

노출콘크리트 시공단계 품질관리 기준에 관한 실험연구

An Experimental Study on Quality Control Standards of Exposed Concrete in Construction Stage

정재수*
Jeong, Jae-Soo

이찬식**
Lee, Chan-Sik

Abstract

A variety of studies on concrete have been performed to examine the advantages for structural material, but less attention has been paid to the contribution of concrete to finishing. Due to this matter, specific management guidelines for construction and quality on exposed concrete have not been clearly established despite more construction cost and quality control are required. This study analyzed a impact factors on the quality by survey of the existing research and practice. Field tests were performed using mock-up models to analyze the quality of exposed concrete according to form manufacture method, concrete mix proportion, and concrete placing method. Results indicate that the quality of exposed concrete was determined by concrete mix proportion and construction managements. Guidelines of quality control on exposed concrete in construction stages were proposed.

Keywords : *Exposed Concrete, Concrete Mix Proportion, Construction Management, Quality Management*

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

최근 노출콘크리트는 연구소, 운동장, 도서관, 종교시설, 주택 등 많은 건축물에 적용되고 있으며, 그 특유의 매력 때문에 활용도가 점점 확대될 것으로 예상된다. 그러나 우리나라 실무 현장에서는 거푸집 불량, 원재료의 결함, 배합요인의 미비 등으로 인하여 콘크리트 표면의 재료분리, 비균질 색조 및 부족한 광택, 곰보, 균열 등의 문제점이 발생하고 있으며 품질이 기대에 미치지 못하는 경우가 많다.

국내 건축분야에서 콘크리트는 구조용 재료의 하나로 인식되어 많은 연구개발 및 적용이 검토되어 왔지만, 의장적 기능을 가지는 마감재로서의 콘크리트 품질관리방안에 대한 연구가 부족한 실정이다.

노출콘크리트는 마감면의 평활도, 색상 및 질감에 따라 일반 콘크리트에 비해 더욱 많은 공사비와 세심한 노력이 요구되고, 시공단계에서 체계적인 품질관리가 필요함에도 불구하고 품질관리 기준이 구체적으로 확립되어 있지 않다.

우리나라는 노출콘크리트에 대한 표준시방서가 없고, 특기시방서도 일반적인 시공순서와 주의사항만 제시하는 등 관련내용이 미비하다. 대형공사에서 노출콘크리트 시공 시 외부 전문가의 도움을 받는 경우도 있지만 대부분의 경우는 현장 기술자의 경험에 의존하고 있으며, 이에 따라 노출콘크리트 건물의 품질은 건물마다 많은 차이가 나타난다.

노출콘크리트 시공 시 품질관리 기준의 확립은 현장 시공능력의 향상 및 공사품질의 확보에 기여할 수 있을 것으로 사료된다.

본 연구에서는 노출콘크리트 현장 시공과 관련된 거푸집 관리, 노출콘크리트 배합, 노출콘크리트 타설 등에 대한 품질관리

* 일반회원, 인천대학교 건축공학과 박사과정, jsjeong@daelim.co.kr

** 종신회원, 인천대학교 건축공학과 교수, 공학박사, cslee@incheon.ac.kr

기준을 도출하여 시공단계의 노출콘크리트 품질관리 기준마련을 위한 기초자료를 제공하고자 한다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구는 문헌조사와 실험조사방법을 사용하였다. 문헌조사를 통해 노출콘크리트 관련 기존연구 현황을 분석하여 문제점을 식별하고, 노출콘크리트 시공사례를 조사하여 노출콘크리트 품질확보를 위해 시공단계에서 검토해야 할 요소를 도출하였다.

실험조사는 이상의 문제점을 해결하고 노출콘크리트면의 품질확보를 위해 3차에 걸쳐 Mock-up 실험을 실시하였다.

1차 실험에서는 결합재량 및 거푸집 종류에 따른 노출콘크리트면의 품질차이를 파악하여 거푸집 선정 및 단위결합재량 기준을 제시하고자 하였다.

2차 실험에서는 단위수량, 슬럼프 및 다짐시간에 따른 노출콘크리트면의 품질 특성을 파악하여 적절한 레미콘 관리방안 및 다짐시간 기준을 제시하고자 하였다.

3차 실험에서는 하부처리방법 및 이어치기 시간에 따른 노출콘크리트면의 품질 특성을 검토하여 거푸집 수밀성 확보방안 및 신구 조인트 콘크리트 타설 방법 기준을 제시하고자 하였다.

이와 같이 거푸집 제작, 콘크리트 배합, 콘크리트 타설 방법에 따른 노출콘크리트면 품질실험을 실시하고, 품질실험 결과를 검토하여 시공단계 노출콘크리트 품질관리 기준을 제시하였다.

본 연구는 상기와 같은 문헌조사 및 실험조사 자료의 분석을 바탕으로 시공단계 노출콘크리트 품질확보에 관한 품질관리 기준을 제시하는 것을 연구의 범위로 하였다.

2. 기존연구 및 사례분석

2.1 기존연구 및 시공지침서 분석

[표 1]은 노출콘크리트 관련 기존 연구 및 시공지침서 현황을 정리한 것으로서 기존 연구는 노출콘크리트 적용의 성공을 위한 설계 및 시공 단계의 프로세스, 시공관리 방안, 재료 배합에 관한 내용 등에 주로 초점이 맞춰져 연구되고 있다.

기존 연구 자료 및 시공지침서를 검토한 결과 여러 가지 기술 요소에서 기준의 차이가 있음을 발견할 수 있다. 특히 노출콘크리트 시공계획 중 가장 중요한 콘크리트 배합의 경우 여러 가지 기술요소 측면에서 연구가 이루어졌는데, 워커빌리티와 재료분리에 영향을 미치는 단위수량은 이한승 외1인의 연구에서는 175kg/m³이하, 조상영의 연구에서는 180kg/m³이하, 한천구의 2인의 연구에서는 185kg/m³이하를 적용하고 있다. A사 및 B사의 시공

지침서에는 175kg/m³이하의 지침을 적용하고 있다. 슬럼프치는 이영준 외 2인의 연구 및 이한승 외 1인의 연구에서 150mm~180mm를 적용하였고, 대한건축학회의 연구에서는 180mm~220mm를 적용하고 있다. A사의 시공지침에는 150±25mm, B사의 시공지침에서는 150mm~210mm의 지침을 적용하고 있다. 단위결합재량은 이한승 외1인의 연구에서 290kg/m³이상을 제안하고 있지만, A사 시공지침에서는 390kg/m³이상, B사 시공지침에서는 360kg/m³이상을 제시하고 있다.

표 1. 노출콘크리트 관련 기존 연구 및 시공지침서

년도	작성자	연구내용
1997	ACI 위원회 303	건축마감콘크리트 표준시방서를 제정
1998	하재담 외 5인	『광택노출콘크리트의 개발 및 실용화 연구』에서 슬래그 미분말 및 백색시멘트를 적정량 치환함으로써 광택이 발현되는 콘크리트의 제조에 관하여 연구함.
1999	정태웅 외 3인	『광택노출콘크리트의 현장적용』에서 광택노출콘크리트용 거푸집 및 AE 감수제 지연형의 현장 적용에 관하여 연구함.
1999	한천구 외 4인	『제치장 콘크리트의 광택도에 미치는 거푸집 재료 및 박리제 영향』에서 거푸집 재료와 박리제에 따른 광택도에 관하여 연구함.
2001	이영준 외 2인	『노출콘크리트 시공』에서 노출콘크리트 시공의 문제점 및 대책에 관하여 연구함.
2001	한천구 외 1인	『배합요인에 따른 제치장 콘크리트의 표면 광택 특성』에서 콘크리트 배합사항 중 W/C, 단위수량, 잔골재를 변화에 따른 제치장 콘크리트 표면광택 특성에 관하여 연구함.
2001	신성우 외 1인	『노출콘크리트 실험 및 현장 적용』에서 노출콘크리트 실험실 배합 실험의 현장 적용성에 관하여 검토함.
2001	이한승 외 1인	『노출콘크리트 배합설계 및 제조』에서 노출콘크리트 요구성능에 따른 배합 설계 및 제조방법에 관하여 연구함.
2004	ACI 위원회 303	건축마감콘크리트 시공지침을 제정
2005	조상영	『실리콘계 거푸집을 사용한 문양 콘크리트에 관한 연구』에서 실리콘계 거푸집을 사용한 문양 콘크리트의 활용화 방안에 관하여 연구함.
2005	대한건축학회	『노출콘크리트 적정 공사비 산정을 위한 원가구성요소 분석』에서 노출콘크리트 마감공법의 적정 공사비 산정을 위한 원가구성요소를 분석함.
2008	A사	시공계획수립, 시공관리수립, 보수 및 표면마감, 참고배합 등에 관한 사례 분석 및 지침 제시
2010	B사	시공계획, 시공관리, 보수관리에 관한 지침제시

거푸집의 경우는 대부분 아크릴판이 광택도가 가장 우수하여 노출콘크리트 시공에 사용하는 것이 적절하다는 의견이지만, 대한건축학회의 연구에서는 철재거푸집, 신성우 외1인의 연구에서는 코팅합판, 한천구의 4인의 연구에서는 아크릴판, 정태웅외 3인의 연구에서는 18mm내수합판과 12mm일반합판을 함께 사용하였다. 미국에서는 ACI 303위원회가 건축마감콘크리트의 시공 지침을 제시하며 불투수 코팅이 된 합판, 금속, 알루미늄, 마그네슘, 플라스틱 재질의 사용을 권장하고 있다. 거푸집 하부를 어떻게 밀실하게 시공할 것인가에 대해서는 정태웅 외 3인의 연구

에서는 실란트를 이용하였고, 이영준 외 2인의 연구에서는 시멘트페이스트를 이용하였다.

콘크리트 타설 시 노출콘크리트의 품질을 확보하기 위해 필요한 콘크리트 다짐시간은 대한건축학회의 연구에서 5~15초, 이영준외 2인의 연구에서는 10~15초, 조상영의 연구에서는 20초를 적용하고 있다. 시공조인트에 의한 품질 불량을 줄이기 위해 이어치기 시간도 여러 가지 의견이 제시되고 있다. 이한승 외1인의 연구에는 60분 이내, 이영준외 2인의 연구에서는 하절기 60분 이내, 동절기 90분 이내를 제안하고 있다. 신성우외 1인의 연구에서는 120분을 적용하기도 하였다. 한편 ACI 303위원회의 건축마감콘크리트의 시공지침에서는 30분 이내에 이어치기할 것을 제시하고 있다.

[표 2]는 기존연구 및 시공지침서를 분석하여 제안사항의 차이를 정리한 것이다.

표 2. 기존연구 및 시공지침서 분석

구분	제안사항	연구자	
콘크리트 배합	단위결합재량 (kg/m³)	290이상	이한승 외 1인
		390이상	A사 시공지침서
		360이상	B사 시공지침서
	단위수량 (kg/m³)	175이하	이한승 외 1인
		180	조상영
	슬럼프치 (mm)	185	한천구 외 2인
150~180		이영준 외 2인, 이한승 외 1인	
거푸집	철재거푸집	180~2200이상	대한건축학회
		철판거푸집	대한건축학회
		코팅합판	신성우 외 1인
	하부밀실시공	아크릴판	한천구 외 4인
		18mm내수합판 + 22mm일반합판	정태웅 외 3인
	시멘트 페이스트 처리	실란트 처리	정태웅 외 3인
시멘트 페이스트 처리		이영준 외 2인	
콘크리트 타설	다짐시간	5~15초	대한건축학회
		10~15초	이영준 외 2인
		20초	조상영
	이어치기 시간	30분이내	ACI위원회 303
		60분이내	이한승 외 1인
		2시간 이내	신성우외 1인

2.2 노출콘크리트 배합 사례분석

본 연구를 위한 노출콘크리트 배합 사례 조사 대상 프로젝트는 공사기록지 및 레미콘 공장을 통해 자료가 정상적으로 축적된 10개 프로젝트를 대상으로 하였다.

[표 3] 노출콘크리트 배합사례는 호칭강도 24MPa로 배합설계 되어졌으며 골재최대치수는 20mm~25mm, 슬럼프는 150mm, 180mm, 단위수량은 156kg/m³~173kg/m³, 워커블(Workable)과 성형성에 영향을 미치는 단위결합재량은 353kg/m³~400kg/m³ 등으로 배합에 차이가 있는 것으로 나타났다.

표 3. 노출콘크리트 배합사례

구분	골재 (mm)	슬럼프 (mm)	W/B (%)	S/A (%)	단위질량 (kg/m³)							
					W	C	BFS	FA	S1	S2	G	AD
A	20	180	40.0	51.0	160	360	40		902		874	3.20
B	20	180	42.1	52.7	160	342	38		941		851	2.66
C	20	180	45.0	52.7	168	317	56		933		844	3.17
D	20	150	45.8	50.0	171	336	37		870		880	2.90
E	20	180	48.0	48.2	156	322	57		887		882	1.90
F	20	150	46.8	50.1	173	259	111		865		875	2.59
G	20	180	46.0	50.0	167	327	36		536	357	903	2.54
H	25	180	42.9	49.0	163	266	76	38	519	346	918	3.04
I	20	180	44.2	46.5	170	308	77			804	972	2.31
J	25	180	49.0	48.0	173	318	35		425	425	936	2.47

2.3 노출면 품질확보를 위한 실험요인

기존연구 및 시공지침서와 노출콘크리트 배합사례를 검토한 결과, 콘크리트 배합 측면에서 단위결합재량, 단위수량, 슬럼프, 시공 측면에서 거푸집 종류, 다짐시간, 거푸집 하부처리방법, 이어치기 시간 등이 노출콘크리트 연구결과 및 시공지침에서 차이가 있는 것으로 조사되었다. 본 연구에서는 이와 같이 차이가 발생한 항목을 검토 요인으로 하여 [표 4]와 같은 실험계획을 수립하였다.

표 4. 노출콘크리트 품질관리 지침 마련을 위한 실험계획

차수	실험요인	실험 수준
1	단위결합재량	5 · 320, 340, 360, 380, 400(kg/m³)
	거푸집종류	· 일반, 유로폼, PET, 낙엽송, 철판, 태고, 우레탄, 아크릴
2	단위수량	2 · 165, 175(kg/m³)
	슬럼프	4 · 120, 150, 180, 210(mm)
	다짐시간	3 · 5, 10, 20 (초)
3	거푸집 하부처리	3 · 모르타르, 실리콘, 우레탄폼
	이어치기 시간차	2 · 30분 이내, 60분 경과

3. 품질관리 기준마련을 위한 노출콘크리트 품질실험

본 연구의 실험계획은 [표 4]에서 보는 바와 같이 기존 연구 및 시공 사례 분석을 통해 실제 현장 적용 시 품질기준이 불명확한 것으로 판단되는 단위결합재량, 단위수량, 슬럼프, 다짐방법, 타설방법을 대상으로 하여 검토하고자 하였다.

1차 실험에서는 노출콘크리트 적용 시 적정한 거푸집 선정을 위하여 현재 일반적으로 적용되는 거푸집 패널 종류 8종을 대상으로 설정하였으며, 거푸집 종류와 함께 콘크리트 표면에 영향을 미치는 요인으로 단위결합재량을 일반강도(24MPa) 범위에서 경제적으로 적용 가능한 범위인 320kg/m³~400kg/m³로 설정하여 거푸집 종류 및 단위결합재량에 따른 노출면의 품질을 검

토하고자 하였다.

2차 실험에서는 1차 실험을 통하여 적정성이 있는 것으로 도출된 PET 합판과 단위결합재량 380kg/m³의 수준에서 콘크리트 물성 측면에서 노출면에 미치는 영향이 큰 것으로 판단되는 단위수량 및 슬럼프를 실제 현장 적용 가능 범위에서 설정하였으며, 시공 측면에서는 다짐시간에 따른 노출면의 품질을 검토하였다.

3차 실험에서는 1차 및 2차 실험을 통해 검토된 거푸집 및 콘크리트 물성 측면을 고정한 후, 노출면에 영향을 미치는 시공방법으로서 거푸집 하부 처리 방법, 이어치기 시간에 대한 검토를 수행하였다.

3.1 단위결합재량 및 거푸집 종류에 따른 노출콘크리트면의 품질검토(1차 실험)¹⁾

3.1.1 실험계획

단위결합재량 및 노출면 거푸집 종류에 따른 노출콘크리트면의 품질을 검토하기 위해 [표 5]와 같이 단위결합재량은 320, 340, 360, 380 및 400(kg/m³)의 5수준, 거푸집 종류는 일반, 유로폼, PET, 낙엽송, 철판, 태고, 우레탄, 아크릴 8수준을 선정하였다. 콘크리트 규격은 20-24-210, 단위수량은 175kg/m³, 고로슬래그미분말 치환율은 20%, 다짐시간은 5초로 고정하였다.

본 연구에 사용된 재료는 [표 6]과 같으며, 노출콘크리트 배합은 [표 7]과 같이 단위수량은 175kg/m³로 일정하게 설정하였고, 단위결합재량은 320, 340, 360, 380 및 400kg/m³으로 설정하였다.

표 5. 실험계획

규격	실험요인					실험항목
	B (kg/m ³)	W (kg/m ³)	BFS	다짐시간	거푸집종류	
20-24-210	320	175	B×20%	5초	8수준	· 슬럼프(mm) · 공기량(%) · 블리딩수 (육안관찰) · 압축강도 (MPa)
	340					
	360					
	380					
	400					

표 6. 사용재료

시멘트	1종 보통포틀랜드 시멘트 밀도 : 3.15g/cm ³ , 분말도: 3,460cm ² /g
고로슬래그미분말 (BFS)	밀도 : 2,90g/cm ³ , 분말도: 4,600cm ² /g
굵은골재 (G)	부순자갈, Gmax=20mm 밀도 : 2,65g/cm ³ , 조립율 : 6.60
잔골재 (S)	바다모래, 밀도 : 2,60g/cm ³ , 조립율 : 2.70
혼화제 (Ad)	폴리카본산계 고성능감수제 밀도 : 1.08g/cm ³

1) 3.1의 결과는 "대한건축학회 학술발표논문집(구조계) 제30권 제1호, pp.203~204"에 일부 게재된 바 있으며, 본 논문은 발표결과에 데이터를 보완한 것임

표 7. 노출콘크리트 배합

W/B (%)	S/A (%)	B (kg/m ³)	단위질량 (kg/m ³)					AD (B*0.7%)
			W	C	BFS	S	G	
54.7	48.0	320	175	256	64	866	978	2.24
51.5	48.0	340	175	272	68	858	969	2.38
48.6	48.0	360	175	288	72	850	960	2.52
46.1	48.0	380	175	304	76	842	951	2.66
43.8	48.0	400	175	320	80	834	942	2.80

3.1.2 실험체제작 및 실험방법

거푸집 종류에 따른 콘크리트의 노출면 품질을 검토하기 위해 [그림 1]과 같이 국내에서 시판중이고, 주로 현장에서 사용되는 8개의 거푸집을 사용하였다.

거푸집 제작은 [그림 2]와 같이 1200×200×300mm 크기의 거푸집 내부에 300×300mm 크기의 노출용 합판 8가지를 부착하였다. 거푸집 및 합판 이음 부위는 수밀성을 확보하기 위해 실리콘 처리를 하여 밀실하게 제작하였다.

노출면 품질평가를 위한 실험체 제작은 콘크리트 혼합 후 거푸집에 총 2회에 걸쳐 콘크리트를 타설하여 제작하였다. 1회 타설시 콘크리트를 부어넣은 후 Ø45mm 바이브레이터로 300mm 간격으로 5초간 다짐을 하였다. 2회 타설 시에도 1회 타설 시와 같은 방법으로 다짐을 하였다.

양생은 현장과 동일한 환경조건에서 양생을 하는 것으로 설정하였으며, 현장 관리용 공시체를 제작하여 목표로 하는 소정의 강도가 나올 때까지 거푸집을 제거하지 않는 것으로 계획하였다.

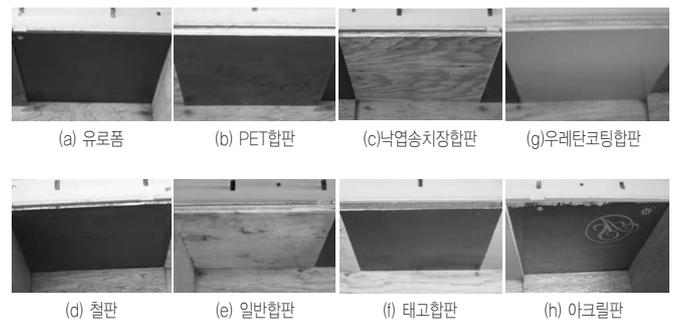


그림 1. 노출콘크리트용 거푸집의 종류

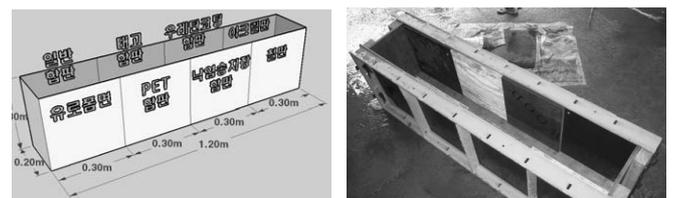


그림 2. 거푸집 제작

3.1.3 실험 결과 및 고찰

1) 굳지 않은 콘크리트 물성 및 압축강도

[표 8]은 노출콘크리트의 굳지 않은 콘크리트의 특성 및 압축강도 측정 결과를 타나낸 것이다. 슬럼프 및 공기량은 결합재량과 상관없이 고성능 감수제 0.7%에서 모두 목표했던 210 ± 25 mm, $4.5 \pm 1.5\%$ 를 만족하였다.

표 8. 결합재량에 따른 노출콘크리트의 특성

결합재량 (kg/m ³)	굳지 않은 콘크리트의 물성			압축 강도(MPa)			
	슬럼프(mm)	공기량(%)	블리딩량	1일	2일	7일	28일
320	195	5.5	大	3.7	9.4	16.5	30.0
340	215	5.0	大	5.1	12.9	21.1	32.8
360	210	4.6	中	6.3	14.7	24.0	37.4
380	210	4.7	中	7.3	16.3	26.5	40.9
400	220	4.9	少	8.1	17.7	27.7	42.7

블리딩량은 결합재량이 증가함에 따라 감소하는 것으로 나타났다. 이는 결합재량이 많아지면서 W/B가 감소했기 때문인 것으로 사료된다.

압축강도는 결합재량이 증가함에 따라 증가하는 것으로 나타났으며, 본 실험의 결합재 수준에서는 목표 강도 24MPa 확보에 문제가 없었다.

2) 노출면의 광택

[그림 3]은 거푸집 종류별 표면광택과 콘크리트면의 광택도를 나타낸 것이다. 거푸집면 자체의 광택도는 PET합판>아크릴판>우레탄코팅합판>태고합판 순으로 높게 나타났으며, 콘크리트면의 광택도는 PET합판>우레탄코팅합판>아크릴판 순으로 높게 나타났다. 전반적으로 거푸집면의 광택도가 높을수록 콘크리트면의 광택도 증가하는 경향을 보였다.

[그림 4]는 결합재량에 따른 거푸집 종류별 콘크리트 표면 광택도를 나타낸 것이다. 결합재량에 따른 콘크리트 표면의 광택도는 뚜렷한 경향이 없었으며, 단위결합재량 380kg/m³수준에서 PET합판, 아크릴판 및 우레탄합판의 광택도가 유사하게 수렴되었다. 반면에 나머지 거푸집의 경우 결합재량에 관계없이 광택도가 10GU 이하로 거의 일정한 수준으로 나타났다.

따라서 콘크리트면의 광택도는 결합재량보다 거푸집 종류에 의해 영향을 받는 것으로 나타났다.

[그림 5]는 거푸집 탈형 후 재령에 따른 거푸집 종류별 콘크리트면의 광택도를 나타낸 것이다. PET합판, 아크릴판 및 우레탄합판의 광택도는 재령 3일까지 급격하게 감소하다가 그 이후로는 거의 일정한 수준으로 지속되어 유사한 값으로 수렴하는 형태로 나타났다. 따라서 광택을 유지해야 하는 광택노출콘크리트의 경우 거푸집 탈형 후 3일 이내에 광택을 유지할 수 있는 적절한 조치가 필요할 것으로 판단된다.

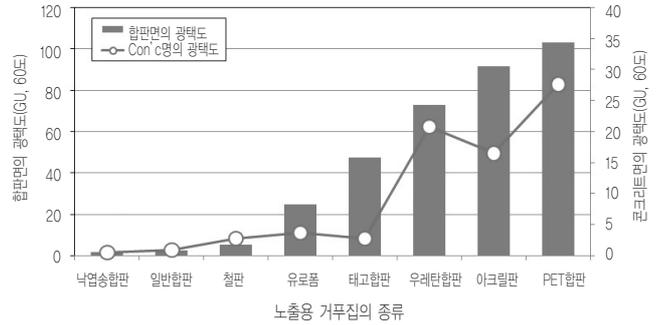


그림 3. 거푸집 종류별 표면광택과 콘크리트면의 광택

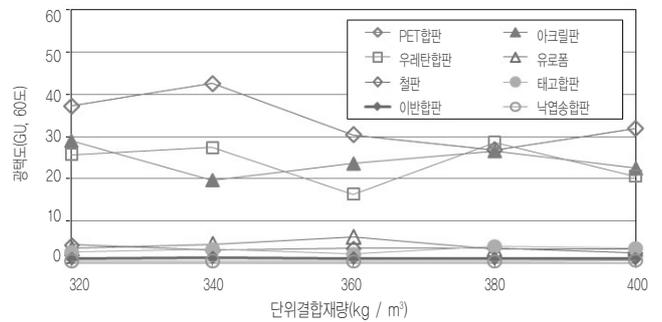


그림 4. 결합재량에 따른 거푸집 종류별 콘크리트 표면 광택도

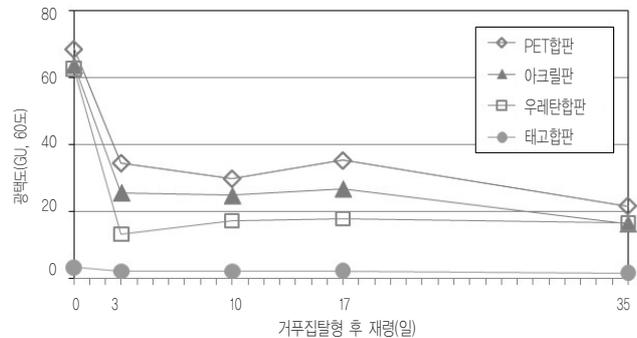


그림 5. 노출용 거푸집 종류에 따른 표면광택의 특성

3.2 단위수량, 슬럼프 및 다짐시간에 따른 노출콘크리트면의 품질검토(2차 실험)

3.2.1 실험계획

단위수량, 슬럼프 및 다짐시간에 따른 노출콘크리트면의 특성을 검토하기 위해 슬럼프는 120, 150, 180, 210(mm) 4수준, 단위수량 165, 175(kg/m³)의 2수준, 다짐시간은 5, 10, 20(초) 3수준으로 하여 [표 9]와 같이 실험을 계획하였다. 거푸집 종류는

PET 합판으로 고정하였다.

본 실험에서 사용한 콘크리트 배합은 [표 10]과 같다.

표 9. 실험계획

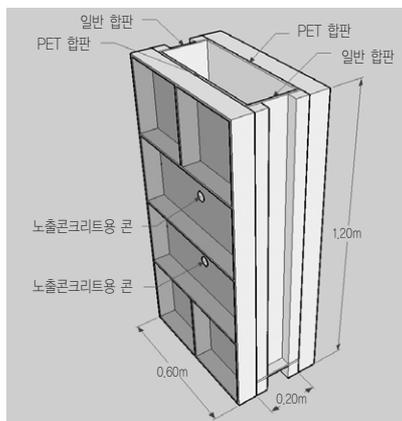
구분	규격	목 표 슬럼프 (mm)	단위수량 (kg /m ³)	다 짐 시 간 (초)	거푸집 종류
1	20-24-120	120	165	10	PET
2	20-24-150	150		10	
3~5	20-24-180	180		5	
				10	
				20	
6	20-24-210	210	10		
7	20-24-210	210	175	10	

표 10. 노출콘크리트 배합

W/B (%)	S/A (%)	B (kg /m ³)	W (kg /m ³)	단위질량(kg /m ³)			
				C	BFS	S	G
45.8	48	360	165	288	72	862	974
48.6			175			850	960

3.2.2 실험체 제작 및 실험방법

거푸집 제작은 [그림 6]과 같이 PET 합판과 유로품을 사용하여 600×200×1200(mm) 크기로 제작하였으며, 거푸집 옆면은 일반 합판을 사용하여 노출콘크리트용 거푸집을 완성하였다. 또한 거푸집의 수밀성을 확보하기 위해 거푸집 및 합판 이음 부는 테이핑 및 실리콘 처리를 하여 밀실하게 제작하였다.



(a) 거푸집 제작 계획



(b) 합판 이음새 처리

(c) 거푸집 조립

그림 6. 실험체 제작 방법

노출면 품질평가를 위한 실험체 제작은 콘크리트 혼합 후 거푸집에 총 2회에 걸쳐 콘크리트를 타설하여 제작하였다. 1회 타설 시 콘크리트를 부어넣은 후 $\phi 45\text{mm}$ 바이브레이터로 300mm 간격으로 [표 9] 실험계획에 계획된 5, 10, 20초간 다짐을 실시하였다.

양생은 현장과 동일한 환경조건에서 양생을 하는 것으로 설정하였으며, 현장 관리용 공시체를 제작하여 목표로 하는 소정의 강도가 나오는 것을 확인한 후, 거푸집을 제거하는 것으로 계획하였다.

실험체 제작 후 양생 장면은 [그림 7]에 나타내었다.



그림 7. 실험체 제작 후 양생

3.2.3 실험 결과 및 고찰

1) 굳지 않은 콘크리트 물성 및 압축강도

슬럼프 측정결과 각 규격별 목표로 하였던 슬럼프 측정값을 모두 만족하는 것으로 나타났으며, 공기량은 2.0~3.4%로 노출콘크리트 배합으로써 양호한 것으로 측정 되었다. 블리딩의 경우 20-24-120(No.1) 규격을 제외하고는 어느 정도 블리딩이 발생하는 것을 확인할 수 있었다.

거푸집 존치기간(벽체 기준)을 결정하기 위해 압축강도를 측정한 결과 1일 강도가 거푸집 제거가 가능한 5 MPa를 상회하고 있는 것으로 나타났다.

표 11. 콘크리트 물성 및 압축강도

No.	규격	목표 슬럼프 (mm)	공기량 (%)	블리딩	압축강도(MPa)			
					1일	2일	7일	28일
1	20-24-120	135	3.4	小	11.3	17.6	28.9	42.6
2	20-24-150	165	3.0	中	10.5	17.7	28.6	41.5
3~5	20-24-180	175	2.0	中	11.5	19.2	29.0	46.6
6	20-24-210	215	2.0	中	10.1	18.2	29.9	45.0
7	20-24-210	210	3.0	中	9.6	17.3	26	42.3

2) 노출콘크리트면 비교

(1) 단위수량 및 슬럼프에 따른 노출면 비교

[그림 8]은 슬럼프에 따른 노출콘크리트 노출면 품질을 나타낸 것이다. 슬럼프 120mm에서 이색현상이 발생하였고, 210mm에서 기포가 다수 발생하였다.

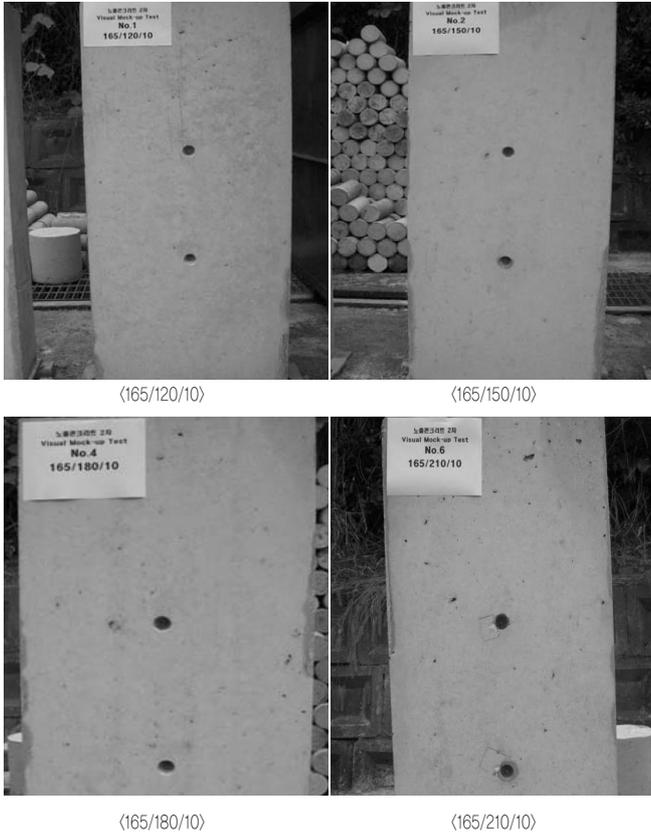


그림 8. 슬럼프에 따른 노출면 (단위수량/슬럼프/다짐시간)

[그림 9]는 단위수량에 따른 노출콘크리트 노출면 품질을 나타낸 것이다. 단위수량 165kg/m³에서 콘크리트 표면에 기포가 다수 발생하였고 단위수량은 175kg/m³에서 노출면 품질상태가 양호하였다.



그림 9. 단위수량에 따른 노출면 (단위수량/슬럼프/다짐시간)

단위수량을 낮추고 적정 슬럼프를 확보하여 시공성 측면에서 유용성이 확보될 때 노출면의 상태가 양호한 것으로 나타났다. 단위수량이 높을 경우 기포가 과다 발생하여 콘크리트 면에 곰보가 발생 할 수 있고, 재료분리에 의한 이색현상 및 골재 침하에 따른 품질저하가 우려된다. 따라서 노출콘크리트 배합설계시 단위수량은 175kg/m³이하로 슬럼프는 150mm~180mm로 관리하는 것이 유리할 것으로 판단된다.

(3) 다짐시간별 노출면 비교

[그림 10]는 다짐시간에 따른 노출콘크리트 노출면 품질을 나타낸 것이다.



그림 10. 다짐시간별 노출면(단위수량/슬럼프/다짐시간)

다짐시간이 증가할수록 노출면의 상태가 양호한 것을 확인할 수 있었다. 또한 부재 다짐 시 모서리 부분이나 노출콘크리트용 콘 주변은 목망치나 기타 다짐도구를 이용하여 추가적으로 다짐 작업 하는 것이 노출콘크리트면상태가 양호한 것으로 나타났다. 따라서 노출콘크리트는 일반 콘크리트 보다 타설시 충분한 다짐 및 관리가 필요한 것을 확인할 수 있었다.

3.3 하부처리방법 및 이어치기 시간에 따른 노출콘크리트면의 품질검토(3차 실험)

3.3.1 실험계획

하부처리방법, 이어치기 시간에 따른 노출콘크리트면의 품질 및 표면광택 특성을 검토하기 위해 노출콘크리트의 B/P 생산 규격은 20-24-180으로 결정하였으며, 하부처리 방법은 모르타르, 실리콘, 우레탄폼 3수준, 이어치기 시간차는 30분, 60분경과 2수준으로 하여 [표 12]와 같이 실험을 계획하였다.

거푸집은 PET 합판으로 제작하였으며, 본 실험에서 사용한 콘크리트 배합은 [표 13]과 같다.

3.3.2 실험체 제작 및 실험방법

노출콘크리트 실험체 제작 방법은 [그림 11]과 같이 2430×200×1360mm 크기의 노출콘크리트용 거푸집으로 총 3개를 제작하였으며, 내부는 실 타설 구조물에 줄눈을 넣는 방법과 동일

하게 줄눈 작업을 하여 콘크리트 면을 구획하였다. 거푸집 설치 는 현장과 동일성을 부여하기 위하여 콘크리트 바닥면에 설치하 였으며 거푸집 하부 처리는 모르타르, 실리콘, 우레탄폼 3종류 로 마감하였다.

표 12. 실험계획

콘크리트 생산	규격	시 험 요 인		실험항목
		하부처리	후타설 시간차	
레이콘 B/P 생산	20-24-180	모르타르	30분 이내	· 슬럼프 · 공기량 · 압축 · 강도
		실리콘	30분 이내	
		우레탄폼	60분 경과	

표 13. 노출콘크리트 배합

W/B (%)	S/A (%)	B (kg/m ³)	단 위 질 량 (kg/m ³)					
			W	C	BFS	S	G	AD
45.8	48	360	165	288	72	862	974	0.9

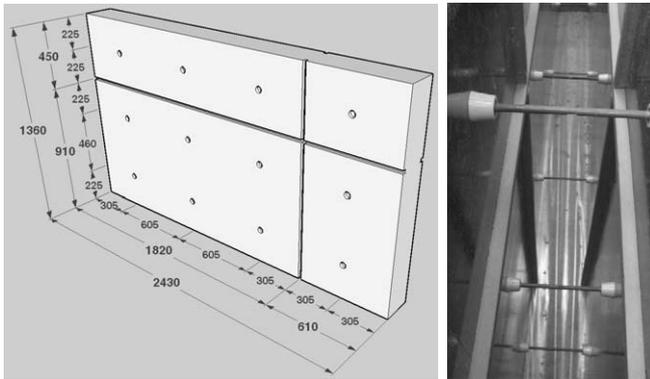


그림 11. 실험체 제작 방법



그림 12. 시험체 제작 후 양생 장면

하부처리방법, 이어치기 시간에 따른 노출콘크리트면의 품질 평가를 위한 실험체 제작은 B/P에서 콘크리트 생산 후 거푸집에 총 2회에 걸쳐 콘크리트를 타설하였다.

1회 타설시 콘크리트를 부어넣은 후 [표 11] 실험계획에 명시 된 바와 같이 각 수준에 해당되는 다짐시간을 $\phi 45\text{mm}$ 바이브레

이터를 이용하여 다짐을 주어 공기포를 제거해 주었으며, 2회 타설 시에도 1회 타설 시와 마찬가지로 바이브레이터로 실험계 획에 명시된 다짐을 참고하여 공기포 제거 및 밀실하게 다짐을 실시하였다.

양생은 현장과 동일한 환경조건에서 양생을 하는 것으로 설정 하였으며, 현장 관리용 공시체를 제작하여 목표로 하는 소정의 강도가 나올 때 까지 거푸집을 제거하지 않는 것으로 계획하였 으며, 양생 장면은 [그림 12]와 같다.

3.3.3 실험 결과 및 고찰

1) 콘크리트 물성

슬럼프 및 공기량은 [표 14]와 같이 목표치를 모두 만족하는 것으로 나타났다. 압축강도를 측정된 결과 1일 강도가 거푸집 제 거가 가능한 5MPa를 상회하는 7.4MPa이 발현되었다.

표 14. 콘크리트 물성 및 압축강도

규격	목표 슬럼프 (mm)	공기량 (%)	블리딩	압축강도(MPa)			
				1일	2일	7일	28일
20-24-180	180	2.8	中	7.4	14.7	26.0	41.5

2) 하부처리방법별 노출면 비교

하부처리방법별 실험체 제작 방법은 [그림 11]과 같은 크기로 제작하였으며 모르타르, 실리콘, 우레탄폼으로 하부를 처리하여 총 3개를 제작하였으며, 내부는 실 타설 구조물에 줄눈을 넣는 방법과 동일하게 줄눈 작업을 하여 콘크리트 면을 구획하였다. 하부를 모르타르 충전 시 시공성 및 부착성이 좋았고 시공속도 도 우수하였다. 하지만 모르타르 사용 시에는 양생기간이 필요 하기 때문에 양생기간에 대한 고려가 필요한 것으로 사료된다. 이에 반해 실리콘의 경우 과도한 점성에 의해 시공성이 나쁜 것 으로 나타났으며 시공속도 및 부착성, 경제성 등에서 하부 충전 재로 적합하지 않은 것으로 나타났다. 또한 실험결과 하부 물빠 짐 현상이 발생하였다. 하부를 우레탄폼으로 처리 시 시공속도



하부 모르타르 충전

하부 실리콘 충전

하부 우레탄폼 충전

그림 13. 거푸집 하부 처리 및 실험결과

가 빠르고, 부착성이 좋았다. 그러나 실험결과 거푸집 내부에 충전이 되어 실험체 하부가 우레탄폼에 의해 공극이 발생하였다. 거푸집 하부처리 및 실험결과는 [그림 13]과 같으며, 하부처리방법으로 모르타르, 실리콘, 우레탄폼을 비교 검토한 결과 모르타르를 거푸집 하부 충전재로 사용 시 시공성 및 시공속도, 경제성, 부착성 등에서 가장 우수한 것으로 나타났다.

3) 이어치기 시간차에 따른 노출면 품질

선 타설 후 이어치기 시간차에 의한 콜드조인트 발생여부를 실험한 결과 60분 초과 시까지 콜드조인트가 발생하지 않았다. [그림 14]는 이어치기 시간차에 따른 노출면의 품질 실험결과이다.

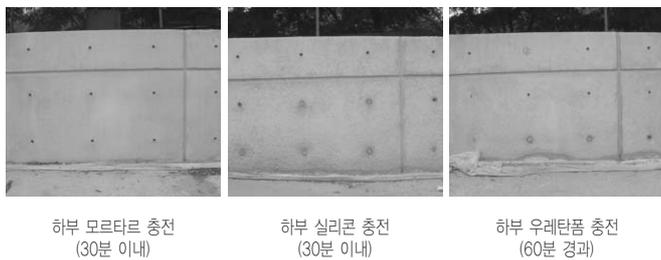


그림 14. 이어치기 시간별 노출면

4. 결론

본 연구는 노출콘크리트의 노출면 품질확보를 위해 기존연구 및 사례조사를 통하여 품질에 영향을 미치는 다양한 요인을 분석하였다. 연구결과 및 시공사례에서 차이가 발견된 요인에 대하여 Mock-up 실험을 실시하였으며, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 노출콘크리트 표면 품질 및 시공성 등을 고려할 때 노출콘크리트 배합시 단위결합재량은 $360\text{kg/m}^3 \sim 380\text{kg/m}^3$, 단위수량은 175kg/m^3 이하, 슬럼프는 150mm~180mm 범위로 설정하는 것이 효과적일 것으로 판단된다.

둘째, 거푸집 종류별로는 PET 합판 및 우레탄코팅 합판을 사용한 노출면의 품질이 가장 양호한 것으로 나타났으며, 콘크리트 면의 광택도는 거푸집면의 광택도가 높을수록 콘크리트면의 광택도가 증가하는 경향이 나타났다.

셋째, 콘크리트 면의 광택도는 재령 3일까지 급격히 감소하는 것으로 나타나, 광택노출콘크리트의 경우 거푸집 탈형 후 3일 이내에 광택을 유지하기 위한 대책이 필요할 것으로 판단된다.

넷째, 다짐시간을 증가시키고, 부재의 모서리와 콘 주변을 추가로 다짐할 경우 콘크리트내의 기포가 제거되어 콘크리트의 노출면 품질이 향상되는 것으로 나타났다.

다섯째, 거푸집 하부처리 방법은 시공성 및 시공속도, 경제성,

부착성 등을 고려할 때 모르타르로 처리하는 것이 가장 적합한 것으로 나타났으며, 콜드조인트가 방지를 위해서는 60분 이내에 이어치기하고, 충분한 다짐이 필요한 것으로 나타났다.

본 연구는 기존의 자료를 분석하여 노출콘크리트 품질 확보에 필요한 기술요소 중 검토가 필요한 요소에 대한 품질실험 결과를 제시하였다. 본 연구의 결과는 향후 다양한 노출 콘크리트 시공현장에 적용하여 현장적용성에 대한 보완작업 및 적용사례 축적을 통해 시공단계 노출콘크리트 품질관리 기준을 확립하는데 기초 자료로 활용될 수 있을 것이다.

참고문헌

신성우, 안중문(2001), 노출콘크리트 실험 및 현장적용, 콘크리트학회지 제13권 4호, pp.46~53

이영준, 박범신, 김연수(2001), 노출콘크리트 시공, 콘크리트학회지 제13권 4호, pp.38~45

이재현, 김종백, 남덕우, 김용로, 조성현, 이원복(2010), 단위결합재량 및 거푸집 종류에 따른 노출콘크리트면의 품질 향상방안에 관한 연구, 대한건축학회 학술발표논문집(구조계) 제30권 제1호, pp.203~204

이한승, 유성현(2001), 노출콘크리트 배합 설계 및 제조, 콘크리트학회지 제13권 4호, pp.30~37

전충근, 이광설, 오선교, 한천구, 반호용(1999), 제치장 콘크리트의 광택도에 미치는 거푸집 재료 및 박리제의 영향, 대한건축학회 학술발표논문집, 제19권 제1호, pp. 421~426

정태웅, 이현희, 하재담, 강창운(1999), 광택노출콘크리트의 현장 적용, 한국콘크리트학회 1999년도 봄 학술발표회 논문집, pp.836~839

조상영(2005), 실리콘계 거푸집을 사용한 문양콘크리트에 관한 연구, 단국대학교 박사학위논문

하재담, 정태웅, 이현희, 공양식, 강창운, 정일모(1998), 광택 노출콘크리트의 개발 및 실용화 연구, 한국콘크리트학회 1998년 봄 학술발표회 논문집, pp.249~254

한천구, 전충근(2001), 배합요인에 따른 제치장 콘크리트의 표면 광택 특성, 대한건축학회논문집 구조계 17권 11호, pp.83~88

대림산업(2010), 노출콘크리트 품질관리 지침

대한건축학회(2005), 노출콘크리트 적정 공사비 산정을 위한 원가구성요소 분석

엠코(2008), 노출콘크리트 표준시공지침

ACI Committee 303 (2004), Guide to Cast-in-Place

Architectural Concrete Practice
ACI Committee 303 (1997), Standard Specification for Cast-
in-Place Architectural Concrete
히로세 야스시카, 이영도 (2008), 노출콘크리트, 기문당
한국콘크리트 학회(2005), 콘크리트 미학

논문제출일: 2011.09.29
논문심사일: 2011.10.07
심사완료일: 2012.01.05

요 약

콘크리트는 구조용 재료의 하나로 인식되어 많은 연구개발 및 적용이 검토되어 왔지만, 의장적 기능을 가지는 마감재로서의 콘크리트 관리방안에 대한 연구는 부족했다. 노출콘크리트는 일반 콘크리트에 비해 더욱 많은 공사비와 체계적인 품질관리가 요구되는데도 불구하고 품질관리 방안이 구체적으로 확립되어 있지 않다. 이에 본 연구에서는 노출콘크리트 노출면의 품질확보를 위해 기존 연구 및 사례를 조사하여 품질에 영향을 미치는 다양한 요인을 분석하고, Mock-Up 실험을 통해 거푸집 제작, 콘크리트 배합, 콘크리트 타설 방법에 따른 노출콘크리트면의 품질을 비교분석하였다. 콘크리트 배합 측면에서는 단위결합재량, 단위수량, 시공측면에서는 거푸집 종류, 슬럼프, 다짐시간, 다짐방법 등 시공단계의 품질관리 기준을 제시하여 노출콘크리트의 품질관리를 위한 기초자료를 제공하고자 한다.

키워드 : 노출콘크리트, 거푸집, 콘크리트 배합, 콘크리트 타설, 품질관리
