

# 컬러콘크리트의 기초적 물성검토 및 이를 활용한 조형물 제작기술 개발에 관한 연구

## Investigation of the Fundamental Properties on the Color Concrete and the Development of Its Technique manufacturing Formative Article

<b>김종백*</b>	<b>김종*</b>	<b>김기철**</b>	<b>전충근***</b>	<b>연규원****</b>	<b>신동안*****</b>
Kim, Jong-Baek	Kim, Jong	Kim, Gi-Cheol	Jeon, Chung-Keun	Yeun, Kyu-Won	Shin, Dong-An

### Abstract

This study investigates the fundamental properties of the color concrete corresponding to the various types and contents of the coloring agent. For the properties of the fresh, the flow is gradually decreased corresponding to increasing of the coloring agent, and it is approached to the target flow on 3~6% of the adding amounts. The air content is increased in accordance with the increase of the coloring agent. For the properties of the hardened concrete, the compressive strength is increased about 9 and 12% in the case that 3~6% of red and yellow coloring agents is mixed. And they are decreased when white and black coloring agents. The chromaticity of red (a\*) and yellow (b\*) is appropriate at 6% of the adding amounts, and luminosity of the white and black is also favorable because of economy at 6%, so the formative article is manufactured successfully to aim in the result of this study.

키워드 : 컬러콘크리트, 착색재, 측색계, 국제조명위원회

Keywords : Color Concrete, Pigment, Colorimeter, Commission Internationale de l'Eclairage (CIE)

## 1. 서론

컬러콘크리트란 백색포틀랜드시멘트 및 기타 시멘트에 착색재를 첨가하여 제작하는 것으로 국외의 경우는 내·외부 공간을 중심으로 다양한 색상의 컬러콘크리트가 광범위하게 쓰이고 있지만, 국내의 경우는 고가의 재료를 사용하는 관계로 공사비를 크게 증가시키는 요인 및 외부 환경에서의 내구성 평가가 검증되지 않아 특별한 경우가 아닌 일반 건축물에서는 컬러콘크리트 타설을 피하려는 경향으로 받아들여지고 있다.<sup>1)</sup>

그런데, 근래에 들어 천정서적이면서도 다양한 콘크리트 제품을 찾는 수요자의 요구가 증가하는 등 사회적인 배경과 관련하여 의장성 콘크리트의 중요성이 강조됨에 따라, 제반 비용이 증가될지라도 컬러콘크리트의 사용을 검토할 수밖에 없는데, 현재 우리나라 대부분의 컬러콘크리트 제품은 도로 포장재 및 2차 제품을 중심으로 널리 사용되어지고 있으나, 비용의 증가 등으로 인하여 일부분의 구조물에 사용되고 있어, 경제성을 동반한 고품질의 컬러 콘크리트 개발이 시급한 실정이다.

그러므로, 본 연구에서는 착색재 투입에 따른 컬러 콘크리트

를 대상으로 컬러콘크리트의 기초적 물성 및 발색 측정을 진행하고, 이를 활용하여 조형물을 제작하여 최종적으로는 효율적이고 경제적인 컬러콘크리트의 활용방안 및 그 활용을 위한 기초 기술 자료로 제시하고자 한다.

## 2. 실험계획 및 방법

### 2.1 실험계획

본 연구의 실험계획은 표 1과 같고, 배합사항은 표 2와 같다. 배합사항으로 먼저 W/C는 35% 1수준에 대하여 목표플로우 600±100mm, 목표공기량 4.5±1.5%를 만족하도록 하였고, 착색재 종류로는 적색, 황색, 백색, 흑색 총 4종으로 결정하였으며 착색재 첨가량은 시멘트 중량에 대하여 0, 3, 6, 9, 12%의 5수준의 외할치환하는 것으로 설정하였다.

실험사항으로 굳지않은 콘크리트에서는 슬럼프 플로우, 공기량을 측정하였고, 경화 콘크리트에서는 압축강도 및 발색을 측정하도록 계획하였다.

\*정회원, (주)선엔지니어링 건설기술연구소 연구원

\*\*정회원, (주)원건축사사무소 기술개발팀장, 공학박사

\*\*\*정회원, (주)선엔지니어링 건설기술연구소 책임연구원, 공학박사

\*\*\*\*정회원, (주)선엔지니어링 건설기술연구소 연구소장, 공학박사

\*\*\*\*\*정회원, (주)선엔지니어링 부사장, 공학박사

표 1. 실험계획

실험요인	실험수준		
배합사항	W/C (%)	1	35
	슬럼프플로우 (mm)	1	600±100
	공기량(%)	1	4.5±1.5
	시멘트 종류	1	백색포틀랜드 시멘트
	착색제 종류 (Pigment)	4	· 적색(Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ) · 황색(FeOOH) · 백색(TiO <sub>2</sub> ) · 흑색(Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> )
착색제 치환율(%)	5	0, 3, 6, 9, 12	
실험사항	굳지않은 콘크리트	2	· 슬럼프 플로우 · 공기량
	경화 콘크리트	2	· 압축강도(7, 28일) · 발색측정(7, 28일)

표 2. 배합사항

W/C (%)	단위수량 (kg/m <sup>3</sup> )	S/a (%)	SP/C (%)	착색제 혼입률 (%)	중량배합 (kg/m <sup>3</sup> )				
					C	S	G	P(g)	
35	170	48	1.5	P	0	486	776	880	0
					적색	3	486	772	875
				6		486	769	871	29.14
				9		486	765	867	43.71
				12		486	761	863	58.29
				황색	3	486	772	875	14.57
					6	486	767	870	29.14
					9	486	763	865	43.71
					12	486	758	860	58.29
				백색	3	486	772	875	14.57
					6	486	768	871	29.14
					9	486	764	866	43.71
					12	486	760	861	58.29
				흑색	3	486	772	876	14.57
					6	486	768	871	29.14
					9	486	764	867	43.71
12	486	760	862		58.29				

표 3. 백색시멘트의 물리적 성질

밀도 (g/cm <sup>3</sup> )	분말도 (cm <sup>2</sup> /g)	안정도 (%)	응결시간(분)		압축강도 (MPa)		
			초결	종결	3일	7일	28일
3.07	3,690	0.05	185	240	19.2	27.5	42.5

표 4. 골재의 물리적 성질

종류	밀도 (g/cm <sup>3</sup> )	흡수율 (%)	단위용적 질량(kg/m <sup>3</sup> )	입형판정 실적율(%)	0.08mm체 통과량(%)
잔골재	2.60	1.94	1,598	59.0	2.06
굵은골재	2.64	0.84	1,531	56.5	-

표 5. 착색제 물리적 성질

시험항목	시험결과				시험방법
	적색	황색	백색	흑색	
밀도	4.74	3.99	4.33	4.55	KS L 5110:2001
분말도(cm <sup>2</sup> /g)	6,680	6,791	7,070	6,466	KS L 5106:2005
pH	4.11	5.36	5.39	5.58	KS F 2103:2003

2.2 사용재료

본 실험에 사용한 시멘트는 국내산 U사의 KS L 5204에 합격한 Hunter식의 백색도가 90.5인 백색포틀랜드시멘트를사용하였고(표3. 참조), 잔골재는 충북 옥산산 강모래, 굵은골재는 충북 청원군 옥산산 20mm 부순 굵은 골재를 사용하였다.(표 4. 참조) 또한, 본 실험에 사용된 착색제로는 독일산 무기안료를 사용하였으며, 그 물리적 특성은 표 5와 같다.

2.3 실험방법

본 연구의 실험방법으로 콘크리트의 혼합은 강제식 펜타입믹서를 사용하여 혼합하였다. 굳지않은 콘크리트의 실험으로 슬럼프 플로우는 KS F 2402, 공기량은 KS F 2421의 규정에 따라 실시하였다.

경화 콘크리트의 실험으로 압축강도는 KS F 2405의 시험방법으로 실시하였고, 발색측정은 평균적인 색을 측정할 수 있는 분광측색계(Konika Minolta CM-2500d)를 사용하여 색을 측정하였다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 굳지않은 콘크리트의 특성

그림 1은 착색제 치환율 변화에 따른 플로우, 공기량을 나타낸 것이다. 플로우는 착색제 치환율이 증가할수록 전반적으로 저하하는 것으로 나타났다. 이는, 착색제의 높은 분말도 및 흡수율에 기인한 것으로 분석되어진다. 특히, 황색의 경우 치환율이 증가될수록 플로우는 급격히 저하되는 것으로 확인되었다. 이는 2FeOOH → Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + H<sub>2</sub>O의 화학반응식으로 설명할 수 있으며 이때 H<sub>2</sub>O가 추가적으로 H<sub>2</sub>O를 흡수함에 의하여 전체적인 단위수량이 저감하기 때문에 플로우가 저하되는 것으로 사료된다.

공기량은 전반적으로 4.5±1.5%를 만족하는 것으로 나타났으며, 착색제의 치환율이 증가될수록 공기량은 증가되는 것으로 나타났다. 이는 착색제의 높은 분말도로 인하여 분산성이 증대되고 착색제가 물에 용해되지 않는 유색의 미립자 분체의 불용(不溶)성질을 갖고 있으므로 결국, 콘크리트 내부에 비표면적이 넓어지고 이에 따라 미세공극이 증가되기 때문에 착색제 치환율 증가에 따라 공기량이 증가되는 것으로 사료된다.

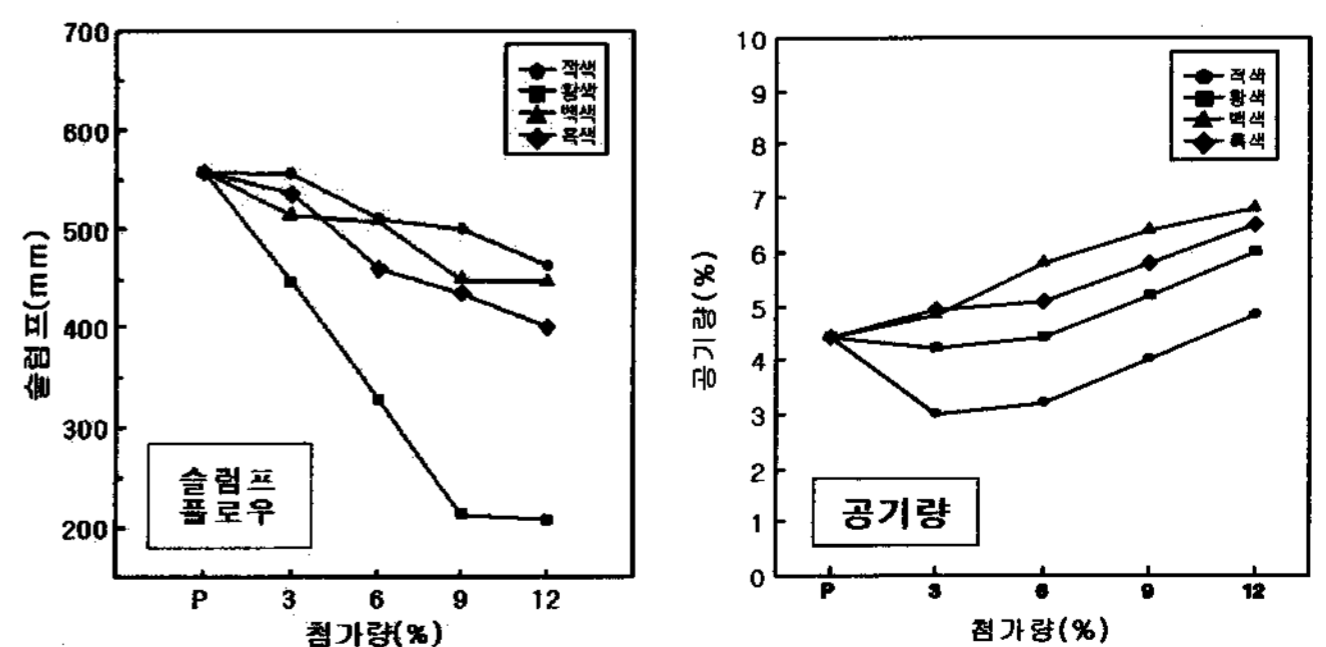


그림 1. 굳지않은 콘크리트의 특성

### 3.2 경화 콘크리트의 특성

그림 2는 착색재 치환율별 재령경과에 따른 압축강도를 나타낸 것이다.

전반적으로 압축강도는 플레인과 비교할시 착색재 치환율에 따라 약간의 증가 및 감소하는 것으로 나타났는데, 적색 및 황색 착색재 3~6% 치환율은 7, 28일 강도가 증가하였고, 9, 12% 치환율은 비슷하거나 약간 저하하는 경향을 보이고 있다. 또한, 백색 및 흑색 착색재의 경우 전반적으로 플레인과 비교하여 저하하는 것으로 나타났는데, 이는 착색재 치환율에 따른 공기량 변화가 압축강도에 영향을 미치는 것으로 판단된다.

그림 3은 색을 보다 시각적, 정량적으로 나타내기 위하여 국제조명위원회(Commission Internationale de l'Eclairage, 이하 CIE)의 a\*b\* 색도환(色度環Chromaticity Diagram)을 나타낸 것이다. 색도환은 a\*와 b\*를 색좌표 지수로 하여 X축을 적-녹색 축으로 설정하고, +a\* 방향은 적색, -a\* 방향은 녹색으로 나타낸 것이고, Y축은 황-청색 축으로 설정하여, +b\*값 방향은 황색, -b\*값 방향은 청색으로 설정하여 -60~+60의 범위로 나타낸 것이다.

그림 4는 CIE의 a\*b\* 색도환을 참고로 착색재 치환율별 재령 28일 발색측정을 나타낸 것이다. 적색(a\*) 및 황색의(b\*) 색도 값은 전체적으로 비슷한 경향으로 나타났지만 착색재 치환율 6%에서 적절한 색도 값이 측정되어 효율적인 치환율로 판단되며, 백색 및 흑색의 명도값(L\*) 역시 착색재 치환율 6%에서 경제성 등을 고려하였을 시 적절한 투입량이라 판단된다. (백색 및 흑색의 명도 L\*값은 Y축을 기준으로 명도값을 나타낸 것임.)

### 3.3 컬러콘크리트를 활용한 조형물 제작

컬러콘크리트를 이용한 조형물 제작에 있어 컬러 선택은 적색, 황색, 백색, 흑색 4종의 컬러를 선택하였으며, 조형물 제작에 있어 착색재의 적정 치환율은 앞서 실시된 물성검토실험에서 적정 치환율로 결정된 6%의 착색재를 치환하여 조형물을 제작을 계획하였다.(표 2. 배합사항 착색재 6% 참조)

조형물 제작 계획은 우선 계획된 컬러를 적절히 활용할 수 있는 작품을 선택하였으며, 선택된 작품은 컬러활용 및 구성이 뛰어난 피에트 몬드리안의 작품으로 결정하였다.(사진 1. 참조)

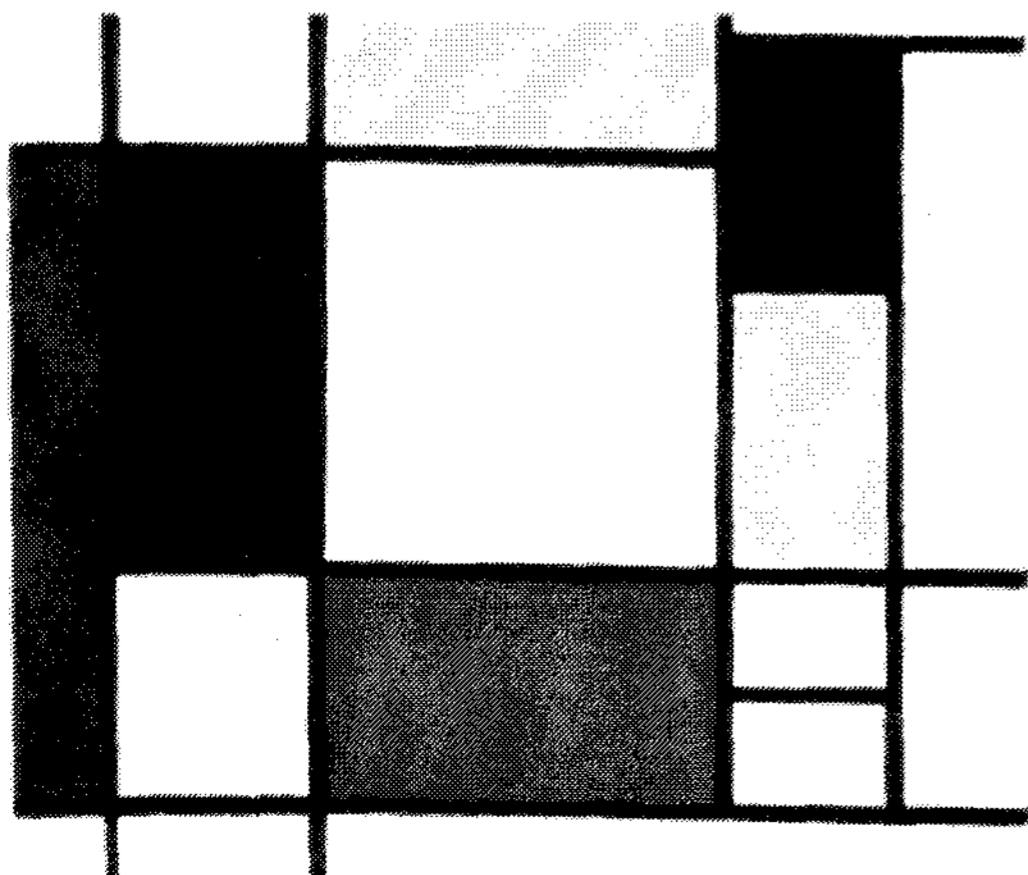


사진 1. 조형물 대상작 몬드리안 작품

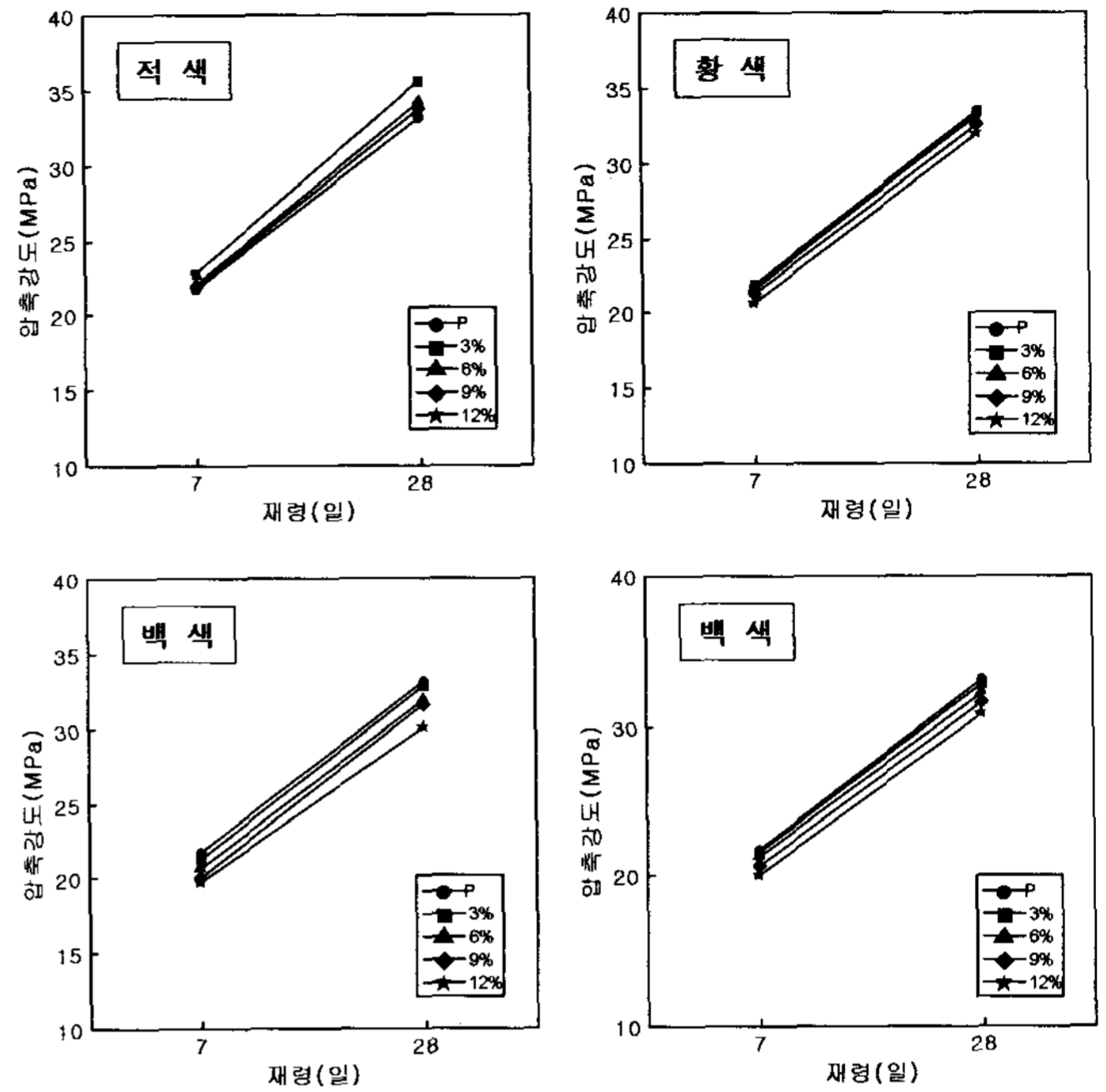


그림 2. 착색재 첨가량별 7, 28일 재령경과에 따른 압축강도

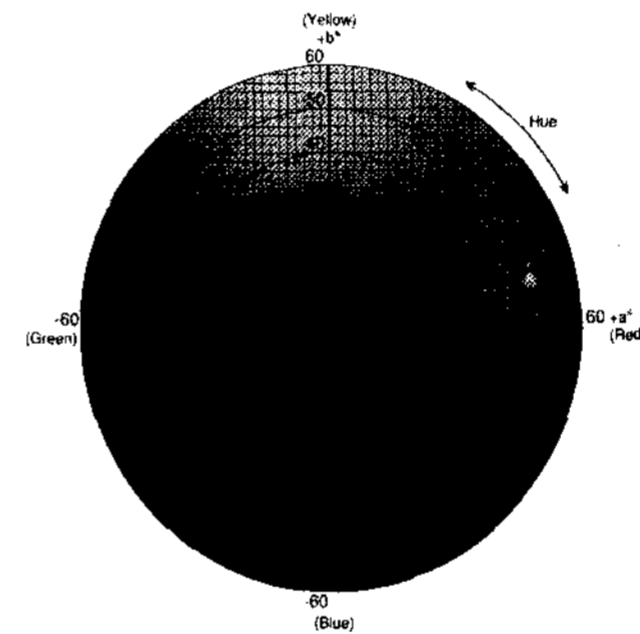


그림 3. CIE의 a\*b\* 색도환

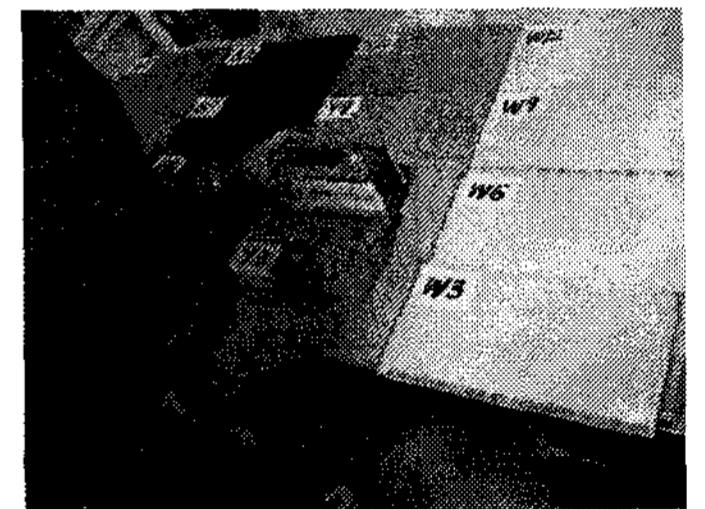


사진 2. 컬러발색측정

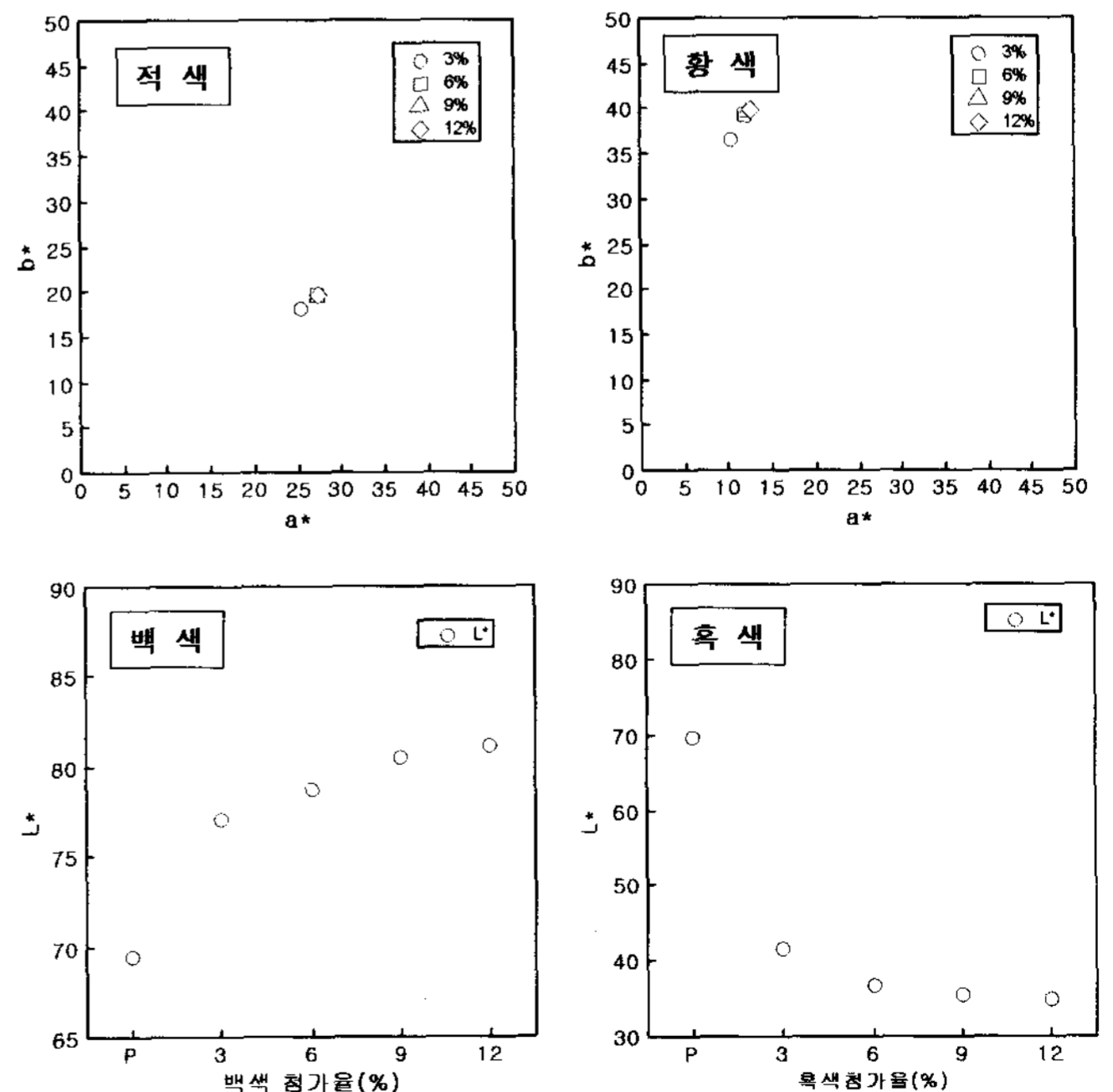


그림 4. 착색재 첨가량별 재령 28일 콘크리트 발색측정

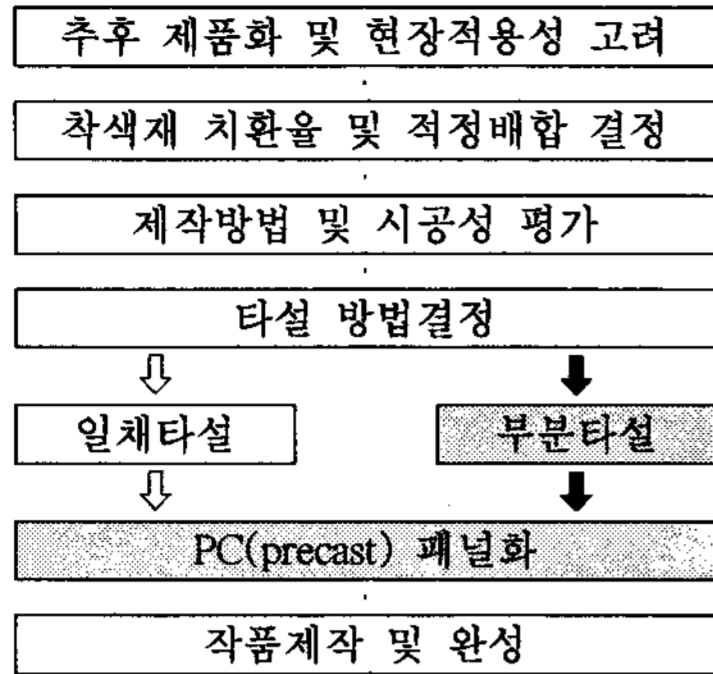


그림 5. 본 연구 및 작품제작 목적

표 6. 컬러콘크리트를 이용한 몬드리안 작품제작 플로우

제작단계	제작방법 및 내용
I 작품선정 및 제작구상	· 컬러선정 및 첨가율 결정
	· 사용재료 및 거푸집 제작방법 선정
	· 콘크리트 배합결정
II 거푸집 제작	· 거푸집 재료 선정
	· 거푸집 제작구상 및 소형샘플제작
	· 타설방법 및 타설구획 설정
III 컬러콘크리트 부어넣기	· 거푸집 내 청소 (오염방지)
	· 균열 방지를 위해 땀팡작업 실시
	· 작품의 표면마감 선택
IV 컬러콘크리트 양생	· 실내 표준양생온도에서 밀봉양생

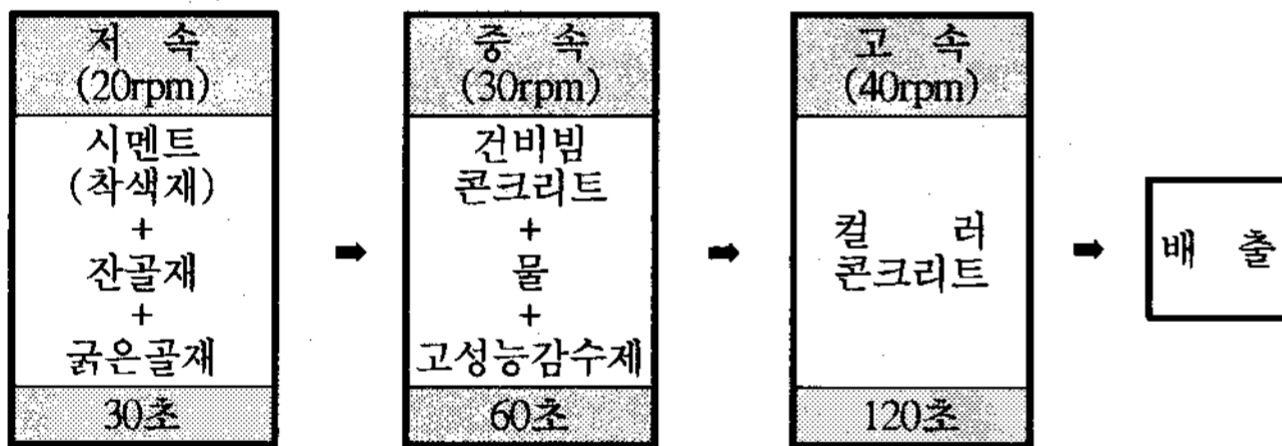


그림 6. 컬러콘크리트의 혼합

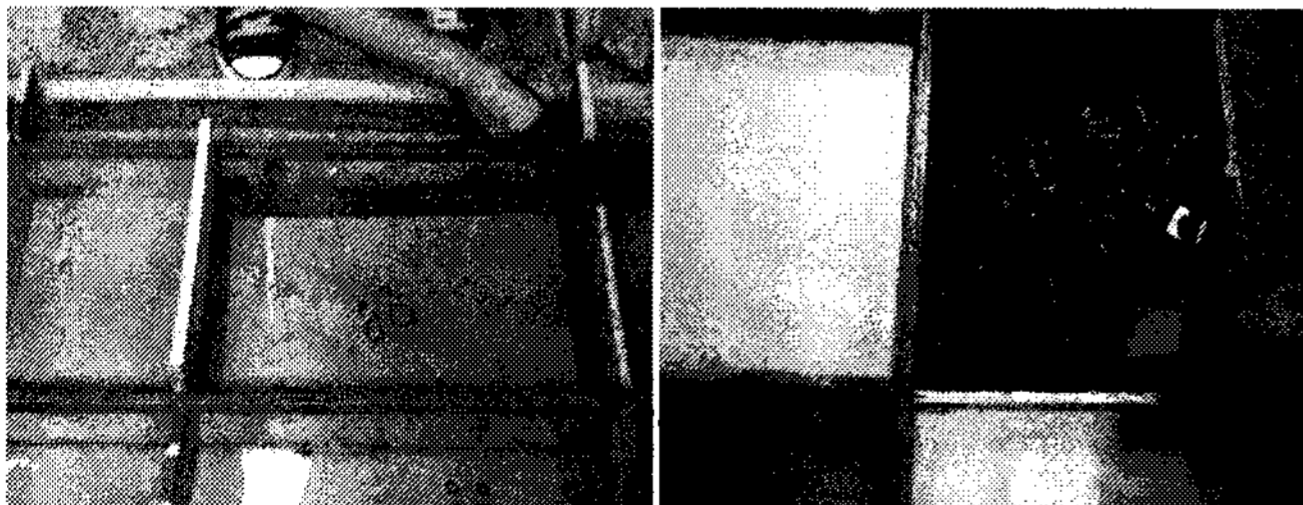


사진 a. 거푸집 제작      사진 b. 컬러콘크리트 타설  
사진 3. 컬러콘크리트 제작과정

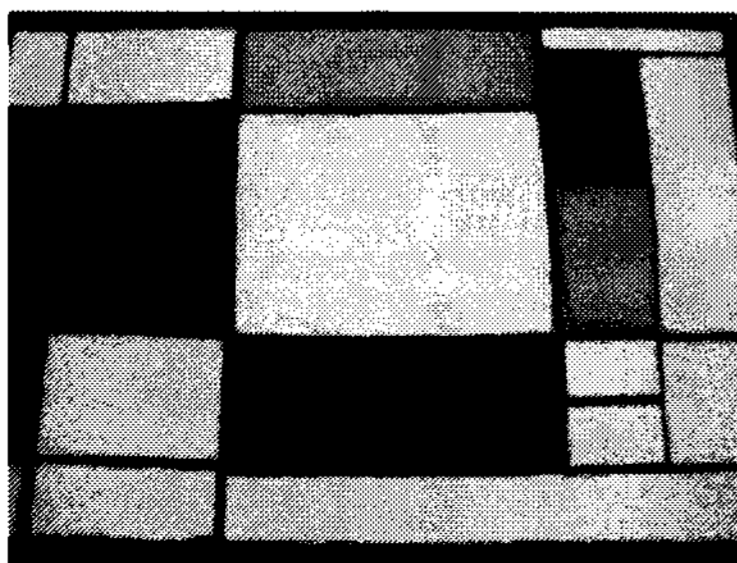


사진 4. 컬러콘크리트로 제작한 몬드리안 작품 조형물

컬러콘크리트의 혼합은 원활한 착색 및 착색재의 분산성을 높이기 위해 백색시멘트와 프리믹스를 15초간 실시하고, 강제식 팬믹서를 사용하여 그림 6과 같이 실시하였다. 접합부분은 시멘트 페이스트 유출로 인한 변색을 방지하기 위해 청태이프로 마감처리 하여 제작하였으며, 컬러콘크리트 혼합 및 부어넣기는 밝은 계열의 컬러, 즉 백색, 황색, 적색, 청색, 흑색콘크리트 순으로 혼합 및 타설을 실시하였으며, 사전에 컬러콘크리트 샘플을 제작하여 사용되어질 박리제와의 변색에 대한 문제점을 검토하였다. 최종적으로 작품제작은 추후 제품화 및 현장적용성을 고려하여 PC패널화 방식을 선택하였으며(그림 5 참조), 본 작품제작을 통하여 향후 컬러콘크리트를 이용한 조형물 활용방안 및 그 활용을 위한 기초 기술 자료로 제시하고자 한다.

#### 4. 결 론

본 연구는 착색재 치환에 따른 컬러콘크리트의 기초적 물성 및 발색특성을 진행하고, 이를 활용한 조형물 제작에 관하여 검토한 것으로 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 플로우는 착색재 치환율이 증가될수록 저하하는 것으로 나타났고, 치환율 3~6%에서 목표 플로우에 근접하는 것으로 나타났다. 황색은 착색재의 특성상 슬럼프가 급격히 저하 되는 것으로 나타났다. 공기량은 착색재 치환율이 증가될수록 증가하는 것으로 나타났다.
- 2) 압축강도는 적색 및 황색 치환율 3~6%의 경우, 강도가 증가, 9, 12% 치환율은 플레인과 비슷하거나 저하 하였고, 백색 및 흑색의 경우 전반적으로 저하하는 것으로 나타났다.
- 3) 적색(a\*) 및 황색의(b\*) 색도 값은 치환율 6%에서 적절한 색도 값이 측정되었으며, 백색 및 흑색의 명도값(L\*) 역시 착색재 치환율 6%에서 경제성 등을 고려하였을 시 효율적인 치환율이라 판단된다.
- 4) 컬러콘크리트를 이용한 조형물 제작은 본 실험에서 결정된 착색재 치환율(6%) 및 배합을 기준으로 양호하게 제작되어졌다.

#### 감사의 글

본 연구는 건설교통부가 출연하고 “콘크리트 코리아 연구단”에서 주관하여 시행한 2006년도 건설핵심기술연구개발사업<05-CCT-D14, 고성능·다기능 콘크리트의 개발 및 활용기술>지원으로 수행되었으며, 이에 감사를 포함합니다.

#### 참 고 문 헌

1. 이문환 ; 칼라 콘크리트의 제조기술 및 활용, 콘크리트학회지 제 15권 1호, 2003. 1
2. 이재용, 고성석 ; CIE L\*a\*b\* 표색계를 적용한 무기안료가 착색 시멘트모르타의 색에 미치는 영향분석, 대한건축학회논문집, 구조계 제 19권, 2003. 11