

熱을 받은 에폭시 樹脂 모르터의 強度에 관한 研究

A Study on the Strengths of Epoxy Resin Mortar under Heat Exposure

延 圭 錫* · 姜 信 業**
Kyu Seok Yeon, Sin Up Kang

Summary

The major objective of this study was to investigate the heat resistance of epoxy resin mortar. For this purpose, these tests of compressive and bending strength were accomplished with various heating temperature (40°C, 60°C, 80°C, 100°C, 120°C), and with various mixing ratio (1:2, 1:4, 1:6, 1:8, 1:10, 1:12, 1:14).

The experimental resin was to be Epi-Bis type epoxy resin, which is widely used as construction materials.

The results obtained are summarized as follows;

1. The variations of color tone started to begin at 60°C, and it has come out very heavy at 120°C. It was assumed that the decrement of weight resulted from carbonization were about 0.22% at 100°C, and about 0.34% at 120°C.
2. The compressive and bending strength were increased with temperature rise up to 80°C, but these were made rapid decrease when the given temperature was over. And so, the mean decrement of compressive and bending strength at 120°C reached up to 35.5% and 26.4%, respectively.
3. The regression equation between compressive and bending strength for epoxy resin mortar under heat exposure were obtained as follows;

$$\sigma_b = 0.371\sigma_c + 39.23 \quad (r=0.986)$$

And the estimated value of bending strength was corresponded to about 37 percent in comparing with that of the compressive strength.

4. Consequently, the heat resistance temperature of epoxy resin mortar was to be around 80°C, and it was generally very low values. But it was regarded that the epoxy resin mortar will not be difficult with materials of civil engineering works and agricultural structures.

I. 緒 論

樹脂(Resins)를 利用하여 만든 콘크리트나 모르

터는 強度와 耐久性面에서 普通 콘크리트나 모르터에 비해 優秀한 特性을 가지고 있다.”

따라서, 樹脂 콘크리트의 開發은 폴리머 콘크리트(Polymer concrete) 分野 中에서도 世界的으로

*江原大學校 農科大學

**忠南大學校 農科大學

가장 높은 關心을 갖게 하고 있으며, 그 利用 分野도 水利構造物에서 耐蝕構造物, 鐵道施設, 通信施設 등으로 漸次 擴大되어 가고 있다.¹⁰⁾

그런데, 많은 種類의 樹脂 가운데 콘크리트用으로서는 不飽和 폴리에스터 樹脂(Unsaturated polyester resins)가, 모르터用으로서는 주로 에폭시 樹脂(Epoxy resins)가 많이 使用되고 있다.¹¹⁾

이 에폭시 樹脂는 熱硬化性 樹脂에 屬하는 것으로서 일단 그 液이 反應하여 硬化가 된 後에는 熱에 依해 녹지 않는다. 그러나, 樹脂인 만큼 無機質 시멘트 硬化體에 비해 熱에 弱함은 틀림 없으며, 이것은 에폭시 樹脂 콘크리트나 모르터의 가장 큰 弱點 가운데 하나가 된다.

한편, 研究內容과 관련된 國內의 文獻은 거의 찾아 보기 어려우며, 外國의 文獻을 中心으로 몇 가지 內容들을 調査하여 본 바, ACI¹²⁾에서는 硬化한 에폭시 樹脂 結合材의 諸性質이 約 66.5°C까지는 安定하나, 보다 높은 溫度로 되면 漸次 低下하기 始作해 300°C를 넘으면 樹脂가 炭化해서 有毒 gas가 發生한다고 하였으며, 日本 土木學會¹³⁾에서는 에폭시 樹脂의 熱變形溫度를 55~85°C라 했고, 耐熱溫度는 150°C라고 했다.

또한, 大浜¹²⁾는 常溫에서 에폭시 樹脂를 使用할 때는 거의 問題가 없지만 50°C 以上에서는 強度, 彈性係數, 크리프(Creep) 등의 溫度依存성이 크다고 했고, Houston¹⁴⁾은 Cycloaliphatic resins의 熱變形度가 146~154°C라고 했으며, Plecnik¹⁵⁾ 등은 Epoxy adhesives의 熱變形溫度, 強度變化溫度 및 強度를 갖지 못하는 溫度가 各各 約 80°C, 110°C, 200°C라고 했다.

그러나, 이러한 結果에서 볼 수 있듯이 耐熱溫度가 一定한 값을 갖지 못하는 것은 그것이 樹脂의 종류라든가 配合比, 加熱時間 등의 試驗方法에 따라 달라질 수 있기 때문이다.

이 研究에서는 各種 에폭시 樹脂 가운데 98% 이상¹⁶⁾을 차지하고 있는 Epi-Bis型 에폭시로 製造한 모르터를 對象으로, 加熱溫度와 配合比에 따른 壓縮 및 휨 強度의 變化를 調査하여, 耐熱性を 究明하고자 한다.

II. 材料 및 方法

1. 使用材料

가. 에폭시 樹脂

ASTM¹⁷⁾에서는 에폭시 樹脂의 形態를 化學的 構

成物質의 成分에 따라 Table-1과 같이 分類하고 있으며, 다시 이것의 等級을 Table-2와 같이 나누고 있다. 또, 이에 대한 必要 條件을 Table-3과 같이 區分하고 있다.

따라서, 이 試驗에 使用된 에폭시 樹脂는 Type I, Grade 2로서 Class II(粘度 700~1,100)에 該當되는 것이다.

Table-1. Types of epoxy resin

Type	Components
Type I	Bisphenol A and epichlorohydrin
Type II	Reaction product of phenol and formaldehyde (novolac resin) and epichlorohydrin
Type III	Cycloaliphatic and peracid epoxies
Type IV	Glycidyl esters
Type V	Reaction product of epichlorohydrin and p-aminophenol
Type VI	Reaction product of epichlorohydrin and glyoxal tetraphenol

Table-2. Grades of epoxy resin

Grade	Components
Grade 1	Resins containing no diluent
Grade 2	Resins modified with a reactive diluent

Table-3. Requirements for type I, grade 2, epoxy resin

Class	Viscosity, cP at 25°C
I	100 to 500
II	500 to 900
III	900 to 4,000
IV	4,000 to 10,000

나. 硬化劑

에폭시 樹脂는 硬化劑와 混合 되어야만 硬化가 進行 되는데, 結合 反應은 다음의 3形式으로 大別된다.¹⁸⁾

1) 에폭시 基끼리의 結合反應. (硬化劑에 R₃N 含有)

2) 에폭시 基의 脂肪族系 또는 芳香族系의 水酸基(-OH)를 지닌 化合物에 依한 結合反應 (硬化劑에 Alcohol 類, Phenol 類 含有)

3) 에폭시 基의 硬化劑에 依한 架橋 結合反應. (硬化劑에 RNH₂ 및 R₂NH 含有)

이 試驗에 使用한 硬化劑에는 제 2 아민(R₂NH)을

含有하고 있으므로, 위의 3가지 메카니즘 중 3)번의 結合反應으로 硬化 된다.

硬化劑의 必要量은 使用하는 에폭시 樹脂의 組成, 反應條件 등에 따라 다르며, 最適 必要量은 實驗의 으로 決定하여야 하는데, 普通 製造者가 提示해 주고 있다.⁸⁾

그리고, 硬化速度는 硬化劑의 量에 比例하는 것이 아니라, 適當한 硬化劑의 量만 確保되면 硬化時의 加熱溫度에 따라 그 時間을 단축시킬 수가 있다.⁹⁾

다. 細骨材

에폭시 樹脂 모르타르用 細骨材는 그 粒徑이 1.2~2.5mm 정도로서 比較的 強度가 높고, 含水率은 0.1% 以下이어야 하며, 硬化反應을 阻害하는 不純物을 含有치 않아야 하는 것으로 되어있다.¹¹⁾

이 試驗에 使用된 細骨材는 KS L 5100에 규정된 江原道 注文津產 標準砂로 物理的 性質은 Table-4와 같다.

Table-4. Physical properties of fine aggregate used

Sample	Specific gravity	Absorption	Percentage finer than No. 200 sieve	Organic content
Jumunjin sand	2.63	0.07%	0.01%	Nil

2. 試驗方法

가. 모르타르의 配合

供試 모르타르의 配合內容은 Table-5와 같다.

Table-5. Details of mix proportion.
(Unit: wt. %)

Mixing ratio (wt.)	Epoxy resin	Standard sand	Hardener*
1 : 2	33	67	(20)
1 : 4	20	80	(20)
1 : 6	14	86	(20)
1 : 8	11	89	(20)
1 : 10	9	91	(20)
1 : 12	8	92	(20)
1 : 14	7	93	(20)

* Percent by weight of epoxy resin.

나. 供試體 製作 및 養生方法

1) 供試體는 強度 測定에 適合 하도록 4cm×4cm

×16cm 크기의 장방형으로 製作했다.

2) 供試體는 製作 直後, 溫度 23±2°C, 濕度 90% 이상으로 調整된 養生箱子에 넣어 7日間 硬化시켰다.

3) 其他의 要領은 KS F 2403에 準하였다.

다. 熱處理 方法

1) 加熱器機는 oven이며, 熱熱處理時間은 24時間으로 했다.

2) 加熱溫度는 各各 40°C, 60°C, 80°C, 100°C, 120°C로 하였다.

라. 色相 및 重量變化

1) 色相은 熱處理 前과 後의 狀態를 調査했다.

2) 重量은 自然乾燥狀態와 熱處理 直後에 感度 0.1g의 天秤으로 各各 測定하여 그 變化를 調査했다.

마. 壓縮 및 韌強度 試驗

1) 強度는 加熱 終了後 24時間 自然狀態(20~25°C)에 방치해 두었다가 測定했다.

2) 強度試驗 器機는 Amsler型 萬能強度試驗機(20t)이며, 모르타르用 加壓裝置를 부착하여 測定했다.

3) 強度試驗 方法은 JIS R 5201에 따랐다.

Ⅲ. 結果 및 考察

1. 色相 및 重量

에폭시 樹脂 모르타르의 加熱溫度에 따른 色相의 變化를 調査한 것이 Table-6이다.

Table-6. Variations of color tone of epoxy resin mortar under heat exposure

Heating temp. (°C)	Mixing ratio(wt.)			
	23-40°C	60-100°C	120°C	
23-40°C	1 : 2	Transparent gray	Fawn	Brown
	1 : 4	"	"	"
	1 : 6	"	"	Reddish brown
	1 : 8	"	"	Dark reddish brown
	1 : 10	"	"	Dark brown
	1 : 12	"	"	"
	1 : 14	"	"	Light reddish brown

여기에서 볼 수 있듯이, 40°C 加熱까지는 色相의 變化가 없이 本來의 투명한 회색을 그대로 보였으나, 60~100°C의 加熱을 하니 황갈색으로 變했고, 120°C를 加熱 하였을 때는 配合比에 따라 자기 다른 色相으로 심하게 變했으며, gas도 發生 되었다.

한편, 熱을 받은 에폭시 樹脂 모르타의 重量은 Table-7과 같은 變化를 보였다.

Table-7. Variations of weight of epoxy resin mortar under heat exposure

Heating temp. (°C)	Decrement of weight(wt. %)
40	0.233
60	0.239
80	0.285
100	0.520
120	0.640

이것은 自然乾燥狀態의 重量과 熱處理 直後의 重量을 測定하여 比較한 것으로서, 80°C까지의 減少는 水分의 증발에 기인한 것이라 생각되며, 100°C와 120°C에서는 炭化로 인한 組織의 파괴 때문이라 判斷 된다. 그런데, 여기에는 水分 증발로 인한 것도 包含돼 있다고 볼 수 있으므로, 이것을 約 0.3%로 假定해 보면 炭化로 인한 純減少率은 0.34%정도로 推定 된다.

2. 壓縮強度

加熱溫度 變化에 따른 에폭시 樹脂 모르타의 配合比別 壓縮強度를 試驗한 結果가 Table-8 이다. 이 表를 利用하여 加熱溫度와 壓縮強度와의 關係를 그림으로 表示한 것이 Fig. 1이며, 配合比와 壓縮強度의 關係를 그림으로 나타낸 것이 Fig. 2이다.

이 Table-8 및 Fig. 1에서 볼 수 있는 바와 같이 加熱溫度 80°C까지는 強度가 增加하는 것으로 나타났는데, 23°C(養生溫度)를 基準(100%)으로 하였을 때, 40°C에서는 平均 1.9%, 60°C에서는 6.7%, 80°C에서는 9.1%의 強度 增加를 보였으나, 이것을 頂點으로 감소하여 100°C에서는 8.4%, 120°C에서는 35.5%의 강도가 減少 하였다.

이와 같이, 80°C까지 強度의 增加 傾向을 보이는 것은 에폭시 樹脂가 加熱에 依해 굳는 熱硬化性 樹脂에 屬하는 것으로 常溫에서 硬化하지 못한 分子들의 反應이 高溫에서 加速되기 때문인 것으로 判斷되며, 100°C이상의 高溫에서 強度 低下를 보이는 것은 加熱로 인한 조직의 파괴로 炭化가 일어나기

Table-8. Results of compressive strength test of epoxy resin mortar under heat exposure (Unit: kg/cm²)

Mixing ratio (wt.)	Temp. (°C)					
	23	40	60	80	100	120
1 : 2 (%)	914 (100)	936 (102.4)	967 (105.7)	976 (106.7)	879 (96.1)	541 (59.1)
1 : 4 (%)	865 (100)	882 (101.9)	902 (104.2)	916 (105.8)	793 (91.6)	512 (59.1)
1 : 6 (%)	650 (100)	653 (100.4)	675 (103.8)	688 (105.8)	633 (97.4)	438 (67.3)
1 : 8 (%)	474 (100)	486 (102.5)	513 (108.2)	534 (112.6)	465 (98.1)	325 (68.5)
1 : 10 (%)	361 (100)	374 (103.6)	377 (104.4)	391 (108.3)	305 (84.4)	252 (69.8)
1 : 12 (%)	314 (100)	318 (101.2)	349 (111.1)	352 (112.1)	274 (87.2)	198 (63.0)
1 : 14 (%)	268 (100)	272 (101.4)	293 (109.3)	302 (112.6)	231 (86.1)	173 (64.5)
(Mean %)	(100)	(101.9)	(106.7)	(109.1)	(91.6)	(64.5)

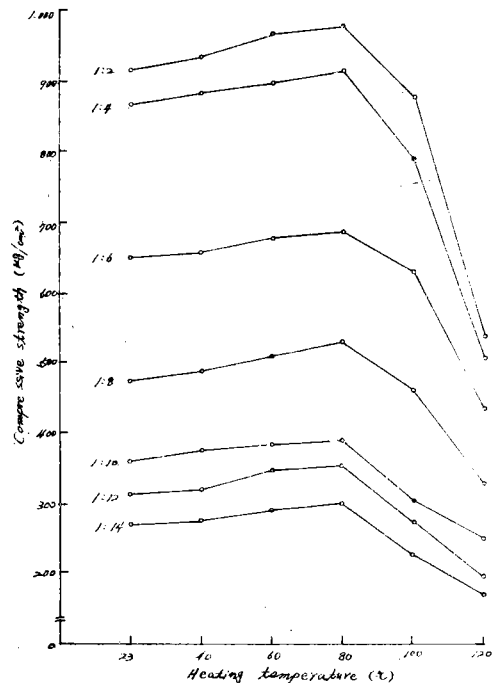


Fig. 1. Relation between heating temperature and compressive strength of epoxy resin mortar.

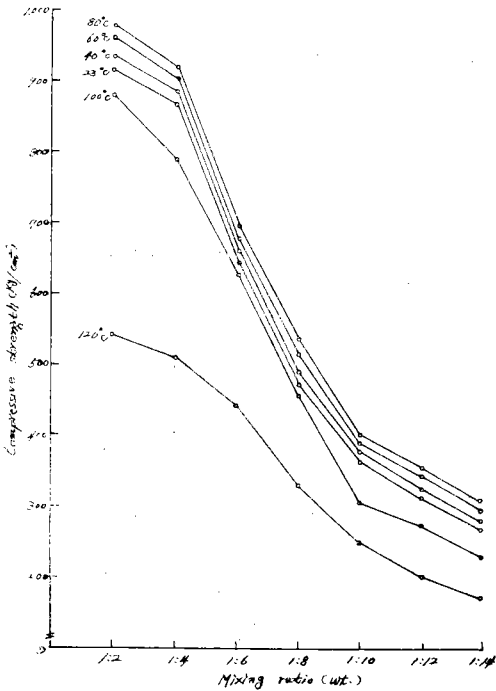


Fig. 2. Relation between mixing ratio and compressive strength of epoxy resin mortar under heat exposure.

때문인 것으로 推測된다.

또한, Table-8 과 Fig. 2 를 살펴보면, 配合比가 커짐에 따라 壓縮強度는 減少하고 있는데, 加熱溫度 100°C까지는 配合比에 따라 壓縮強度의 差가 컸으나 120°C 加熱에서는 작게 나타났다.

即, 加熱溫度가 80°C以下일 때는 配合比 1:2와 1:14의 差가 664~674kg/cm²가 되지만, 100°C일 때는 648kg/cm², 120°C일 때는 368kg/cm²으로 差가 작아짐을 알 수 있다.

이밖에 주목해야 할 것은 100~120°C 정도의 높은 溫度로 加熱 하였을 경우, 富配合일수록(1:2나 1:4) 強度가 급격히 감소하며, 貧配合일수록 比較的 완만하게 감소 했는데, 1:10에서 가장 낮은 強度 減少率을 보였다는 점이라 하겠다.

以上과 같은 點들을 통해 볼 때, 에폭시 樹脂 모르타르의 耐熱溫度는 80°C 前後로 普通 시멘트 콘크리트의 耐熱強度 約 300°C⁹⁾¹⁶⁾에 비해 아주 낮음을 알 수 있었으며, 이것은 Plecnik⁹⁾ 등이나 日本 土木學會¹⁰⁾의 報告內容과도 일치되는 結果라고 하겠다.

3. 휨 強度

에폭시 樹脂 모르타르의 휨 強度를 試驗한 結果가 Table-9 이다. 이것을 利用하여 加熱溫度別 휨 強度의 變化를 그림으로 나타낸 것이 Fig. 3이며, 配合比에 따른 휨 強度의 變化를 그린 것이 Fig. 4 이다.

이 Table-9 및 Fig. 3에서 볼 수 있는 바와 같이 23°C(養生溫度)에서의 強度를 基準(100%)으로 하였을 때, 40°C에서는 평균 1.4%, 60°C에서는

Table-9. Results of bending strength test of epoxy resin mortar under heat exposure. (Unit: kg/cm²)

Temp. (°C)	Mixing ratio (wt.)					
	23	40	60	80	100	120
1:2 (%)	384 (100)	387 (100.7)	391 (101.8)	400 (104.1)	360 (93.7)	224 (58.3)
1:4 (%)	347 (100)	348 (100.2)	353 (101.7)	363 (104.6)	331 (95.3)	208 (59.9)
1:6 (%)	282 (100)	298 (105.6)	310 (109.9)	320 (113.4)	270 (95.7)	201 (71.2)
1:8 (%)	229 (100)	230 (100.4)	233 (101.7)	253 (110.4)	213 (93.0)	184 (80.3)
1:10 (%)	180 (100)	181 (100.5)	191 (106.1)	214 (118.8)	177 (98.3)	154 (85.5)
1:12 (%)	146 (100)	148 (101.3)	152 (104.1)	154 (105.4)	137 (93.8)	121 (82.8)
1:14 (%)	119 (100)	120 (100.8)	125 (105.0)	132 (110.9)	112 (94.1)	92 (77.3)
(Mean %)	(100)	(101.4)	(104.3)	(109.7)	(94.8)	(73.6)

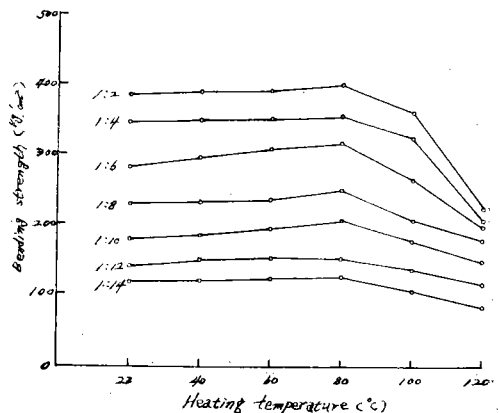


Fig. 3. Relation between heating temperature and bending strength of epoxy resin mortar.

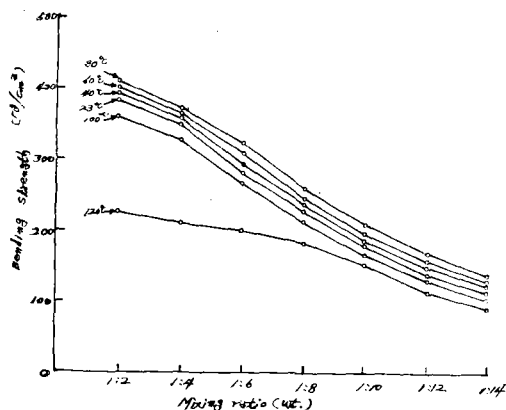


Fig. 4 Relation between mixing ratio and bending strength of epoxy resin mortar under heat exposure.

4.3%, 80°C에서는 9.7%의 強度增加를 보인 反面, 100°C에서는 5.2%, 120°C에서는 26.4%의 強度低下를 보이고 있다.

이렇게 볼 때, 80°C까지의 強度增加率は 壓縮強도와 비슷했으나, 100°C와 120°C에서의 強度低下率は 壓縮強도 보다 작게 나타났다.

그리고, 휨 強度 역시 100°C와 120°C의 高溫에서는 급격한 低下를 보이고 있는데, 1:2나 1:4와 같이 富配合일 때는 貧配合일 때에 비해 그 傾斜가 急했다.

한편, Table-9 및 Fig. 4에서 볼 수 있듯이, 配合比와 1:2와 1:14의 휨 強度差가 加熱溫度 80°C까지는 266~268kg/cm²로서 컷으나, 100°C에서는 248kg/cm², 120°C에서는 132kg/cm²으로 점점 작아졌다. 結局, 휨 強度도 貧配合일 때 보다는 富配合일수록 加熱溫度의 영향이 큰 것으로 나타났다.

이와 같은 點들을 통해 보면, 휨 強度의 耐熱溫度도 壓縮強도와 마찬가지로 80°C 前後임을 알 수 있는데, 이것은 높은 耐熱性이 要求되는 建築構造物을 除外한 土木構造物用이나 農業施設用 材料로서는 지장이 없는 溫度라고 하겠다.

4. 壓縮強도와 휨 強度와의 關係

열(40~120°C)을 받은 에폭시 樹脂 모르타의 壓縮強도와 휨 強度와의 關係를 그림으로 나타낸 것이 Fig. 5이다.

이들의 회귀방정식은 $\sigma_b = 0.37\sigma_c + 39.23$ 이었고,

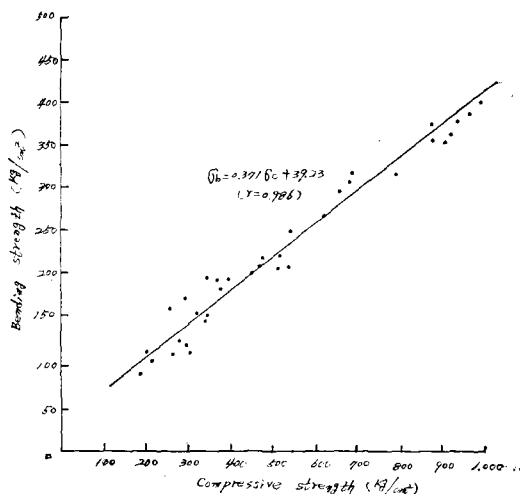


Fig. 5. Compressive strength vs. bending strength of epoxy resin mortar under heat exposure.

相關係數는 $r=0.986$ 이었다.

그리고, 壓縮強도에 對한 휨 強度의 比率(σ_b/σ_c)은 37%로서 熱處理를 하지 않은 에폭시 樹脂 모르타의 44%¹⁷⁾ 보다 7% 낮게 나타나 일단 熱을 받으면 압축性 보다 휨性이 더 低下됨을 알 수 있었다.

IV. 結 論

이 研究는 에폭시 樹脂 모르타의 耐熱性을 究明하기 위한 것으로서, 現在 構造物用으로 가장 많이 利用되는 Epi-Bis型 에폭시 樹脂를 材料로 하여 加熱溫度(40°C, 60°C, 80°C, 100°C, 120°C)와 配合比(1:2, 1:4, 1:6, 1:8, 1:10, 1:14)에 따른 壓縮 및 휨 強度의 變化를 試驗 하였던 바, 그 結果를 要約하면 다음과 같다.

1. 色相의 變化는 60°C에서 始作 되어 120°C에서는 매우 심하게 나타났으며, 炭化로 인한 重量의 減少率은 100°C와 120°C에서 各各 0.22%, 0.34%로 推定 되었다.

2. 壓縮·휨 強度 모두 80°C까지는 溫度 上昇에 따라 增加하나, 이것을 넘으면 急激히 低下 했는데 120°C에서의 平均 強度 低下率은 壓縮 및 휨 強度가 各各 35.5%, 26.4% 였다.

3. 熱(40~120°C)을 받은 에폭시 樹脂 모르타에 對한 壓縮強도와 휨 強度의 關係式은 $\sigma_b = 0.37\sigma_c + 39.23$ 으로 유도 되었으며, 휨 強度는 壓縮度의

37%인 것으로 나타났다.

4. 結果적으로, 에폭시 樹脂 모르타의 耐熱溫度는 80°C 前後로 낮은 편이었으나, 土木構造物이나 農業施設用 材料로서는 아무런 지장이 없을 것으로 思料된다.

參 考 文 獻

1. ACI (1980) : Use of Epoxy Compounds with Concrete, ACI Manual of Concrete Practice, Part 5, pp.503-1~32.
2. Alexander M. Houston (1972) : Epoxies Offer Improved Toughness, Heat Resistance, Materials Engineering, 82(2), pp.24~26.
3. American Society for Testing Materials (1977) : 1977 Annual Book of ASTM Standards, Part 36, D 1763-76.
4. A. Rio and S. Biagini (1981) : Influence of High Temperature on Mechanical Characteristics of Polymer-Impregnated Concrete, Proceedings of Third International Congress on Polymers in Concrete, pp.888~903.
5. 田中弘文(1981) : 세멘트硬化體的耐熱性, 콘크리트工學, 19(11) pp.43~49.
6. Josep M. Plecnik, Boris Bresler, James D. Cunningham, and Robert Iding (1980) : Temperature Effects on Epoxy Adhesives, Journal of the Structural Division, 106 (ST1) pp.99~113.
7. Josep M. Plecnik, Boris Bresler, Hon M. Chan, M. Pham, and James Chao (1982) : Epoxy-Repaired Concrete Walls under Fire Exposure, Journal of the Structural Division, 108 (ST8) pp.1894~1908.
8. 金博允 譯(1979) : 에폭시 樹脂, 大光書林, pp.5~67.
9. M. Sawaide and N. Arai (1981) : Development of High Temperature Resistant and Room Temperature Curable Epoxy Resin, Proceedings of Third International Congress on Polymer in Concrete, pp.1248~1261.
10. 日本土木學會編(1974) : 土木工學ハンドブック, 技報堂, pp.817~825.
11. 大浜嘉彦 (1973) : 플라스틱 콘크리트用 材料について, 콘크리트시야널, 11(4), pp.72~79.
12. 大浜嘉彦(1981) : 폴리머 콘크리트, 土木技術, 36(12), pp.89~95.
13. 岡田清, 德永博文 (1980) : 레진 콘크리트는 리의力學的特性, 材料, 29(318), pp.66~72.
14. R.N. Swamy and T.A. Jurgees (1981) : Properties and Temperature Stability of Sulphur Concrete, Proceedings of Third International Congress on Polymer in Concrete, pp.1155~1169.
15. 盧熙逸(1974) : 高溫을 받은 콘크리트의 強度에 관한 研究, 大韓建築學會誌, 18(53), pp.18~20.
16. 柳田力(1981) : 콘크리트工法の最近의 動向, 土木技術, 36(12), pp.24~28.
17. 延圭錫, 姜信業(1982) : 에폭시 樹脂 모르타의 強度特性, 韓國農工學會誌, 24(3), pp.92~99.