

## 산업폐기물 레드머드를 사용한 친환경 칼라 콘크리트 개발에 관한 실험적 연구

정 동 영 · 최 경 락 · 김 문 훈\* · 홍 종 현\*  
건동대학교 건설학부, \*탐라대학교 토목환경공학과  
(2007년 4월 4일 접수; 2007년 7월 13일 채택)

## An Experimental Study on Development of Eco-Friendly Color Concrete Using Industrial Waste Red Mud

Dong-Young Jeong, Kyoung-Rag Choi, Moon-Hoon Kim\* and Chong-Hyun Hong\*

Division of Construction Engineering, Kundong University, Gyongbuk 760-833, Korea

\*Department of Civil & Environmental Engineering, Tamna University, Jeju 697-340, Korea

(Manuscript received 4 April, 2007; accepted 13 July, 2007)

Red mud is a waste generated by the aluminium industry, and its disposal is a major problem for this industry. Red mud has a reddish-brown color and superfine particle characteristics. So, it can be a promising pigment admixture for concrete industry. An experimental study was conducted to investigate the potential use of red mud in color concrete. The micro structures of red mud and iron oxide pigment such as porosity, pore size distribution, diameter of particle were analyzed with the aid of SEM, X-ray diffraction(XRD), and the infrared absorbance. Tests on physical properties of color concrete, such as strength, slump, early shrinkage crack patterns, and color characteristics were carried out and the results were reported in this paper.

Key Words : Color Concrete, Red Mud, Iron Oxide Pigment, Early Shrinkage Crack

### 1. 서 론

레드머드(red mud)는 보오크사이트로부터 수산화알루미늄/알루미나( $Al(OH)_3/Al_2O_3$ ) 제조과정에서 부산물로 발생하는 산업폐기물이다. 제조공정인 Bayer process 특성상  $Al_2O_3$  1톤을 생산하면 대략 2톤의 레드머드가 발생된다. 레드머드는 주성분인  $Fe_2O_3$ 로 인한 적색의 칼라로 인해 붙여진 명칭으로 국내에서는 연간 20만톤의 레드머드가 발생하고 있다<sup>1)</sup>. 국내외에서 레드머드를 재활용하고자 다양한 연구가 수행되었다. 무기응집제 개발에 이용하는 연구<sup>1)</sup>, 산업폐수처리에 활용하는 연구<sup>2)</sup>, 포졸란 재료로 활용하는 연구<sup>3)</sup>, 그리고 시멘트 재료로 활용하는 연구<sup>4)</sup> 등 다양한 재활용 방안에 대하여 연구가 진행되었지만, 레드머드 발생량에 비하여 재활용되는 양은

매우 적은 편이다. 특히, 기존의 대부분의 연구결과가 학술적 측면의 연구 성과로는 의미가 있지만, 경제성 문제로 인해 산업화되지 못했다. 따라서, 경제성을 만족하고 산업화 될 수 있는 대량 소비처의 발굴과 연구가 시급한 실정이다.

레드머드는 미세한 입자의 크기와 적색의 칼라는 콘크리트 안료로 활용될 가능성이 높다. 그러나, 종래의 피그먼트(산화철 안료)와 비교하면, 착색력이 낮고, 물-시멘트비가 월등히 높은 문제, 이를 극복하기 위해 소성하여 포졸란 재료로 사용하면 경제성이 낮아지는 문제, 그리고 백화 가능성 등 콘크리트 안료로 사용하기에는 문제점이 많다.

한편, 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<sup>5)</sup>. 종래의 회색도로를 대체하여 다양한 칼라를 나타내는 도로포장은 보행자들의 좋은 반응을 얻고 있다. 그

Corresponding Author : Chong-Hyun Hong, Department of Civil & Environmental Engineering, Tamna University, Jeju 697-340, Korea  
Phone: +82-64-735-2115  
E-mail: jhhong@tnu.ac.kr

러나, 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<sup>5)</sup>.

따라서, 본 연구에서는 레드머드를 시험구로 종래의 피그먼트를 대조구로 설정하여 입자의 미세구조 분석과 레드머드 사용에 따른 콘크리트의 슬럼프 변화, 강도변화, 초기 건조수축 패턴, 그리고 칼라 특성에 대하여 실험적 연구를 수행하고 레드머드를 콘크리트 안료로 사용될 수 있는 방안을 제시하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 실험재료

칼라 콘크리트를 제조하기 위해 시멘트는 Table 1과 같은 S사의 시멘트를 사용하였고, 굵은골재는 Table 2, 3과 같은 품질의 안동시에서 생산된 쇄석 골재를 사용하였으며, 잔골재는 Table 4, 5와 같은 낙동강 강사를 사용하였다. 혼화제는 Table 6과 같은 AE감수제를 사용하였다. 콘크리트의 초기 수축 균열을 제어할 목적으로 사용된 콘크리트 섬유는 Table 7과 같은 A사의 길이 8 mm PVA 섬유를 사용하였다.

### 2.2. 배합설계

사전에 수차례 수행된 예비실험 결과를 바탕으로,

Table 1. Physical properties of cement

Specific gravity (g/cm <sup>3</sup> )	Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	Stability (%)	Setting time (hr:min)		Compressive strength (kgf/cm <sup>2</sup> )		
			Ini.	Fin.	3 days	7 days	28 days
3.15	3,245	0.12	3:50	5:40	245	309	416

Table 2. Gradation of coarse aggregate

Test item	Percent passing(%)					Fineness modulus
	40 mm	25 mm	13 mm	5 mm	2.5 mm	
Crushed stone	100	100	47	1	0	7.02

Table 3. Physical properties of coarse aggregate

Test item	Particle density (g/cm <sup>3</sup> )	Water absorption (%)	Soundness index (%)	Passing of 0.08mm sieve (%)	Solid volume percentage (%)	LA abrasion index (%)	Unit weight (kg/L)
Crushed stone	2.73	0.6	3	0.3	57	15	1.64

Table 4. Gradation of fine aggregate

Test item	Percent passing(%)							Fineness modulus
	10 mm	5 mm	2.5 mm	1.2 mm	0.6 mm	0.3 mm	0.15 mm	
River sand	100	100	88	63	45	18	3	2.83

Table 5. Physical properties of fine aggregate

Test item	Particle density (g/cm <sup>3</sup> )	Water absorption (%)	Soundness index (%)	Passing of 0.08mm sieve (%)	Organic impurities	Unit weight (kg/L)
River sand	2.56	1.3	4	1.5	Nil	1.61

Table 6. Properties of high performance AE water reducing agent

Type	Color	Main component	Specific gravity
Liquid	Dark brown	Naphtalene Sulphonate	1.2±0.02

Table 7. Physical properties of concrete fiber

Type	Length (mm)	Diameter (mm)	Tensile strength (MPa)	Elongation at break (%)	Elastic modulus (MPa)
Polyvinyl alcohol fiber	8	0.011	900	10.6	15,000

Table 8. Mixture proportion details (Unit : kg/m<sup>3</sup>)

Mix Series	W	C	S	G	RD	PVA	AE
WC50PLANE			845	901	0	0	
WC50SP10PO			832	887	36	1.0	
WC50SP10PX			832	887	36	0	
WC50SP15PO	180	360	825	880	54	1.0	1.8
WC50SP15PX			825	880	54	0	
WC50SP20PO			819	873	72	1.0	
WC50SP20PX			819	873	72	0	

\* W는 단위 수량, C는 단위 시멘트량, S는 단위 잔골재량, G는 단위 굵은골재량, RD는 레드머드 사용량, PVA는 콘크리트 섬유 사용량, AE는 AE감수제 사용량

굵은골재 최대치수는 25 mm로 설정하고, 물 사용단위중량을 180 kg, 잔골재율(S/a)을 50%, 물-시멘트비(W/C)를 50%로 설정하여 도로포장용 콘크리트 배합에 광범위하게 이용되는 배합비를 Table 8과 같이 선택하였다. 콘크리트에 칼라를 나타내기 위해 첨가재료로 레드머드는 시멘트 사용량의 10%, 15%, 20%로 설정하여 분홍에서 적색의 색상분포를 관찰하기 위한 비율을 선택하였다. 콘크리트 섬유는 1.0~3.0 kg/m<sup>3</sup>의 범위로 투입하여 레드머드의 사용에 따른 단위수량 증가로 발생하는 초기 건조수축을 저감할 목적으로 사용된다<sup>6,7)</sup>. AE감수제는 시멘트의 0.5% 범위로 사용하였다. 전체적인 배합설계 개념은 물-시멘트비 50%인 경우의 레드머드와 피그먼트의 사용량에 따른 강도변화와 슬럼프 변화, PVA 섬유 사용에 따른 강도변화, 슬럼프 변화, 건조수축 변화를 관찰하고<sup>6,7)</sup>, 최종적으로 설계 압축강도 24 MPa, 슬럼프 8 cm 내외의 도로포장용 칼라 콘크리트 제조 최적 배합비를 도출하는 것이다.

### 2.3. 실험방법

콘크리트 혼합은 200 L 강제식 팬믹서를 이용하

여, 잔골재+굵은골재+시멘트+레드머드(피그먼트)+콘크리트섬유를 1분간 1차 건비빔을 하고, 물+AE감수제를 혼합하여 1차 건비빔 콘크리트에 혼합한 후 2분간 비빔을 한 후, 배출하였다. 시편 제작과 시험은 굳지않은 콘크리트의 시험으로 슬럼프는 KS F 2402, 경화콘크리트의 시험으로 압축강도는 KS F 2405에 의하여 측정하였다. 초기 건조수축 실험은 원 등<sup>6)</sup>과 Baraguru<sup>7)</sup>의 논문을 참조하여 실험 장치를 제조하여 수행하였다. 색상은 색차계(color difference meter) 미놀타 CR-200으로 측정하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 재료특성

실험에 사용된 레드머드와 피그먼트의 화학성분 분석 결과를 Table 9에 나타내었다. 레드머드는 SiO<sub>2</sub>+Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>가 79.69%로 화학적으로 안정된 구조를 나타내고 있고, 피그먼트는 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>가 98.99%로서 KS M 5102(Iron Oxide)의 Class 1에 해당되는 것으로 분석되었다. Fig. 1에 레드머드와 피그먼트를 장방출주사전자현미경(FE-SEM; Field Emission Scanning Electron Microscope, JSM-6700F)으로 5,000배, 10,000배, 20,000배 확대 촬영하여 나타내었다. 레드머드는 입도분포가 넓게 형성된 것을 알 수 있으나, 피그먼트는 균일한 결정으로 이루어져 입도분포가 좁게 형성된 것을 알 수 있다. 이것은 Fig. 2의 입도분포곡선에서도 알 수 있다. 레드머드는 입자의 평균직경이 29.9 μm이고 피그먼트는 3.1 μm로 측정되어, 피그먼트보다 레드머드의 입자가 굵은 것을 알 수 있다. 그러나, Table 10에 의하면 레드머드가 피그먼트에 비해 BET 표면적은 4.1배 높고, BJH 방법으로 측정한 누적 세공부피도 5배 높게 측정되었다. 이것은 레드머드의 입자가 미세한 공극을 가지고 있어 흡착재료 용도로 사용될 수 있음을 의미한다. Table 11에서 비중은 KS L 5110, 강열감량은 KS L 5120, pH는 KS F 2103의 방법으로 측정

Table 9. Chemical composition of red mud and pigment used in experiments(%)

Material	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	TiO <sub>2</sub>	Na <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Red mud	8.50	18.16	53.03	5.50	0.02	8.11	5.55	0.30	0.17	0.10	0.29
Pigment	-	0.43	98.99	-	-	-	-	-	-	-	-

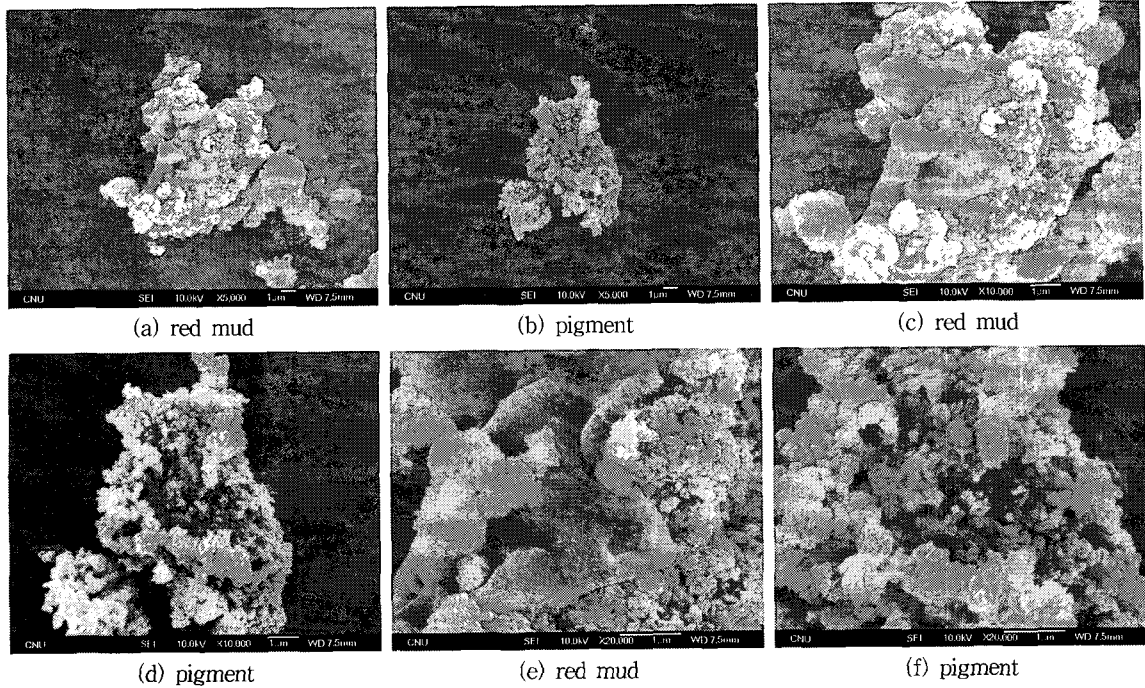


Fig. 1. SEM picture of red mud and pigment(magnifying power (a,b) 5000X, (c,d) 10000X, (e,f) 20000X).

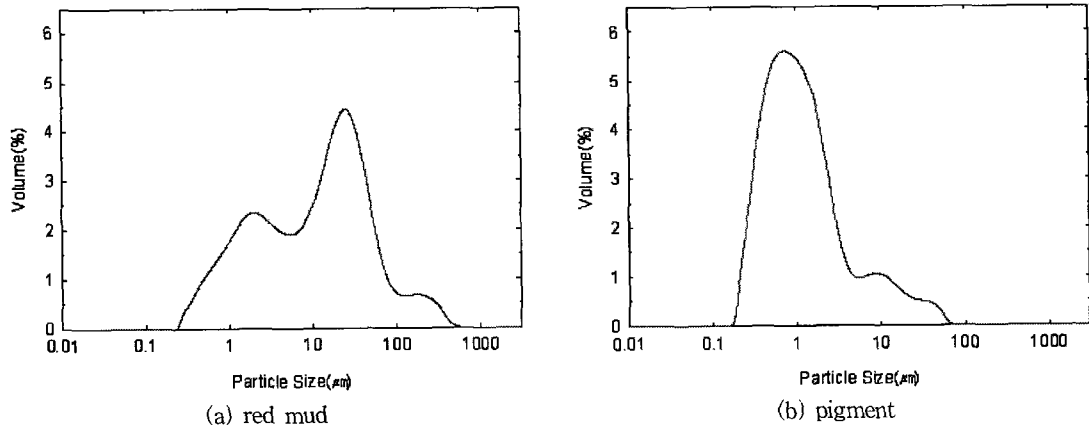


Fig. 2. Particle size distribution of red mud and pigment.

Table 10. BET surface area, pore volume and pore diameter of red mud and pigment

Material	BET surface area (m <sup>2</sup> /g)	pore volume (cm <sup>3</sup> /g)	pore diameter (nm)
Red mud	28.03	0.15	19.05
Pigment	6.82	0.03	16.86

Table 11. Physical properties of red mud and pigment

Material	Specific gravity (g/cm <sup>3</sup> )	Mean diameter of particle (μm)	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	Ig.loss (%)	pH
Red mud	2.55	29.907	53.03	10.60	11.7
Pigment	4.49	3.171	98.99	1.35	2.9

하였다. 레드머드와 피그먼트는 물리적 특징이 현저히 상이한 것을 알 수 있다. Fig. 3에서는 레드머드와 피그먼트의 XRD 해석을 나타낸 것으로 결정구

조에 차이가 있는 것을 알 수 있다. Fig. 4는 레드머드와 피그먼트의 FT-IR을 측정된 것으로 레드머드의 투과율이 낮게 나타났다.

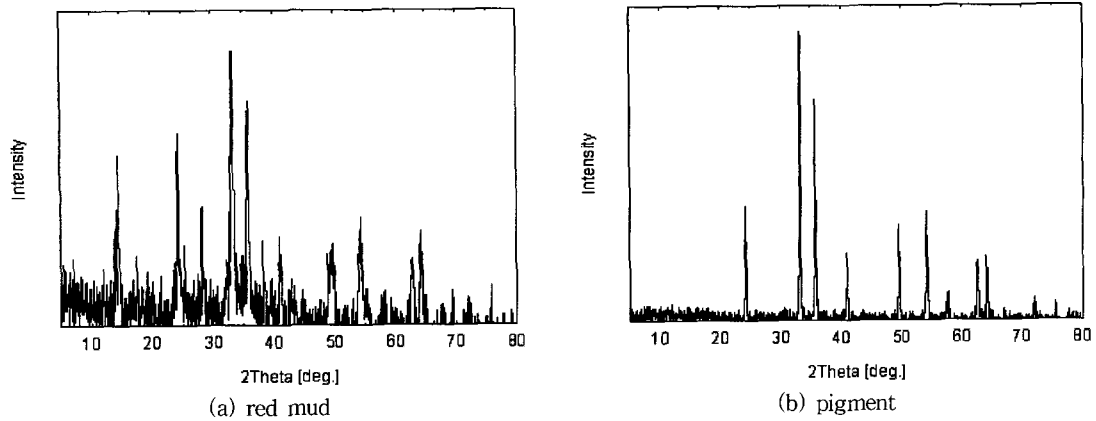


Fig. 3. XRD analysis of red mud and pigment.

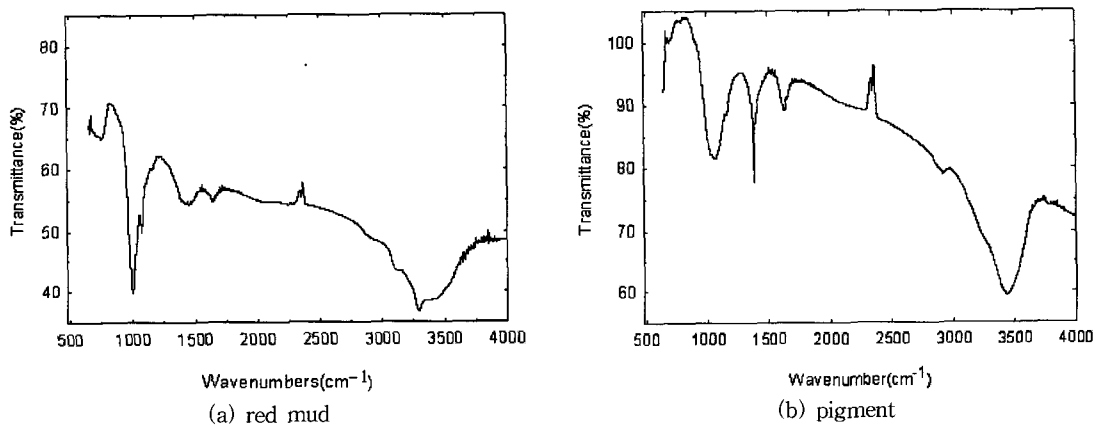


Fig. 4. FT-IR spectra of red mud and pigment.

### 3.2. 강도특성

Fig. 5는 레드머드 첨가량을 시멘트의 10%, 15%, 20%로 변동하였을 때, 물-시멘트비가 50%인 경우의 슬럼프 저감현상을 관찰한 것이다. 레드머드는 높은 비표면적을 가지고 있어, 물의 흡착이 매우 높다. 따라서, 레드머드가 첨가될 때 물의 흡착이 높아 상대적으로 슬럼프가 대폭 감소하는 것으로 판단된다. Fig. 6은 피그먼트 첨가량을 시멘트의 3%, 5%, 10%로 변동하였을 때, 물-시멘트비가 50%인 경우의 슬럼프 저감현상을 관찰한 것이다. 피그먼트는 물의 흡착이 낮기 때문에 첨가량이 증가하여도 슬럼프에는 큰 변화를 나타내지 않는 것으로 나타났다. 한편, 콘크리트의 초기 수축균열 제어를 목적으로 콘크리트 섬유를 사용했을 때, 슬럼프 저감문제에 대한 실험결과는 종래의 연구결과인<sup>5)</sup> 콘크리트 섬유를 1 kg/m<sup>3</sup> 범위로 사용하는 경우 슬럼프의 저감은 1 cm 내외인 것과 동일하게 나타났다.

Fig. 7은 레드머드 첨가량을 시멘트의 10%, 15%, 20%로 변동하였을 때, 물-시멘트비가 50%인 경우

의 압축강도를 나타내고 있다. 레드머드가 첨가되어도 강도에는 큰 영향이 없는 것으로 나타났다. Fig. 8은 피그먼트 첨가량을 시멘트의 3%, 5%, 10%로 변동하였을 때, 물-시멘트비가 50%인 경우의 압축강도를 나타내고 있다. 피그먼트가 첨가되어도 강도에는 큰 영향이 없는 것으로 나타났다.

레드머드 사용에 따른 슬럼프의 감소는 현장 시공에 큰 문제점을 주게 된다. 따라서, 슬럼프를 16.5 ± 0.5 cm로 고정하고 레드머드 사용량을 증가시키면, 레드머드의 수분 흡착작용에 의해 다량의 물이 추가 투입되게 된다. 이때, 단위 시멘트량은 고정하고 물의 양을 단순히 증가시켜 슬럼프를 일정하게 유지하는 경우의 강도 저감현상을 관찰한 결과, 레드머드 사용량이 증가할수록 강도의 저감이 최대 20%까지 발생되는 단점이 있다<sup>5)</sup>.

결과적으로, 칼라 도로포장을 위한 최적의 배합비로, 레드머드가 시멘트의 15±1% 범위로 혼합이 되고, 슬럼프를 15±1 cm로 유지하기 위해서는, 단위수량을 종래의 보통 콘크리트 배합비에서 10% 정도

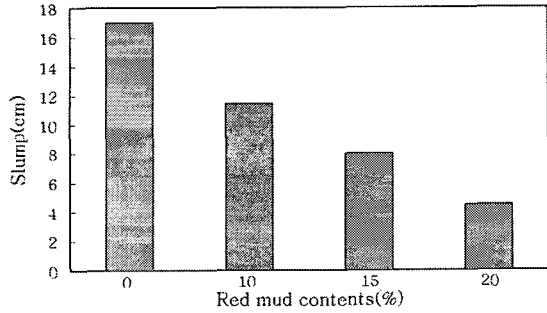


Fig. 5. Slump versus red mud contents.

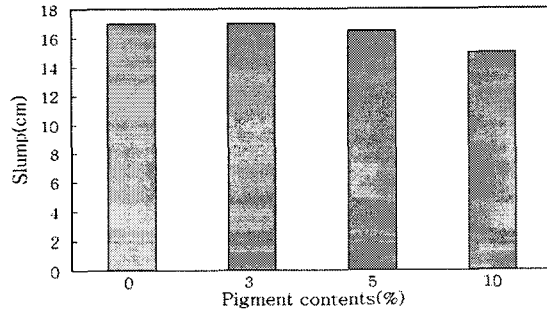


Fig. 6. Slump versus pigment contents.

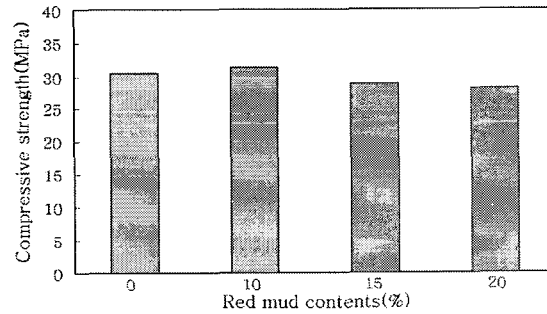


Fig. 7. Compressive strength versus red mud contents.

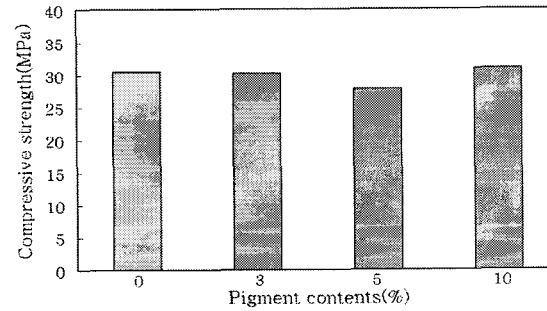


Fig. 8. Compressive strength versus pigment contents.

추가해야 하고, 이때, 강도의 감소는 최소 10%에서 최대 20% 정도 저감될 것으로 예상된다. 설계압축 강도 24 MPa, 슬럼프 15±1 cm 정도로 도로포장이

조성되기 위해서는, 시멘트의 단위중량을 350±10 kg/m<sup>3</sup> 내외 범위가 적당할 것으로 판단된다. 슬럼프가 15 cm 이상 높아지게 되면, 도로포장 표면의 표면강도 저하가 예상된다. 따라서, 표면의 마모와 장기적인 사용성을 감안할 때, 잔골재율(S/a)을 50% 이상 조절하여, 표면이 마모가 되더라도 굵은골재의 노출이 적도록 유도하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

### 3.3. 칼라 콘크리트의 초기 수축균열 특성

콘크리트의 경화 과정에서 체적의 감소로 소성수축하게 되면, 콘크리트에 부분적으로 인장력을 유발시키게 된다. 특히, 타설 후 외기에 접하는 콘크리트 표면으로부터 수분증발에 의한 수분손실로 소성수축을 촉진시켜 표면균열을 일으키게 된다. 소성수축에 의한 표면균열은 대기온도, 상대습도, 콘크리트 온도 및 풍속의 영향을 많이 받는다. 즉, 노출된 콘크리트의 표면에 바람이 강할수록, 상대습도가 낮을수록, 대기온도 또는 콘크리트 온도가 높을수록 소성수축 균열이 발생할 확률이 증대된다. 일반적으로 콘크리트 표면의 증발율이 1.0 kg/m<sup>2</sup>/hr 이상이거나 증발량이 블리딩량보다 클 때, 표면의 수축현상이 소성 상태에 있는 내부의 콘크리트를 구속하게 되기 때문에 콘크리트 표면에 인장응력이 발생하게 되어 표면균열로 이어지게 된다<sup>8)</sup>. 레드머드를 안료 용도로 대량 사용한 경우, 콘크리트의 단위수량이 대폭 증가하게 되고, 콘크리트 체적 감소와 수분증발률이 높아지고, 따라서, 소성수축에 의한 균열 발생확률이 높아진다. 본 연구에서는 소성수축현상을 관찰하고, 균열 감소를 목적으로 섬유를 사용한 균열 제어법을 제시하였다. 실험에 사용된 몰드는 원등<sup>6)</sup>과 Balaguru<sup>7)</sup>의 실험방법을 참고하여 제작하였으며 Fig. 9와 같다.

실험에서의 배합조건은 Table 12와 같다. WC50PLANE 배합비의 경우 슬럼프 시험에서 17 cm로 측정되었다. WC50PLANE 배합비에 레드머드를 시멘트의 10%, 15%, 20% 비율로 첨가하는 경우, 슬럼프가 11.5 cm, 8 cm, 4.5 cm로 대폭 저감되었다. 레드머드가 흡착재료의 역할을 나타내어 높은 흡수량으로 인해, 슬럼프가 대폭 저감된 것이다. 따라서, 현장에서의 시공성을 고려할 때, 레드머드를 첨가함에 따른 단위수량의 증가가 발생된다. 단위수량이 증가하면, 초기 소성수축에 의한 균열의 발생확률이 높아지고 이에 대한 대비책이 요구된다.

레드머드를 첨가한 칼라 콘크리트의 초기 수축균열 특성을 연구하기 위해, WC50 Series에서, 레드머드 첨가량 10%(WC50SP10PX), 15%(WC50SP15PX), 20%(WC50SP20PX)에서의 최대 균열폭, 총 균열면

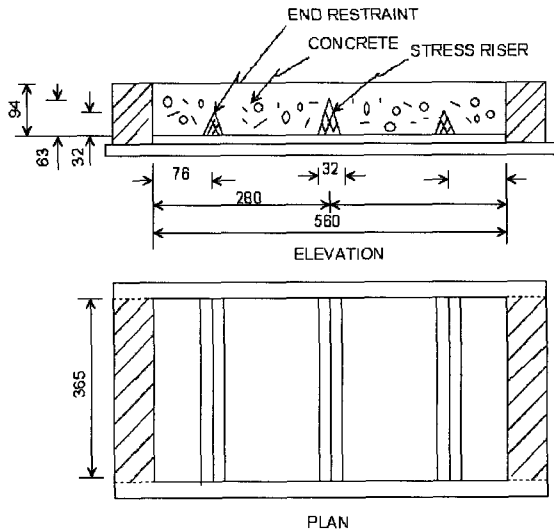


Fig. 9. Details of mold used for 94 mm thick slabs (unit: mm).

적, 그리고 균열발생형태를 연구하였으며, 레드머드 첨가량 15%를 기준으로 한 배합비에서, PVA 섬유를  $1 \text{ kg/m}^3$ (WC50SP10PO),  $2 \text{ kg/m}^3$ (WC50SP15PO),  $3 \text{ kg/m}^3$ (WC50SP20PO) 인 경우의 균열발생에 대하여 연구를 수행하였다. 각각의 시험체는 슬럼프를 17 cm로 일정하게 조정하기 위하여 단위수량을 조절하였다. 실내에서 실험이 수행되었으며 실험조건은 대기온도  $20 \pm 3^\circ\text{C}$ , 상대습도  $60 \pm 5\%$ , 풍속  $5 \pm 1 \text{ m/sec}$ , 수분증발률  $1.0 \text{ kg/m}^2/\text{hr}$  이상( $1.0 \sim 2.0 \text{ kg/m}^2/\text{hr}$ )의 조건에서 실시하였다. 콘크리트 타설 24시간 후, 균열발생을 관찰하였다. WC50PLANE 시험체는 균열이 발생하지 않았다. 그러나, WC50SP10PX 시편, WC50SP15PX 시편, WC50SP20PX 시편은 균열이 발생하였으며, WC50SP20PX 시편이 가장 균열면적이 높았다. 레드머드의 첨가량이 많을수록 균열의 폭과 면적이 대폭 증가하는 것을 관찰하였다. Fig. 10에 일반적인 균열패턴 사진을 나타내었다. 균열의 발생원인은 칼라 콘크리트가 일정한 슬럼프를 유지하기 위해, 단위수량을 증가한 까닭으로 판단되며, 균열을 방지하기 위해 PVA 섬유를 사용한 시편의 경우는 균열이 발생하지 않았다. 따라서, 상기 연구 결과를 바탕으로 PVA 섬유는 레드머드를 사용한 칼라 콘크리트의 초기 균열 제어목적으로 적합하다고 판단된다.

3.4. 색상분석

WC50PLANE 배합비로 제작한 콘크리트 블록( $30 \text{ cm} \times 30 \text{ cm} \times 8 \text{ cm}$ )을 대조구로 설정하고, 레드머드를 시멘트의 15% 첨가한 WC50SP15PX 배합비로 제조한 칼라 콘크리트 블록( $30 \text{ cm} \times 30 \text{ cm} \times 8 \text{ cm}$ )

Table 12. Details of crack widths, lengths, and areas

Mix design	Crack width (mm)	Crack length (mm)	Crack area (mm <sup>2</sup> )	Sum of crack area (mm <sup>2</sup> )
WC50PLANE	No cracks			
WC50SP10PO	No cracks			
WC50SP15PO	No cracks			
WC50SP20PO	No cracks			
WC50SP10PX	1.0	-	-	146.7
	0.9	-	-	
	0.8	4	3.2	
	0.7	47	33.9	
	0.6	30	18.0	
	0.5	55	27.5	
	0.4	21	8.4	
	0.3	95	28.5	
	0.2	117	23.4	
	0.1	38	3.8	
WC50SP15PX	1.0	7	7.5	206.5
	0.9	25	22.5	
	0.8	76	60.8	
	0.7	46	32.2	
	0.6	40	24.0	
	0.5	43	21.5	
	0.4	24	9.6	
	0.3	54	16.2	
	0.2	61	12.2	
	0.1	-	-	
WC50SP20PX	2.0	141	282.0	461.2
	1.0	55	55.0	
	0.9	36	32.4	
	0.8	35	28.0	
	0.7	24	16.8	
	0.6	28	16.8	
	0.5	19	9.5	
	0.4	16	6.4	
	0.3	21	6.3	
	0.2	27	5.4	
0.1	26	2.6		

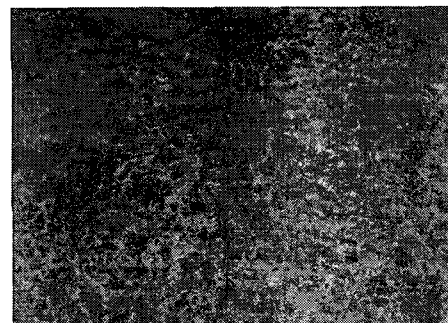


Fig. 10. Typical cracked slab.

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 장비(색차계)를 이용하여 관찰하였다. 색상은 실내에서 측정하였으며, 측색에 있어 태양의 영향은 고려하지 않고 얼룩 등은 무시하였다. 측정점 위치는 Fig. 11과 같이 시편 전체 면적을 고려하여 그리드 9점을 설정하여 측정하였다. Fig. 12와 같이 측색된 색상(Hue), 명도(Value), 채도(Chroma)는 먼셀표색계에 의한 색채 기호를 사용하여 측색 값을 평균하여 나타내었다.

명도와 채도 분포도의 저, 중, 고를 구분하면 명도는 저명도:1~3, 중명도:4~6, 고명도:7~9로 정의

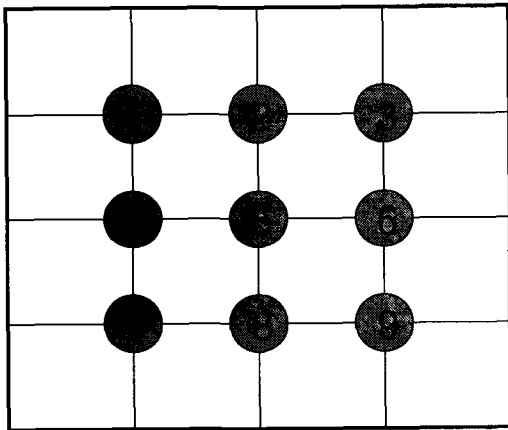


Fig. 11. Measurement points(9 points).



Fig. 12. Color analysis by color difference meter Minolta CR-200.

되고, 채도는 저채도:1~4, 중채도:5~7, 고채도:8~14로 정의된다<sup>9)</sup>. Table 13은 보통 콘크리트 시편을 측정된 결과를 나타낸 것으로 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 14에 의하면 색상은 3.3~3.5의 YR계를 이루며 5.2~5.4의 중명도, 4.5~5.1의 중채도를 나타내고 있다. 그리고 Table 15에 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 16의 결과에서, 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 13~16의 결과에서 보듯이, 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 17에 나타난 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 18에는 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 19에 나타난 피그먼트를 10% 첨가한 칼라 콘크리트의 측색결과를 보면, 색상은 7.3~8.9의 R계, 4.2~4.6의 중명도, 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 17~19를 고찰해보면 피그먼트



Table 13. 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 14. 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 15. 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 16. 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 17. 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 18. 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 19. 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

를 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 흡색상의 주조색(Y~YR계)과 조화를 이루지 못하는 큰 결점을 가지고 있다.

Table 20에는 피그먼트를 10% 첨가한 칼라 콘크리트 시편의 모서리 주위에서 발생된 백화발생 부위에서의 측색결과를 나타내었다. Table 20에서 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 변화가의 색상이 Y~YR계인 것을 고려하면, 문화재의 색상과 동일계 색상을 이루고 있어 문

Table 20. 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

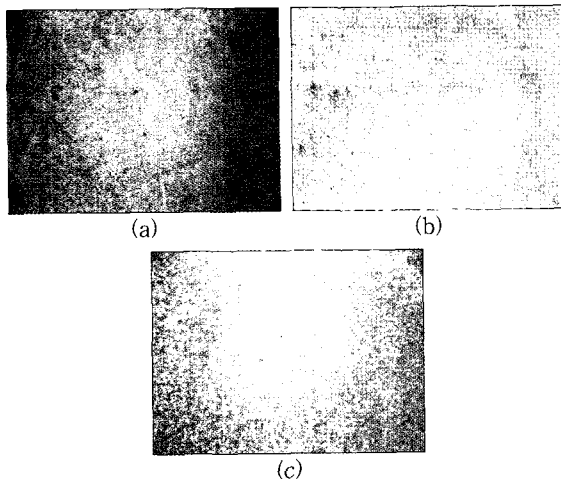


Fig. 13. Photos of specimens((a)plain concrete, (b)color concrete(red mud 15%), (c)color concrete (pigment 5%).

화재 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.

#### 4. 결 론

레드머드와 피그먼트의 미세구조분석과, 이를 이용한 칼라 콘크리트의 강도 특성 연구, 초기 건조수축 실험, 그리고 색상분석 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 레드머드와 피그먼트는 외형이 유사하여 육안에 의한 구분은 어렵지만, 물리적 특성과 화학적 성분은 큰 차이가 있다. 따라서, 레드머드와 피그먼트를 안료용도의 콘크리트 첨가제로 사용했을 때, 피그먼트를 사용한 칼라 콘크리트의 경우 압축강도와 슬럼프는 보통 콘크리트와 비교하여 상대적인 영향은 적었다. 그러나, 레드머드를 사용한 칼라 콘크리트의 경우는 레드머드의 사용량이 증가할수록, 슬럼프가 대폭 낮아지는 현상을 나타내었다. 이것은 레드머드의 입자표면이 다공성인 까닭에 물의 흡착량이 많아졌기 때문이다. 따라서, 현장에서의 원활한 시공성을 고려할 경우 물-시멘트비가 높아지게 된다.

2) 물-시멘트비가 높은 칼라 콘크리트의 경우, 초기 건조수축에 의한 균열 가능성이 높아지는 단점이 있다. 본 연구의 균열발생 실험에 의하면, 레드머드의 사용량이 증가할수록 균열발생 가능성이 높은 것으로 나타났다. 한편, 균열 제어 목적으로 PVA 섬유를 사용한 경우, 초기 건조수축 균열 제어에 적합한 것으로 연구되었다.

3) 레드머드와 피그먼트를 안료 용도로 사용한 칼라 콘크리트가 도로포장 용도로 사용되기 위한 최적의 배합비율은 레드머드의 경우는 단위 시멘트량의 15% 내외 그리고 피그먼트는 단위 시멘트량의 5% 내외의 범위가 적합한 것으로 분석되었다.

4) 레드머드를 사용한 칼라 콘크리트는 YR 계열의 색상과 증명도/중채도를 나타내어 따뜻한 이미지를 제공하는 까닭에 교외의 황토길이 주는 이미지와 유사하다. 따라서 종래의 콘크리트 도로포장이나 산화철 피그먼트를 사용한 칼라 콘크리트 도로포장

의 이미지와 비교하여 월등히 우수한 디자인 특성을 나타내었다.

5) 상기 실험 결과를 바탕으로, 레드머드를 사용한 칼라 콘크리트는 경상북도 안동시 일원에 2006년도 한 해에 대략 10,000 m<sup>2</sup> 면적의 도로포장을 시험 시공하였으며, 현장 적용 후의 품질관찰 결과 산업현장에 실용화될 수 있는 충분한 물리적 특성을 나타내었고, 디자인 중심의 도로포장 조성에 대량 이용 가능하다고 판단되었다. 향후, 레드머드를 사용한 칼라 콘크리트의 자외선에 의한 색상의 변화와 탈색과 같은 장기적인 색상분석이 필요하며, 동결융해 특성과 같은 내구성 문제 등이 추가 연구되어야 할 것으로 사료된다.

### 참 고 문 헌

- 1) 김정식, 이재록, 한상원, 황인국, 배재흠, 2000, 적니를 이용한 무기응집제의 제조, 대한환경공학회지, 22(11), 2085-2095.
- 2) 배재흠, 김정식, 1998, 유독성 산업 폐수 처리를 위한 적니의 이용연구, 대한환경공학회지, 20(4), 543-556.
- 3) Pera J., Boumaza R., Ambroise J., 1997, Development of a pozzolanic pigment from red mud, Cement and Concrete Research, 27(10), 1513-1522.
- 4) Maneesh S., Upadhyay S. N., Prasad P. M., 1997, Preparation of iron rich cements using red mud, Cement and Concrete Research, 27(7), 1037-1046.
- 5) 정동영, 최경락, 홍종현, 김문훈, 2007, 레드머드와 광촉매를 사용한 칼라 콘크리트의 생태 도로포장 조성에 관한 실험적 연구, 탐라대학교 지역개발연구소 논문집, 2(1), 212-232.
- 6) 원종필, 황금식, 박찬기, 2005, 섬유 혼입물 및 길이 변화에 따른 친수성 PVA 섬유보강 콘크리트의 역학적 성능 및 초기 수축 균열 특성, 대한토목학회 논문집, 25(1), 133-141.
- 7) Balaguru P., 1994, Contribution of fibers to crack reduction of cement composites during the initial and final setting period, ACI Materials Journal, 91(3), 280-288.
- 8) 김진근, 1994, 콘크리트 균열의 원인, 한국콘크리트학회 학회지, 6(4), 6-16.
- 9) 서정원, 1993, 충청지역의 건축물과 자연환경에 대한 색채조사 및 분석, 석사학위논문, 충남대학, 충남.