

# 화학적 침해를 받은 알칼리활성 황토콘크리트의 응력-변형률 관계

## Stress-Strain Relationship of Alkali-Activated Hwangtoh Concrete under Chemical Attack

문 주 현<sup>1\*</sup>      양 근 혁<sup>2</sup>

Mun, Ju-Hyun<sup>1\*</sup>      Yang, Keun-Hyeok<sup>2</sup>

*Department of Architectural Engineering, Kyonggi University Graduate School, Seodaemun-Gu, Seoul, 120-702, Korea <sup>1</sup>*  
*Department of Plant · Architectural Engineering, Kyonggi University, Yeongtong-Gu, Suwon, 443-760, Korea <sup>2</sup>*

### Abstract

This study examined the effect of chemical attack on the stress-strain relationship of alkali-activated Hwangtoh concrete. Water-to-binder ratio and air content were selected as mixture parameters. The stress-strain relationship of concrete was measured at chemical immersion times of 0, 7, 28, 56, and 91 days from an age of 28 days. Based on the test results, the reduction in compressive strength of alkali-activated hwangtoh concrete owing to chemical attack was formulated. In addition the present study demonstrated that the stress-strain behavior of concrete under chemical attack is significantly dependent on the air content and chemical immersion time, indicating the rate of decrease of modulus of elasticity was greater than that of compressive strength at the same immersion time. As a result, the stress-strain behavior of concrete under chemical attack was significantly inconsistent with the conventional models specified in the CEB-FIP provision.

Keywords : chemical attack, stress-strain relationship, alkali-activated hwangtoh concrete, reduced compressive strength

### 1. 서 론

최근 문화재 보수 및 전통한옥의 건설재료로의 활용을 위해 황토콘크리트의 관심이 증가하고 있다[1,2,3]. 일반적으로 알칼리활성 황토콘크리트의 압축강도는 물-결합재 비가 35~50%범위에서 24MPa 이하로 낮다[1,2,3,4]. 또한 알칼리활성 황토콘크리트의 초기 슬럼프 손실은 황토결합재의 높은 흡수율로 인해 매우 급격하다[2, 3]. 알칼리활성 황토 콘크리트는 배합조건에 따른 강도와 유동성 평가에 대한 지속적인 연구[1,2,3,4]가 이루어지고 있다. 반면 내구성 측면에서는 비탄성변형인 건조수축 평가[1,2,3]에

만 중점을 두고 있어 외부환경 조건에 따른 저항성능에 대한 연구가 매우 부족하다. 특히 외부환경에 노출되는 환경에서 탄산가스에 의한 대기오염, 해수에 의한 염해 및 토양 중의 황산 등의 화학적 침해에 따른 알칼리활성 황토콘크리트의 내구성 평가에 대한 유용한 자료는 부족하다. 외부 환경에 노출되는 문화재와 전통한옥의 장기거동을 고려하면 알칼리활성 황토콘크리트의 내화학적 평가에 대한 기초 자료들의 구축은 중요하다.

본 연구에서는 화학적 침식하에서 알칼리활성 황토콘크리트의 응력-변형률 관계를 평가하였다. 응력-변형률 관계는 재령 28일 이후 계획된 화학용액 침지일에 측정하였으며, 측정된 결과는 CEB-FIP Model Code 1990(이하, CEB-FIP)[5]에서 3.1.4의 Strength and deformation under short term loading의 기준과 비교하였다. 실험결과를 기반으로 화학적 침식에 의해 감소된 콘크리트 압축강도를 평가하였다. 또한 알칼리활성 황토콘크리트의 탄성계수와 최대응력시 변형률은 감소된 콘크리트의 압축강도,

Received : January 3, 2014

Revision received : February 17, 2014

Accepted : March 4, 2014

\* Corresponding author : Mun, Ju-Hyun

[Tel: 82-31-249-9703, E-mail: mjh352002@nate.com]

©2014 The Korea Institute of Building Construction, All rights reserved.

화학용액에 침지된 일수 및 공기량의 함수로 제시하였다.

## 2. 실험

### 2.1 실험계획

콘크리트 내구성에 중요한 영향을 미치는 요인인 콘크리트 공기량과 물-결합재비를 주요변수로 선택하였다. 물-결합재비는 30%와 45%이며, 각 물-결합재비에서 목표공기량은 2, 5 및 8%이다. 목표공기량은 콘크리트 표준시방서[6]의 제빙화학제에 노출되는 정도에 따라 제시된 공기연행콘크리트의 표준값의 범위 이내로 설정하였다. 침식변수에서 화학시료용액은 JIS[7, 8]기준에서 제시하고 있는 염산 및 황산이며, 침지일수는 0, 7, 28, 56 및 91일이다. 일반적으로 알칼리활성 황토콘크리트는 동일한 조건에서 OPC 콘크리트보다 역학적 특성들이 낮음[1-4]을 감안하여 결합재량을  $650 \text{ kg/m}^3$ 로 높게 설정하였다. 또한 잔골재율은 소요슬럼프를 확보할 수 있는 최소한의 단위수량과 황토콘크리트의 재령 28일 압축강도를 고려하여 45%로 선택하였다[4]. 모든 배합은 Table 1에 나타난 바와 같이 목표 콘크리트 공기량을 제어하기 위해서 비빔과정에서 공기연행제를 감수제의 중량대비 0~0.10%로 첨가하였다. 그 결과 콘크리트의 실제공기량은 Table 2에 나타난 바와 같이 1~8% 범위로 목표공기량에 비슷한 수준이었다. 목표슬럼프 150mm를 만족시키기 위해서 물-결합재비 30%에서는 폴리카르보산계 감수제를 1.4%로 첨가하였다. 모든 골재는 배합 시 표면건조 포화상태를 유지하였다. 배합명은 두 그룹으로 구성되는데, 첫 번째 와 두 번째 숫자는 각각 물-결합재비와 목표공기량을 의미한다.

Table 1. Mixture proportions of alkali-activated hwangtoh concrete mixes

Specimen	W/B (%)	S/a (%)	Unit weight (kg/m <sup>3</sup> )				RSP (%)	RAE (%)
			W	B	S	G		
30-2			195		622	788		0
30-5	30	45	195	650	622	788	1.4	0.07
30-8			195		622	788		0.10
45-2			293		512	648		0
45-5	45	45	293	650	512	648	-	0.04
45-8			293		512	648		0.08

W/B and S/a refer to water-to-binder ratio and fine aggregates-to-total aggregates ratio, respectively. W, B, S and G are water, binder, natural sand and coarse aggregate, respectively. RSP and RAE are the ratio of high-range water reducing agent and air entraining admixture to binder by weight.

### 2.2 재료의 특성

결합재로 사용된 황토는 850℃로 소성되었으며, 압축강도 발현을 위해서 약 7.5%의 수산화칼슘의 활성화제가 첨가되었다. 소성황토의 밀도와 분말도는 각각 2.8과 3,200  $\text{cm}^2/\text{g}$ 이다. 사용된 굵은골재는 화강암으로 밀도와 흡수율이 각각 2.51와 1%이다. 잔골재는 천연모래로 밀도와 흡수율이 각각 2.61과 2.3%이다.

### 2.3 양생 및 측정방법

응력-변형률 관계를 측정하기 위해서  $\phi 100 \times 200\text{mm}$ 의 실린더가 제작되었다. 실험체는 타설 1일 후 탈형하고, 온도  $21 \pm 5^\circ\text{C}$ 와 상대습도  $60 \pm 10\%$ 인 항온항습실에서 재령 28일까지 양생되었다. 화학적 침식은 JIS K 8180[7]과 JIS K 8951[8]기준에서 제시하고 있는 화학시료용액의 침지 실험방법을 이용하였다. 화학시료용액은 염산과 황산을 이용하여 각각 3%와 5%의 농도를 갖도록 담수에 용해시켜 제조하였다. 28일 양생된 콘크리트의 응력-변형률 관계는 제조된 화학시료용액에 침지된 후 0일, 7일, 28일, 56일 및 91일에서 KS F 2405[9]에 준하여 측정하였다. 가력은 만능시험기를 이용하여 0.05mm/min의 속도로 변위 제어하였다. 하중증가에 따른 수직변위는 실험체 중앙 100mm의 구간에 고정된 컴프레서미터기에 설치된 5mm 용량의 변위계에 의해 측정하였다. 응력-변형률 관계에서 탄성계수는 원점과 최대응력의 40%의 점을 연결하는 직선의 기울기로부터 산정하였다[10].

## 3. 실험결과 및 분석

### 3.1 압축강도

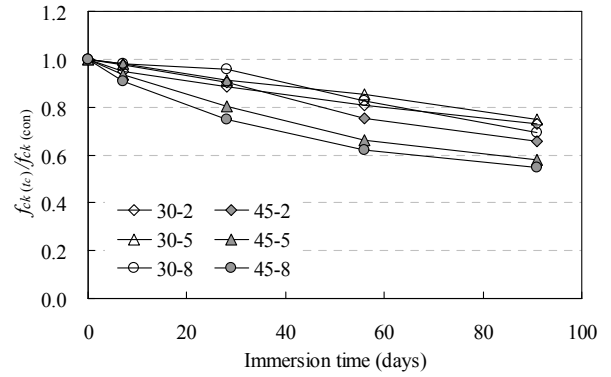
Table 2에 나타난 바와 같이 침지되지 않은 재령 28일 알칼리활성 황토콘크리트의 압축강도( $f_{ck(com)}$ )는 공기량이 증가함에 따라 감소하였는데, 그 감소비는 물-결합재비가 감소함에 따라 증가하였다. 물-결합재비 45%에서  $f_{ck(com)}$ 는 공기량이 1.6배 증가함에 따라 약 14% 감소하지만, 물-결합재비 30%에서는 약 36%로 더 급격히 감소하였다. Figure 1에는 화학용액에 침지된 일수에 따른 알칼리활성 황토콘크리트의 압축강도 저하비( $f_{ck(t_c)}/f_{ck(com)}$ )를 나타내었는데, 여기서  $f_{ck(t_c)}$ 는 재령 28일인 실험체를 침지일  $t_c$ 일에서 측정하였을 때의 압축강도이다. 알칼리활성 황토콘크

리트의  $f_{ck(t_c)}/f_{ck(con)}$  는 침지일수가 증가함에 따라 급격히 감소하였는데 그 감소 기울기는 공기량과 물-결합재비에 의해 영향을 받았다. 염산 침지에서 물-결합재비가 30%인 실험체는 공기량이 2.7%에서 8.1%로 증가할 때 침지일수에 따른  $f_{ck(t_c)}/f_{ck(con)}$  가 0.73에서 0.69로 감소하였지만, 물-결합재비가 40%일 때에 0.66에서 0.55로 더 급격히 감소하였다. 반면 황산에 침지된 실험체의  $f_{ck(t_c)}/f_{ck(con)}$  는 대부분 염산보다 낮았는데, 침지일 91일에서 약 15% 낮았다. 이와 같이 화학적 침식하에서 알칼리활성 황토콘크리트의 압축강도는 물-결합재비( $W/B$ ), 공기량( $V_a$ ), 화학시료용액 종류 및 침지일수( $t_c$ )에 의해 영향을 받는다. 이들 영향변수들을 회귀분석하였으며, 그 결과 화학적 침식하에서 알칼리활성 황토콘크리트의 감소된 압축강도는 다음과 같이 제시될 수 있었다 (Figure 2).

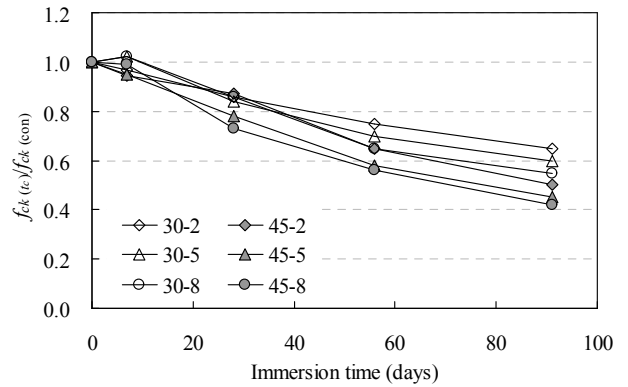
Table 2. Summary of test results

Specimen	$V_a$ (%)	$t_c$ (days)	Hydrochloric acid			Sulfuric acid		
			$f_{ck}$ (MPa)	$E_c$ (MPa)	$\epsilon_o$	$f_{ck}$ (MPa)	$E_c$ (MPa)	$\epsilon_o$
30-2	2.7	0	39.0	27289	0.0028	39.0	27290	0.0028
		7	37.1	27321	0.0026	37.7	26684	0.0026
		28	34.5	25210	0.0023	33.3	25027	0.0022
		56	31.6	24019	0.0021	29.2	22919	0.0020
		91	28.5	20090	0.0018	25.3	20853	0.0017
30-5	4.5	0	33.7	25809	0.0026	33.7	26809	0.0026
		7	32.9	25163	0.0023	34.3	26224	0.0024
		28	30.7	23061	0.0022	28.2	23883	0.0021
		56	28.7	21290	0.0021	23.5	21128	0.0019
		91	25.2	18817	0.0018	20.2	19060	0.0018
30-7	8.1	0	21.4	20334	0.0025	21.4	20334	0.0024
		7	21.0	19617	0.0023	21.8	19557	0.0024
		28	20.5	18954	0.0020	18.4	17817	0.0020
		56	17.7	17470	0.0019	13.9	15339	0.0016
		91	14.8	15799	0.0018	11.7	12872	0.0015
45-2	0.8	0	24.1	21477	0.0026	24.1	21477	0.0026
		7	23.6	20998	0.0022	22.8	18552	0.0022
		28	21.7	17707	0.0019	21.0	18199	0.0019
		56	18.1	16935	0.0018	15.7	14255	0.0018
		91	15.8	14994	0.0017	12.0	12790	0.0015
45-5	4.2	0	19.3	17324	0.0023	19.3	17324	0.0023
		7	18.1	15780	0.0022	18.4	16287	0.0021
		28	15.5	16531	0.0020	15.1	15544	0.0018
		56	12.8	15118	0.0017	11.2	12409	0.0015
		91	11.2	13848	0.0017	8.7	10794	0.0011
45-7	7.0	0	16.5	16815	0.0023	16.5	16815	0.0022
		7	15.0	15045	0.0020	16.4	15255	0.0021
		28	12.4	14720	0.0019	12.0	12372	0.0019
		56	10.2	12772	0.0017	9.2	9655	0.0016
		91	9.04	11761	0.0015	6.9	8485	0.0011

$V_a$ ,  $t_c$ ,  $E_c$ , and  $\epsilon_o$  are air content, immersion time, elastic modulus and strain at peak stress, respectively.



(a) Hydrochloric acid



(b) Sulfuric acid

Figure 1. Compressive strength ratio of specimen under chemical attack relative to control specimen strength

$$f_{ck(t_c)}/f_{ck(con)} = \alpha_f \text{EXP} [\beta_f (W/B)^{1.5} V_a^{0.1} (1+t_c/t_o)^{1.5}] \quad \text{---} \quad (1.a)$$

$$\alpha_f = 1.03, \quad \beta_f = -0.33 \quad \text{for hydrochloric acid} \quad \text{---} \quad (1.b)$$

$$\alpha_f = 1.05, \quad \beta_f = -0.50 \quad \text{for sulfuric acid} \quad \text{---} \quad (1.c)$$

여기서,  $t_o$ 는 침지일수에 대한 기준값으로 28일을 나타낸다.

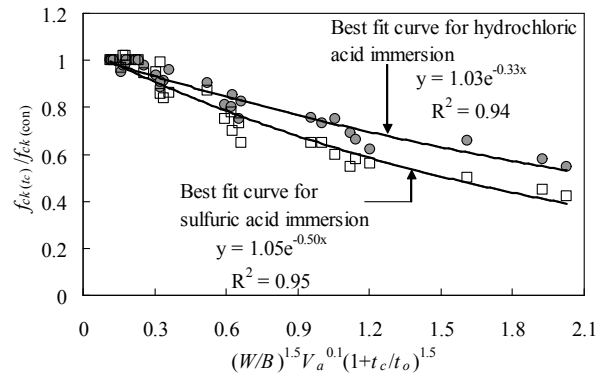


Figure 2. Regression analysis for reduced compressive strength owing to chemical attack

### 3.2 응력-변형률 관계

Figure 3에는 화학침지전의 알칼리활성 황토콘크리트의 응력-변형률 관계를 나타내었다. 알칼리활성 황토콘크리트의 응력-변형률 거동은 OPC 콘크리트의 경향과 비슷하였다. 최대응력의 40% 이전의 초기강성은 선형적으로 거동하지만, 그 이후의 응력과 변형률에서 실험종료시점까지 비선형적인 거동을 나타내었다. 초기강성과 최대응력 시 변형률은 공기량이 증가함에 따라 감소하였지만, 최대응력 이후의 거동에 대한 공기량의 영향은 미미하였다. Figure 4에는 염산에 침지된 알칼리활성 황토콘크리트의 전형적인 응력-변형률 관계를 나타내었다. 또한, 보통포틀랜드시멘트 콘크리트를 기반한 설계모델을 침식환경하의 구조물에 적용할 때에 고려되어야 할 사항들을 평가하기 위해서 동일한 그림에 CEB-FIP Model Code 1990(이하, CEB-FIP)[5] 기준의 예측값을 함께 나타내었다. 최대응력 이전의 거동은 화학적 침지전의 알칼리활성 황토콘크리트의 경향과 유사하였다. 초기강성과 최대응력에서의 변형률은 화학용액에 침지된 일수가 증가함에 따라 다소 감소하였는데, 그 감소의 정도는 공기량과 물-결합재비가 증가함에 따라 증가하였다. 최대응력 이후의 거동은 침지일수가 증가함에 따라 완만하였다. 하지만 공기량이 7% 이상인 실험체는 침지일수가 56일이 경과할 경우에 최대응력 이후의 거동이 불안정하여 변수에 따른 경향을 평가하기 어려웠다. 이는 Figure 5에 나타난 비와 같이 높은 공기량을 갖는 알칼리활성 황토콘크리트에서 화학적 침식으로 외부표면에 축방향으로의 다수의 균열 및 팝아웃(Pop-out) 현상이 발생하여 골재와 페이스트간의 부착력을 저하시켰기 때문이다. 황산에 침지된 알칼리활성 황토콘크리트의 응력-변형률 관계는 염산에 침지된 실험체의 거동과 유사하였다.

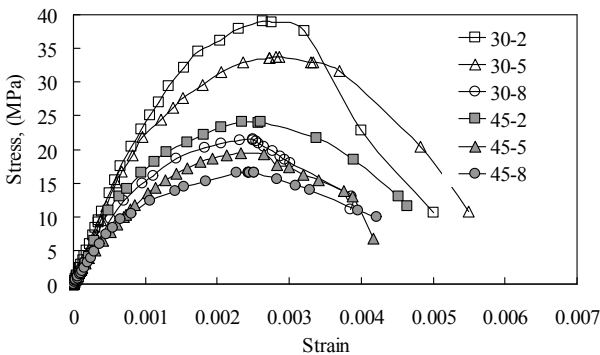
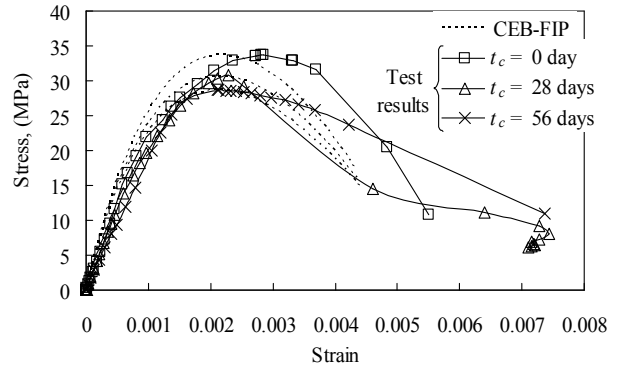
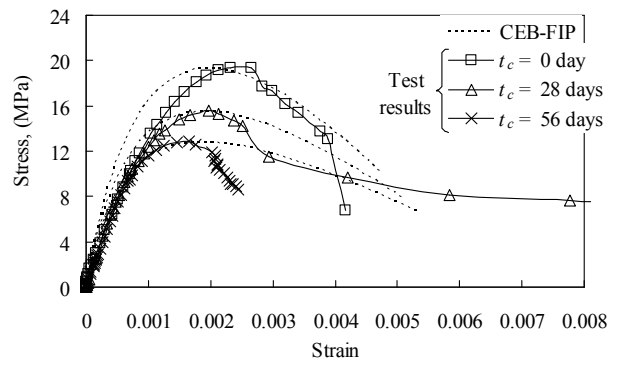


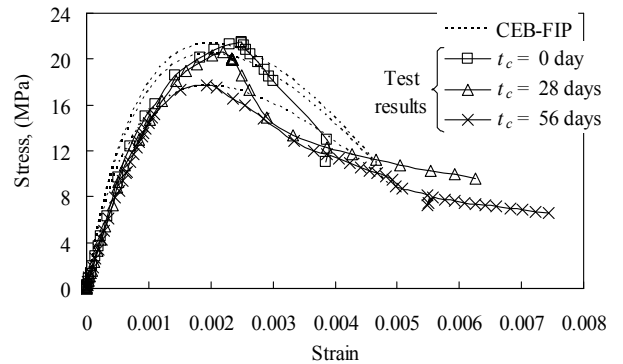
Figure 3. Typical stress-strain curves of alkali-activated hwangtoh concrete before chemical attack



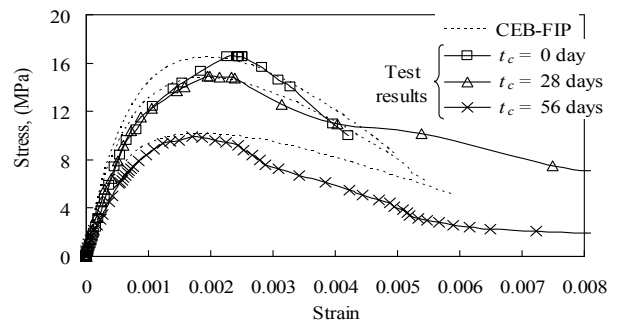
(a) 30-5 ( $W/B=30\%$ ,  $V_a=4.5\%$ )



(b) 45-5 ( $W/B=45\%$ ,  $V_a=4.2\%$ )



(c) 30-8 ( $W/B=30\%$ ,  $V_a=8.1\%$ )



(d) 45-8 ( $W/B=45\%$ ,  $V_a=7.0\%$ )

Figure 4. Typical stress-strain curves of alkali-activated hwangtoh concrete under hydrochloric acid attack

CEB-FIP[5] 기준은 화학용액에 침지된 일수와 공기량이 관계없이 실험결과보다 초기강성을 크게, 최대응력시 변형률을 작게 예측하였다. 특히 최대응력 이후의 거동에 대한 CEB-FIP[5] 기준은 침지일수 0일인 실험체의 실험 결과를 대체적으로 잘 예측하였지만, 침지일수 및 공기량이 증가할 수록 실험결과보다 더 급격하게 평가하였다. 이러한 경향은 염산 및 황산에서 모두 비슷하였다. 이는 화학적 침식을 받는 콘크리트의 응력-변형률 관계는 감소된 압축강도뿐만 아니라 침지일수에 따라 감소되는 기율기도 함께 고려되어야 할 필요가 있음을 의미한다.



Figure 5. Surface erosion of alkali-activated hwangtoho concrete owing to chemical attack ( $t_c=91$  days)

### 3.3. 탄성계수

CEB-FIP[5] 기준은 콘크리트의 탄성계수의 증가를 압축강도의 1/3승( $\sqrt[3]{f_{ck}}$ )의 증가비율로 평가하고 있다. 이에 따라 화학적 침식하에서 알칼리활성 황토콘크리트의 탄성계수는 감소된 알칼리활성 황토콘크리트 압축강도의 1/3승( $\sqrt[3]{f_{ck}(t_c)}$ )으로 무차원하여 그 감소비율을 평가하였다 (Figure 6). 화학적 침식하에서 알칼리활성 황토콘크리트의  $E_{c(t_c)} / \sqrt[3]{f_{ck}(t_c)}$  는 4,444~8,045 수준에 있었는데, 공기량과 침지일수가 증가함에 따라 다소 감소하였다. 또한 그 감소기율은 염산보다 황산에서 급격하였다. 물-결합재비 45%에서 염산침지 91일인 실험체의  $E_{c(t_c)} / \sqrt[3]{f_{ck}(t_c)}$  는 침지 0일에 비해 약 12% 감소한 반면, 황산침지 91일인 실험체에서는 약 21%로 그 감소의 정도가 컸다. 반면, 감소기율기에 대한 물-결합재비의 영향은 화학시료용액의 종류에 관계없이 미미하였다. 이는 화학적 침식하에서 콘크리트의 탄성계수 저하는 1/3승의 압축강도 보다 저하되는 비율이 더 크게 있으며, 공기량, 화학시료용액 종류 및 침지일수에 의해 영향을 받음을 의미한다.

CEB-FIP[5] 기준은 모든 알칼리활성 황토콘크리트의 실험결과를 불안전측으로 예측하였다. 그 불안전측의 정도

는 침지일수와 공기량이 증가함에 따라서 증가하였는데, 염산보다는 황산에서 더 현저하였다. 이러한 영향변수들을 회귀분석하면, 화학침식하의 알칼리활성 황토콘크리트의 감소된  $E_{c(t_c)}$  는 다음과 같이 제시될 수 있었다(Figure 7).

$$E_{c(t_c)} = \alpha_E [(1/f_{ck}(t_c))^{1.5} V_a^{0.15} (1+t_c/t_o)^{0.15}]^{\beta_E} \quad (2.a)$$

$$\alpha_E = 3823, \quad \beta_E = -0.32 \quad \text{for hydrochloric acid} \quad (2.b)$$

$$\alpha_E = 1982, \quad \beta_E = -0.44 \quad \text{for sulfuric acid} \quad (2.c)$$

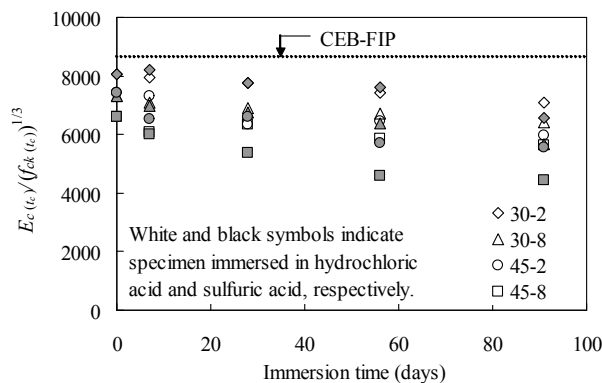


Figure 6. Elastic modulus of normalized by  $\sqrt[3]{f_{ck}(t_c)}$

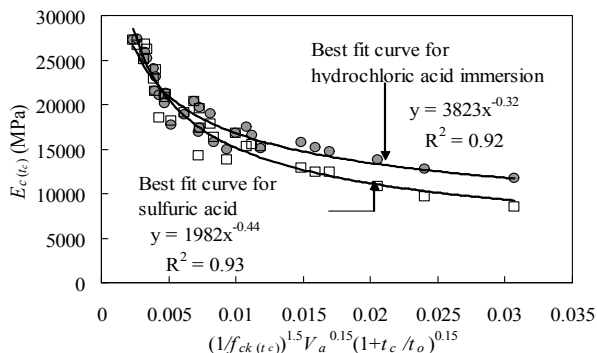


Figure 7. Regression analysis for elastic modulus of alkali-activated hwangtoho concrete under chemical attack

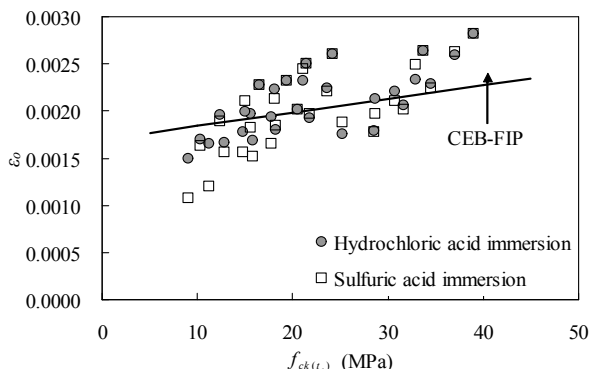


Figure 8. Strain at maximum stress according to compressive strength  $f_{ck}$

### 3.4. 최대응력시 변형률

알칼리활성 황토콘크리트의 응력-변형률 관계에서 최대 응력 시 변형률( $\epsilon_o$ )은 공기량에 의해 미치는 영향은 미미하였지만 침지일수가 증가함에 따라 현저하게 감소하였다 (Table 2). 침지일수 28일까지  $\epsilon_o$ 은 0.00197~0.00281 범위이지만, 침지일수 56일 이상에서 0.00211~0.00128 이다. 또한 황산에 침지된 실험체의  $\epsilon_o$ 은 염산보다 다소 작았다. Figure 8에는 화학적 침식하에서 알칼리활성 황토콘크리트의 압축강도에 따른 최대응력시 변형률을 나타내었다. 동일한 그림에 CEB-FIP[5]을 함께 나타내었다. CEB-FIP[5] 기준은 화학적 침식하에서 측정된 알칼리활성 황토콘크리트의 압축강도에서  $\epsilon_o$ 를 0.00188~0.0023 범위로 예측하였다. 이에 따라 CEB-FIP[5] 기준은 침지일이 56일 이상이거나 압축강도가 15MPa 이하인 실험체의 실험결과를 불안전측으로 예측하였다. 그 불안전측의 정도는 침지일수가 증가함에 따라 증가하였는데, 침지일수 91일 이상인 실험체에서 CEB-FIP[5]기준의 예측값이 실험값보다 약 1.6배로 가장 컸다. 이는 화학적 침식하에서 알칼리활성 황토콘크리트의 최대응력시 변형률도 압축강도가 저하되는 비율보다 더 크게 있으며, 화학시용액 종류 및 침지일수에 의해 영향을 받음을 의미한다. Figure 9에는 이러한 영향변수들의 분석을 기반으로 회귀분석한 결과를 나타내었는데, 화학침식하의 알칼리활성 황토콘크리트의  $\epsilon_o$ 는 다음과 같이 제시될 수 있었다.

$$\epsilon_o = \alpha_\epsilon [(E_c(t_c)/f_{ck}(t_c))(1+t_c/t_o)^{0.6}]^{\beta_\epsilon} \text{ ----- (3.a)}$$

$$\alpha_\epsilon = 0.030, \beta_\epsilon = -0.37 \text{ for hydrochloric acid - (3.b)}$$

$$\alpha_\epsilon = 0.087, \beta_\epsilon = -0.52 \text{ for sulfuric acid --- (3.c)}$$

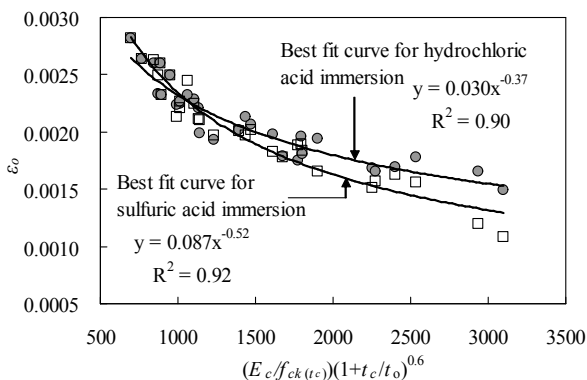


Figure 9. Regression analysis for strain at maximum stress of alkali-activated hwangtoh concrete under chemical attack

### 4. 결 론

본 연구에서는 알칼리활성 황토콘크리트의 응력-변형률 관계에서 화학적 침식에 의해 저감된 압축강도와 탄성계수, 최대응력시 변형률 및 최대응력 이후의 거동을 평가한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 화학적 침식하에서 감소된 알칼리활성 황토콘크리트의 압축강도는 침지일 91일에 침지되지 않은 실험체에 비해 약 40% 감소하였는데, 그 감소 기울기는 화학시용액, 공기량 및 물-결합재비에 의해 영향을 받았다.
- 2) 알칼리활성 황토콘크리트의 침지일수에 따른 초기강성 및 최대응력시 변형률의 감소기울기는 염산보다 황산에서 더 급격하였다. 또한 침지일수 91일에서는 외부표면의 팽아웃 현상과 축방향 균열로 인해 불안정한 응력-변형률 거동을 보였다.
- 3) 화학적 침식하에서 알칼리활성 황토콘크리트의 탄성계수 및 최대응력시 변형률의 저하는 압축강도 저하 비율에 비해 더 컸다.
- 4) 화학적 침식하의 알칼리활성 황토콘크리트의 응력-변형률 관계는 CEB-FIP Model Code 1990 기준의 일반적인 예측모델과 상당한 차이를 보였다. 특히 최대응력 이후의 거동에 대한 실험결과와 기준 모델의 불일치성은 공기량과 침지일수가 증가함에 따라 더욱 현저하였다. 따라서 CEB-FIP Model Code 1990은 화학적 침식환경하에서 이들 사항들을 고려하여 보완될 필요가 있다.

### 요 약

본 연구에서는 알칼리활성 황토콘크리트의 응력-변형률 관계에 대한 화학적 침식의 영향을 평가하였다. 배합의 주요변수는 물-결합재비와 공기량이다. 알칼리활성 황토콘크리트의 응력-변형률 관계는 재령 28일 이후 침지일이 0, 7, 28, 56 및 91일일 때 측정하였다. 실험결과를 기반으로, 화학적 침식하에서 감소된 알칼리활성 황토콘크리트의 압축강도 모델이 제시되었다. 또한, 화학적 침식하에서 알칼리활성 황토콘크리트의 응력-변형률 관계는 공기량과 화학용액에 침지된 일수에 현저한 영향을 받았는데, 침지

일수에서 탄성계수의 저하는 동일한 압축강도 저하비율에 비해 더 컸다. 결과적으로 CEB-FIP 기준의 예측모델은 화학적 침식하에서 측정된 응력-변형률 관계와 잘 일치하지 않았다.

**키워드** : 화학적 침식, 응력-변형률 관계, 알칼리활성 황토콘크리트, 감소된 압축강도

### References

1. Hwang HZ, A Study on the Method Activating Kaolin and Mortar & Concrete Mixed with Active Kaolin [Ph. D. Thesis]. [Seoul (Korea)], Seoul National University; 1997. 94 p.
2. Hwang HZ, Lee JK, Yang JH, An Experimental Study for Basic Properties of Hwangto Binder, Journal of Architectural Institute of Korea, 2008 January;24(1):79-86.
3. Yang KH, Hwang HZ, Song JG, Development of a Cementless Mortar using Hwangtoh Binder, Building and Environment, 2007 October;42(10):3717-25.
4. Yang KH, Hwang HZ, Lee S, Effects of Water-Binder Ratio and Fine Aggregate-Total Aggregate Ratio on the Properties of Hwangtoh-Based Alkali-Activated Concrete, Journal of Materials in Civil Engineering, ASCE, 2010 February;22(9):887-96.
5. CEB-FIP Model Code 1990, Structural Concrete: Textbook on Behaviour, Design and Performance, Switzerland: International Federation for Structural Concrete(Fib); 1999. 224p.
6. Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, Concrete Standard Specification, Korea Concrete Institute; 2009. 360p.
7. Japanese Standards Association, JIS K 8180: Hydrochloric acid, JSA; 2006. 12p.
8. Japanese Standards Association, JIS K 8951: Sulfuric acid, JSA; 2006. 12p.
9. Korea Industrial Standard, KS F 2405 Standard Test Method for Compressive Strength of Concrete, Korean Standards Information Center; 2010. 16p.
10. ASTM, C 469 Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression, ASTM International: West Conshohocken, Pennsylvania; 2010. 5p.