

## 염색슬러지 연소재를 이용한 보도블록의 제작과 물성평가

권기홍<sup>†</sup> · 임우성\*

영남이공대학 보건환경계열, \*(주)성일산업

### Manufacture and Characterization of Interlocking Block Using Incineration Ash of Dyeing Wastewater Treatment Sludge

Gi Hong Kwon<sup>†</sup> · Woo Sung Lim\*

Div. of Environment & Health, Yeungnam College of Science & Technology

\*Seongil Co., LTD

(Received April 15, 2004; Accepted June 24, 2004)

#### ABSTRACT

In this study, we carried out the research for the recycling potential of the dyeing wastewater treatment sludges as construction materials. The incineration ash of sludges were solidified as interlocking block in condition of sludge/cement ratio 2.5%, 5.0% and 10%, respectively. Those interlocking blocks were cured for 3days, 7days and 28days in ambient air condition, respectively. The results of this research were summarized as follows: The dyeing wastewater treatment sludges was below the Korea Leaching Limit. After incineration, the ash was manufactured as interlocking block. Bendable strength over 50 kg/cm<sup>2</sup> suitable for interlocking block was obtained only when the sample was cured for 7days at sludge/cement ratio 2.5% and 5.0%. Hygroscopic ratio of interlocking block was above the Korea Industry Standard. We think that recycling of the incineration ash from dyeing wastewater treatment sludges to interlocking block will have high potential possibility.

**Keywords:** dyeing wastewater treatment sludges, incineration ash, interlocking block, bendable strength

#### I. 서 론

1999년 12월 기준 전국에서 발생하는 슬러지는 년평균 약 330만톤으로서 공단폐수처리 슬러지가 10만톤, 농공단지 폐수처리 슬러지가 7천톤, 하수처리 슬러지가 147만톤, 배출업소에서 180만톤으로 집계되고 있다. 이들의 처리방법으로는 매립 26.4%, 소각 22.8%, 재활용 12.8%, 해양투기 38.1%로서 해양투기에 의존하는 비율이 가장 높으며, 매립, 소각, 재활용 순으로 처리되고 있다.<sup>1,2)</sup> 이중 소각의 경우에는 실제 하수처리장의 경우에는 0.8% 가량이며, 나머지는 배출업소에서 소각되는 양으로 추정되고 있다.

정부에서는 2003년부터 년차적으로 하·폐수처리과정에서 발생하는 슬러지류의 직접매립을 금지할 예정

에 있으나 그렇게 되면 해양투기가 증가하게 되겠지만 이 또한 장래에 금지될 계획에 있으므로 새로운 처리방안의 도출이 절실한 시점에 와 있다. 폐기물관리법<sup>3)</sup>에서는 슬러지의 처리 및 처분방법으로 소각, 고형화, 퇴비화, 복토제 또는 토지개량제 등의 방법을 제시하고 있다. 특히 염색폐수 처리과정에서 발생하는 슬러지는 그 양이 많고, 또한 그 처리방법으로는 현재까지 모두 해양투기를 하고 있어서 해양의 오염문제 뿐만 아니라 많은 염색업체로 하여금 슬러지 처리비용을 부담하고 있다. 대구 비산염색공단의 경우 월 슬러지 발생량은 12,000톤으로 그 처리비용은 월 약 3억원 이상<sup>4)</sup>이 소요되며 공단 입주업체를 제외한 일반업체까지 포함하면 슬러지의 양과 처리비용은 더욱 증가할 것으로 판단된다. 이러한 슬러지는 일부의 전처리만으로도 충분히 재활용이 가능하다. 최근 대구광역시와 비산염색공단에서는 소각방법에 의한 슬러지 처리를 추진하고 있으며, 이때 발생하는 소각재에 대한 처리 및 재활용이 새로운 문제로 대두되고 있다. 종래의 연구<sup>5-11)</sup>에서는 대부

<sup>†</sup>Corresponding author :Div. of Environment & Health, Yeungnam College of Science & Technology  
Tel: 82-53-650-9283, Fax: 82-53-625-5722  
E-mail : ghkwn@ync.ac.kr

분은 하수슬러지에 대한 내용이 많았으나 염색폐수처리슬러지에 대한 연구는 거의 없었다.

따라서 본 연구에서는 대구지역에서 대표적으로 많이 발생하고 있는 염색폐수처리 슬러지 연소재를 이용하여 보도블록을 제조하고, 그 물성을 평가함으로써 장래 슬러지 소각시 발생하는 연소재의 처리 대안을 제공함과 동시에 폐지원의 재활용 가능성을 평가·연구하였다.

## II. 실험 및 분석방법

### 1. 슬러지발생량 및 처리비용조사

대구염색산업단지관리공단 폐수처리장에서 2002년 한 해 동안 발생하는 슬러지량과 처리비용을 조사하여 톤당처리비용을 산출한다.

### 2. 슬러지 물성 및 용출특성

염색폐수처리 슬러지의 물성분석을 위해서는 우선적으로 슬러지중에 함유된 무기물질을 분석하기 위하여 무기원소분석을 실시하였다. 이때 사용한 분석기기는 Optima3000-DV(Perkin Elmer)이며, 시료는 염색폐수처리 슬러지를 800°C에서 1시간 소성한 재를 이용하였으며, 자세한 분석방법은 한국공업규격(KSE 3806, KSL 9004)<sup>12)</sup>에서 정하는 방법에 따랐다. 또한 염색폐수처리 슬러지에 대한 일반사업장 폐기물인지 지정폐기물인지를 평가하기 위하여 용출실험을 실시하여 중금속류 등의 함량을 평가하였다. 용출실험은 폐기물공정시험방법<sup>3)</sup>에 따랐다.

### 3. 보도블록제작

염색폐수처리 슬러지를 이용한 보도블록의 제작과정은 크게 염색슬러지의 소성과정, 골재, 시멘트 및 슬러지와 혼합과정, 성형과정, 양생과정등의 보도블록제작과정과 시편의 휨강도측정, 흡수율측정, SEM분석등의 제작된 보도블록의 평가단계로 나눌 수 있다. 이러한 일련의 과정은 KSF 4419<sup>13)</sup>에서 정하는 방법에 따랐다. 보도블록을 제작하기 위하여 슬러지중에 포함된 유기물을 먼저 소각하여야 한다. Fig. 1에서와 같이 염색공단 폐수처리장에서 발생하는 탈수슬러지를 채취하여 소성로를 이용하여 약 1시간 동안 소성시켰으며 소성조건은 일반적인 슬러지 소각조건인 850°C에서 실시하였다. 이때 사용된 열원은 액화석유가스(LPG)를 이용하여 850°C까지는 2시간에 걸쳐 승온하였고, 소성 후 냉각과정은 공기를 송입하여 2시간 30분에 걸쳐서 냉각하여 재를 얻었다.

3종류에 대한 보도블록 시제품을 얻기 위하여 첨가물

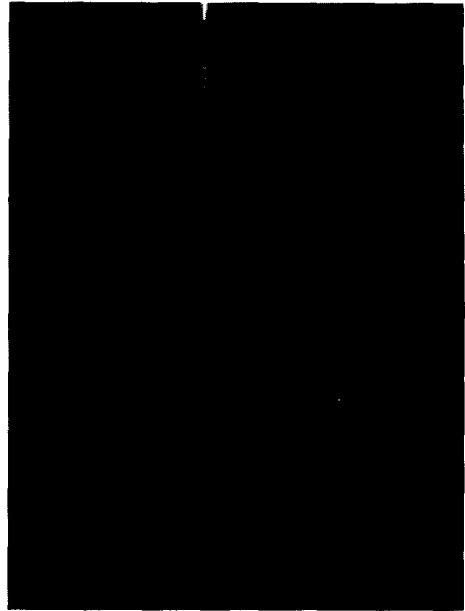


Fig. 1. Incineration of sludge.

과 슬러지의 혼합비율은 보도블록 1에 대해서는 혼합골재를 포함하여 슬러지/시멘트비 2.5%로 혼합하였으며, 보도블록 2는 슬러지/시멘트비 5.0%로 혼합하였고, 보도블록 3은 슬러지/시멘트비 10.0%로 혼합성형하였다. 성형이 완료된 보도블록의 양생과정은 건축 및 토목재료의 압축강도 발현에 있어서 중요한 과정이다. 본 연구에서 제작된 보도블록은 양생실 온도가 10°C로 외기와 비슷하며 기류의 흐름을 차단한 환경에서 양생하였으며 양생일수는 3일, 7일, 14일, 28일로 하였다.

#### 1) 휨강도

일반적으로 제작된 보도블록의 품질평가 항목중에서 가장 중요한 요소로는 휨강도와 흡수율을 주로 활용하고 있다. 이들 지표는 시편에 대한 건축 및 토목재료로서 재활용의 가능여부를 평가하는데 중요한 인자이다.<sup>14)</sup> 한국공업규격에서 정하고 있는 휨강도의 측정방법은 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\text{휨강도}(N/mm^2) = \frac{3pl}{2bd^2} \quad (1)$$

여기서,  $P$  : 시험기가 나타낸 최대 파괴하중(N)

$l$  : 지점간 거리(mm)

$b$  : 지점간의 직각방향의 평균너비(mm)

$d$  : 블록의 평균두께(mm)

#### 2) 흡수율

한국공업규격<sup>13)</sup>에서 정하는 흡수율의 경우는 보도블

록 개개로는 10% 이내여야하고 평균 7% 이내가 되어야 하며, 측정방법은 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\text{흡수율}(\%) = \frac{m_2 - m_1}{m_2} \times 100 \quad (2)$$

여기서,  $m_1$  : 시료의 건조무게(g)  
 $m_2$  : 시료의 포화무게(g)

흡수율의 측정은 보도블록을 건조기에서 온도 100~110°C에서 24시간 이상 건조시키고, 이때 2시간 사이에 측정된 무게 차가 미리 측정해 둔 시료의 0.2%를 초과하지 않을 때까지 건조시킨 후 실온에서 4시간 이상 냉각시켜 무게를 측정하였다. 그 후 시료를 15.5~30°C의 물속에서 24시간 이상 침수시킨 후 시료를 꺼내어 형겅으로 표면수를 닦은 다음 무게를 측정하였다.

3) 주사현미경(Scanning Electron Microscopy : SEM) 분석

제작된 보도블록의 표면을 관찰하기 위하여 3일 동안 양생한 시편에 대하여 주사현미경(Scanning Electron Microscopy : SEM)을 분석하였으며 사용기기는 일본 HITACHI 社 S-4200을 사용하였다.

### III. 본 론

#### 1. 염색폐수처리 슬러지 발생량

대구지역의 염색산업단지관리공단에서 2002년 1월~9월중에 발생하는 염색폐수처리 슬러지량과 처리비용을 조사한 결과 월평균 약 12,000톤이 발생하며,<sup>4)</sup> 그 처리비용은 약 3억원으로 조사되었다. 슬러지의 처리방법은 전량 해양투기를 하고 있으며, 최근에는 해양투기에 따른 부담금도 내고 있는 것으로 확인되었다. 따라서 슬러지의 재활용을 위해서는 현재 해양투기비용 중 일부를 지원 받아 실공장을 가동하는 것도 가능할 것으로 생각한다.

#### 2. 염색폐수처리 슬러지의 물성

1) 무기원소 조성분석

염색슬러지중에 함유된 무기물질을 분석하기 위하여 무기원소분석을 실시하여 Table 1에 나타내었다. 분석 결과에서 슬러지중에 대부분을 차지하고 있는 것은 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>로 전체의 22.9%를 차지하였고, 그 다음으로 CaO, Na<sub>2</sub>O, TiO<sub>2</sub>, SiO<sub>2</sub> 등의 순서를 나타내었다.

이들 무기물은 보도블록을 제작할 경우 강도발현의 중요한 요소로 작용할 수 있다.

**Table 1.** Inorganic materials in dyeing wastewater treatment sludge

Components	Contents(%)	Remarks
SiO <sub>2</sub>	0.65	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.30	
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	22.9	
CaO	2.00	
MgO	0.13	
Na <sub>2</sub> O	1.74	
K <sub>2</sub> O	0.10	
TiO <sub>2</sub>	0.72	
MnO	0.08	
P <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.63	

**Table 2.** Leaching of heavy metals for dyeing wastewater treatment sludge (Units : ppm)

Components	Concentration	Remarks
Cu	0.131	
Mn	0.122	
Fe	5.853	
Zn	0.135	
Cd	ND*	
Pb	ND	
Cr	ND	
As	ND	
Al	0.146	
Mg	0.695	

\* : Not detected.

2) 용출실험

염색폐수처리 슬러지에 대한 중금속류의 용출농도를 측정된 측정결과를 Table 2에 나타내었다. 다른 연구논문에 따르면 산업슬러지에는 다양한 중금속류가 포함되어 재활용이 곤란한 경우도 많이 있으나<sup>15)</sup> 본 연구에서 이용한 염색슬러지의 경우 모든 항목이 중금속 용출기준 이내로 나타나 슬러지의 재활용에는 문제가 없을 것으로 생각된다.

#### 3. 제작된 보도블록

실험방법에 따라 염색슬러지를 소성하여 제작된 보도블록을 Fig. 2에 나타내었다. 제작된 보도블록은 한구공업규격에서 정하는 보도블록의 기준을 충족하여야 한다. 한국공업규격(KSF 4419)<sup>19)</sup>에서 정하는 보도블록의 기준은 Table 3과 같다. 즉 치수는 가로, 세로의 편차가 각각 ±2 mm 이하이고, 두께는 ±3 mm여야하며,

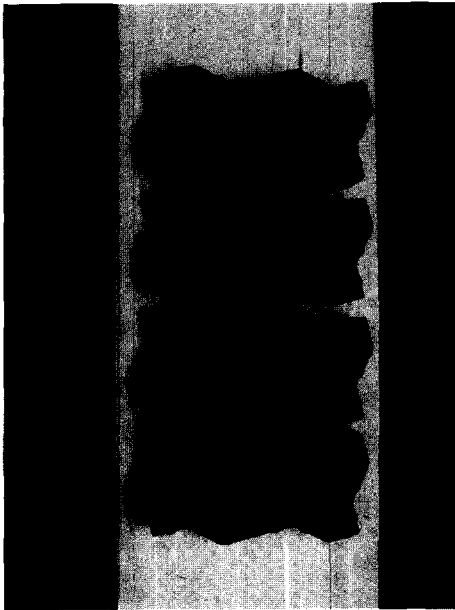


Fig. 2. Interlocking block using ash of dyeing wastewater treatment sludge.

Table 3. Criteria for interlocking block in Korea Industry Standards

Criteria	Dimensions (mm)	Bendable strength (kg/cm <sup>2</sup> )	Hygroscopic ratio (%)
	width, length = below ± 2, thickness = below ± 3	above 50	above 7

휨강도는 50 kg/cm<sup>2</sup> 이상, 흡수율은 평균 7% 이내가 되어야 한다.

1) 휨강도

슬러지/시멘트비에 따른 휨강도 측정결과는 Fig. 3에 나타낸 바와 같이 3일째 시편 중 2.5%에서 34 kgf/cm<sup>2</sup>, 5.0%에서 30 kgf/cm<sup>2</sup>, 10.0%에서 25 kgf/cm<sup>2</sup>로 한국공업규격 50 kgf/cm<sup>2</sup>에 미달하고 있으나 7일째 시편 중 2.5%에서 55 kgf/cm<sup>2</sup>, 5.0%에서 50 kgf/cm<sup>2</sup>, 10.0%에서 46 kgf/cm<sup>2</sup>로 2.5% 시편과 5.0% 시편은 한국공업규격 50 kgf/cm<sup>2</sup>을 충족하고 있는 것으로 나타났다.

양생기간이 경과함에 따라 조금씩 강도가 일부 증가하는 시편도 있으나 그 정도는 거의 미미한 수준이었다. 따라서 염색슬러지를 소성하여 보도블록을 제조할 경우 슬러지/시멘트비가 각각 2.5%와 5.0%를 혼합할

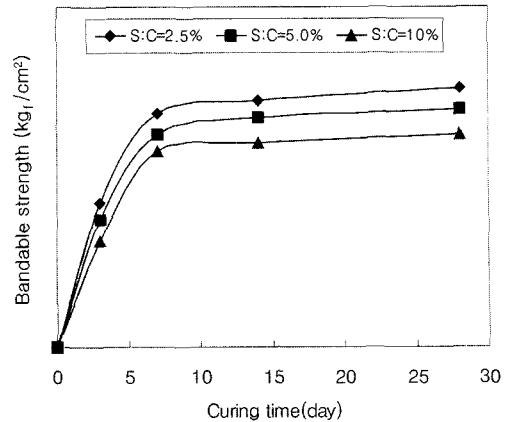


Fig. 3. Bendable strength of interlocking block.

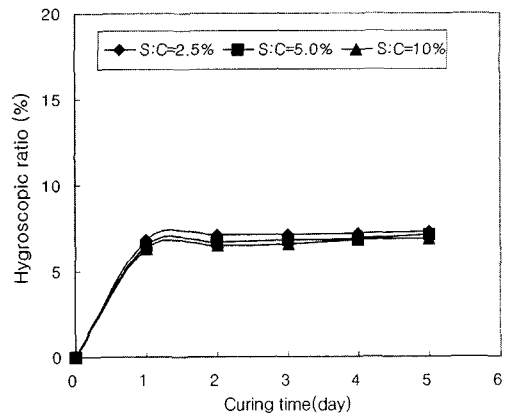


Fig. 4. Hygroscopic ratio of Interlocking block.

경우 양생기간 7일이 지나면 건축 및 토목재료로 재활용할 수 있는 휨강도를 얻을 수 있음을 알 수 있었다.

2) 흡수율

측정방법에 의하여 슬러지/시멘트비에 따른 흡수율의 측정결과는 Fig. 4에서 나타내었다.

실험결과 1일째 시편 중 2.5%에서 6.8%, 5.0%에서 6.5%, 10.0%에서 6.3%로 나타나 한국공업규격에서 정하는 평균 7%(개개 10%)를 충족하고 있는 것으로 나타났다. 그리고 양생기간이 경과함에 따라 흡수율의 변화는 있으나 그 변화정도는 완만하였다. 따라서 염색폐수처리 슬러지를 소성하여 보도블록을 제조할 경우 슬러지/시멘트비가 각각 2.5%, 5.0% 및 10.0%를 혼합할 경우 건축 및 토목재료로 재활용할 수 있는 흡수율을 얻을 수 있음을 알 수 있었다.

3) 미세구조(SEM)분석

3일 동안 양생한 시편에 대하여 주사현미경(Scanning

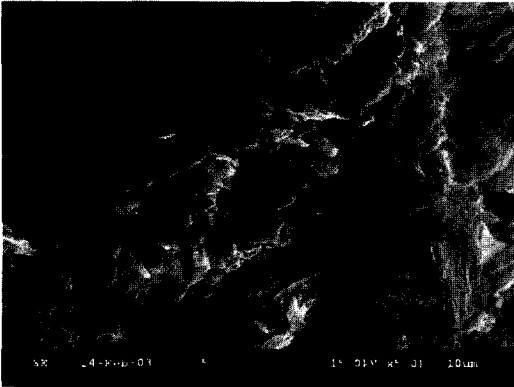


Fig. 5. Scanning electron micrograph of interlocking block (2.5%).

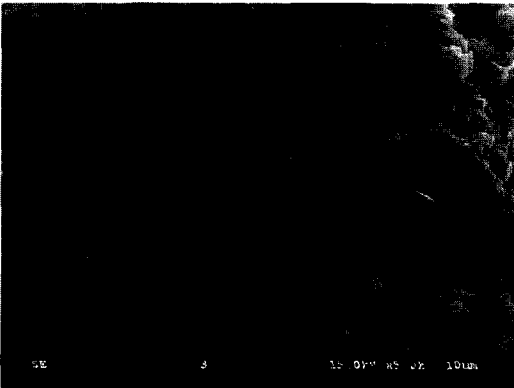


Fig. 6. Scanning electron micrograph of interlocking block (5.0%).

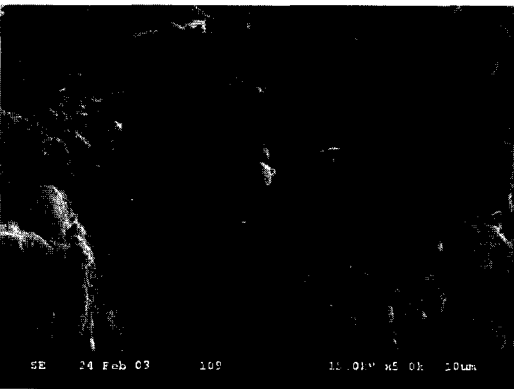


Fig. 7. Scanning electron micrograph of interlocking block (10%).

Electron Microscopy : SEM)분석결과를 Fig. 5~Fig. 7에 나타내었다. 사진에서 보는 바와 같이 슬러지/시멘

트비에 따른 SEM분석결과는 2.5%를 혼합한 시편에서는 침상구조가 잘 발달해 있어서 다른 혼합비, 즉 5%와 10%를 혼합한 시편에 비하여 더 높은 압축강도를 얻을 수 있음을 확인하였다.

#### IV. 결 론

염색슬러지를 보도블록으로 재활용하기 위한 연구결과를 보면 염색슬러지를 850°C에서 1시간 소성하여 보도블록을 제조할 경우 슬러지/시멘트비가 각각 2.5%와 5.0%를 혼합할 경우 양생기간 7일이 지나면 건축 및 토목재료로 재활용할 수 있는 휨강도를 얻었다. 또한 중요한 규격인 흡수율을 보면 슬러지/시멘트비가 각각 2.5%, 5.0% 및 10.0%를 혼합할 경우 건축 및 토목재료로 재활용할 수 있는 흡수율을 얻었다. 따라서 염색슬러지를 소성하여 보도블록으로 제조할 경우 충분히 재활용할 수 있음을 알 수 있다. 본 기술의 개발로 인하여 기존의 염색폐수처리업체의 슬러지 처리부담을 경감시킬 뿐만 아니라 기타 중금속등 유해물질이 적은 산업슬러지에도 적용할 수 있을 것으로 판단된다.

#### 감사의 글

본 연구과제는 중소기업청, 대구광역시, 영남이공대학의 연구비 지원에 의하여 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

#### 참고문헌

1. 권기홍, 서유덕, 남창모, 조병락 : 고품화방법에 따른 하수슬러지 고화체의 물성분석. 환경관리학회지, **8**(3), 217-222, 2002.
2. 황진우, 주홍수, 배재근 : 업종별 슬러지의 성분분석에 의한 적정처리 방안의 검토. 한국폐기물학회 춘계학술발표회 논문집, 105-108, 2000.
3. 환경부 : 폐기물관리법, 동법시행령, 동법시행규칙, 2000.
4. 대구염색산업단지관리공단 내부자료, 2002.
5. Yasuda, Y. : Sewage Sludge Utilization Technology in Tokyo. *Wat. Sci. Tech.*, **23**, 1743-1752, 1991.
6. Tay, J. H. : Sludge Ash as Lightweight Concrete Material. *ASCE Environ. Eng.*, **115**, 345-350, 1989.
7. Montgomery, D. M., Sollars, C. J. and Perry, R. : Optimization of Cement-Based Stabilization/Solidification of Organic Containing Industrial Wastes Using Organophilic Clays. *Waste Management & Research*, **9**, 21-34, 1991.
8. Goto, S. and Roy, D. : Diffusion of Ions through Hardened Cement Pastes. *Cement Concrete Res.*, **11**, 751-757, 1981.

9. Mehta, P. K. : Concrete : Its Structure, Properties and Materials. Englewood Cliffs, NJ., Prentice-Hall, 1986.
10. Glasser, F. P. : Chapter 1. Chemistry of Cement-solidified Waste Forms. In : Roger D. Spence ed. Chemistry and Micro-structure of Solidified Waste Forms. FL.: Boca Raton, Lewis Publishers, 1-40, 1993.
11. 권기홍 : 슬러지관리와 재활용 기술동향. 한국폐기물학회 춘계학술발표회 특별강연 논문집, 대경지회 산학협동학술심포지움, 57-84, 1999.
12. 한국공업규격 : KSE 3806, 장식분석방법, KSL 9004, 석회의 화학분석방법. 한국표준협회, 2001.
13. 한국공업규격 : KSF 4419, 보차도용 콘크리트 인터로킹 블록. 한국표준협회, 2001.
14. 권기홍, 조병락 : 도금슬러지의 고형화특성에 관한 연구. 환경관리학회지, 7(1), 13-22, 2001.
15. 권기홍, 임우성, 남영우 : 염색폐수 슬러지를 이용한 보도블록 제조에 관한 연구. 한국폐기물학회 춘계학술발표회 논문집, 373-376, 2003.