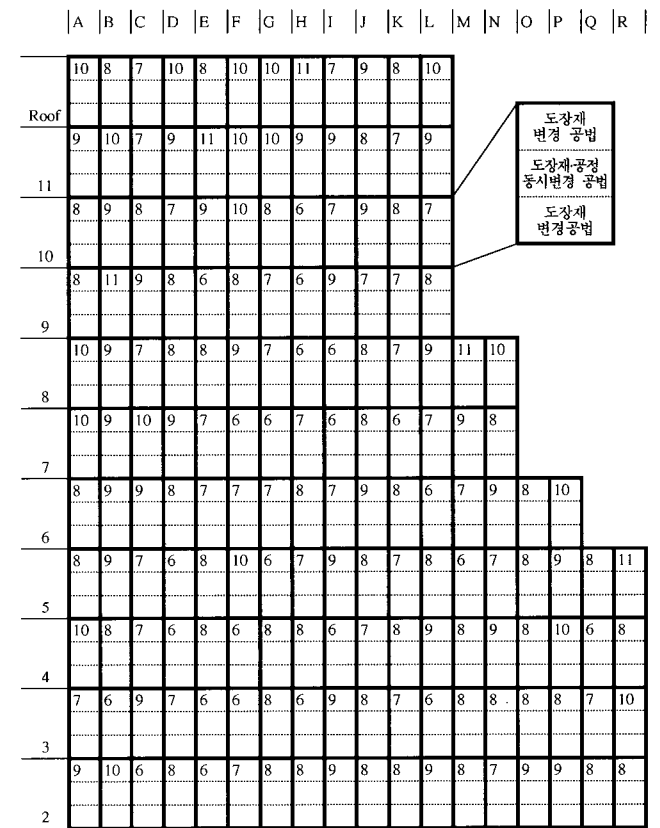


그림 8. 개선공법의 함수율 및 하자조사 Matrix

프라이머를 제외한 다른 공정의 재료를 에멀전으로 시공함으로써 작업성을 좋게 하였다. “D” 건축물에서의 시공은 각각 PC 패널마다 외장 색상을 달리 하도록 설계되어 있는 부분을 구획으로 하여 개선공법 두 가지를 동시에 시공하였는데, 부착성·온냉에 대한 저항성·내충격성·내알카리성·자외선에 의한 내후성 등과 관련된 하자가 없었다. 국내에서 가공 생산되고 있는 여러 제조회사의 도장재만을 사용하여도 아무런 하자가 없었다.

부착강도는 복층마감 도장공법이 가지고 있는 일반적인 범위 내에 있다. 일반적으로 마감도장의 부착강도는 0.5N/mm²(5Kgf/cm²) 이상이면 문제없다. 작업성이 크게 향상된 개선공법으로 품질보증이 가능하다고 사료된다.

6. 결 론

본 연구는 기존공법의 도장재료가 품질이 우수한 제품임에도 불구하고 현장의 시공성이 낮아서 생기는 여러 가지 문제점을 분석하고, 이를 근거로 시공성을 크게 개선하면서도 품질기준을 만족시킬 수 있는 개선공법을 고안하고 실물제작시험을 통하여 현장 적용성을 검토하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 기존공법의 문제점은 도장재료는 품질이 우수한 제품임에도 불구하고 현장 시공성 측면에서 까다로운 조건이 많다. 구체적으로 콘크리트 바탕재의 흡수율을 8%이하로 유지시키지 않으면 균열·박리 등의 하자가 발생하고, 유성 도장재의 유독성·인화성으로 작업자에게 위험을 초래하며, 可使時間이 짧아 생산성을 저하시킨다.
- 2) 사용재료와 흡수율에 대한 기존공법의 문제점을 해결하기 위하여, 기존 RE계 공법에서 도장재료와 공정을 동시변경한 개선공법과 도장재만 변경한 개선공법은 품질시험 결과 모든 시험항목에서 도장공사의 품질기준을 만족시키는 것으로 나타났다.
- 3) 개선공법을 기존공법과 비교하였을 때 시공성 개선에 의한 인건비 절감(절감율 약 35%)은 물론 재료비에서도 약 10%의 절감효과가 나타나 전체적으로 약 25%의 원가절감이 가능한 것으로 밝혀졌다.
- 4) 시공사례를 분석하여 개선공법의 흡수율에 의한 하자여부를 파악한 결과 국산자재를 사용한 개선공법으로 시공된 부분에서 하자발생이 전혀 없었음을 확인함으로써 국산자재의 품질과 장기적 내구성의 확보가 가능하다.

참고 문헌

1. 고려화학, 건축용 도료물질 안전보고서
2. 산업자원부기술표준원(한국전자재료시험연구원), 건축재료표준화 연구, 2000. 10
3. 시공계획가이드북 工事編2, 명문사, 1992.
4. 신현식 외 2인, 건축시공학, 문운당, 2000.
5. 윤재환 역, 포아틀랜드시멘트 및 콘크리트, 세진사.
6. 日本建築工事共通仕様書, 社)營繕協會, 1985.
7. 日本建築學會, JASS14,カーテンウォール工事,1985. 6
8. 日本建築學會, 鐵筋コンクリート造ひびわれ 對策 (設計·施工) 指針·同解説, 日本建築學會, 1994.
9. 日本建築吹付材工業會, JASS
10. JIS A6910, 6909, 複層模様吹付材
11. JIS K6714, Acryl 樹脂
12. ASTM D 1763, Epoxy Resin Standard.
13. BS 3815, British Standard Specification for Epoxide Resin Coating System for Electrical Applications.
14. Lee, H. and Neville, K. Epoxy Resins, McGraw Hill, NewYork, 1957.
15. Lee, H. and Neville, K. "Handbook of Epoxy Resins", 1967, McGraw-Hill, New-York.