

## PF3) 디자인 중심의 칼라 콘크리트 도로포장을 위한 레드머드의 재활용 연구

정동영\*<sup>1</sup>, 최경락<sup>1</sup>, 홍종현<sup>2</sup>, 김문훈<sup>2</sup>

<sup>1</sup>건동대학교 건설학부, <sup>2</sup>탐라대학교 토목환경공학과

### 1. 서 론

경제 수준이 높아지고, 문화의 중요성이 강조되면서 기능성 뿐만아니라 예술성이 높은 도로포장에 대한 관심이 높아지고 있다. 따라서, 사찰, 공원, 그리고 문화재 지역에서의 도로포장의 경우, 칼라 도로포장을 적용하는 사례가 증가하고 있다. 종래의 회색도로를 대체하여 다양한 칼라를 나타내는 도로포장은 보행자들의 좋은 반응을 얻고 있다. 그러나, 기존의 유기안료 및 무기안료는 화학적인 방법으로 생산하기 때문에, 이를 이용한 칼라는 부자연스러운 인위적인 느낌을 주며, 흙이 갖는 자연스러운 황토색 칼라와는 별개의 것이 된다. 이를 해결하기 위해, 천연의 칼라 광물질을 사용하여 자연스러운 색상을 나타낼 필요가 있으며, 이에 적합한 광물질로 레드머드가 가능성이 높다. 레드머드는 보오크사이트 원광석에서 생산되는 알루미늄의 선광 과정에서 발생하는 무기질 산업 폐기물로서 연간 10만톤 이상이 발생되고 있으나 적절한 재활용 방안이 없어 재활용 연구가 절실한 실정이다. 따라서, 레드머드를 안료용도의 첨가재로 사용함에 따른 콘크리트의 강도, 슬럼프, 색상변화, 및 건조수축에 관한 실험적 연구를 수행하고, 최종적으로 디자인 중심의 칼라 콘크리트 도로포장을 제공하기 위해 최적의 콘크리트 배합비를 연구하였다.

### 2. 재료 및 실험 방법

본 연구에서는 칼라 콘크리트를 제조하기 위해 잔골재는 낙동강 강사, 굵은골재는 안동시에서 생산된 쇄석골재, 혼화제로 사용된 콘크리트 섬유는 A사의 8mm 길이 pva 섬유를 사용하고, 첨가재로 사용된 레드머드는 H사의 산업폐기물을 사용하였다. 사전에 수차례 예비실험을 수행한 결과, 굵은골재 최대치수는 25mm로 설정하고, 물 사용 단위중량을 180kg, 잔골재율(S/a)을 50%, 물-시멘트비를 50%로 설정하고, 레드머드는 시멘트 사용량의 10%, 15%, 20%로 설정하였다. 대조구로 사용된 종래의 피그먼트는 시멘트 사용량의 3%, 5%, 10%를 사용하였다. Table 1에 본 연구에 수행된 배합비 상세를 나타내었다. 콘크리트 혼합은 200L 강제식 팬믹서를 이용하여, 잔골재+굵은골재+시멘트+레드머드+콘크리트섬유를 1분간 1차 건비빔을 하고, 물+AE감수제를 혼합하여 1차 건비빔 콘크리트에 혼합한 후 2분간 비빔을 한 후, 배출하였다. 시편 제작과 시험은 굳지않은 콘크리트의 실험으로 슬럼프는 KS F 2402, 경화콘크리트의 실험으로 압축강도는 KS F 2405에 의하여 측정하였다.

### 3. 결과 및 고찰

Table 1과 같이 WC50PLANE 배합비로 제작한 콘크리트 블록(30 cm × 30 cm × 8 cm)을 대조구로 설정하고, 레드머드를 시멘트의 15% 첨가한 WC50SP15PX 배합비로 제조한 칼라 콘크리트 블록(30 cm × 30 cm × 8 cm)과 블록상부에 표면강화제(Wet Look Lacquer, White Mountain)를 1회, 2회 코팅한 시편을 시험구로 설정하고, WC50PLANE 배합비에 피그먼트를 시멘트 사용비율의 3%, 5%, 10%를 첨가하여 제조한 칼라 콘크리트 블록(30 cm × 30 cm × 8 cm)을 각각 제조하여 대조구로 설정하였다. 제조시의 실험실 대기온도는 20°C이고 상대습도는 50%이다. 양생 28일 경과 후, 콘크리트 표면의 레이턴스, 모세관, 그리고 색상의 변화를 육안과 장비를 이용하여 관찰하였다. 색상의 측정은 색차계(color difference meter) 미놀타 CR-200으로 측정하였고 실내에서 측정하였으며, 측색에 있어 태양의 영향은 고려하지 않았으며 일률 등은 무시하였다. 시편 전체 면적을 고려하여 균일하게 9점을 기준으로 측정하였으며, 측정점 위치는 그리드 9점을 설정하여 측정하였다. 측색된 색상(Hue), 명도(Value), 채도(Chroma)는 먼셀표색계에 의해 색채기호를 사용하여 시편 측색 값을 평균하여 나타내었다.

명도와 채도 분포도의 저, 중, 고를 구분하면, 명도는 저명도:1~3, 중명도:4~6, 고명도:7~9로 정의되고, 채도는 저채도:1~4, 중채도:5~7, 고채도:8~14로 정의된다. 보통 콘크리트 시편을 측정한 결과를 나타낸 Table 2를 고찰하면, 색상(Hue)에 있어서 측정결과 보통 콘크리트의 색상은 5.4~5.7의 Y계를 이루고 있고, 명도는 7.0~7.5의 고명도를 이루고 있으며, 채도는 0.6~0.7의 매우 낮은 저채도를 보이고 있다.

레드머드를 사용한 칼라 콘크리트 시편의 측색결과를 나타낸 Table 3의 분석결과는 색상은 3.3~3.5의 YR계를 이루며 5.2~5.4의 중명도, 4.5~5.1의 중채도를 나타내고 있다. 그리고 Table 4에 레드머드를 사용한 칼라 콘크리트에 표면강화제를 1회 코팅한 시편의 측색결과를 나타내었는데, 색상은 3.0~3.2의 YR계, 5.0~5.2의 중명도, 4.8~5.0의 중채도를 이루고 있으며, 코팅하지 않은 경우에 비해 색상과 명도가 약간 낮아진다. 또한 레드머드를 사용한 칼라 콘크리트에 표면강화제를 2회 코팅한 시편의 측색결과를 표시한 Table 5의 결과, 색상은 3.0~3.2의 YR계, 4.9~5.0의 중명도, 4.9~5.2의 중채도를 이루고 있고 표면 1회 코팅에 비하여 명도가 약간 낮아지며, 코팅하지 않은 경우에 비하여 색상과 명도가 약간 낮아진다. Table 2~5의 결과에서는, 보통 콘크리트에 비하여 레드머드 칼라 콘크리트는 자연환경의 흙 색상과 조화를 이루는 YR계의 색상을 이루고 있으며, 표면 코팅을 실시함으로써 색상과 명도가 약간 낮아짐을 알 수 있었다.

Table 6에 피그먼트를 3% 첨가한 칼라 콘크리트의 측색결과를 보면, 색상은 9.6~10의 R계를 이루고 있고, 5.1~5.4의 중명도, 4.1~4.5의 중채도를 이루고 있다. 이것은 레드머드 칼라 콘크리트(non-coating)와 비교하면 Y계의 색상이 없는 R계의 색상으로만 이루어진 것으로 보아 매우 적색에 가깝다고 할 수 있고, 자연환경의 흙색상이 Y~YR계가 주를 이루는 것에 비하면, 자연환경과 조화되지 못하는 부조화를 이룬다. Table 7에 피그먼트를 5% 첨가한 칼라 콘크리트의 측색결과를 나타내었는데, 이를 분석하면 8.4~9.2의 R계의 색상, 4.8~5.0의 중명도, 4.7~5.3의 중채도를 이루고 있고, 피그먼트 3%에 비하면 색상의

값과 명도값이 떨어지며 채도는 올라간다. 그리고 레드머드 칼라 콘크리트(non-coating)에 비하면 명도가 약간 떨어진다. Table 8에 피그먼트를 10% 첨가한 칼라콘크리트의 측색결과를 보면, 색상은 7.3~8.9의 R계, 4.2~4.6의 증명도, 5.3~6.3의 중채도를 이루고 있고, 피그먼트 5%에 비하면 색상값과 명도값이 떨어지며 채도는 올라간다. 그리고 레드머드 칼라 콘크리트(non-coating)에 비하면 명도는 내려가고 채도는 높아진다. Table 6~8을 고찰한 결과, 피그먼트를 첨가한 콘크리트의 색상은 R계를 이루고 있고, 피그먼트 첨가가 높아질수록 색상 값과 명도 값은 내려가고 채도는 올라간다. 레드머드 칼라 콘크리트(non-coating)에 비하면 명도가 떨어지고 피그먼트 첨가량이 많을수록 명도는 더 떨어지며, 피그먼트 5%이상에서는 채도는 올라가는 현상을 보인다. 피그먼트를 첨가한 칼라 콘크리트의 색상은 자연환경 흙색상의 주조색(Y~YR계)과 조화를 이루지 못하는 큰 결점을 가지고 있다.

Table 9에 피그먼트를 10% 첨가한 칼라 콘크리트 시편의 모서리 주위에서 발생된 백화 발생 부위에서의 측색결과를 나타내었다. Table 9에서 보면, 색상은 6.5~8.8의 R계, 4.7~4.9의 증명도, 4.0~5.2의 중채도를 이루고 있고, 백태가 많아 측정 위치별 색상값의 편차가 크고 백태가 없는 측정점보다 색상값이 많이 떨어지며 채도가 낮아진다. 즉, 백태가 많아 전체 색상이 균일하지 않은 결점을 나타내고 있다.

결과적으로, YR계의 색상을 나타내는 레드머드를 사용한 칼라 콘크리트는, 한국의 전통 건축물과 근대건축의 변화기의 색상이 Y~YR계인 것을 고려하면, 문화재의 색상과 동일계 색상을 이루고 있어 문화재 시설과 조화를 잘 이룰 것으로 판단된다. 그리고 현대 아파트들도 Y~YR계가 주조색을 이루고, 흙의 색상도 Y~YR계를 주조색으로 이루어져 있으므로 레드머드를 사용한 칼라 콘크리트의 색채가 자연환경과도 조화를 잘 이루는 것으로 판단된다. 또한 레드머드 칼라 콘크리트는 표면강화제로 코팅함으로써 색상과 명도가 약간 낮아짐을 인지할 수 있고 코팅 반복 회수가 증가 할수록 명도가 약간 더 낮아지는 결과를 가져온다. 한편, 장기간의 경시변화에 따른 색상의 변화에 대한 추가연구가 향후 필요한 것으로 판단된다.

Table 1. Mixture proportion details (Unit : kg/m<sup>3</sup>)

Mix Series	W	C	S	G	RD	PVA	AE
WC50PLANE	180	360	845	901	0	0	1.8
WC50SP15PX	180	360	825	880	54	0	1.8

Table 2. Color characteristics of plane concrete

ROW	C1	C2	C3	Range
1	5.7Y 7.2/0.7	5.4Y 7.0/0.7	5.6Y 7.2/0.6	5.4~5.6Y 7.0~7.2/0.6~0.7
2	5.7Y 7.2/0.7	5.4Y 7.1/0.8	5.7Y 7.2/0.7	5.4~5.7Y 7.1~7.2/0.7~0.8
3	5.7Y 7.3/0.8	5.7Y 7.5/0.6	5.7Y 7.2/0.6	5.7Y 7.2~7.5/0.6~0.8

\* Hue Value/Chroma

Table 3. Color characteristics of color concrete(red mud 15%, non coating)

ROW	C1	C2	C3	Range
1	3.3YR 5.4/4.9	3.2YR 5.4/4.9	3.3YR 5.4/4.8	3.2~3.3YR 5.4/4.8~4.9
2	3.3YR 5.4/5.1	3.3YR 5.3/5.0	3.4YR 5.4/4.9	3.3~3.4YR 5.3~5.4/4.9~5.1
3	3.5YR 5.3/4.7	3.5YR 5.3/4.9	3.5YR 5.2/4.5	3.5YR 5.2~5.3/4.5~4.9

\* Hue Value/Chroma

Table 4. Color characteristics of color concrete(red mud 15%, coating once)

ROW	C1	C2	C3	Range
1	3.1YR 5.1/4.9	3.1YR 5.2/4.9	3.1YR 5.1/4.9	3.1YR 5.1~5.2/4.9
2	3.2YR 5.1/5.0	3.1YR 5.1/5.0	3.0YR 5.1/4.8	3.0~3.2YR 5.1/4.8~5.0
3	3.1YR 5.1/4.8	3.0YR 5.0/4.8	3.1YR 5.0/4.9	3.0~3.1YR 5.0~5.1/4.8~4.9

\* Hue Value/Chroma

Table 5. Color characteristics of color concrete(red mud 15%, coating twice)

ROW	C1	C2	C3	Range
1	3.1YR 5.0/4.9	3.1YR 4.9/5.0	3.1YR 5.0/4.9	3.1YR 4.9~5.0/4.9~5.0
2	3.0YR 5.0/5.0	3.1YR 4.9/5.2	3.0YR 5.0/4.9	3.0~3.1YR 4.9~5.0/4.9~5.2
3	3.2YR 4.9/4.9	3.2YR 4.9/5.1	3.1YR 5.0/5.0	3.1~3.2YR 4.9~5.0/4.9~5.1

\* Hue Value/Chroma

Table 6. Color characteristics of color concrete(pigment 3%)

ROW	C1	C2	C3	Range
1	9.9R 5.3/4.2	10.0R 5.3/4.2	10.0R 5.3/4.1	9.9~10.0R 5.3/4.1~4.2
2	10.0R 5.1/4.1	10.0R 5.3/4.2	10.0R 5.3/4.1	10.0R 5.1~5.3/4.1~4.2
3	9.9R 5.1/4.5	10.0R 5.4/4.3	9.6R 5.3/4.1	9.6~10.0R 5.1~5.4/4.1~4.5

\* Hue Value/Chroma

Table 7. Color characteristics of color concrete(pigment 5%)

ROW	C1	C2	C3	Range
1	9.0R 4.8/5.3	9.1R 4.9/5.1	8.4R 5.0/4.7	8.4~9.1R 4.8~5.0/4.7~5.3
2	9.2R 4.8/5.3	8.9R 4.9/5.1	9.0R 4.8/5.0	8.9~9.2R 4.8~4.9/5.0~5.3
3	9.1R 4.8/5.1	8.8R 4.9/4.8	8.8R 4.9/5.0	8.8~9.1R 4.8~4.9/4.8~5.1

\* Hue Value/Chroma

Table 8. Color characteristics of color concrete(pigment 10%)

ROW	C1	C2	C3	Range
1	8.7R 4.3/5.9	8.6R 4.4/6.2	8.8R 4.2/6.0	8.6~8.8R 4.2~4.4/5.9~6.2
2	8.7R 4.3/6.1	8.9R 4.3/6.1	8.7R 4.3/6.3	8.7~8.9R 4.3/6.1~6.3
3	7.3R 4.6/5.3	8.7R 4.3/5.9	8.0R 4.5/5.8	7.3~8.7R 4.3~4.6/5.3~5.9

\* Hue Value/Chroma

Table 9. Color characteristics of color concrete(pigment 10%, Efflorescence)

ROW	C1	C2
1	8.8R 4.7/5.2	6.5R 4.8/4.0
2	7.9R 4.9/4.3	7.9R 4.8/4.3

\* Hue Value/Chroma

#### 4. 요약

레드머드와 피그먼트의 미세구조분석과, 이를 이용한 칼라 콘크리트의 강도 특성 연구, 초기 건조수축 실험, 그리고 색상분석 결과, 레드머드를 사용한 칼라 콘크리트는 산업현장에 실용화될 수 있는 충분한 물리적 특성을 나타내었다. 뿐만아니라 종래의 산화철 피그먼트를 사용한 칼라 콘크리트와 비교하여 월등히 우수한 디자인 특성을 나타내었다. 따라서, 레드머드는 디자인 중심의 도로포장 구성에 대량 이용 가능하다고 판단된다. 향후, 장기적인 색상분석과 강도특성에 대한 연구가 수행되어야 한다고 사료된다.

#### 참 고 문 헌

- 정원식, 2004, Red Mud의 재활용 기술동향, 건설기술정보, 32-34.
- 정동영, 최경락, 홍종현, 김문훈, 2007, 레드머드와 광촉매를 사용한 칼라 콘크리트의 생태 도로포장 구성에 관한 실험적 연구, 탐라대학교 지역개발연구소 논문집, 2(1), 212-232.
- 서정원, 1993, 충청지역의 건축물과 자연환경에 대한 색채조사 및 분석, 충남대학교 석사학위논문.