

# 솔잎재 콘크리트의 응력 - 변형과 내산성에 관한 실험적 연구

## Experimental Study on the Stress - Strain and Acid-Resistance of Pine Needle Ash Concrete

성 찬 용\* · 남 기 성\*\*  
Sung, Chan Yong · Nam, Ki Sung  
김 영 익\*\* · 민 정 기\*  
Kim, Young Ik · Min, Jeong Ki

### Abstract

This study examines the stress-strain and acid-resistance of pine needle ash(PNA) concrete. Materials used for this experiment are PNA, normal portland cement, natural fine and coarse aggregate.

Test results show that the highest static modulus of elasticity are achieved by 5% PNA filled PNA concrete. Acid-resistance of PNA concrete is increased with increase of the content of PNA. It is 1.29 times of the normal cement concrete for 5% PNA filled PNA concrete and 2.57 times for 15% PNA filled PNA concrete, based on the elapsed days for 25% mass loss of original mass immersed in the 5% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> solution.

Accordingly, PNA concrete will greatly improve the properties of concrete.

### I. 서 론

콘크리트 재료로서 시멘트는 폭넓게 사용되어 왔으며, 철근과 구조강 등을 보호하는 역할을 하고 있다. 그러나, 시멘트 콘크리트의 균열 발생에 의한 철근 및 구조강의 부식과 하중의 증가로 인한 구조물의 파괴 등 안정성 문제가 야기되고 있다. 또한 환경오염으로 인하여 알칼리성인 콘크리트가 대기와 수중에 존재하는 산성물질로 인하여 콘크리트의 중성화를 촉진시켜 콘크리트 구조물을

부식시키는 원인을 제공하기도 한다. 최근 갯벌에 준설하여 매립중인 인천 국제 공항내 대부분이 염해 환경에 노출됨에 따라 이에 대한 대책의 필요성이 야기되고 있으며, 지하수 및 토양의 황산 이온량이 지하수에 유입됨에 따라 그 피해가 매우 심각한 수준인 것으로 보고되고 있다.<sup>1,2)</sup>

이런 문제를 해결하기 위해 폴리우레탄, 실리콘, 에폭시 등의 재료를 사용 하고 있으나,<sup>3)</sup> 이들 재료는 고가이기 때문에 실리카 흙, 왕겨재, 벚짚재 등과 같은 시멘트 일부를 치환할 수 있는 혼화재

\* 충남대학교 농과대학

\*\* 충남대학교 대학원

키워드 : 솔잎재 콘크리트, 응력-변형, 정탄성계수, 푸아송비, 내산성

Table 1. Physical properties of normal portland cement

Item	S.G	Specific surface (Blain) (cm <sup>2</sup> /gf)	Setting time (h-min)		Compressive strength (kgf/cm <sup>2</sup> )		
			Initial	Final	3 days	7 days	28 days
Portland cement	3.15	3,240	3-7	7-20	194	216	323

등에 대한 연구가 진행 중에 있다.<sup>3,4,5)</sup>

따라서, 본 연구에서는 혼화재로서 솔잎재를 혼합한 콘크리트의 응력-변형 및 내산성을 실험적으로 구명하여 성능이 우수한 콘크리트를 활용하기 위한 기초자료를 마련하는데 그 목적이 있다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 사용재료

#### 가. 시멘트

KS F 5201에 규정된 국내 S회사 제품의 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였으며, 물리적 성질 및 화학 성분은 Table 1 및 2와 같다.

Table 2. Chemical composition of normal portland cement

(Unit : %)

SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
21.09	4.84	63.85	3.32	3.09	1.13	0.29	2.39

#### 나. 골재

본 실험에 사용한 잔골재와 굵은골재는 금강유역에서 채취한 천연 골재이며, 물리적 성질은 Table 3과 같다.

Table 3. Physical properties of aggregate

Item	Size (mm)	Specific gravity (20°C)	Absorption ratio (%)	Finesness modulus	Unit weight (kgf/m <sup>3</sup> )
Fine aggregate	<4.75	2.62	2.35	2.35	1,471
Coarse aggregate	4.75 ~ 10	2.64	2.62	7.28	1,449

#### 다. 솔잎재

솔잎재는 완전 연소되어 탄소(Carbon)성분이 모두 손실되지 않도록 불완전 연소시켰으며, 체분석을 하여 입경 0.15mm이하, 단위중량 241kgf/m<sup>3</sup>인 것을 사용하였고, 화학 성분은 Table 4와 같다.

Table 4. Chemical composition of pine needle ash

(Unit : %)

SiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O
92.87	4.37	1.37	1.32	0.07

#### 라. 공업용 시약

콘크리트의 내산성 시험용 시약은 순도 99%인 황산(H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)을 5% 용액으로 조제하여 사용하였다.

### 2. 공시체 제작

#### 가. 콘크리트 배합

솔잎재 콘크리트의 배합은 강도를 고려하고 솔

Table 5. Mix proportions of pine needle ash concrete

(Unit : kgf/m<sup>3</sup>)

Type	Cement	PNA	Fine aggregate	Coarse aggregate	Total	Slump
P1	408.0	0	741.4	1,114.1	2,263.5	8±1cm
P2	397.6	10.2	739.5	1,111.3	2,258.6	
P3	387.1	20.4	735.8	1,105.8	2,249.1	
P4	376.7	30.6	732.1	1,100.3	2,239.7	
P5	366.4	40.7	730.7	1,098.4	2,236.2	
P6	356.1	50.9	729.6	1,096.7	2,233.3	
P7	345.8	61.1	727.9	1,094.2	2,229.0	

입재의 혼입량을 변수로 하여 시멘트, 솔잎재, 잔골재 및 굵은 골재의 배합비를 결정하였던 바, 솔잎재를 결합재(시멘트+솔잎재) 증량의 0%, 2.5%, 5%, 7.5%, 10%, 12.5%, 15% 혼입한 P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7 등 7가지 배합비로 하였으며, 이의 배합설계 결과는 Table 5와 같다.

나. 공시체 제작 및 양생

솔잎재 콘크리트의 제작은 KS F 2405(콘크리트의 압축강도 시험방법)에 준하여 굵은골재와 잔골재를 잘 혼합한 다음 시멘트와 솔잎재를 투입하는 순서로 하였으며, 정탄성계수 측정용 공시체는  $\phi 150 \times 300\text{mm}$ , 내산성 시험용 공시체는  $\phi 50 \times 100\text{mm}$ 의 치수로 제작하였다. 몰드에 타설된 공시체는 양생상자(21℃, 습도  $96 \pm 2\%$ )에서 24시간 정치 후 탈형하여 소정의 재령까지 수중양생( $20 \pm 1^\circ\text{C}$ )하였다.

3. 시험방법

시험은 다음과 같이 KS에 규정된 방법에 준하여 재령 28일에 실시하였으며, 3회 반복 시험한 것의 평균값을 실험 결과치로 하였다.

가. 정탄성계수와 푸아송비

$\phi 150 \times 300\text{mm}$ 인 공시체에 스트레인 게이지(67mm)를 부착하여 KS F 2438(콘크리트 원주 공시체의 정탄성계수 및 푸아송비 시험방법)의 규정에 따라 극한 하중의 40%를 가해 얻은 응력과 종·횡변형률 및 종변형률이 0.00005일 때의 응력과 횡변형률을 측정하여 탄성계수와 푸아송비를 구하였다.

나. 내산성시험

재령 28일의  $\phi 50 \times 100\text{mm}$ 인 공시체를 표면건조포화상태로 순도 99%인 황산( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) 5% 용액에 침적한 후 표면을 철솔로 부식된 부분만을 닦아내어 표면 건조 포화상태의 증량 차이로 내산성을 비교하였다. 또한, 용액의 균질성을 위하여 1주일마다 용액을 교체하여 사용하였으며 24시간 간격으로 측정하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 응력-변형

솔잎재 콘크리트의 정탄성계수, 푸아송비, 푸아송수, 종변형률 및 횡변형률 시험결과는 Table 6과 같고, 응력-변형률 곡선은 Fig. 1과 같다.

Table 6. Test results of stress-strain of pine needle ash concrete

Type	Static modulus of elasticity ( $\times 10^3 \text{kgf/cm}^2$ )	Poisson's		Strain( $\times 10^{-4}$ )	
		Ratio	Number	Longitudinal	Horizontal
P1	295	0.187	5.34	0.411	0.077
P2	301	0.242	4.14	0.385	0.093
P3	324	0.231	4.34	0.386	0.089
P4	281	0.255	3.92	0.400	0.102
P5	276	0.259	3.87	0.375	0.097
P6	265	0.264	3.82	0.371	0.097
P7	249	0.277	3.61	0.368	0.102

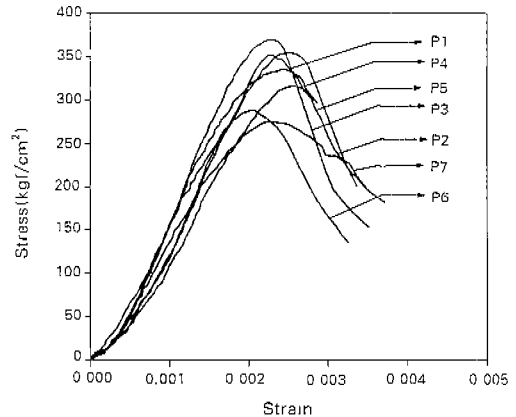


Fig. 1. Stress-strain curve of pine needle ash concrete

가. 정탄성계수

콘크리트의 탄성계수는 콘크리트의 압축강도가 클수록 크며, 압축강도가 같으면 잔 골재의 양이 많을수록 공기량이 적을수록 탄성계수는 커진다. 솔잎재 콘크리트의 정탄성계수는 재료의 역학적

성질을 나타내는 요소의 하나로서 대체적으로 탄성계수가 작으면 재료의 변형성이 크다는 것을 의미한다

Table 6에서 보는 바와 같이 솔잎재 콘크리트의 정탄성계수는 압축강도와 비슷한 경향을 보였으며,  $249 \times 10^3 \sim 324 \times 10^3 \text{kgf/cm}^2$ 의 범위로 나타났다. 또한, 솔잎재를 혼입하지 않은 P1의 정탄성계수는  $295 \times 10^3 \text{kgf/cm}^2$ 으로, 정탄성계수가 가장 큰 P3가 10% 정도 크게 나타났으며, P7은 16% 정도 작게 나타났다.

나. 푸아송비

중변형률에 대한 횡변형률의 비를 푸아송비(Poisson's ratio)라고 하며, 일반적으로  $\nu$  또는  $1/m$ 으로 표시한다. 여기서  $m$ 은 푸아송수이고, 보통 금속재료 및 시멘트 콘크리트는 각각 3~4 및 6~12 정도이다.

한편, Table 6에서 보는 바와 같이 솔잎재 콘크리트의 푸아송수는 3.61~4.34 정도로 보통 시멘트 콘크리트의 푸아송수 5.34보다 작게 나타났는데, 이러한 결과는 중변형률과 횡변형률 시험결과에서 알 수 있듯이 보통 시멘트 콘크리트에 비해 솔잎재 콘크리트는 중변률에 대한 횡변률의 비가 크고 압축하중을 횡방향으로 가할 때가 종방향으로 가할 때보다 변형성이 크기 때문이다. 또한, 적정량의 솔잎재를 혼입한 솔잎재 콘크리트는 보통 시멘트 콘크리트보다 압축강도도 증가하지만 솔잎재가 정제되지 않은 섬유조직모양의 미세립이기 때문에 휨강도의 증가가 더 크게 나타나 푸아송수가 작게 나타난 것으로 생각된다.

2. 내산성

솔잎재 콘크리트의 내산성 시험결과는 Table 7과 같고, 이를 도시하면 Fig. 2와 같다.

Table 7과 Fig. 2에서 보는 바와 같이 솔잎재의 혼입량이 증가할수록 황산에 대한 저항성이 증가하였고, 솔잎재를 혼입하지 않은 P1보다 솔잎재 5%, 10%, 15%를 혼입한 경우 내산성은 최초 중량의 25%가 감소된 침적일수를 비교해 보면 1.29

Table 7. Mass loss of concrete cylinders immersed in 5% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> solution (%)

Days Type	14	17	18	22	23	28	36
	P1	25.32	27.72	33.61	40.60	41.80	49.88
P2	21.05	25.22	27.52	32.75	34.29	42.13	57.98
P3	19.50	20.63	25.24	31.55	32.31	37.97	50.25
P4	18.40	18.86	22.13	25.94	27.19	30.68	43.98
P5	17.20	17.60	21.93	24.17	25.84	29.36	41.47
P6	15.38	15.84	19.15	21.45	22.10	26.07	36.90
P7	12.05	12.34	14.46	16.61	17.28	19.74	25.41

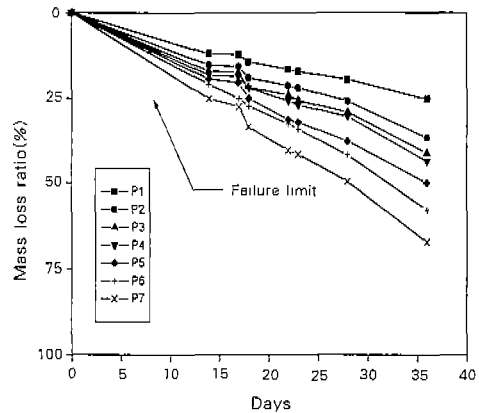
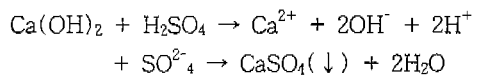


Fig. 2. Mass loss ratio of pine needle ash concrete

배, 1.64배, 2.57배 정도 각각 크게 나타났는데, 이러한 결과는 솔잎재의 주성분이 SiO<sub>2</sub><sup>29)</sup>이고, 황산 이온의 침투에 대한 저항성이 증가되었기 때문이다. 또한, 솔잎재는 시멘트 보다 CaO<sup>9)</sup>가 적게 함유되어 있어 에트링자이트<sup>7,9)</sup>를 보다 적게 유발시키기 때문에 석고(CaSO<sub>4</sub>)의 생성이 적게 발생하게 된다.

한편, 시멘트 콘크리트에서 생성되는 수산화 칼슘과 황산에 대한 반응식을 나타내면 다음과 같다.<sup>3,8,9)</sup>



위 식에서 알 수 있듯이 콘크리트는 수화반응으로 생성되는 수산화칼슘에 의해 pH가 12~13 정도의 강한 알칼리성<sup>1,9)</sup>을 나타내는데, 이 때 강산인 황산(H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)을 투입함으로써 시멘트 콘크리트에서 수화반응시 생성되는 양이온인 Ca<sup>2+</sup>와 황산의 음이온인 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>과 결합하게 되고 중성 인자 H<sub>2</sub>O가 생성된다. 따라서 CaO의 성분이 적을수록 황산이온과의 결합이 현저히 떨어지기 때문에 석고 발생률이 적게 되는 원인이 된다.<sup>3,9)</sup>

#### IV. 결 론

이 연구는 솔잎재와 시멘트 및 천연골재를 사용한 솔잎재 콘크리트의 응력-변형과 내산성을 실험적으로 구명한 것으로, 이 연구를 통해 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 정탄성계수는  $249 \times 10^3 \sim 324 \times 10^3 \text{ kgf/cm}^2$  정도로 나타났으며, 솔잎재 5%를 혼입 한 콘크리트에서 가장 크게 나타났다.

2. 푸아송수는 솔잎재 콘크리트에서 3.61~4.34 정도로 보통 시멘트 콘크리트 보다 작게 나타났으며, 솔잎재 5%를 혼입한 콘크리트에서 가장 크게 나타났다.

3. 내산성은 솔잎재의 혼입량이 많을수록 증가 되었으며, 솔잎재 5%, 10%, 15% 혼입한 콘크리트의 최초중량에 대한 25%의 중량감소가 나타난 침적일수가 보통 시멘트 콘크리트보다 각각 1.29배, 1.64배, 2.57배 정도 크게 나타났다.

4. 적정량의 솔잎재를 혼입하여 콘크리트를 제조할 경우, 솔잎재 콘크리트의 응력- 변형 및 내산성이 보통 시멘트 콘크리트보다 우수할 뿐만 아

니라, 임업 부산물의 활용 측면에서도 많은 기여를 할 수 있을 것으로 기대된다.

#### 참 고 문 헌

1. 김영웅, 1997, 인천국제공항 콘크리트의 내염설계 현황 및 특성, 콘크리트학회지, 9(4), pp. 48-56.
2. 박영식 외 3명, 1998, 황산염의 침해를 받는 고강도 콘크리트의 강도특성과 물성 변화, 콘크리트학회지, 10(5), pp. 117-126.
3. 부취량 외 1명, 1997, 콘크리트의 내산성에 관한 실험적 연구, 콘크리트학회지, 9(5), pp. 127-135.
4. 성찬용, 1997, 왕겨재 콘크리트 개발 및 그 공학적 성능에 관한 실험적 연구, 한국농공학회지, 39(5), pp. 55-63.
5. 성찬용 외 1인, 1998, 벚지재 콘크리트의 물리·역학적 특성, 한국농공학회지, 40(4), pp. 103-108.
6. 오병환, 1989, 콘크리트 구조물에 발생하는 균열의 원인과 평가 및 보수, 한국 레미콘 공업협회, 레미콘, 통권 19호, pp. 37-44.
7. 최상홀, 1996, 고기능화하는 시멘트 재료, 전자재, 통권 6호, pp. 161-165.
8. Nelson, J. A. and Young, J. P., 1997, "Additions of colloidal silicas and silicates to portland cement pastes", Cement and Concrete Research, 7(3), pp. 277-282.
9. Wolfgang Czernin., 1980, Cement chemistry and physics for civil engineers., Wiesbadener Betriebe GmbH, pp. 10-55.