

에폭시 樹脂 콘크리트의 硬化收縮 및 크리이프 特性

Characteristics of the Hardening Shrinkage and Creep of Epoxy Resin Concrete

許 南 哲* 延 圭 錫**
Hur, Nam Suk Yeon, Kyu Seok

요 약

이 研究는 充填材의 有無에 따른 에폭시 樹脂 콘크리트의 硬化收縮과 初期 크리이프 特性을 實驗적으로 究明한 것이다.

그 結果, 硬化收縮은 保管溫度가 높아질수록 커졌고, 充填材를 사용한 경우가 온도의 영향을 더 크게 받는 것으로 나타났다. 또한, 初期 크리이프는 載荷時間과 應力-強度化가 增加함에 따라 증가했고, 彈性變形이 클수록 컸는데, 이는 充填材를 첨가한 경우가 더 크게 나타났다.

ABSTRACT

This study was accomplished to investigate the characteristics of hardening shrinkage and initial creep of epoxy resin concrete depending on the presence of filler.

According to the test results, the hardening shrinkage was increased with increment of storage temperature, and the effect of temperature on the hardening shrinkage of epoxy resin concrete with 6% filler was more significant than that of epoxy resin concrete without filler. Also, the initial creep strain was increased with loading times, stress-strength ratio and elastic strain, and the values for epoxy resin concrete with 6% filler are higher than that for epoxy resin concrete without filler.

1. 結 論

콘크리트나 모르타용으로 이용되는 樹脂類는 주로 熱硬化性으로서 페놀(phenol)수지, 不飽和 폴리에스터(unsaturated polyester)수지, 尿素(urea)수지 등이 있다.

이 研究에서 사용한 에폭시 수지는 값이 비교적 비싼편이지만 다른 폴리머류에 비해 각

種 物理的·力學的 性質이 우수한 것으로 알려져 있어 補修材나 補強材로 널리 이용되고 있다.

基礎的 性質 가운데 硬化收縮과 크리이프(creep)는 構造物의 안정에 지대한 요소로 작용하는 것으로서 不靜定 構造物일 경우 더 심한 영향을 받게 된다. 이러한 硬化收縮과 크리이프는 構造物에서 함께 일어나므로 分離하여 생각할 수 없으나 편의상 실제 분리하여 다루

* 江原大學校 大學院 農工學科, 碩士課程

** 江原大學校 農工學科, 副教授

● 1989. 10. 2 접수, 본 논문에 대한 토론을 1990. 6. 30까지 본 학회에 보내주시면 1990. 9월호에 그 결과를 게재해 드리겠습니다.

고 있다.

지금까지의 研究結果들을 살펴볼 때, 強度, 彈性係數 등 基礎의 성질에 대한 것들에 비해 硬化收縮과 크리이프에 대한 연구는 적은 편이지만 폴리머 콘크리트류의 크리이프는 시멘트 콘크리트와 달리 초기 크리이프가 매우 큰 것으로 알려져 있다.

따라서 이 研究에서는 構造物, 특히 複合材料에서 重要視되는 硬化收縮 및 初期 크리이프特性을 實驗의으로 究明함으로써 構造物에의 應用을 위한 基礎資料를 제공하는데 그 목적이 있다.

2. 材料 및 方法

2.1 使用材料

(1) 에폭시 樹脂 및 硬化劑

에폭시 樹脂의 形態는 化學的 構造에 따라 여러 가지가 있는데, 이 試驗에서 使用된 것은 콘크리트 構造物用으로 汎用化되고 있는 Epi-Bis型으로서 一般的인 性質은 Table 1과 같다.

한편, 에폭시 樹脂는 硬化劑와 混合되어야만 硬化가 進行되는데 이것 역시 化學的 構造에

Table 1. General properties of the epoxy resin used.

Item	Values
Type of compound	Bisphenol A and epichlorohydrin
Appearance	Citrine and transparent
Viscosity at 25°C (P)	110-140
Specific gravity at 25°C (g/ml)	1.17
Epoxy equivalent	184-194
Molecular weight	370-400

따라 그 種類가 많다. 이 試驗에 使用된 硬化劑는 Amino polyamine類로서 Table 2와 같은

性質을 가지고 있다.

Table 2. General properties of the epoxy resin used.

Item	Values
Type of compound	Aminopolyamine
Appearance	Deep brown and transparent
Viscosity at 25°C (P)	25-45
Specific gravity at 25°C (g/ml)	0.96

(2) 骨 材

폴리머 콘크리트用 骨材는 보통의 강모래와 강자갈을 使用할 수 있다. 단지 含水率이 0.1~0.5% 範圍內에 있어야 하며, 硬化反應을 阻害하는 不純物을 含有하지 말아야 하는 것으로 되어있다.

이 試驗에서 使用된 骨材는 洪川江에서 採 取된 것으로 이에 대한 物理的 性質의 試驗結

果는 Table 3과 같다.

(3) 充 填 材

增量效果를 目的으로 結合材와 함께 쓰이는 1~30 μ m 정도의 粒徑을 가진 充填材로는 無機質 분말인 微分 시리카(silica), 플라이애쉬 (flyash), 重質탄산칼슘(CaCO₃) 등이 利用되는데, 이 試驗에서는 購入이 容易하고 汎用化되어 있는 重質 탄산칼슘을 使用하였다.

Table 3. Physical properties of the aggregate used.

Item	Specific gravity	Absorption (%)	Fines modulus
Fine aggregate	2.8	0.67	2.9
Coarse aggregate	2.6	0.57	6.4

2.2 配合比 決定

一般的으로 폴리머 콘크리트에 充填材를 添加하여 製造한 先行研究^{3,4,11,21)}에 대한 研究 結果를 살펴본 바, 그 量을 全材料 重量의 4~8 %으로 取하고 있었다. 따라서, 이 研究에서는 이 範圍의 중간치인 6%를 充填材의 量으로

定하였다.

에폭시 樹脂 콘크리트의 配合比는 試行錯誤 法에 의해 얻어진 最小空隙을 갖는 조골재와 세골재의 比率에 基礎를 두고 워커빌리티 (workability)를 考慮하여 決定되었으며, 이 結果 얻어진 配合比는 Table 4와 같다.

Table 4. Mix proportion of the epoxy resin concrete. (Unit : kg/m³)

Item	Without filler	6% filler
Epoxy resin	248.4	233.6
Coarse aggregate	891.7	838.7
Fine aggregate	891.7	838.7
CaCO ₃	—	121.0

2.3 供試體의 製作 및 養生

콘크리트의 配合에는 시멘트 콘크리트用 믹서를 使用할 수 있으나 이 試驗에서는 物量이 적어 삽비빔을 하였고, 다짐은 棒하였다. 配合은 粗骨材, 細骨材, 充填材를 잘 混合한 후, 樹脂와 硬化劑가 5 : 1로 組合된 結合材를 投入하는 順序로 하였다.

試驗에 使用된 供試體의 寸수는 壓縮強度, 割裂引張強度 및 彈性係數 試驗用으로 $\phi 50 \times 100$ mm, 휩強度 試驗用으로 $60 \times 60 \times 300$ mm, 硬化收縮試驗用으로 $40 \times 40 \times 160$ mm, 크리이프 試驗用으로 $60 \times 60 \times 200$ mm였다.

供試體는 타설후 3~4時間 室溫에서 硬化시킨후 脫型하여 30℃로 調節된 恒溫器에서 7日 間 養生시켰다.

2.4 試驗方法

(1) 強度試驗

壓縮強度 試驗은 KS F 2405에 規定된 試驗方法에 따라 수행되었으며, 強度는 다음 公式

으로 求하였다.

$$\sigma_c = P/A \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

여기서 σ_c 는 壓縮強度 (kg/cm²), A는 圓柱形 供試體의 斷面積(cm²)이고, P는 破壞荷重(kg)이다.

割裂引張強度 試驗은 KS F 2423에 規定된 試驗方法에 따라 수행되었으며 強度는 다음 公式으로 求하였다.

$$\sigma_t = 2P/\pi d \ell \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

여기서, σ_t 는 割裂引張強度(kg/cm²), P는 破壞荷重(kg), d는 圓柱型 供試體의 지름(cm), ℓ 는 圓柱型 供試體의 길이(cm)이다.

휩強度 試驗은 KS F 2408에 規定에 따라 3等分點 荷重法으로 測定 되었으며 強度는 다음 式에 의하여 求하였다.

$$\sigma_b = P \ell / bh^2 \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

여기서, σ_b 는 휩強度(kg/cm²), b 및 h는 角柱型 供試體의 폭(cm) 및 높이(cm), P는 破壞荷重(kg), ℓ 은 角柱型 供試體의 길이이다.

(2) 彈性係數 試驗

彈性係數 試驗은 KS F 2438을 引用하였으며 破壞強度의 40%까지 荷重을 가했을 경우의 彈性變形을 測定하여 다음과 같이 求하였다.

$$E = \sigma / \epsilon$$

여기서, E는 彈性係數, σ 는 應力(kg/cm²)이며, ϵ 은 變形率로서 스트레인 게이지(콘크리트 용 60mm) 및 다이얼 게이지(1/100mm)를 併用하여 測定하였다.

(3) 硬化收縮

硬化收縮 試驗은 KS F 2424의 規定을 引用하였으며, 供試體는 室溫에서 3-4時間 硬化시킨 후 恒溫器를 使用하여 10°C, 20°C, 30°C 및 40°C 溫度하에서의 硬化收縮 變形을 測定하였다.

(4) 크리이프 試驗

크리이프 試驗은 ASTM C 512-76의 規定

에 따라 室溫에서 一軸壓縮荷重을 載荷하여 實施하였다. 試驗은 應力-強度比를 30%, 40%, 50% 등 3가지로 變形시켜 수행되었으며, 供試體가 完全히 硬化되었기 때문에 硬化收縮으로 인한 영향을 考慮하지 않았다.

크리이프 變形(ϵ_c)은 $\epsilon_c = \epsilon_t - \epsilon_e$ 로, 크리이프 係數(ϕ)는 $\phi = \epsilon_c / \epsilon_e = \epsilon_c \cdot E / \sigma$ 로 求하였다.

여기서, ϵ_t 는 總變形, ϵ_e 는 彈性變形, σ 는 應力(kg/cm²), E는 彈性係數(kg/cm²)이다.

3. 結果 및 考察

3.1 力學的 特性

에폭시 樹脂 콘크리트의 力學的 特性을 究明하고자 壓縮強度, 割裂引張強度, 휨強度 및 彈性係數 試驗을 한 바, 그 結果는 Table 5와 같다. 이 結果에서 보는 바와같이 充填材를 添加한 경우와 添加치 않은 경우를 比較하여 보면

Table 5. Test results of strength and modulus of elasticity.

Item	Stength(kg/cm ²)			Modulus of elasticity (x10 ⁵ kg/cm ²)	
	Compressive	Splitting tensile	Bending		
Without filler	Values	826	104	144	2.1
		847	102	119	2.1
		863	108	134	2.7
	Mean	845	105	132	2.3
	Standard deviation	28.20	7.98	10.50	0.283
6% filler	Values	815	108	148	2.0
		847	98	125	2.0
		868	107	122	2.5
	Mean	843	104	132	2.2
	Standard deviation	32.20	9.47	11.40	0.203

壓縮強度, 割裂引張強度, 휨強度 모두 큰 差異를 보이지 않고 있다. 그러나, 強度들은 시멘트 콘크리트의 그것들에 비해 현저히 높게 나타났다. 특히, 壓縮強度에 대한 割裂引張強度 및 휨強度의 比가 크다는 것이 特徵的이라 하겠다.

한편, 彈性係數는 Table 5의 값과 Fig 1의 應力-變形率 關係圖에서 볼 수 있듯이 充填材가 있는 경우보다 약간 작게 나타나서 Ayyar¹⁾등의 結果와 一致 하였는데, 이는 모두가 시멘트 콘크리트의 彈性係數보다는 작을 값이라 하겠다.

이러한 結果로 에폭시 樹脂 콘크리트를 構造物에 利用할 경우 시멘트 콘크리트에 比해 높은 強度를 얻을 수 있는 반면에 큰 變形性을 同半할 것임을 豫測할 수가 있다.

따라서, 彈性係數를 크게 하여 變形量을 작게 할 수 있는 에폭시 樹脂 콘크리트의 開發에 대한 研究가 필요하다고 하겠다.

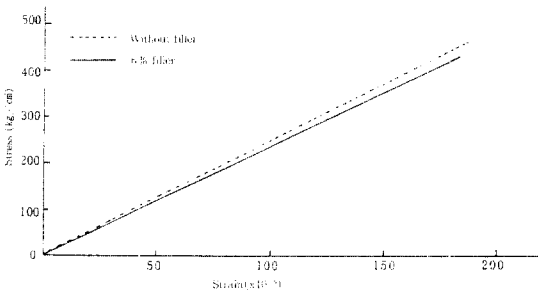


Fig. 1. Stress-strain relationship.

3.2 硬化收縮 特性

一般的으로 시멘트 콘크리트에서 乾燥收縮 (drying shrinkage)에 영향을 미치는 要因은 單位水量, 시멘트量과 品質, 骨材量과 品質, 공기량, 養生方法 및 部材의 모양과 크기 등으로 되어있다.^{8, 12, 13)}

그러나, 에폭시 樹脂 콘크리트의 경우는 물을 포함하지 않기 때문에 硬化收縮(hardening shrinkage)으로 불려오고 있으며, 이에 미치는 영향도 同一하다고 볼 수는 없다.

여기에서는 充填材의 有無, 保管溫度, 經過時間에 따른 에폭시 樹脂 콘크리트의 硬化收縮에 대한 試驗을 하였던 바, 그 結果는 Table 6과 같으며, 이것을 圖示하면 Fig. 2, 3 및 4와 같다.

Fig 2는 充填材를 포함치 않는 경우의 保管溫度, 經過時間과 硬化收縮의 關係를 나타낸

것이다.

이 關係에서 保管溫度가 上昇할수록 硬化收縮은 增加하였는데, 40°C의 경우는 약 80시간, 30°C의 경우는 약 120시간, 20°C의 경우는 약 140시간 이후부터 硬化收縮이 더 增加하지 않는 경향을 보였다.

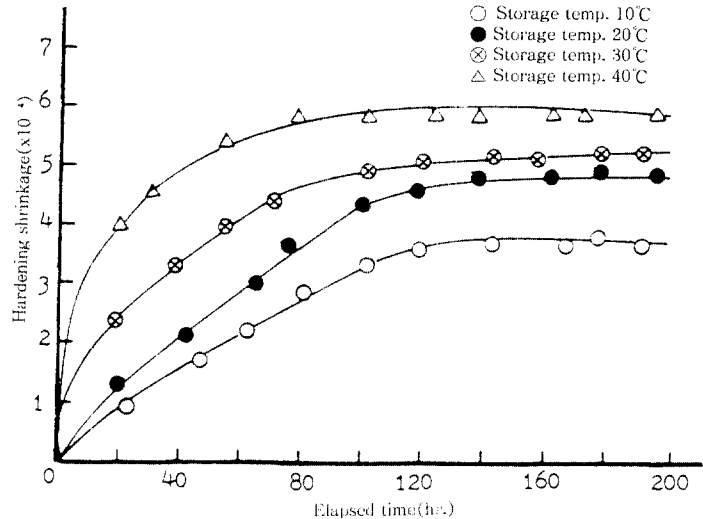


Fig. 2. Elapsed time vs. hardening shrinkage of epoxy resin concrete without filler.

Fig. 3은 充填材 6%를 넣은 경우 保管溫度別 經過時間과 硬化收縮의 關係인데, 이 경우도 保管溫度가 上昇할수록 硬化收縮은 크게 나타났다. 硬化收縮量이 더 增加하지 않고 一定하게 維持되는 시간은 약 40°C 및 30°C에서 약 90시간, 20°C 및 10°C에서 약 130시간이었다.

이러한 結果들로 부터 硬化收縮은 保管溫度가 높을수록 빠르게 일어나고 充填材를 添加한 경우가 添加치않은 경우보다 조금 빠르게 硬化收縮이 일어남을 알 수 있었다.

Fig. 4는 保管溫度와 硬化收縮 關係를 나타낸 것이다. 여기서도 保管溫度가 上昇할수록 硬化收縮이 커짐을 알 수 있으며, 20°C와 30°C에서는 緩慢한 硬化收縮의 增加를 보였다. 溫度變化에 따른 硬化收縮의 振幅은 充填材를

Table 6. Test results of the hardening shrinkage.

Item	Storage temperature(°C)	Elapsed time(hr.)	Hardening shrinkage(x10 ⁻⁴)
Without filler	10	10	0.83
		30	1.21
		50	1.72
		100	3.21
		200	3.65
	20	10	0.77
		30	1.58
		50	2.75
		100	4.31
		200	4.96
6% filler	30	10	1.95
		30	3.04
		50	3.74
		100	4.85
		200	5.14
	40	10	3.19
		30	4.52
		50	5.29
		100	5.81
		200	5.81
6% filler	10	10	0.72
		30	1.81
		50	2.43
		100	3.94
		200	4.16
	20	10	1.21
		30	2.27
		50	3.09
		100	4.63
		200	4.95
30	10	1.82	
	30	3.64	
	50	4.69	
	100	5.06	
	200	5.15	
40	10	2.49	
	30	4.09	
	50	5.04	
	100	5.52	
	200	5.52	

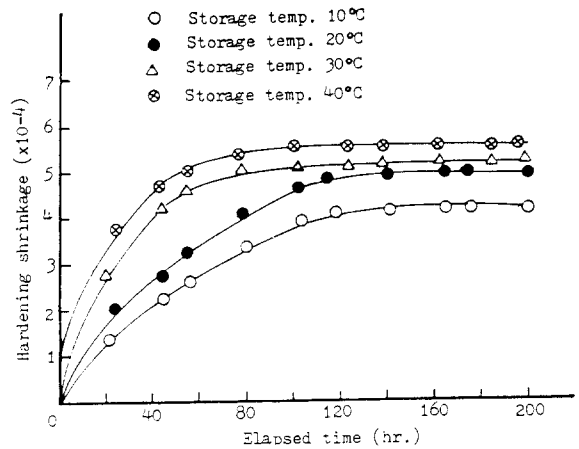


Fig. 3. Elapsed time vs. hardening shrinkage of epoxy resin concrete with 6% filler.

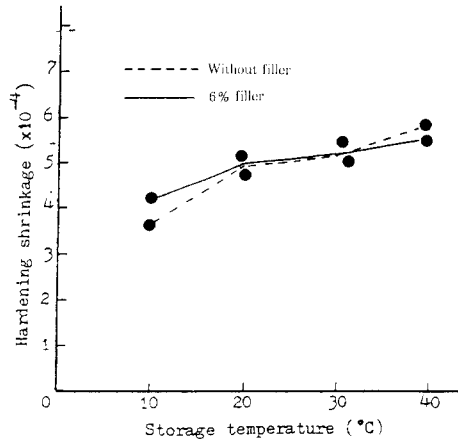


Fig. 4. Relation between storage temperature and hardening shrinkage.

添加한 경우가 $3.65 \times 10^{-4} \sim 5.81 \times 10^{-4}$, 添加치 않은 경우가 $4.16 \times 10^{-4} \sim 5.52 \times 10^{-4}$ 로서 添加치 않은 경우가 더 크게 나타난 것으로 보아 充填材는 硬化收縮의 幅을 줄이는 效果가 있음을 알 수가 있다.

3.3 크리이프 特性

一般的으로 콘크리트의 크리이프에 영향을 미치는 要因으로는 結合材의 性質, 骨材의 粒度, 載荷時의 材齡, 載荷期間중의 溫度와 濕度, 載荷應力의 크기 등을 들 수 있다.^{5, 7, 12)}

시멘트 콘크리트의 경우 載荷時의 材齡이

짧을수록, 載荷時間이 길수록 크리이프는 크며, 크리이프의 增加比率는 載荷時間에 따라 減少 하는데, 3개월에 50%, 1년에 거의 100%가 일어나는 것으로 되어있다.²⁴⁾ 그러나, 폴리머 콘크리트의 경우는 載荷 15~20일에全體 크리이프의 80~90%를 나타내는 것으로 되어 있다.¹⁾

따라서, 여기에서는 載荷時間을 340시간 까지로 하여 充填材의 添加有無, 應力-強度比와 載荷시간에 따른 크리이프變形을 室溫에서 試驗하였던바, 그 結果는 Table 7과 같으며, 이 結果에는 總變形, 彈性變形, 크리이프變形, 크리이프 係數 등이 나타나 있다. 그리고, 이 結果를 利用하여 充填材의 有無에 따른 載荷시간과 크리이프變形의 關係를 보인 것이 Fig. 5와 Fig. 6이다.

Table 7에서 볼 수 있는 바와같이 充填材가 添加된 경우는 添加되지 않은 경우보다 總變形, 彈性變形, 크리이프變形 및 크리이프 係數가 모두 약간 크게 나타났다. 그리고 應力-強度比(S/S_{ult})가 클수록 彈性變形과 크리이프變形은 커졌으나 크리이프 係數는 그렇지 않음을 알 수 있었으며, 構造物 設計에 重要한 資料로 利用되는 크리이프係數는 대체적으로 1.2~1.5範圍였다.

Fig. 5에서 보인바와 같이 充填材가 添加되지 않은 경우 載荷時間 및 應力-強度比(S/S_{ult})가 增加함에 따라 크리이프變形은 增加했으며, 最大값은 $S/S_{ult}=0.3$ 에서 $1,440 \times 10^{-6}$, $S/S_{ult}=0.4$ 에서 $2,120 \times 10^{-6}$, $S/S_{ult}=0.5$ 에서 $2,365 \times 10^{-6}$ 을 나타냈다.

또한, Fig. 6에서 볼 수 있듯이 充填材가 添加된 경우에도 載荷時間 및 應力-強度比(S/S_{ult})가 增加함에 따라 크리이프變形이 增加했는데 最大값은 $S/S_{ult}=0.3$ 에서 $1,540 \times 10^{-6}$, $S/S_{ult}=0.4$ 에서 $2,445 \times 10^{-6}$, $S/S_{ult}=0.5$ 에서 $2,825 \times 10^{-6}$ 을 나타냈다.

이 結果에서 初期 크리이프變形은 充填材가 添加된 경우가 添加되지 않은 경우보다 크게 나타났고, $S/S_{ult}=0.4$ 와 $S/S_{ult}=0.5$ 사이에서 보다

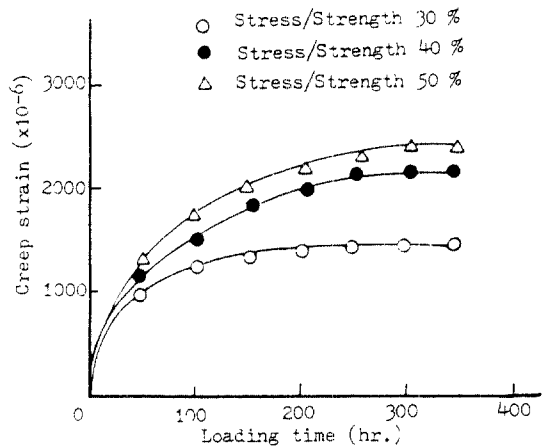


Fig. 5. Relation between loading time and creep strain of epoxy resin concrete without filler.

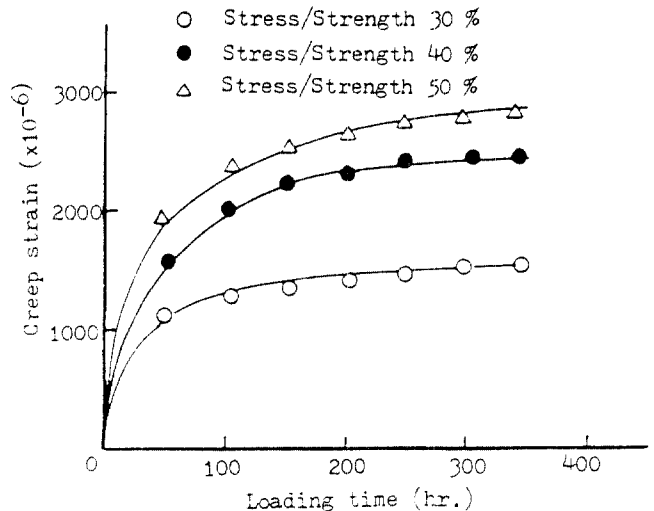


Fig. 6. Relation between loading time and creep strain of epoxy resin concrete with 6% filler.

$S/S_{ult}=0.3$ 과 $S/S_{ult}=0.4$ 사이에서 큰 差異를 보였으며, 載荷時間이 增加함에 따라 크리이프 增加幅은 낮게 나타났다.

한편, 크리이프와 載荷時間의 關係를 나타내는 데는 指數로 表現하는 方法, 對數로 表現하는 方法 등이 있으나 가장 널리 쓰이는 것은 Ross와 Sorman에 의해 제안된 雙曲線으로 表現하는 方法이다.^{2, 17)}

그 식은 $C=T/(a+bT)$ 로 표시되며, 여기서 C 는 크리이프變形, T 는 載荷時間이다. Fig. 5와 Fig. 6이 바로 이 方法에 의해서 그려진 것이다.

Table 7.

Test results of the creep strains.

Item	Stress/ Strength Working Stress	Loading time (hr.)	Total strain ($\epsilon_t, \times 10^{-6}$)	Elastic strain ($\epsilon_e, \times 10^{-6}$)	Creep strain ($\epsilon_c, \times 10^{-6}$)	Creep coefficient ($\phi = \epsilon_c / \epsilon_e$)
Comp. strength	0.3 $\sigma_w = 254$ (kg/cm ²)	0	1210	1210	0	0
		10	1850		640	0.53
		30	2115		905	0.75
		50	2200		990	0.82
		100	2440		1230	1.02
		200	2600		1390	1.15
		340	2650		1440	1.19
Without filler $\sigma_c = 845$ (kg/cm ²)	0.4 $\sigma_w = 338$ (kg/cm ²)	0	1610	1610	0	0
		10	2315		705	0.44
		30	2650		1040	0.65
		50	2810		1200	0.75
		100	3120		1510	0.94
		200	3570		1960	1.22
		340	3730		2120	1.32
	0.5 $\sigma_w = 423$ (kg/cm ²)	0	2010	2010	0	0
		10	2850		840	0.42
		30	3106		1096	0.55
		50	3330		1320	0.66
		100	3750		1740	0.87
		200	4210		2200	1.09
		340	4375		2365	1.18
	0.3 $\sigma_w = 253$ (kg/cm ²)	0	1240	1240	0	0
		10	2065		825	0.67
		30	2290		1050	0.85
		50	2370		1130	0.91
		100	2510		1270	1.03
		200	2640		1400	1.13
		340	2780		1540	1.24
6% filler $\sigma_c = 842$ (kg/cm ²)	0.4 $\sigma_w = 337$ (kg/cm ²)	0	1660	1660	0	0
		10	2890		1230	0.74
		30	3020		1360	0.82
		50	3230		1570	0.95
		100	3665		2005	1.21
		200	3970		2310	1.39
		340	4105		2445	1.47
	0.5 $\sigma_w = 421$ (kg/cm ²)	0	2080	2080	0	0
		10	3380		1300	0.63
		30	3840		1760	0.85
		50	4100		2020	0.95
		100	4445		2365	1.14
		200	4720		2640	1.27
		340	4905		2825	1.36

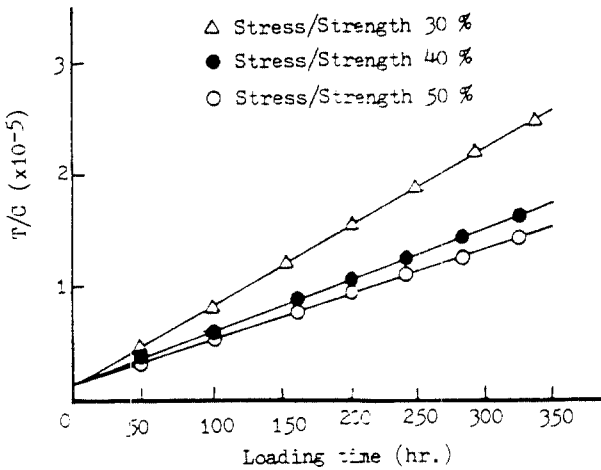


Fig. 7. Relation $C=T/(a+bT)$, T/C vs. T of epoxy resin concrete without filler.

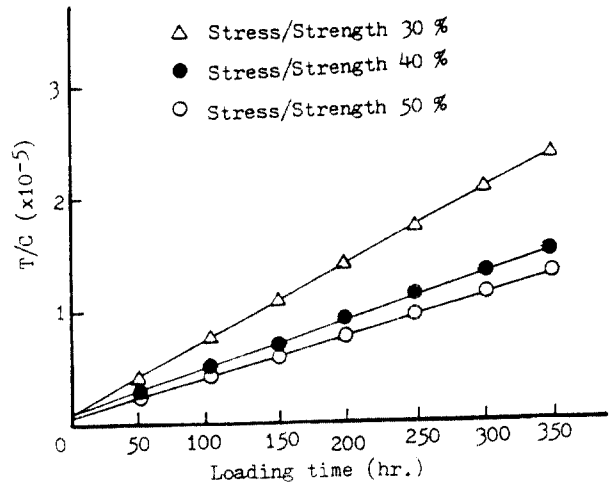


Fig. 8. Relation $C=T/(a+bT)$, T/C vs. T of epoxy resin concrete with 6% filler.

Table 8. Values of a and b in relation $C=T/(a+bT)$

Item	Ultimate compressive strength (kg/cm ²)	Stress/Strength ratio	a	b
None filler	845	0.3	1.26×10^{-6}	6.7×10^{-8}
		0.4	1.66×10^{-6}	4.3×10^{-8}
		0.5	1.52×10^{-6}	3.8×10^{-8}
6% filler	842	0.3	1.00×10^{-6}	6.4×10^{-8}
		0.4	0.94×10^{-6}	3.9×10^{-8}
		0.5	0.65×10^{-6}	3.4×10^{-8}

위의 方程式에서 係數 a 와 b 는 式을 直線回歸方程式의 형태인 $T/C=a+bT$ 로 變形하여 놓고 求하였다. 따라서 載荷時間(T)와 T/C 의 關係를 直線으로 나타낸 것이 Fig. 7과 Fig. 8이며, 이같은 直線回歸方程式으로 부터 求해진 變數 a 및 b 값을 Table 8에 나타내었다. 이는 載荷時間이 주어질 경우 應力-強度比別 에폭시 樹脂 콘크리트의 初期 크리이프 變形을 推定하는데 유용하게 利用될 수 있을 것이다.

단지 이 研究는 前述한 바와같이 室溫에서 測定한 것으로서 溫度에 따른 크리이프 特性도 究明되어야 할 것으로 思料된다.

4. 結 論

이 研究는 充填材의 有無에 따른 에폭시 樹脂 콘크리트의 硬化收縮과 初期 크리이프 特性을 實驗적으로 究明한 것이다. 硬化收縮 試驗은 $40 \times 40 \times 160$ mm 角柱型 供試體에 의해 保管溫度 10°C , 20°C , 30°C 및 40°C 에서 測定되었고, 初期 크리이프 試驗은 $60 \times 60 \times 200$ mm 供試體에 壓縮을 가하여 應力-強度比가 0.3, 0.4 및 0.5일 경우 室溫에서 測定되었다.

이 研究에서 얻어진 結果를 要約하면 다음과 같다.

1. 에폭시 樹脂 콘크리트의 壓縮, 割裂引張

및 휨강도는 시멘트 콘크리트에 비해 상당히 높았으나 彈性係數는 작게 나타났으며, 充填材의 添加가 이들 力學的 特性에는 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

2. 硬化收縮은 保管溫度가 높아질수록 커졌고, 充填材를 使用한 경우가 使用치 않는 경우보다 溫度의 영향을 더 크게 받는 것으로 나타났으며, 硬化收縮係數는 $3.6 \times 10^{-4} \sim 5.8 \times 10^{-4}$ 範圍였다.

3. 初期 크리이프는 載荷時間과 應力-強度비가 增加함에 따라 增加했고 彈性變形이 클수록 컸다. 또한, 이같은 充填材가 添加된 경우가 添加되지 않은 경우보다 더 크게 나타났으며, 크리이프 係數는 1.2~1.5 範圍였다.

참 고 문 헌

1. Ayyar, R. S., and Desphande, S. N., "Creep Studies on Polymer Mortars", Proceedings of the Third International Congress on Polymers in Concrete, 504-523, 1981.
2. Ayyar, R. S., and Desphande, S. N., "Creep Studies on Polymer Mortars, Proceedings of the Fourth International Congress on Polymers in Concrete, 487-493, 1984.
3. Ayyar, R. S., Joshi, S. N., & Desphande, S. N., "Creep of Polymer Concrete at Elevated Temperature", Third International Congress on Polymers in concrete, 103-107, 1987.
4. Armeniades, C. D., & Stormer, J. C., and Haque, E., "Cure Shrinkage Control with Strength Enhancement in Polymer Concrete by Combining Polymerization with Mineral Dehydration: Montmorillonite Polymer Concrete, Proceeding of the Fifth International Congress on Polymers in Concrete, 187-191, 1987.
5. Armeniades, C. D., and Dharmarajan, N., "A Constitutive Equation for Creep in Polymer Concrete", *Ibid.*, 193-197, 1987.
6. Bryant A. H., and Badhanavikkit, C., "Creep, Shrinkage-Size, and Age at Loading Effects", *ACI Materials Journal*, 117-123, 1987.
7. Bažant, Z. P., Kim, J. K., Wittmann, F. H., and Alou, F., "Statistical Extrapolation of Shrinkage Data-Part II: Bayesian Updating" *ACI Materials Journal*, 83-91, 1987.
8. Brüll, L., Konlos, K., Majzlan, B., "Early Shrinkage of Cement Pastes, Mortars, and Concrete", *Materiaux et Constructions*, Vol.13, No.73, 41-45, 1980.
9. Clarke, G., Scholz, H., and Alexander, M., "New Method to Predict the Creep Deflection of Cracked Reinforced Concrete Flexural Members", *ACI Materials Journal*, 95-101, 1988.
10. Gunasekaran, M., and Antwerp, E., "The Creep of Polymer Impregnated Light Weight Concrete", Proceedings of the First International Congress on Polymers in Concrete, 54-57, 1975.
11. Hristova, J., "Influence of Sorbed Liquid and Temperature on Polyester Polymer Concrete Creep Behaviour", *Ibid.*, 237-240, 1984.
12. Rüsç H., Jungwirte D., Hilsdorf H. K., "Creep and Shrinkage" Spring-Verlag New York Inc., 3-64, 1982.
13. Almudaigeem J. A., and Hansen, W., Effect of Specimen Size and Shape on Drying Shrinkage of Concrete", *ACI Materials Journal*, 130-135, 1987.
14. Kawano, T., "Studies on the Mechanism of Reducing Drying Shrinkage of Cement Mortars Modified by Rubber Latex", Pro-

- ceedings of the Third International Congress on Polymers in Concrete, 147-162, 1981.
15. Kawakami, M., Tokuda, H., Ishizaki, K., Kagaya, M., & Takahasil, "Thermal Stress and Shrinkage Stress of Concrete Polymer Composite Cylinders", Proceedings of the Fifth International Congress on Polymers in Concrete, 209-214, 1987.
 16. Nasser, K. W., and Morzouk, H. H., "Creep of Concrete at Temperatures from 70 to 450° F Under Atmospheric Pressure", ACI Journal, 147-150, 1981.
 17. Mangat, P. S., Baggott, R., Evans, and D. A., "Creep Characteristics of Polymer Modified Concrete Under Uniaxial Compression", Proceedings of the Third International Congress on Polymers in Concrete, 193-208, 1981.
 18. Morgan, D. R., "The Effects of Chemical Admixtures on Creep in Concrete", Civil Engineering Transaction, 7-11, 1974
 19. Ohanma, Y., Nawta, K., and Kobayashi, T., "Reduction in Setting Shrinkage of Polymethyl Methacrylate Concrete", Proceeding of the Fifth Congress on Polymers in Concrete, 179-184, 1987.
 20. Ohama, Y. and Sugahara, T., "Drying Shrinkage of Steel Fiber Reinforced Polymer-Modifide Mortars", Proceedings of the Third International Congress on Polymers in Concrete, 250-260, 1981.
 21. Okada, T., and Konaka, T., "Low Shrinkage Mechanism in Singlephase and Twophase Unsaturated Polyester Resin Mortar System", Proceedings of the Third International Congress on Polymers in concrete, 447-461, 1981.
 22. Richard, G. K., "Mechanical and Durability Investigation of Substituted Methacrylate Polymer Concrete System", Research Report of Rogm and Hass Company, Pennsylvania, 19-23, 81-87, 1984.
 23. Stawowy, T., "Polymer Concrete made on Polyester Resin Basis with Very Low Shrinkage and the Possibilities of Reinforcement Resulting Thereof", Proceedings of the Fourth International Congress on Polymers in Concrete. 257-262, 1984.
 24. William, L. G., "Creep of Concrete in Variable Environments", ASCE Structural Division, 2211-2221, 1982.
 25. Watanabe, A., and Yamasaki, T., "Studies on Gardening Shrinkage Stress of RESin Concrete", Proceedings of the Third International Congress on Polymers in Concrete, 435-446, 1981.