

특 집

|| 노출 콘크리트 ||

광택 · 고품질 노출 콘크리트 시공 사례

- Application of Marble Effect · High Quality Exposed Concrete -



민병소*



이현희**



정태웅***

노출 콘크리트는 많은 건축가들이 선호하는 공법이지만, 국내의 시공 기술 수준이 이에 미치지 못하여 시공 중에 설계 변경이 되거나, 시공이 된다하더라도 품질이 기대에 미치지 못하는 경우가 많았다. 국내의 경우 소규모의 노출 콘크리트 작품들은 그동안 꾸준히 시도되어 왔으나, 대규모 프로젝트의 경우는 최근에 등장하게 되었다. 그 중에서 한국전자통신연구원, 영종도 신공항 관제탑, 월드컵 경기장이 대표적인 예라고 할 수 있다.

두산건설에서 시공한 한국전자통신연구원에는 아직까지는 생소한 광택 노출 콘크리트 공법이 적용되었다. 광택 노출 콘크리트란 표면에 광택이 발현되어 대리석 질감을 갖도록 한 고품질 노출 콘크리트를 말한다. 1995년부터 광택 노출 콘크리트에 대한 연구를 시작하여 실험실 실험과 5차례에 걸친 Mockup Test를 통하여 본 공법의 개발을 완료하고, 현장에 적용하는 데 성공하였다. 광택 노출 콘크리트 적용의 성공으로 광택 노출 콘크리트 공법뿐 아니라, 일반 고품질 노출 콘크리트의 시공 기술까지 습득할 수 있었으며, 이를 통하여 중곡동 성당에도 고품질 일반 노출 콘크리트를 적용할 수 있었다.

본고에서는 광택 노출 콘크리트 공법의 적용을 위한 일련의 실내실험, Mockup Test 및 현장 적용 내용을 기술하여 본 공법을 소개하고자 한다.

2. 광택 노출 콘크리트의 개요

광택 노출 콘크리트는 특수 제작된 광택 발현용 거푸집 형틀에 고로 슬래그 미분말이 혼합된 콘크리트를 타설한 후 소정의 양생 기간을 거쳐 탈형함으로써 콘크리트에 광택이 발현되고, 탈형 후 콘크리트 면을 보호하기 위하여 콘크리트용 발수제를 도포함으로써 노출 콘크리트의 광택이 유지되도록 개발된 공법으로 그 특성은 다음 <표 1>과 같다.

표 1. 광택 노출 콘크리트의 특성

구분	개요	설명
배합 및 제조	배합 : 고미분말 무기 재료, 백시멘트 혼합	고미분말 무기 재료에 의한 내구성 증진
	제조 : 현장 콘크리트 타설	일반적인 현장 콘크리트 타설 방법
형상	색상 : 회색 또는 밝은 회색	색상에 의한 심리적 안정감 및 친밀감 도모
	표면 상태 : 광택 발현, 표면 기포 발생 최소화	광택 발현에 의한 고품질 마감 효과

3. 성능 실험

3.1 Form facing material에 따른 광택도

Form facing material에 따른 광택 발현 정도를 조사하기 위하여 <표 2>와 같이 실험을 실시하였다. 거푸집은 패널 면에

* 정회원, 두산건설 기술연구소 차장

** 정회원, 두산건설 기술연구소 대리

*** (주)세향AC&M 소장

광택전사를 위한 Form facing material을 부착한 것을 사용하였다. 콘크리트는 설계 강도 240 kg/cm², 목표 슬럼프 18 ± 2.5 cm로 하였다. 타설 후 3일간 양생하고 탈형한 후 광택 발현 정도를 조사하였다.

표 2. Form facing material 종류

종 류	Form facing material			
	전면	좌측면	우측면	후면
Type 1	A	좌동	좌동	좌동
Type 2	A	좌동	C	좌동
Type 3	B	좌동	좌동	좌동
Type 4	B	좌동	D	좌동

· 실험체 규격 : 900 × 900 × 150 (mm)

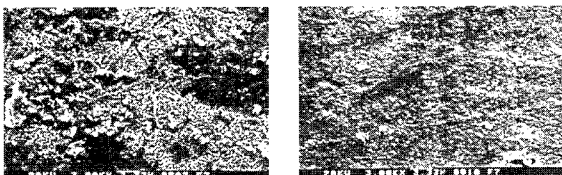
Form facing material에 따른 광택도는 B의 경우 탈형 초기는 A보다 우수하나 시간이 경과함에 따라 두 종류가 비슷한 광택도를 보였다. 또한 원형 기둥에 적용할 C의 광택도는 다른 재료에 비해 작았다.

표 3. 배합비 및 측정 결과

구 분	설계기준강도 (kgf/cm ²)	물결합재비 (%)	잔골재율 (%)	고로 슬래그 대체율 (%)	굳지 않은 콘크리트			경화 콘크리트			
					블리딩량 (ml/cm ³)	슬럼프 (cm)	공기량 (%)	광택도	f _{ck} (kgf/cm ²)	축진 중성화 깊이 (mm)	건조수축률 (× μ)
비교 예 1	240	53.4	43.0	0	0.188	16.7	5.6	-	322	13	481
비교 예 2	300	46.0	41.0	0	0.183	15.3	5.5	-	423	10	612
실시 예 1	240	50.0	42.0	10	0.174	17.7	5.2	45.5	329	10	-
실시 예 2	300	42.9	39.0	10	0.171	16.7	5.6	53.1	428	10	394

주: 1) 블리딩량은 270분 경과시, 광택도는 탈형 후 28일 경과시, 건조수축률은 12주 경과시 값임.
 2) 광택도 측정은 ASTM D 523을 따름.
 3) 비교 예는 광택이 발현되지 않아 값을 기입하지 않음.

다만 <사진 1>과 같이 양생 조건에 따라 표면 조직의 치밀도가 달라져 광택 발현에 영향을 미친다는 것을 발견할 수 있었으며, 이에 따라 발현된 광택을 장기간 유지하기 위해서는 적절한 양생 기간을 확보해야 함을 알 수 있었다.



일반 콘크리트

광택 노출 콘크리트

사진 1. 양생 조건에 따른 콘크리트 표면 상태(SEM, 3000배)

3.2 물리적 성능

광택 노출 콘크리트 배합은 콘크리트의 충전성 및 유동성이 충

분히 확보될 수 있는 시공연도(Workability)를 갖도록 하되 지나친 혼화제 첨가에 따른 비경제성을 피하기 위하여 슬럼프값 18 ± 2.5 cm, 공기량 5.0 ± 1.0 %, 결합재량 380 ~ 600kg/m³으로 하며, 고로 슬래그 미분말을 시멘트의 10 ~ 50 % 대체함으로써 치밀한 조직을 이루게 하여 표면 마감 및 광택 발현 성능을 향상시키고 내구성 증진의 효과를 갖도록 하였다.

1) 콘크리트의 물성

<표 3>은 물리적 성능 실험 결과로서 광택 노출 콘크리트의 블리딩, 건조 수축, 중성화 및 압축 강도는 일반 콘크리트보다 우수한 것으로 나타났다.

2) 광택도

<표 4>는 장기적인 광택도의 측정 결과이다. 표에서 알 수 있듯이 광택 노출 콘크리트는 재령에 따라 광택이 다소 감소하는 경향을 나타내었으나, 재령 7개월 이후에는 광택도의 변화가 거의 없는 것으로 나타났다.

표 4. 광택 노출 콘크리트 장기 광택도 변화

종류	재령	7일 (탈형)	28일	2개월	7개월	16개월
실시 예 1		56.5	45.5	43.9	41.2	41.0
실시 예 2		63.6	53.1	53.6	45.8	45.3
평 균		60.1	49.3	48.8	43.5	43.2

4. Mockup Test

4.1 1차 Mockup Test

레이콘사와 협조하여 당초 시방서에 의한 일반 합판 거푸집으로 시험타 설하였으나, 거푸집의 변형으로 인한 누수, 코너와 모서리 및 콘 주위의 누수로 인해 목표로 하는 품질을 확보하지 못

하였다.

4.2 2차 Mockup Test

거푸집 변형을 방지하기 위하여 시스템폼을 적용하고, 누수 방지 및 강성 유지를 위해 이중 합판(18 mm 내수 + 12 mm 일반 합판)으로 거푸집 패널을 제작하였고, 타설시 재료 분리를 방지하기 위하여 트레미관을 이용하였다. 타설 결과 초기 광택, 먼, 선 등은 양호하게 나타났으나, 보양 문제, 구열 크랙 발생, 시간 경과에 따른 광택 퇴색, 누수로 인한 잔골재 분리 등의 문제점이 발생하였다.

4.3 3차 Mockup Test

1, 2차 Mockup Test에서 나타난 문제점을 보완하여 합판 조인트 부위에 필름을 부착하여 누수를 방지하고, 전기 및 설비 Box 등에 Packing을 설치한 후 고주파 바이브레이터를 사용하여 시공하였다. 시공 결과 색상, 초기 광택 발현, 먼 등은 양호하게 나타난 반면 구열 크랙, 미세 기포 발생, 보양 등은 보완 과제로 남았다.

4.4 4차 Mockup Test

3차 이후 지속적인 문제로 남은 광택 소멸 문제의 해결을 위해 콘크리트 배합 설계 및 양생 방법에 대한 재검토를 실시하여 가장 양호하게 나타난 배합 설계를 적용하고, 기동 타설시 펌프 카의 압송에 의한 재료 분리를 방지하기 위해 현장에 제작한 1.5 m³ 용량의 전용 호퍼에 트레미관을 연결하여 타설하였으나 혼화제의 외기 온도 변화에 따른 물성 변화로 만족할 만한 품질을 얻지 못하였다.

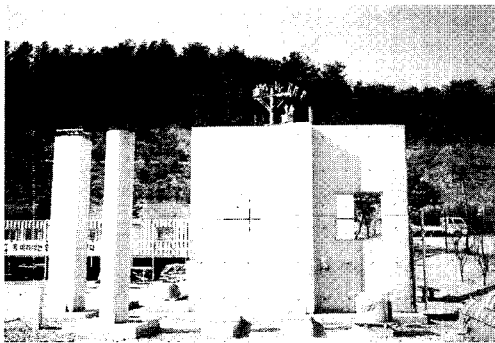


사진 3. Mockup Test 실시 실험체

4.5 5차 Mockup Test

1 ~ 4차에 걸친 Mockup Test의 결과에 따라 시스템폼 사용,

이중 패널 구조, 고주파 바이브레이터 사용, 호퍼와 트레미관 사용을 최종 시방으로 선정하고, 양생 온도를 고려한 보양 방법을 채택하고, 혼화제의 재선정, 줄눈 및 콘 위치를 조정하여 현장 지하 1층에 실제 적용하였다.

적용 결과 광택이 좋고 장기적으로 광택 소멸이 없었으며, 누수가 방지되었고, 표면 기포 크기가 감소되었다.

5. 광택 노출 콘크리트의 시공

5.1 배합

실험실 실험과 5차까지의 Mockup Test 결과를 근거로 하여 콘크리트 배합은 20-240-18을 기본으로 슬럼프 18 ± 2.5 cm, 공기량 4.5 ± 1 %, 고로 슬래그 10 % 혼합, 혼화제는 AE 감수제 지연형을 사용하는 것으로 하였다.

5.2 거푸집 제작 및 설치

거푸집 제작시 다음 사항에 중점을 두었다.

1) 거푸집 수밀성

- 합판 : 18 mm 광택 전사 합판 사용
- 조인트의 맞물림 구조 : 단면상 결합이 누수가 없도록 조립
- 광택 발현 패널 조인트 및 줄눈 부위 누수 방지 : 필름 부착
- 기동 및 옹벽 형틀 하부의 Packing 처리 및 실란트 코킹
- 폼타이용 콘 및 관통 파이프 누수 방지 : 콘 특수 주문 제작

2) 광택의 발현

- 패널 위에 광택전사재 A형과 B형을 부위에 따라 적합한 것을 사용함.
- 광택전사재 도포 후 마른걸레 청소
- 옹벽, 기동 및 보, 슬라브의 분리 제작 : 콘크리트의 수밀성 및 청소의 용이, 형틀 해체시 파손 방지를 위해 분리 제작함.
- 노출면의 평활도 : 합판면 평활을 위한 퍼티 작업입 Electric Sander에 의한 Sanding
- 노출면의 줄눈 및 콘나누기 : 평활한 노출면의 시각적, 조형적 분배

5.3 철근 배근 및 피복 두께

기본적으로 노출 콘크리트의 피복 두께는 일반적인 마감이 없는 콘크리트에 비해 줄눈 두께만큼 증가된다.

- 보와 보 교차부 철근 배근 : 보단부 하부에 헌치를 설치하여 보 철근의 정착을 원활하게 하여 레미콘 타설이 가능하도록 함.

- 용벽의 철근 배근 : 용벽의 외곽선 유지를 위해 일면 노출시 비노출면 측으로 20 mm의 피복 두께를 증가시키고 배근시 정확한 피복 두께를 유지하도록 배근 간격 조정
- 파라펫 및 잡 배근 : 기본적으로 T150, 단배근인 파라펫은 피복 두께 20 mm를 증가시키고 균열 방지를 위해 복배근으로 변경함.

5.4 콘크리트 타설

- 슈트를 이용한 타설 : 간헐 공기를 최소화하고 형틀 표면을 손상시키지 않도록 하기 위함.
- 1회 채우기의 평균 높이 1 m 이하
- 고주파 바이브레이터 : 휴대가 간편할 뿐 아니라 고주파 진동에 의해 콘크리트 내부의 공극이 잘게 부수어지는 효과가 있다. 진동기 사용시 형틀 표면을 다치지 않도록 하며, 형틀쪽으로 치우치거나 과도하게 사용할 경우 부서진 공기가 형틀 표면의 표면장력에 의해 큰공기로 합쳐져서 곰보자국이 남을 수도 있으므로 주의를 요함.
- 용벽, 기둥 분리 타설시 전용호퍼에 의한 타설 : 펌프카의 압송에 의한 재료 분리를 줄이고 낙차를 줄여 타설, 공기 혼입 및 재료 분리를 최대한 방지해야 함.

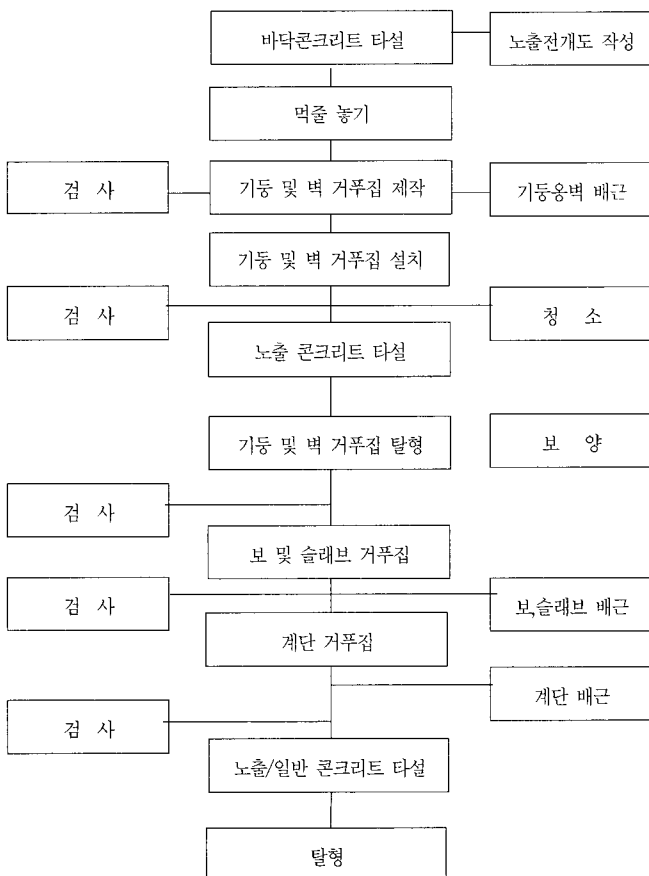


그림 1. 광택 노출 콘크리트 시공 순서도

5.5 탈형 후 면 보호

작업자 통행이 많거나 크레인에 의한 중량물의 운반이 빈번한 장소에서는 노출 콘크리트 면과 코너 부위를 보호해야 한다. 압축 스티로폼과 코너비드 등의 보호 기구로 프로텍션을 철저히 하여야 한다.

5.6 광택 노출 콘크리트 마감

콘크리트 표면의 오염 물질의 침투 및 부착의 방지를 위하여 콘크리트 표면의 질감과 색상을 유지하면서 내구성이 강한 물질로 표면을 보호하여야 한다. 본 공사에서는 불소계 발수제를 사용하였다.

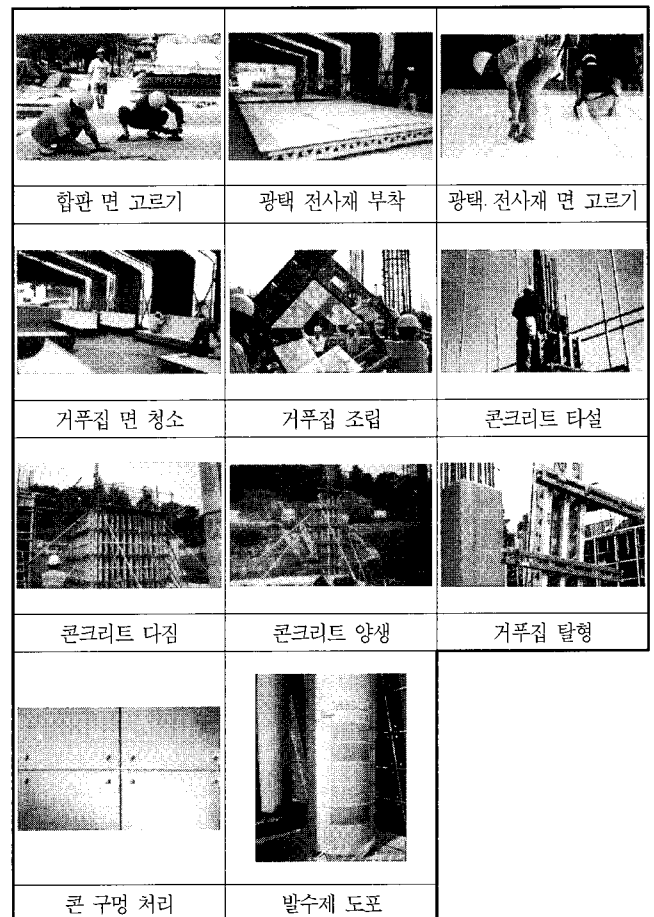


사진 4. 광택 노출 콘크리트 시공 사진

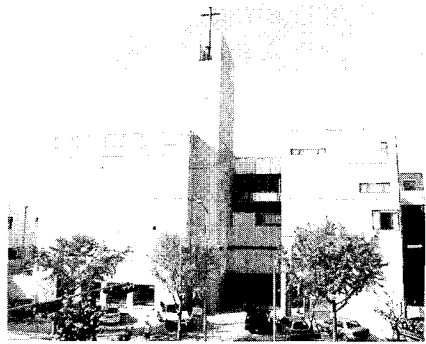
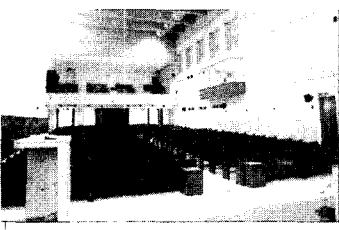


6. 노출 콘크리트 적용 사례

이와 같은 광택 노출 콘크리트의 시공 사례로 다음 <표 5, 6>에 나타난 바와 같이 대덕연구단지에 위치한 한국전자통신연구원 연구동(광택 노출 콘크리트)과 서울 중곡동 성당(고품질 일반 노출 콘크리트)을 소개한다. □

표 5. 한국전자통신연구원(대전소재) 시공 사례

건물명	한국전자통신연구원		
공사 개요	<ol style="list-style-type: none"> 1. 공기 : 1995년 7월 1일 ~ 1998년 5월 15일 2. 용도 : 연구실, 실험실, 도서정보실, 국제회의장, 강당 3. 규모 : 1) 대지면적 : 356,005㎡ (107,880坪) 2) 건축면적 : 5,324㎡ (1,613坪) 3) 연 면 적 : 34,757㎡ (10,532坪) 4) 노출 콘크리트 시공 총면적 : 13,204㎡ 4. 기타 : 1) 층 수 : 지상 6층, 지하 2층 2) 구 조 : 철근 콘크리트 + 철골 콘크리트 3) 주요마감 : 광택 노출 콘크리트 		
노출 콘크리트 적용 부위	<ol style="list-style-type: none"> 1) 지상으로 노출되는 외벽, 기둥, 보 2) 지하 2층 대강당 기둥 및 좌우 복도측 벽체 3) 지하 1층 ~ 옥탑까지 내부 기둥 및 엘리베이터, 옹벽 일부 4) 캐노피, 파라펫 부분으로 별도의 승인된 부분 	전자통신연구원 전경	
관련 사진			
	계단실 벽체	회의실 내부 벽체	
			
	발코니 전경	엘리베이터 홀 전경	현관 전경

표 6. 중곡동 성당(서울 소재) 시공 사례

건물명	중곡동 성당		
공사 개요	<ol style="list-style-type: none"> 1. 공기 : 1998년 11월 28일 ~ 2000년 7월 27일 2. 용도 : 대성당, 대강당, 사제관, 수녀원 3. 규모 : 1) 대지면적 : 1,806㎡ (546평) 2) 건축면적 : 1,058㎡ (320평) 3) 연 면 적 : 4,245㎡ (1,284평) 4. 기타 : 1) 층 수 : 지상 5층, 지하 2층 2) 구 조 : 철근 콘크리트 + 철골 콘크리트 3) 주요마감 : 노출 콘크리트, 석재 		
특기 사항	<ol style="list-style-type: none"> 1) 외부마감 : 노출 콘크리트 적용 (노출 콘크리트 위 침투성 방수) 외벽 일부 라임스톤 석재 마감 2) 흡 음 : 미네스톤 뽀칠 	중곡동 성당 전경	
관련 사진			
	중곡동 성당 내부 전경	중곡동 성당 외부 전경	중곡동 성당 외부 벽면 전경

참고문헌

1. 건설교통부, "건축공사표준시방서", 1999.
2. 건설교통부, "콘크리트 구조설계기준", 1999.
3. 정태웅 외, "수화반응시 생성되는 계면피막을 응용한 광택 노출 콘크리트 공법", 콘크리트학회지, 1999. 2, v.11, n.1, pp.30~34, 1018~1415.
4. 하재담 외, "광택 노출 콘크리트의 광택유지성 및 내구성 평가", 한국콘크리트학회 창립 10주년 기념 1999년도 가을 학술발표회 논문집, 1999. 11, v.11, n.2, pp.147~150.
5. 이현희 외, "광택 노출 콘크리트의 현장 기술", 1999년도 봄 학술발표회 논문집, 1999. 5, v.11, n.1, pp.836~839.
6. 한국건설기술연구원, "한중 및 서중콘크리트의 시공지침을 위한 조사연구", 1986, pp.3~6.
7. 社団法人 セメント協會, "Cement & Concrete エンサイクロペディア", 1996, pp.113~114.
8. 社団法人 セメント協會, "わかりやすい セメント科學", 1993, pp.84~85.
9. ASTM D 523, "Standard Test Method for SPECULAR GLOSS", 1980.
10. Portland Cement Association, "Color & Texture in Architectural Concrete" PCA, 1980, p.33.