

# 에폭시 樹脂 모르터의 特性에 관한 實驗的 研究

## Experimental Studies on the Properties of Epoxy Resin Mortars

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

### Summary

This study was performed to obtain the basic data which can be applied to the use of epoxy resin mortars. The data was based on the properties of epoxy resin mortars depending upon various mixing ratios to compare those of cement mortar.

The resin which was used at this experiment was Epi-Bis type epoxy resin which is extensively being used as concrete structures. In the case of epoxy resin mortar, mixing ratios of resin to fine aggregate were 1 : 2, 1 : 4, 1 : 6, 1 : 8, 1 : 10, 1 : 12 and 1 : 14, but the ratio of cement to fine aggregate in cement mortar was 1 : 2.5.

The results obtained are summarized as follows;

1. When the mixing ratio was 1 : 6, the highest density was 2.01 g/cm<sup>3</sup>, being lower than 2.13 g/cm<sup>3</sup> of that of cement mortar.
2. According to the water absorption and water permeability test, the watertightness was shown very high at the mixing ratios of 1 : 2, 1 : 4 and 1 : 6. But then the mixing ratio was less than 1 : 6, the watertightness considerably decreased.

By this result, it was regarded that optimum mixing ratio of epoxy resin mortar for watertight structures should be richer mixing ratio than 1 : 6.

3. The hardening shrinkage was large as the mixing ratio became leaner, but the values were remarkably small as compared with cement mortar.

And the influence of dryness and moisture was exerted little at richer mixing ratio than 1 : 6, but its effect was obvious at the lean mixing ratio, 1 : 8, 1 : 10, 1 : 12 and 1 : 14. It was confirmed that the optimum mixing ratio for concrete structures which would be influenced by the repeated dryness and moisture should be rich mixing ratio higher than 1 : 6.

4. The compressive, bending and splitting tensile strengths were observed very high, even the value at the mixing ratio of 1 : 14 was higher than that of cement mortar. It showed that epoxy resin mortar especially was to have high strength in bending

---

\* 江原大學校 農科大學

\*\* 忠南大學校 農科大學

and splitting tensile strength.

Also, the initial strength within 24 hours gave rise to high value. Thus it was clear that epoxy resin was rapid hardening material.

The multiple regression equations of strength were computed depending on a function of mixing ratios and curing times.

5. The elastic moduli derived from the compressive stress-strain curve were slightly smaller than the value of cement mortar, and the toughness of epoxy resin mortar was larger than that of cement mortar.
6. The impact resistance was strong compared with cement mortar at all mixing ratios. Especially, bending impact strength by the square pillar specimens was higher than the impact resistance of flat specimens or cylindrical specimens.
7. The Brinell hardness was relatively larger than that of cement mortar, but it gradually decreased with the decline of mixing ratio, and Brinell hardness at mixing ratio of 1 : 14 was much the same as cement mortar.
8. The abrasion rate of epoxy resin mortar at all mixing ratio, when Losangeles abation testing machine revolved 500 times, was very low. Even mixing ratio of 1 : 14 was no more than 31.41%, which was less than critical abrasion rate 40% of coarse aggregate for cement concrete.

Consequently, the abrasion rate of epoxy resin mortar was superior to cement mortar, and the relation between abrasion rate and Brinell hardness was highly significant as exponential curve.

9. The highest bond strength of epoxy resin mortar was 12.9 kg/cm<sup>2</sup> at the mixing ratio of 1 : 2.

The failure of bonded flat steel specimens occurred on the part of epoxy resin mortar at the mixing ratio of 1 : 2 and 1 : 4, and that of bonded cement concrete specimens was found on the part of combined concrete at the mixing ratio of 1 : 2, 1 : 4 and 1 : 6. It was confirmed that the optimum mixing ratio for bonding of steel plate, and of cement concrete should be rich mixing ratio above 1 : 4 and 1 : 6 respectively.

10. The variations of color tone by heating began to take place at about 60°C, and the ultimate change occurred at 120°C. The compressive, bending and splitting tensile strengths increased with rising temperature up to 80°C, but these rapidly decreased when temperature was above 80°C.

Accordingly, it was evident that the resistance temperature of epoxy resin mortar was about 80°C which was generally considered lower than that of the other concrete materials. But it is likely that there is no problem in epoxy resin mortar when used for unnecessary materials of high temperature resistance.

The multiple regression equations of strength were computed depending on a function of mixing ratios and heating temperatures.

11. The susceptibility to chemical attack of cement mortar was easily affected by inorganic and organic acid. and that of epoxy resin mortar with mixing ratio of 1 : 4

was of great resistance. On the other hand, when mixing ratio was lower than 1 : 8 epoxy resin mortar had very poor resistance, especially being poor resistant to organic acid.

Therefore, for the structures requiring chemical resistance optimum mixing of epoxy resin mortar should be rich mixing ratio higher than 1 : 4.

## I. 緒 論

今世紀에 이르러서는 高分子化學 分野의 눈부신 發達로 인하여 수많은 合成樹脂가 開發·利用되고 있다. 이 樹脂의 形態는 크게 熱可塑性(thermoplastic)과 熱硬化性(thermosetting)으로 區分된다. 콘크리트나 모르타르用으로 利用되는 것은 大部分이 熱硬化性 樹脂로서, 가장 適合한 것은 不飽和폴리에스터와 에폭시 樹脂인데 前者는 콘크리트에, 後者는 모르타르에 많이 利用되고 있으며, 그 使用量은 날로 增加하고 있다.

에폭시 樹脂에 관한 最初의 特許는 1936年 스위스의 P. Castan 이 獲得했고, 3年後 美國의 S.O. Greenlee에 의하여 數種의 基本의인 에폭시 樹脂가 만들어져 이 가운데 大多數는 現在에도 使用되고 있다.<sup>2,24)</sup>

近年에는 우리 나라에서도 에폭시 樹脂의 合成에 대한 研究가 시도되고 있으며,<sup>37,113)</sup> 外國에서는 기존 에폭시 樹脂의 性質을 改良하기 위하여 低粘度, 水溶性, 耐熱性 에폭시 樹脂의 開發에도 注力하고 있다.<sup>21,42,68,87,78,84,91)</sup>

에폭시 樹脂의 特性은 種類에 따라 다르나 大體의으로 耐藥品性, 耐磨耗性, 絶緣性, 接着性, 強度 등이 餘他 콘크리트用 結合材 보다 우수한 것으로 알려져 있다.<sup>82)</sup>

이러한 特性 때문에 에폭시 樹脂가 先進外國에서는 研究의 進展과 함께 利用이 急速히 擴大되어 橋梁, 道路, 댐, 터널, 上·下水道 施設 등의 補強 및 補修와 工場바닥의 表面處理, 슬래브 지붕의 防水處理에 많이 使用되어 왔다. 우리 나라에서도 콘크리트 構造物의 補強이나 補修用으로 利用되고 있고,<sup>83)</sup> 그 施工方法도 概略의으로 소개되어 있기는 하지만,<sup>28)</sup> 設計 및 施工基準이 없으며, 施工技術도 初步의인 段階를 벗어나지 못하고 있다. 또한 研究報告도 같은 플라스틱 콘크리트에 屬하는 폴리머-시멘트 모르타르나 폴리머 含浸 콘크리트에 대한 研究結果만 多少 있을 뿐이다.<sup>45,83)</sup>

따라서, 이 研究에서는 現在 構造物 補強 및 補修用으로 많이 利用되는 Epi-Bis型 에폭시 樹脂 모르타르의 物理的·力學的 性質을 中心으로 한 몇가지 特性을 시멘트 모르타르와 實驗의으로 比較·檢討하여 究明함으로써 合理的인 에폭시 樹脂 모르타르의 利用에 寄與코져 한다.

## II. 材料 및 方法

### 1. 使用材料

#### (1) 에폭시 樹脂

이 試驗에 使用된 Epi-Bis型 에폭시 樹脂는 ASTM D 1763의 分類方法에 따르면 Type 1, Grade 2에 該當되는 것이다. 一般의 性質은 Table 1과 같으며, 이는 Bisphenol A와 Epichlorohydrin을 縮合反應시켜 生成한 것으로서 그 化學構造式은 Fig. 1과 같다.

Table-1. General properties of epoxy resin used

Item	Values
Type of compound	Bisphenol A and Epichlorohydrin
Appearance	Citrine and transparent
Viscosity(25°C, P)	110—140
Specific gravity(25°C)	1.17
Epoxy equivalent	184—194
Molecular weight	370—400

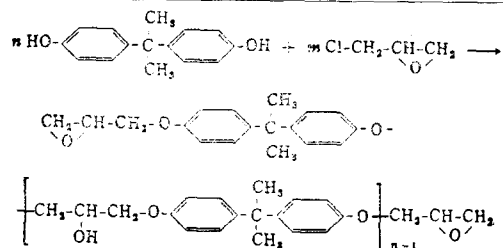


Fig. 1. Structural formula of Epi-Bis type epoxy resin.

Table-2. General properties of hardener used

Item	Values
Type of compound	Amino polyamine
Appearance	Deep brown and transparent
Viscosity(25°C, P)	25—45
Specific gravity(25°C)	0.96

Table-3. 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) 硬化劑

이 試驗에 使用된 硬化劑는 Amino polyamine類로서 一般의 性質은 Table-2와 같다.

(3) 잔골재

이 試驗에 使用된 잔골재는 KS L 5100에 規定된 江原道 注文津産 標準砂로서 物理的 性質은 Table-3과 같다.

2. 供試體 製作

(1) 모르터의 配合

시멘트 모르터는 結合材로 보통 포틀랜드 시멘트(normal portland cement)를 使用하였으며, 잔골재와의 配合比는 1:2.5로 하고, 물·시멘트比는 50%로 하여 삼비법을 하였다.

에폭시樹脂 모르터는 잔골재를 計量한 다음 樹脂와 硬化劑를 同時에 投入하여 삼비법을 하였고, 配合比는 1:2, 1:4, 1:6, 1:8, 1:10, 1:12, 1:14로 하였으며, 硬化劑는 에폭시樹脂 重量의 20%로 했다.

(2) 供試體의 製作 및 養生

모든 供試體는 KS L 5105의 試驗體 만들기 要領에 따라 製作하여, 시멘트 모르터는 23±2°C로 調整된 濕潤養生箱子에서 28日間(空氣中 1日 包含) 養生시켰고, 에폭시樹脂 모르터는 基準強度를 1週日로 하는 경우가 많으므로<sup>80,41,77,107)</sup> 溫度 23±2°C로 調整된 濕潤養生箱子에 넣어 7日間(空氣中 3時間 包含) 養生시켰다. 그러나, 길이變形率 試驗用 供試

體만은 ASTM L 157에 따라 濕潤養生箱子에서 24時間 硬化시켰다.

3. 試驗方法

(1) 密度 試驗

密度는 5×5×5cm 크기의 供試體를 製作하여 氣乾狀態에서의 重量(g)과 體積(cm<sup>3</sup>)을 測定하여 算出하였다.

(2) 吸水率 試驗

吸水率은 에폭시樹脂가 熱에 弱하기 때문에 5×5×5cm 크기의 供試體를 70°C로 調整된 乾燥器에서 恒量이 될 때까지 乾燥시킨 重量(g)과 23°C 蒸溜水에 1, 3, 7, 12, 24, 48, 72時間 浸水시킨 後의 重量(g)을 測定하여 求하였다.

(3) 透水 試驗

透水 試驗은 透水量을 求하여 比較하였는데, KS F 2451의 透水試驗法을 引用하였다. 即, 透水量은 70°C의 乾燥器에서 恒量이 될 때까지 乾燥시킨 φ15×4cm 크기의 供試體를 壓力게이지가 附着되어 있는 φ16×30cm 크기의 鐵製容器(impregnation vessel)에 넣고 물을 채운 後 1時間 동안 壓力(1kg/cm<sup>2</sup>, 3kg/cm<sup>2</sup>)을 加하여 增加된 重量으로 하였다.

(4) 길이變形率 試驗

길이變形率 試驗은 ASTM C 490에 提示된 Mould (25×25×285mm 3連型)와 Length comparator(精度 0.01mm)를 使用하여, ASTM C 157의 測定方法에 따라 試驗하였으며, 乾燥狀態(溫度 23°C, 濕度 50±4%인 恒溫恒濕器에 저장)와 濕潤狀態(溫度 23°C인 濕潤養生箱子에 저장)에서 調査하였다.

(5) 強度 試驗

에폭시樹脂 모르터는 高強度이어서 KS에 規定된 시멘트 모르터의 強度 試驗法으로는 強度 測定이 곤란하기 때문에 JIS R 5201에 따라 4×4×16cm 크기의 供試體를 使用하여 휨 및 壓縮強度 試驗을 하였고, KS F 2423의 規定을 引用하여 φ5×10cm 크기의 供試體에 대한 割裂引張強度를 試驗하였다.

(6) 應力—變形度 試驗

φ3×6cm 크기의 供試體 表面에 標點距離 10mm인 單軸 스트레인 게이지를 Cyano acrylic 系의 接着劑(Kyowa 社製)로 附着시킨 後, Crosshead speeds를 0.5mm/min.으로 一定하게 하고(室內溫度 23°C), 容量 10ton의 萬能強度試驗機(Toyo Baldwin 社製)로 壓縮力을 加하여 X—Y 記錄計에서 應力—變形度 曲線을 얻었다.

彈性係數(secant modulus)는 이 應力—變形度 曲線

상의 1/2  $\sigma_c$  點과 原點을 이은 直線의 기울기로 하였으며, 靱性(toughness)은 應力-變形度 曲線上的 破壞點에서 橫軸에 수직한 線을 내려 그의 形成된 圖形의 面積으로 하였다.

(7) 衝擊 試驗

板狀 供試體에 대한 衝擊 試驗은 Federal Specification SS-T-306 b(Tile, Floor, Asphalt)에 따라 6×6×3/8 inch 크기의 供試體 中央部에 重量 1 kg의 鋼球를 落下시켜 供試體가 破壞되었을 때의 落下高(cm)를 衝擊抵抗으로 하였다.

圓柱形 供試體에 대한 衝擊試驗은 KS F 2517에 준하여  $\phi 25 \times 25$ mm 크기의 供試體에 重量 1kg의 鋼球를 落下시켜 龜裂이 생겼을 때의 落下高(cm)를 衝擊抵抗으로 하였다.

角柱形 供試體에 대한 韌衝擊 試驗은 大浜<sup>70)</sup>의 報告를 參考로 製作한 裝置를 利用하여 鋼球(420g)를 供試體(4×4×16cm)의 中央部에 落下(5cm 높이에서 始作해 매회마다 5cm씩 높였음)시켜 破壞될 때까지의 衝擊에너지( $\sum[0.42 \times \text{每回落下高}]$ )를 算出하고 이 값을 韌強度 計算式에 代入시켜 求한 韌衝擊 強度(衝擊에너지×0.234)를 韌衝擊抵抗으로 하였다.

(8) 硬度 試驗

硬度 試驗은 鋼球의 지름을 10 mm, 荷重을 500 kg, 荷重을 加하는 時間을 25초로 하여 KS B 0805의 方法에 따라 行하였다.

(9) 磨耗 試驗

KS F 2508에 따라 配合比別로 4×4×8cm 크기의 供試體를 5kg씩 準備하여, Los Angels 磨耗試驗機에 12個의 鋼球(總重量 5,000g)를 넣어 32rpm의 速度로 100, 300, 500 回轉시켰을 때의 磨耗率을 算出하였다.

(10) 接着強度 試驗

接着強度 試驗은 ASTM C 321에 準하였는데, 시멘트 콘크리트에 대한 接着強度 試驗用 供試體는 특별히 만든 6×9×19cm 크기의 콘크리트 벽돌( $\sigma_{28} = 250\text{kg/cm}^2$ )을 供試모르터로 接合( $t=3.2\text{mm}$ )시켜 十字形으로 製作하였고, 鋼板에 대한 接着強度 試驗用 供試體는 3mm 두께의 鋼板을 9×19cm 크기로 切斷하여 上記 콘크리트 벽돌에 에폭시 樹脂로 接着시킨 후, 露出된 鋼板面을 供試 모르터로 接合( $t=3.2\text{mm}$ )시켜 十字形으로 製作하였다.

(11) 耐熱性 試驗

供試體를 40°C, 60°C, 80°C, 100°C 및 120°C에서 各各 24時間 處理하여 色相과 重量의 變化는 熱

處理 前後를 比較하였으며, 強度變化는 加熱終了後 24時間동안 常溫에서 冷却시킨 다음 前記한 強度試驗 方法에 따라 測定하였다.

(12) 耐藥品性 試驗

供試體의 크기는 5×5×5cm, 藥液의 種類는 無機酸(HCl 10% 용액), 有機酸(CH<sub>3</sub>COOH 10% 용액) 알칼리(NaOH 10% 용액), 鹽類(MgSO<sub>4</sub> 飽和溶液)로 하였으며, 試驗方法은 ASTM C 267에 準하였다.

(13) 組織構造 觀察

4×4×16cm 크기의 供試體 內部에서 5×5×40mm의 角棒을 다이아몬드 切斷機로 採取하여 그 中央部를 切斷한 試片을 Silver paste로 Stub에 定着시키고, Eiko IR-3型 Ion coater를 使用하여 400 Å 두께로 Gold coating 했으며, 15Kv에서 走査電子顯微鏡(Hitach S-450型)로 관찰한 後, 各 倍率의 사진을 撮影하였다.

### Ⅲ. 結果 및 考察

#### 1. 物理的 特性

(1) 密度

에폭시 樹脂 모르터의 密度 試驗 結果를 시멘트 모르터와 比較하면 Table-4에서와 같이 配合比 1 : 6 일 때 2.01g/cm<sup>3</sup>으로 가장 靚고, 이보다 富配合이거나 貧配合으로 되면 작아지는 것으로 나타났다.

그러나, 에폭시 樹脂 모르터의 密度는 1.80~2.01 g/cm<sup>3</sup>로서 시멘트 모르터의 密度 2.13g/cm<sup>3</sup>에 比하면 가벼우므로 構造材로 利用할 경우 어느 程度의 自重은 減少시킬 수 있다고 하겠다.

(2) 吸水率

配合比에 따른 樹脂 모르터의 吸水率을 試驗한

Table-4. Comprison of bulk density between cement mortar and epoxy resin mortars

Item	Mixing ratio	Bulk density (g/cm <sup>3</sup> )	Ratio
Cement mortar	1 : 2.5	2.13	1.00
	1 : 2	1.80	0.85
Epoxy resin mortar	1 : 4	1.83	0.86
	1 : 6	2.01	0.94
	1 : 8	1.96	0.92
	1 : 10	1.88	0.88
	1 : 12	1.84	0.86
	1 : 14	1.82	0.85

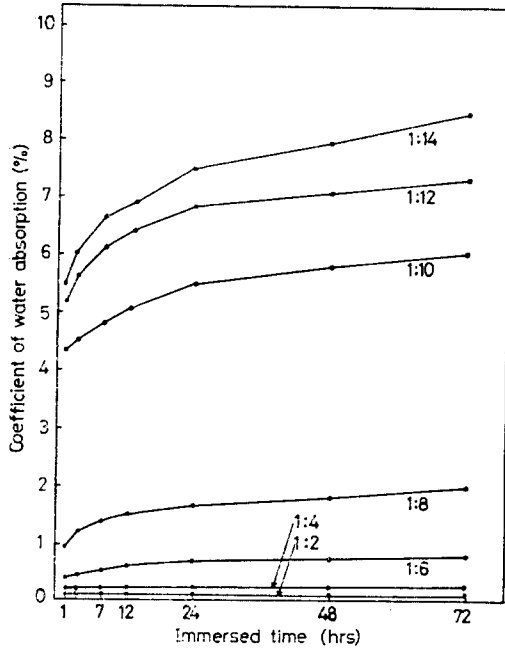


Fig. 2. Coefficient of water absorption versus immersed time for epoxy resin mortars.

結果는 Fig. 2와 같다.

이 結果에서 볼 수 있는 바와 같이 配合比가 1:2 및 1:4일 때는 浸水時間에 따라 吸水率이 增加되지 않으나, 1:6, 1:8에서 增加를 보이기 始作하여 1:10, 1:12, 1:14의 貧配合에서는 浸水時間에 따른 吸水率의 增加幅이 크게 나타났다. 그런데, 24時間 以內的 初期 吸水率이 急激히 높아졌으나 그 以後의 變化는 緩慢했으며, 配合比 1:8과 1:10 사이에서는 吸水率의 差異가 顯著하여 하나의 境界層을 形成하였다.

또한, 에폭시 樹脂 모르터의 吸水 特性을 알아보기 위하여 72時間 浸水시켰을 때의 吸水率을 시멘트 모르터와 比較한 바 Table-5와 같이 매우 낮게 나타났으나 1:10 以下の 貧配合으로 됨에 따라 吸水率은 급격히 增加하는 傾向을 보였다.

(3) 透水性

에폭시 樹脂 모르터의 透水性 試驗 結果는 Fig. 3과 같다.

이 結果에서와 같이 配合比 1:2, 1:4, 1:6에서는 매우 낮은 透水性을 보이고 있으나, 貧配合으로 될수록 急激히 增加하였다. 이것은 前述한 吸水率과 비슷한 樣相이며, 壓力의 크기에 따른 透水性의 差異도 貧配合일수록 크게 나타났다.

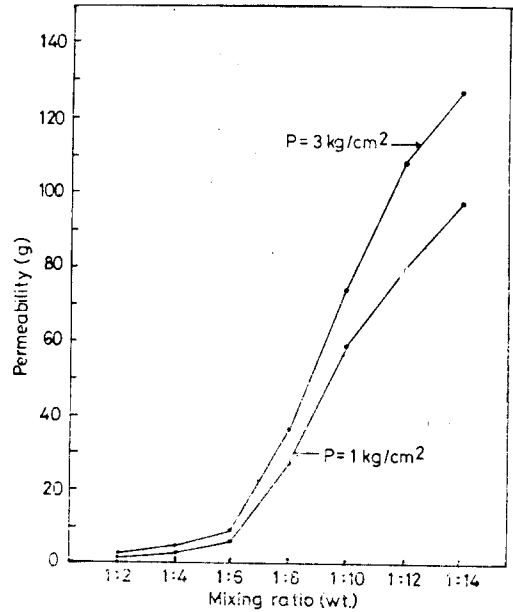


Fig. 3. Permeability versus mixing ratio for epoxy resin mortars.

Table-5. Comparison of coefficient of water absorption between cement mortar and epoxy resin mortars

Item	Mixing ratio	Coefficient of water absorption (% of dry wt.)	Ratio
Cement mortar	1 : 2.5	4.75	1.00
	1 : 2	0.12	0.03
	1 : 4	0.21	0.04
Epoxy resin mortar	1 : 6	0.76	0.16
	1 : 8	2.01	0.42
	1 : 10	6.09	1.28
	1 : 12	7.26	1.53
	1 : 14	8.65	1.82

한편, 3kg/cm<sup>2</sup>의 壓力일 때 에폭시 樹脂 모르터의 透水性을 시멘트 모르터와 比較한 바 Table-6과 같이 매우 낮게 나타났으나, 1:8 以下の 貧配合에서는 透水性이 急激히 增加하여 防水性이 良好하지 못함을 보여 주었다.

(4) 收縮性

에폭시 樹脂 모르터의 收縮性을 알아보기 위해 乾燥狀態와 濕潤狀態에서 길이 變形率을 試驗한 結果는 Figs. 4, 5와 같다.

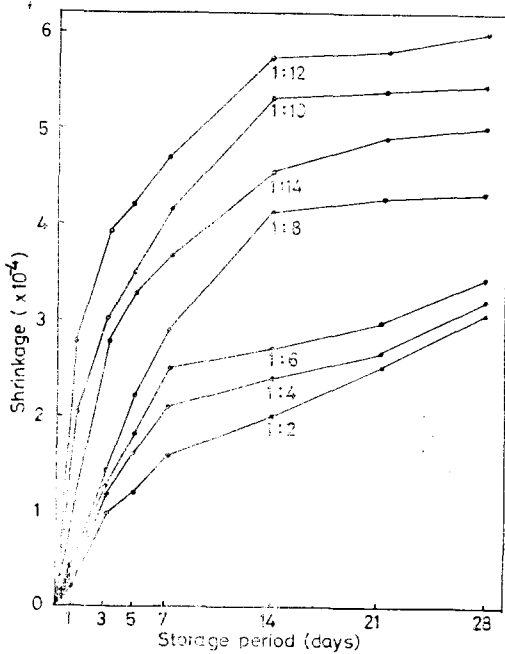


Fig. 4. Storage period versus shrinkage of epoxy resin mortars at air storage.

Table-6. Comparison of permeability between cement mortar and epoxy resin mortars at pressure of 3kg/cm<sup>2</sup>

Item	Mixing ratio	Amount of water permeability (g)	Ratio
Cement mortar	1 : 2.5	136.4	1.00
	1 : 2	1.0	0.01
	1 : 4	3.6	0.03
Epoxy resin mortar	1 : 6	7.2	0.05
	1 : 8	36.7	0.27
	1 : 10	73.6	0.54
	1 : 12	108.9	0.80
	1 : 14	127.0	0.93

貯藏期間에 따른 에폭시樹脂 모르터의 길이變形樣相은 Fig. 4에서와 같이 乾燥狀態일 경우 貯藏直後부터 14일까지는 急激히 收縮하나 그以後는 比較的 완만한 變形을 보였다. 이것은 Ohama<sup>11)</sup>가 폴리에스터樹脂의 硬化乾燥收縮이 14日에서 거의 一定하다고 한 報告와 接近되는 結果라 하겠다. 또 Fig. 5에서와 같이 濕潤狀態일 경우 1:2~1:6의 配合比에서는 일단 膨脹을 한 다음 收縮했으며, 1:8~1:14의 配合比에서는 收縮을 보이지 않고

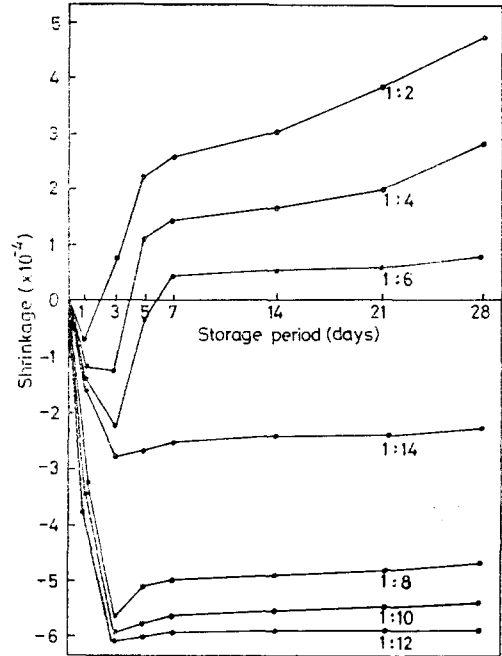


Fig. 5. Storage period versus shrinkage of epoxy resin mortars at moist storage.

續 膨脹狀態를 維持하고 있으나 그 量은 漸次 減少하는 傾向이었다. 特異한 것은 乾燥狀態에서와 달리 材齡 3日까지 急激한 膨脹을 일으키다가 그以後는 다시 收縮한다는 點이다.

또한, 乾燥狀態와 濕潤狀態에서 各各 28日間 貯藏하였을 때, 시멘트 모르터와 에폭시樹脂 모르터의 收縮率을 比較한 바 乾燥狀態의 貯藏에서는 시멘트 모르터의 0.30~0.56倍였으며, 濕潤狀態의 貯藏에서는 變動이 심하여 配合比 1:2, 1:4, 1:6에서는 시멘트 모르터의 1.05~6.49倍에 達했으나 1:8, 1:10, 1:12 및 1:14의 貧配合에서는 오히려 4.06~7.56倍로 膨脹하는 傾向을 보였다.

이와 같은 에폭시樹脂 모르터의 길이變形性으로부터 配合比가 1:2~1:6일 때는 乾濕의 影響을 작게 받으나 1:8~1:14일 때는 크게 影響을 알 수 있었다. 따라서, 乾濕이 反復되는 構造物에는 1:6 이상의 富配合으로 하는 것이 바람직하다고 할 수 있다.

## 2. 力學的 特性

### (1) 強度

에폭시樹脂 모르터의 強度特性을 究明하기 위하여 變形 材齡 28日인 시멘트 모르터의 壓縮, 휨, 引張強

Table-7. Comparison of compressive strength between cement mortar and epoxy resin mortars

Item	Mixing ratio	1 day		3 days		7 days	
		Strength (kg/cm <sup>2</sup> )	Ratio	Strength (kg/cm <sup>2</sup> )	Ratio	Strength (kg/cm <sup>2</sup> )	Ratio
Cement mortar	1 : 2.5	246*	1.0	246*	1.0	246*	1.0
	1 : 2	828	3.4	878	3.6	914	3.7
	1 : 4	769	3.1	831	3.4	865	3.5
Epoxy resin mortar	1 : 6	535	2.2	603	2.5	650	2.6
	1 : 8	395	1.6	435	1.8	474	1.9
	1 : 10	331	1.3	351	1.4	361	1.5
	1 : 12	281	1.1	301	1.2	314	1.3
	1 : 14	231	0.9	253	1.0	268	1.1

Note : \* Compressive strength of cement mortar at age of 28 days.

Table-8. Comparison of bending strength between cement mortar and epoxy resin mortars

Item	Mixing ratio	1 day		3 days		7 days	
		Strength (kg/cm <sup>2</sup> )	Ratio	Strength (kg/cm <sup>2</sup> )	Ratio	Strength (kg/cm <sup>2</sup> )	Ratio
Cement mortar	1 : 2.5	59*	1.0	59*	1.0	59*	1.0
	1 : 2	372	6.3	381	6.5	384	6.5
	1 : 4	309	5.2	339	5.7	347	5.9
Epoxy resin mortar	1 : 6	218	3.7	266	4.5	282	4.8
	1 : 8	192	3.3	215	3.6	229	3.9
	1 : 10	163	2.3	176	3.0	180	3.1
	1 : 12	133	2.3	143	2.4	146	2.5
	1 : 14	108	1.8	117	2.0	119	2.0

Note : \* Bending strength of cement mortar at age of 28 days.

Table-9. Comparison of splitting tensile strength between cement mortar and epoxy resin mortars

Item	Mixing ratio	1 day		3 days		7 days	
		Strength (kg/cm <sup>2</sup> )	Ratio	Strength (kg/cm <sup>2</sup> )	Ratio	Strength (kg/cm <sup>2</sup> )	Ratio
Cement mortar	1 : 2.5	29*	1.0	29*	1.0	29*	1.0
	1 : 2	152	5.2	168	5.8	175	6.0
	1 : 4	135	4.7	147	5.1	150	5.2
Epoxy resin mortar	1 : 6	105	3.6	120	4.1	128	4.4
	1 : 8	73	2.5	85	2.9	91	3.1
	1 : 10	56	1.9	62	2.1	64	2.2
	1 : 12	46	1.6	50	1.7	51	1.8
	1 : 14	34	1.2	38	1.3	40	1.4

Note : \* Splitting tensile strength of cement mortar at age of 28 days.



度 試驗結果를 材令 1, 3, 7日인 에폭시 樹脂 모르터의 그것들과 比較한 바 Tables-7, 8, 9와 같다.

이 같은 結果에서 볼 수 있듯이 全體적으로 에폭시 樹脂 모르터는 시멘트 모르터에 比較하여 壓縮強度가 높지만 특히 韌 및 引張強度가 높은 것은 硬化한 樹脂 自體가 강한 韌 및 引張性을 發揮하기 때문이라 생각되며, 나아가서 에폭시 樹脂 콘크리트를 韌 및 引張部材로 使用할 경우 시멘트 콘크리트보다 力學的으로 훨씬 유리함을 보여주는 結果라 하겠다.

그러나, 配合비가 1:14일 때는 시멘트 모르터의 強度와 차이가 작아 큰 效果를 기대하기 어렵지만, 1:12부터는 比較的 높은 強度를 보이기 때문에 高強度를 요구하지 않는 단순한 시멘트 콘크리트 補修用 모르터라면 1:12의 貧配合으로도 可能하다고 보며, 이를 施工할 때는 附着力 增進을 위해 舊 콘크리트와의 接着部分에 에폭시 樹脂를 얇게 바르고 (tack coat) 打設하는 것이 効果的이라고 하겠다.

또한 에폭시 樹脂 모르터의 配合비와 材令에 따른 壓縮, 韌, 引張強度 試驗 結果를 圖示하면 Figs. 6, 7, 8과 같으며, 이들의 多重回歸方程式을 구하면 Table-10과 같다.

이 結果에서 材令에 따른 強度의 變化樣相을 살펴보면 材令의 增加에 따라 壓縮, 韌, 引張強度가

모두 增加하는 傾向이었으나 1日以後의 強度增加가 완전히 나타남으로써 역시 強度의 大部分이 初期에 發現됨을 알 수 있었다.

이와 같은 것은 에폭시 樹脂의 빠른 硬化反應에 基因한다고 볼 수 있는데, 시멘트 모르터의 경우도 強度가 養生溫度에 영향을 받지만<sup>5)</sup> 熱硬化性인 에폭시 樹脂는 그것보다 훨씬 민감하기 때문이다. 따

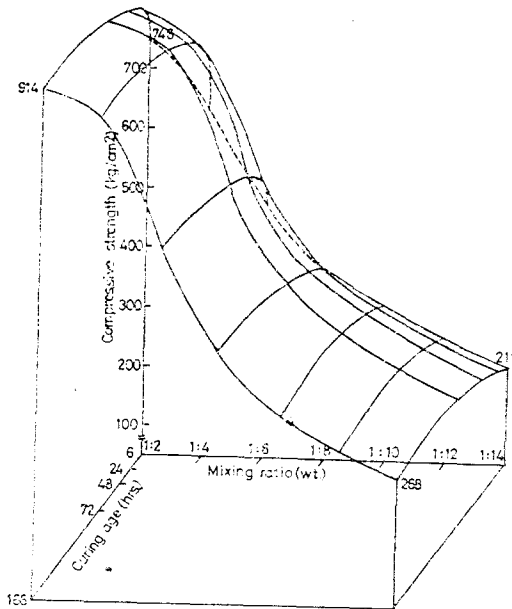


Fig. 6. Relationship among the compressive strength, mixing ratio and curing age on epoxy resin mortars.

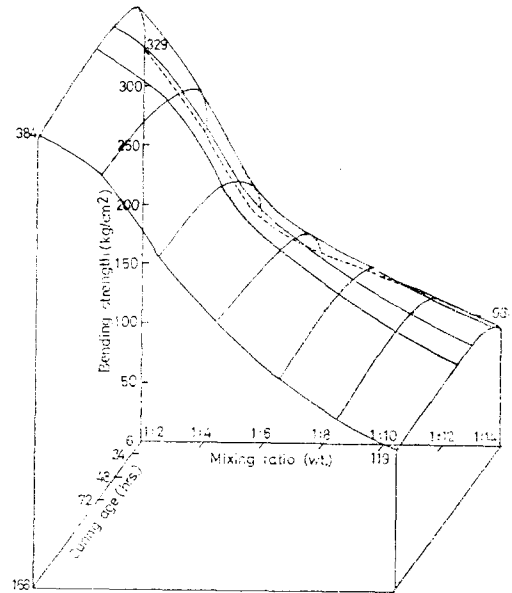


Fig. 7. Relationship among the bending strength, mixing ratio and curing age on epoxy resin mortars.

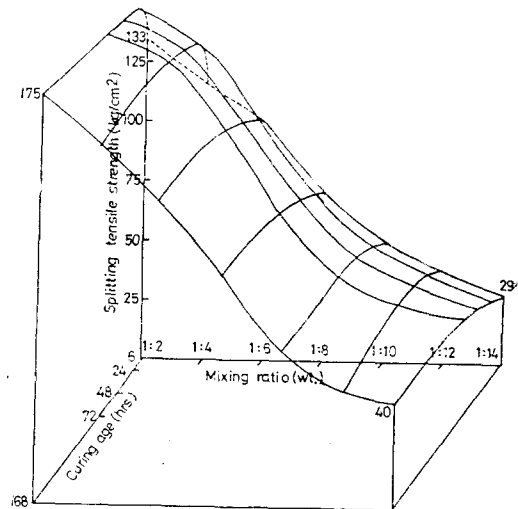


Fig. 8. Relationship among the splitting tensile strength, mixing ratio and curing age on epoxy resin mortars.

Table-10. Multiple regression equations of strength as a function of mixing ratio and curing times

Item	Equation	R <sup>2</sup>
Compressive strength	$\sigma_c = 620.73 - 64.116M + 11.393T - 0.71094MT$ $+ 2.2385M^2 - 0.05017T^2 + 0.0031867MT^2$	0.920**
Bending strength	$\sigma_b = 324.78 - 33.065M + 3.4842T - 0.18978MT$ $+ 1.1319M^2 - 0.015336T^2 + 0.00084415MT^2$	0.965**
Splitting tensile strength	$\sigma_t = 117.81 - 11.245M + 2.0215T - 0.12232MT$ $+ 0.0357M^2 - 0.0088523T^2 + 0.00054329MT^2$	0.940**

Notes : M—Mixing ratio(wt.)  $2 \leq M \leq 14$   
T—Curing age(hrs.)  $6 \leq T \leq 168$

로서, 加熱에 의해 硬化時間의 短縮이 可能하여 짧은 工事期間을 要하는 構造物의 施工에 適合하다고 하겠으나 溫度가 너무 높은 條件下에서 硬化시키면 오히려 強度가 低下하는 경향이 있으므로 硬化溫度를 지나치게 높게 하는 것은 바람직하지 못하다.<sup>43)</sup>

그리고, 硬化한 에폭시 樹脂 모르터의 휨 強度(y)와 壓縮強度(x)의 關係式은  $y = 0.3947x + 24.04$  ( $r = 0.991**$ ), 引張強度(y)와 壓縮強度(x)의 關係式은  $y = 0.1948x - 6.74$  ( $r = 0.996**$ )이며, 引張強度(y)와 휨 強度(x)의 關係式은  $y = 0.4867x - 17.09$  ( $r = 0.985**$ )로서 모두 高度의 有意性을 가지고 있었다.

한편, 에폭시 樹脂 모르터의 平均強度比를 求하여 본 바,  $\sigma_b/\sigma_c = 1/2.21$ ,  $\sigma_t/\sigma_c = 1/5.68$ ,  $\sigma_t/\sigma_b = 1/2.25$ 로서 시멘트 콘크리트의 強度比<sup>45)</sup>인  $\sigma_b/\sigma_c = 1/4 \sim 1/6$ ,  $\sigma_t/\sigma_c = 1/8 \sim 1/12$ ,  $\sigma_t/\sigma_b = 1/1.8 \sim 1/2.0$ 과 比較하여 보면  $\sigma_b/\sigma_c$  및  $\sigma_t/\sigma_c$ 가 상당한 差異를 보이고 있어 역시 에폭시 樹脂 모르터는 시멘트 모르터 보다 壓縮強度도 크지만 휨 強度나 引張強度가 더욱 크다는 것을 立證하여 주고 있다.

(2) 應力-變形度

1) 彈性係數

에폭시 樹脂 모르터와 시멘트 모르터의 應力-變形度 關係를 圖示하면 Fig. 9와 같으며,  $1/2 \sigma_c$ 의 彈性係數(secant modulus)를 求한 結果는 Table-11과 같다.

Table-11에서와 같이 에폭시 樹脂 모르터의 彈性係數는 配合比 1:4, 1:8, 1:12에서 모두 시멘트 모르터의 그것보다 작았으며, 이 彈性係數는 Broniewski 등,<sup>7)</sup> 大浜等<sup>72)</sup> 및 日本콘크리트工學協會<sup>65)</sup>의 發表內容과 부합되는 값이다.

이처럼 시멘트 모르터보다 에폭시 樹脂 모르터의

彈性係數가 작은 것은 變形성이 큰 材料임을 나타내 주는 結果라고 하겠다.

Table-11. Comparison of static elastic modulus between cement mortar and epoxy resin mortars

Item	Mixing ratio	Static elastic modulus ( $\times 10^4 \text{kg/cm}^2$ )	Ratio
Cement mortar	1 : 2.5	19.5	1.00
Epoxy resin mortar	1 : 4	18.2	0.93
	1 : 8	17.3	0.89
	1 : 12	16.4	0.84

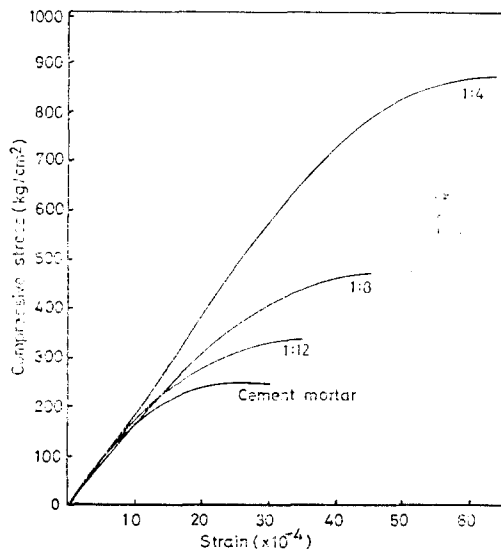


Fig. 9. Compressive stress-strain curves for cement mortar and epoxy resin mortars.

**Table-12. Comparison of toughness between cement mortar and epoxy resin mortars**

Item	Mixing ratio	Toughness ( $\times 10^4 \text{kg}\cdot\text{cm}/\text{cm}^2$ )	Ratio
Cement mortar	1 : 2.5	7280	1.0
Epoxy resin mortar	1 : 4	58500	8.0
	1 : 8	22795	3.1
	1 : 12	11730	1.6

2) 靱性

Fig. 9의 應力-變形度 曲線에서 求한 에폭시 樹脂 모르타르의 靱성을 시멘트 모르타르와 比較한 바 Table-12에서와 같이 매우 우수한 靱성을 가진 것으로 나타났다.

(3) 衝擊抵抗

에폭시 樹脂 모르타르의 衝擊抵抗 試驗을 한 바, 配合比 1 : 2인 에폭시 樹脂 모르타르의 衝擊抵抗은 시멘트 모르타르에 比較하여 板狀에서 7.5倍, 圓柱形에서 6.0倍였고, 角柱形에서는 53倍의 靱衝擊抵抗을 보였으며, 가장 貧配合인 1 : 14에서도 시멘트 모르타르보다 커서 各各 2.5, 2.0, 2.7倍나 되었다.

이렇게 에폭시 樹脂 모르타르의 衝擊抵抗이 시멘트 모르타르보다 크다는 것은 變形에너지를 많이 吸收할 수 있는 靱성을 가졌기 때문이라 생각되며, 다른 研究結果<sup>26,68,70</sup>)와 比較할 때 시멘트 모르타르보다 耐衝擊性이 우수하다는 것은 共通의이지만 試驗方法이 다르기 때문에 相對的인 比較는 困難하다.

3. 磨耗性

(1) 硬度

에폭시 樹脂 모르타르와 시멘트 모르타르의 브리넬 硬度를 試驗하여 比較한 바 Table-13에서와 같이 比較的 높게 나타났다.

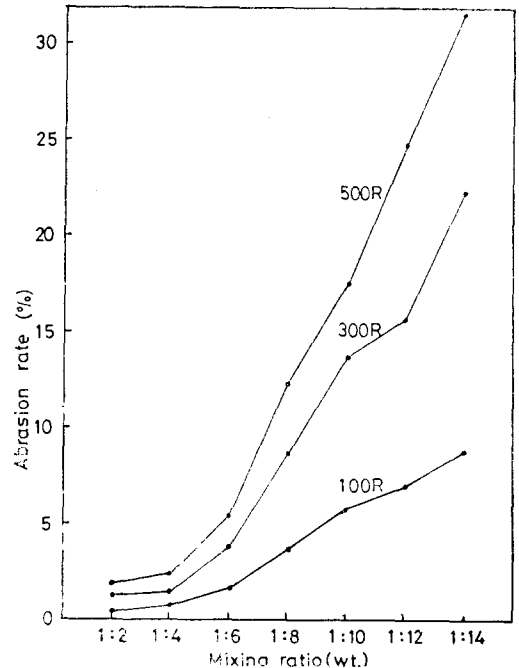
(2) 磨耗率

에폭시 樹脂 모르타르의 磨耗率 試驗 結果는 Fig. 10과 같다.

이 結果에서 에폭시 樹脂 모르타르의 磨耗率이 配合比 1 : 2, 1 : 4에서는 매우 작았으나 이보다 貧配合으로 될수록 急激한 增加를 보였고, 回轉數의 增加에 따른 磨耗率의 差異도 역시 貧配合일 수록 컸다. 또한, 에폭시 樹脂 모르타르의 磨耗率은 配合比에 따라 큰 差異를 보여 500回轉시켰을 경우, 配合比 1 : 2, 1 : 4, 1 : 6에서 各各 1.92%, 2.07%,

**Table-13. Comparison of hardness between cement mortar and epoxy resin mortars**

Item	Mixing ratio	Brinell hardness number	Ratio
Cement mortar	1 : 2.5	11.6	1.0
Epoxy resin mortar	1 : 2	31.2	2.7
	1 : 4	28.4	2.4
	1 : 6	24.6	2.1
	1 : 8	19.8	1.7
	1 : 10	14.9	1.3
	1 : 12	12.3	1.1
	1 : 14	11.2	0.9



**Fig. 10. Abrasion rate versus mixing ratio for epoxy resin mortars.**

5.17%로 매우 작았고, 이보다 貧配合이 될수록 점차 增加되어 1 : 14에서는 31.41%에 達했으나 시멘트 모르타르의 마모율인 57.01% 보다는 낮은 값이었다.

특히, 에폭시 樹脂 모르타르의 磨耗率은 시멘트 콘크리트用 鑄은 골재의 限界磨耗率인 40% 보다도 낮은 값으로서 耐磨耗性이 매우 우수함을 보여주는 結果라고 하겠다.

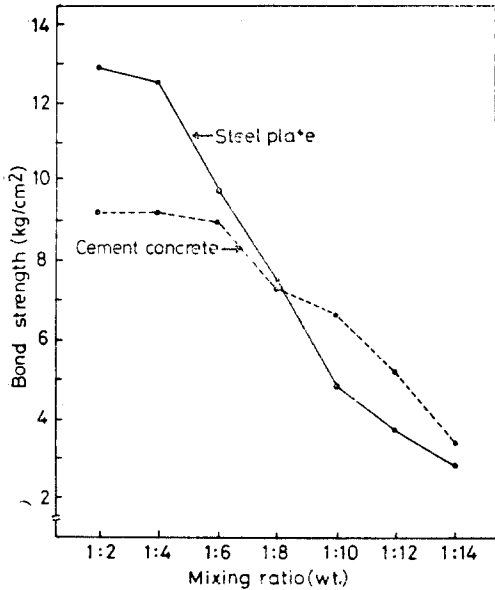


Fig. 11. Bond strength versus mixing ratio of epoxy resin mortars.

4. 接着性

配合비에 따른 鋼板과 시멘트 콘크리트에 대한 에폭시 樹脂 모르타르의 接着强度 試驗 結果는 Fig. 11과 같다.

이 結果에서 同一한 配合비라도 1:8보다 富配合일 때는 鋼板에 對한 接着强度가 훨씬 높았고, 이 보다 貧配合일 때는 시멘트 콘크리트 벽돌에 대한 接着强度가 더 높게 나타났다.

또한, 鋼板과 시멘트 콘크리트 벽돌에 대한 接着强度는 모두 시멘트 모르타르 보다 높게 나타나 다른 研究結果<sup>12,27,40,66</sup>와 마찬가지로 接着性이 우수함을 確認할 수 있었다. 破壞는 鋼板인 경우 配合비 1:2 ~ 1:4까지는 接着 에폭시 樹脂 모르타르 部分에서, 1:6~1:14까지는 接着界面에서 일어났으며, 시멘트 콘크리트인 경우 配合비 1:2~1:6까지는 被着體 部分에서, 1:8~1:14까지는 接着界面에서 일어났다.

이렇게 볼 때, 被着體가 시멘트 콘크리트인 경우 1:2~1:6에서 板에 대한 接着强度보다 顯著히 낮게 나타난 것은 에폭시 樹脂 모르타르의 충분한 接着으로 强度가 약한 시멘트 콘크리트 部分에서 破壞되었기 때문이라고 생각된다. 反面에 1:8~1:14까지는 똑같이 接着界面에서 破壞되었지만 鋼板에 대한 接着性보다 약간 강하게 나타난 것은 接着面의

粗度에 基因하는 것으로 判斷된다.

따라서, 接着用 에폭시 樹脂 모르타르는 적어도 接着界面에서 破壞가 일어나지 않아야 하므로 被着體가 鋼板이면 1:4, 시멘트 콘크리트이면 1:6 보다 富配合으로 하는 것이 效果의이라 하겠다.

이때 注意를 要하는 것은 吸水狀態에 있는 被着體의 接着에는 강한 附着性能을 發揮하지 못하는 것이 이 Epi-Bis型 에폭시 樹脂의 큰 短點이므로 充分히 乾燥시킨 다음에 施工하여야 한다.

5. 耐熱性

(1) 色相 및 重量 變化

加熱溫度에 따른 에폭시 樹脂 모르타르의 色相 變化를 調査한 바 加熱溫度 40°C까지는 色相 變化가 없이 本來의 透明한 회색을 그대로 보였으나, 60~100°C 加熱時는 황갈색으로 變하였고, 120°C 加熱時는 配合비에 따라 각각 진한 갈색 계통의 色相으로 變하였으며, 가스도 發生되었다.

그리고, 熱을 받은 에폭시 樹脂 모르타르의 重量은 加熱溫度가 높아질수록 減少되었다. 이것은 氣乾狀態의 重量과 熱處理 直後의 重量을 配合비別로 測定하여 그 平均値를 比較한 것으로서, 80°C까지의 重量 減少는 水分의 증발에 基因하는 것이라 생각되며, 100°C 이상에서는 에폭시 樹脂의 炭化 때문

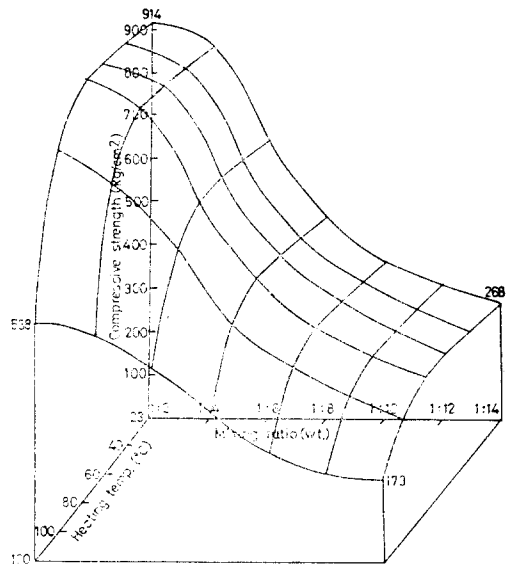


Fig. 12. Relationship among the compressive strength, mixing ratio and heating temperature on epoxy resin mortars under heat exposure.

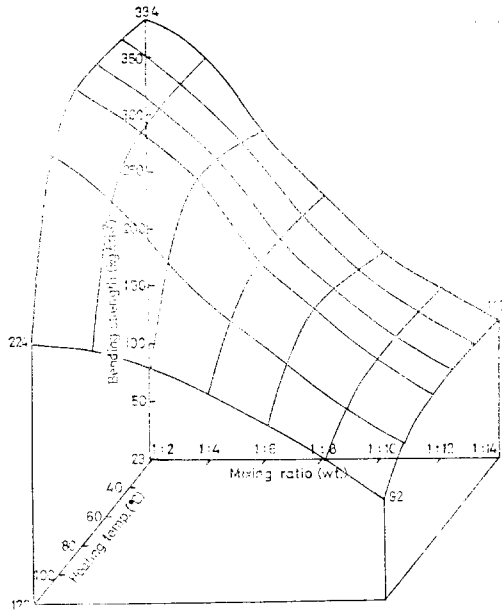


Fig. 13. Relationship among the bending strength, mixing ratio and heating temperature on epoxy resin mortars under heat exposure.

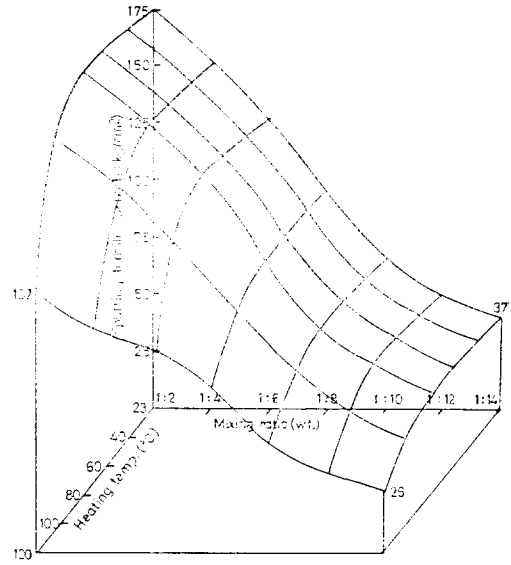


Fig. 14. Relationship among the splitting tensile strength, mixing ratio and heating temperature on epoxy resin mortars under heat exposure.

Table-14. Multiple regression equations of strength as a function of mixing ratio and heating temperature

Item	Equation	R <sup>2</sup>
Compressive strength	$\sigma_c = 929.12 - 105.73M + 12.394H - 0.467MH + 3.9489M^2 - 0.11620H^2 - 0.019643M^2H + 0.0068358MH^2$	0.982**
Bending strength	$\sigma_b = 358.37 - 31.511M + 4.847H - 0.17385MH + 0.97068M^2 - 0.04691H^2 - 0.010051M^2H + 0.0030261MH^2$	0.984**
Splitting tensile strength	$\sigma_t = 167.70 - 16.219M + 2.1975H - 0.10693MH + 0.46974M^2 - 0.020493H^2 - 0.003034M^2H + 0.0013716MH^2$	0.987**

Notes : M—Mixing ratio(wt.)  $2 \leq M \leq 14$   
 H—Heating temp.(°C)  $23 \leq H \leq 120$

인 것으로 判斷된다.

(2) 强度變化

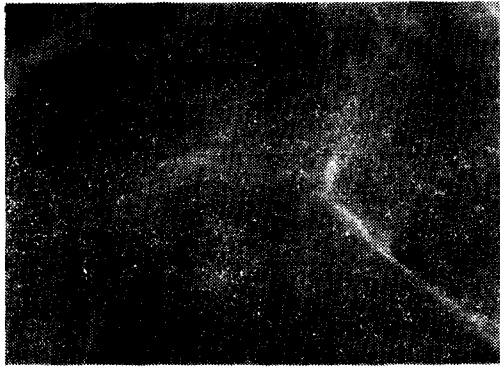
加熱溫度에 따른 에폭시 樹脂 모르타의 配合比別 壓縮, 휨, 引張強度를 試驗한 結果는 Figs. 12, 13, 14와 같으며, 配合比와 加熱溫度에 따른 壓縮, 휨, 引張強度의 多重回歸方程式은 Table-14와 같다.

이 結果에서 加熱溫度 80°C까지는 에폭시 樹脂 모르타의 壓縮, 휨, 引張強度가 緩慢하게 增加했으나 이보다 高溫으로 되면 급격히 減少하는 傾向을 보였다. 따라서, 에폭시 樹脂 모르타의 耐熱溫度는

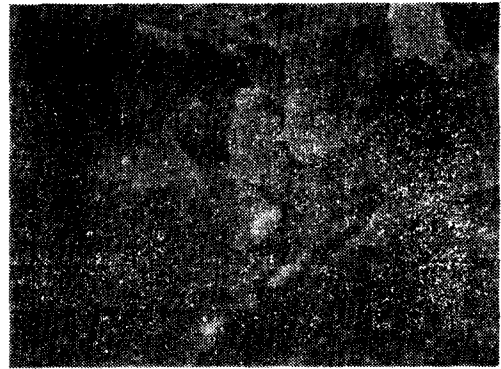
約 80°C로서 시멘트 모르타 보다 현저히 熱에 弱했는데, 이 溫度는 Plecnik 等<sup>52)</sup>이나 日本土木學會<sup>60)</sup>의 報告內容과도 一致된다. 이와 같이 에폭시 樹脂 모르타가 熱에 약하기는 하지만 높은 耐熱性이 要求되지 않는 農業施設이나 其他 土木構造物用 材料로는 支障이 없다고 하겠다.

(3) 組織構造變化

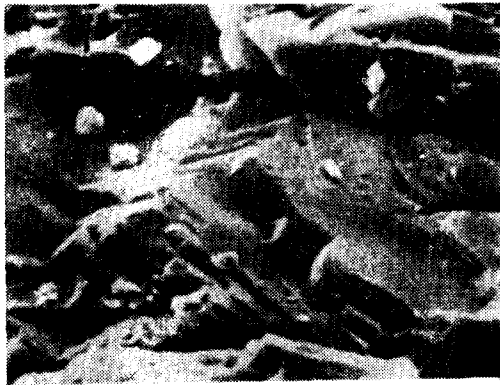
熱處理된 에폭시 樹脂 모르타의 組織構造 變化를 走査電子顯微鏡으로 觀察한 結果는 Figs. 15, 16과 같다.



(a) 1:2



(a) 1:2



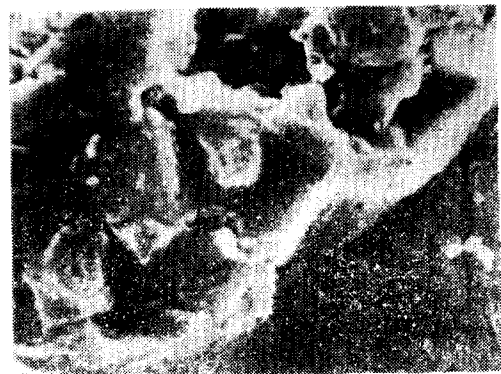
(b) 1:4



(b) 1:4



(c) 1:6



(c) 1:6

Fig. 15. Microscopic texture of epoxy resin mortars without heat exposure( $\times 3,600$ ).

Fig. 16. Microscopic texture of epoxy resin mortars under heat exposure at  $120^{\circ}\text{C}$  for 24 hrs( $\times 3,600$ ).

Table-15. Test results of susceptibility to chemical attack

Classification	Medicinal fluid	Item	Mixing ratio	Weight loss (%)				Change of shape
				2weeks	4weeks	6weeks	8weeks	
Inorganic acid	HCl (10%)	Cement mortar	1 : 2.5	-29.35	-30.26	-32.59	-32.61	Brown, Obvious corrosion
		Epoxy resin mortar	1 : 4	+ 0.24	+ 0.21	+ 0.18	+ 0.17	—
			1 : 8	+ 4.22	+ 1.50	- 0.68	- 1.42	Rough surface
			1 : 12	- 1.91	- 8.64	-12.36	-12.86	Corrosion
Organic acid	CH <sub>3</sub> COOH (10%)	Cement mortar	1 : 2.5	-15.33	-19.03	-23.90	-26.92	Obvious corrosion
		Epoxy resin mortar	1 : 4	+ 0.67	+ 0.05	+ 0.01	+ 0.09	Rough surface
			1 : 8	-27.70	-100.0	-100.0	-100.0	Complete collapse at 14 days
			1 : 12	-100.0	-100.0	-100.0	-100.0	Complete collapse at 7 days
Alkali	NaOH (10%)	Cement mortar	1 : 2.5	+ 0.15	- 0.64	- 0.80	- 0.95	Rough surface
		Epoxy resin mortar	1 : 4	+ 0.21	+ 0.21	+ 0.24	+ 0.27	—
			1 : 8	+ 0.07	- 0.14	- 1.16	- 1.43	Rough surface
			1 : 12	- 1.02	- 1.60	- 5.68	- 6.98	Corrosion
Salts	MgSO <sub>4</sub> (Saturated)	Cement mortar	1 : 2.5	+ 0.34	- 0.07	- 0.59	- 0.81	Rough surface
		Epoxy resin mortar	1 : 4	+ 0.20	+ 0.20	+ 0.21	+ 0.34	—
			1 : 8	+ 2.68	+ 1.88	+ 1.65	+ 1.56	—
			1 : 12	+ 4.35	- 4.97	-15.74	-23.03	Obvious corrosion

Fig. 15는 1:2, 1:4, 1:6인 에폭시 樹脂 모르타의 熱處理前 組織構造를 高倍率로 撮影한 것으로서 結晶狀態를 뚜렷이 보이고 있는데 비해, Fig. 16은 配合比 1:2, 1:4, 1:6인 모르타를 120°C에서 24時間 熱處理한 組織構造를 高倍率로 撮影한 것으로서 에폭시 樹脂의 炭化로 인한 組織構造의 破壞現象을 잘 나타내주고 있다. 即, 熱處理前 組織構造는 매우 치밀하고 銳利하게 되어 있으나 熱處理後의 組織構造는 Fig. 15에 비하여 그 結晶이 매우 緩慢하게 되어 있고, 氣泡로 보이는 작은 空隙이 많이 發生되어 있음을 알 수 있는데, 이러한 것이 加熱로 인한 組織構造 變化의 證劔라고 생각된다. 이와 같은 變狀은 에폭시 樹脂 모르타의 重量, 色相, 強度 등의 變化와도 密接한 關聯이 있을 것으로 思料된다.

### 6. 耐藥品性

에폭시 樹脂 모르타의 無機酸, 有機酸, 알칼리, 鹽類 등에 대한 耐藥品性を 試驗한 바 Table-15와 같다.

이 結果에서 시멘트 모르타의 酸에 약했고, 다른 藥品에 대해서도 약간의 重量과 形狀變化가 있었던

데 비하여 配合比 1:4인 에폭시 樹脂 모르타는 모든 藥品에 대해 重量이나 形狀變化를 거의 보이지 않았다.

그러나, 配合比 1:8 및 1:12 에폭시 樹脂 모르타는 그 變化가 심하였는데, 특히 有機酸에 약하여 1:8인 경우는 浸漬後 14日, 1:12인 경우는 浸漬後 7日에서 完全히 崩壞되었다.

이와 같은 試驗 結果는 에폭시 樹脂 콘크리트나 모르타의 耐藥品성에 관한 報告<sup>2,89,44,89,75,110</sup>들과 큰 차이가 없는 것으로서, 同一한 材料의 에폭시 樹脂 모르타라도 配合비에 따라 耐藥品성이 크게 달라진다는 事實을 確認할 수 있었다. 따라서, 耐藥品성이 要求되는 構造물에 貧配合의 에폭시 樹脂 모르타를 使用하면 시멘트 모르타 보다도 不利할 경우가 있으므로 1:4 以下의 富配合으로 하는 것이 効果的이라 하겠다.

## IV. 結 論

이 研究는 配合비에 따른 에폭시 樹脂 모르타의 特性을 시멘트 모르타와 實驗的으로 比較하여 究明함으로써, 에폭시 樹脂 모르타의 合理的인 利用을

위한 基礎資料를 마련하는데 그 目的이 있다.

試驗에 使用한 에폭시 樹脂는 콘크리트 구조물용으로 汎用化되어 있는 Epi-Bis型 에폭시 樹脂이며, 에폭시 樹脂 모르터는 樹脂와 잔골재의 配合比를 1:2, 1:4, 1:6, 1:8, 1:10, 1:12 및 1:14로 하였고, 比較用 시멘트 모르터는 시멘트와 잔골재의 配合比를 1:2.5로 하였다.

이 研究에서 얻어진 結果를 要約하면 다음과 같다.

1. 密度는 配合比 1:6에서  $2.01\text{g/cm}^3$ 으로 가장 크게 나타났으나, 시멘트 모르터의 密度  $2.13\text{g/cm}^3$ 보다는 작았다.

2. 吸水率 및 透水試驗 結果, 配合比 1:2부터 1:6까지는 水密性이 큰 편으로 나타났지만, 이보다 貧配合이면 急激히 低下되므로 높은 水密性이 要求되는 構造物에서는 1:6 보다 富配合으로 하는 것이 効果的이라고 하겠다.

3. 硬化收縮은 貧配合일수록 컸으나 시멘트 모르터에 비해서는 顯著히 작았다. 또한, 乾濕에 따른 收縮率의 變化가 配合比 1:2부터 1:6까지는 작았으나, 이보다 貧配合이면 매우 심하게 나타나 乾濕이 反復되는 構造物에는 적어도 1:6 以下の 富配合으로 하는 것이 바람직하다고 생각된다.

4. 壓縮, 휨, 引張強度(材令 7日)는 매우 強하여 극히 貧配合인 1:14에서도 시멘트 모르터(材令 28日)에 비해 높았는데, 특히 휨強도와 引張強도가 더 우수한 것으로 나타났으며, 24時間 以內的 初期 強度가 매우 높아 速硬性임을 알 수 있었다. 또한, 配合比와 材令에 따라 各 強度를 推定할 수 있는 多重回歸方程式도 誘導되었다.

5. 彈性係數는 시멘트 모르터 보다 다소 작았으며, 靱性은 시멘트 모르터에 비해 매우 큰 것으로 나타났다.

6. 衝擊抵抗은 시멘트 모르터에 비해 모든 配合比에서 컸으며, 특히 板狀 供試體나 圓柱形 供試體에 대한 衝擊抵抗 보다도 角柱形 供試體에 대한 휨 衝擊抵抗이 顯著하게 높았다.

7. 브리넬 硬度는 시멘트 모르터보다 比較的 컸으나 貧配合으로 휨에 따라 減少하여 1:14에서는 시멘트 모르터와 거의 비슷한 값을 보였다.

8. 磨耗率은 配合比 1:2부터 1:14까지 모두 콘크리트용 골재의 限界磨耗率 40%보다 훨씬 낮게 나타나 에폭시 樹脂 모르터의 耐磨耗性이 매우 우수함을 알 수 있었으며, 磨耗率과 브리넬 硬度는 指數曲線狀으로서 高度의 有意的인 關係를 가지고

있었다.

9. 接着強度는 그 最大値가 配合比 1:2에서  $12.9\text{kg/cm}^2$ 이었으며, 被着體와 에폭시 樹脂의 接着界面 砂壤를 防止할 수 있는 限界配合比는 鉛板인 경우 1:4, 시멘트 콘크리트인 경우 1:6으로 나타났다.

10. 加熱에 의한 色相의 變化는  $60^\circ\text{C}$ 에서 일어나  $120^\circ\text{C}$ 가 되면 매우 심하였다. 또한, 壓縮, 휨 및 引張強度가 모두  $80^\circ\text{C}$ 까지는 약간의 增加를 보이다가 이를 넘으면 急激히 低下하였다. 따라서, 耐熱溫度는 약  $80^\circ\text{C}$ 로서 比較的 낮다고 할 수 있으나 耐熱性이 크게 要求되지 않는 構造物에는 아무런 支障이 없을 것이다. 이밖에 配合比와 加熱溫度에 따라 各 強度를 推定할 수 있는 多重回歸方程式도 誘導되었다.

11. 耐藥品性은 시멘트 모르터가 有機酸과 無機酸에 매우 弱한데 비해, 配合比 1:4인 에폭시 樹脂 모르터는 모든 化學藥品에 比較的 強하였다. 그러나, 에폭시 樹脂 모르터도 1:8보다 貧配合일 때는 耐藥品性이 좋지 않았으며, 특히 有機酸에 弱하였다.

## 參 考 文 獻

1. ACI (1980) : Polymer in Concrete. ACI Manual of Concrete Practice(Part 5), 548 (1—7).
2. ———, (1980) : Use of Epoxy Compounds with Concrete. ACI Manual of Concrete Practice (Part 5), 503 (1—32).
3. ———, (1982) : Application of Polymer Concrete. Journal of the ACI, 179(4), 306—308.
4. Ayyar, R.S. and Deshpande, S.N. (1981) : Creep Studies on Polymer Mortars. Proceedings of the Third International Congress on Polymers in Concrete, 504—523.
5. Bartholomew, J., Fowler, D.W. and Paul, D.R. (1978) : Current Status of Bridge Deck Impregnation. Proceedings of the Second International Congress on Polymers in Concrete, 399—412.
6. Brockenbrough, T.W. and Patterson, D.N. (1982) : Fiber Reinforced Methacrylate Polymer Concrete. Journal of the ACI, 79(4),



- 322—325.
7. Broniewski, T., Jamroj, Z. and Kapko, J. (1975) : Long Life Strength Polymer Concrete. Proceedings of the First International Congress on Polymer Concrete. Proceedings of the First International Congress on Polymer Concretes, 179—184.
  8. Browne, R.D., Adams, M. and French, E.L. (1975) : Experience in the Use of Polymer Concrete in Building and Construction Industry. Proceedings of the First International Congress on Polymer Concretes, 433—447.
  9. Burlison, J.D., Long, C.G., Armenlades C.D. and Krahl, N.W. (1978) : An Investigation of Properties of Polymer Concrete. ACI Publication SP—58, 1—19.
  10. Chen, W. and Jorgensen, E.D. (1973) : Stress-Strain Properties of Polymer Modified Concrete. ACI Publication SP—40, 347—358.
  11. Chongzhou, S. (1981) : PIC Application to Spillways of Gezhoba Project. Proceedings of the Third International Congress on Polymers in Concrete, 1097—1107.
  12. Chung, H.W. (1975) : Epoxy-Repaired Reinforced Concrete Beams. Journal of the ACI, 72(5), 233—234.
  13. ———, and Lui, L.M. (1977) : Epoxy-Repaired Concrete Joints. Journal of the A CI, 74(6), 264—267.
  14. ———, (1981) : Epoxy Repair of Bond in Reinforced Concrete Members. Journal of the ACI, 78(6), 79—82.
  15. Cusens, A.R. and Smith, D.W. (1980) : A Study of Epoxy Resin Adhesive Joint in Shear. The Structural Engineer, 58 A(1), 13—18.
  16. Czarnecki, L. (1981) : Expensive Resin Concrete—Some Fundamental Questions. Proceedings of the Third International Congress on Polymers in Concrete, 744—756.
  17. ———, and Broniewski, T. (1981) : Resin Concrete and Polymer Impregnated Concrete—A Comparative Study. Proceedings of the Third International Congress on Polymers in Concrete, 99—110.
  18. Davydov, S.S., Chebanenko, A.I., Fantalove, A.M. and Kluckin, V.I. (1981) : Armoured Polymeric Concrete Bearing Structures for Industrial Construction. Proceedings of the Third International Congress on Polymers in Concrete, 832—844.
  19. Depuy, G.W. (1981) : Standardization of Tests for Concrete Polymer Materials. Proceedings of the Third International Congress on Polymers in Concrete, 111—122.
  20. Dikeou, J.T. (1975) : Review of World-wide Development and Use of Polymers in Concrete. Proceedings of the First International Congress on Polymers Concretes, 2—8.
  21. Edmeades, R.M. and Hewlett, P.C. (1975) : Developments in Plasticised Concrete. Proceedings of the First International Congress on Polymer Concretes, 420—432.
  22. Eldarwish, I.A. and Shehata, M.E. (1981) : Structural Properties of Concrete-Polymer Materials. Proceedings of the Third International Congress on Polymers in Concrete, 56—67.
  23. Ergun, K. (1981) : Polymer-Concrete Composites. Polymer Engineering and Science 21(8), 507—509.
  24. Fowler, D.W., Meyer, A.H. and Paul, D.R. (1981) : Low Temperature Curing of Polymer Concrete. Proceedings of the Third International Congress on Polymers in Concrete, 421—434.
  25. Gorchakov, G.I., Orentliher, L.P. [and Loganina, V.I. (1981) : Adhesion Strength of Polymeric and Polymer-Cement Compounds to Concrete. Proceedings of the Third International Congress on Polymers in Concrete, 410—418.
  26. Houston, A.M. (1972) : Epoxies offer Improved Toughness, Heat Resistance. Materials Engineering, 82(2), 24—26.
  27. Hugenschmidt, F. (1975) : Epoxy Adhesives for Concrete and Steel. Proceedings of the First International Congress on Polymer Concretes, 195—209.

28. 黃慶九, 辛逸善(1978) : 콘크리트補修方法(US BR). 韓國農工學會誌, 20(2), 7—11.
29. Iino, T. and Otokawa, K. (1981) : Application of Epoxy Resins in Strengthening of Concrete Structures. Proceedings of the Third International Congress on Polymers in Concrete, 1262—1276.
30. Matsuura, T. and Konaka, T. (1981) : Quick Setting Resin Mortar. Proceedings of the Third International Congress on Polymers in Concrete, 584—598.
31. Imamura K., Nakano M., and Tsuji K. (1981) : Resin Concrete Products in NTT. Proceedings of the Third International Congress on Polymers in Concrete, 88—98.
32. ———, ———, ———, (1981) : Resinforced Resin Concrete in NTT. Proceedings of the Third International Congress on Polymer in Concrete. 572—583.
33. Inoue, S. (1975) : Durabilities of Cold Setting Epoxy Resin Mortars. Proceedings of the First International Congress on Polymer Concretes, 191—194.
34. ———, (1981) : Reactivity and Fluidity of Liquid Epoxy Resins, and Fluidity of the Hardener. Proceedings of the Third International Congress on Polymers in Concrete, 1237—1247.
35. Jain, R.K., Singh, Y. and Rai, M. (1977) : Recent Trends of Research in Plastic Building Materials in India. Building and Environment, 277—280.
36. Johnson, R.P. (1970) : The Properties of an Epoxy Mortar and Its Use for Structural Joints. The Structural Engineer, 48(6), 227—233.
37. 姜斗煥, 林惠蘭(1981) : Siloxane-Epoxy Copolymer의 合成과 熱的性質에 관한 研究. 檀國大學校 論文集, 15, 565—575.
38. 加藤佳彦, 鈴木久雄(1974) : エポキシ樹脂の選定基準と使用技術, 『プラスチックマテリアル』, 15(2), 83—88.
39. 狩野春一(1973) : プラスチックコンクリートの建築への利用について. 『コンクリート・ジャーナル』, 11(4), 1—2.
40. 木村哲男(1973) : レジンコンクリート製セグメント. 『コンクリート・ジャーナル』, 11(4), 92—95.
41. Kobayashi, K. and Ito, T. (1975) : Several Physical Properties of Resin Concrete. Proceedings of the First International Congress on Polymer Concretes, 236—240.
42. Koblischek, P. (1975) : Synthetic Resin-Bound Concrete. Proceedings of the First International Congress on Polymer Concretes, 409—419.
43. Kawakami, M., Tokuda, H. and Kagaya, M. (1981) : Durability of Resin Concrete Exposed to Strong Acid Hot Water. Proceedings of the Third International Congress on Polymers in Concrete, 524—537.
44. 金博允 譯(1979) : 에폭시 樹脂, 大光書林, 5—67.
45. 김창은, 김래홍(1974) : 高分子 시멘트 모르타르의 特性에 관한 연구. 『延世産技研論文集』, 5, 116—123.
46. 金生彬 外 2人(1980) : 鐵筋콘크리트工學, 慶文出版社, 22—37.
47. Koyanagi, W., Murai, N., Hayashi, F. and Ohno, S. (1981) : Stressess in Reinforcement and in Polyester Resin Concrete Generated by Setting Shrinkage. Proceedings of the Third International Congress on Polymers in Concrete, 553—566.
48. Kawano, T. (1981) : Studies on the Mechanism of Reducing Drying Shrinkage of Cement Mortar Modified by Rubber Latex. Proceedings of the Third International Congress on Polymers in Concrete 147—162.
49. Konaka, T., Okada, T., Matsuura, T. and Nojiri, Y. (1981) : Adhesion Strength of Resin Mortar in Water. Proceedings of the Third International Congress on Polymers in Concrete, 462—466.
50. Kukacka, L.E. (1973) : Perlite Polymer Concrete. ACI Publication SP—40, 173—189.
51. Lew, H.S. and Reichard, T.W. (1981) : Mechanical Properties of Concrete at Early Ages. Journal of the ACI, 75(10), 533—542.
52. Liu, T.C. and Husbands T.B. (1981) :

- Abrasion-Erosion Resistance of Polymer Concrete. Proceedings of the Third International Congress on Polymers in Concrete, 800—814.
53. Lonescu, I. and Enculescu, M. (1975) : High Strength Concrete with Synthetic Resin and No Mineral Binding Matter and Their Practical Application. Proceedings of the First International Congress on Polymer Concretes, 360—366.
54. Lott, J., Naus, and Howdyshell, P. (1973) : Polymer Concrete-Reinforced Concrete Composite Beams. ACI Publication SP—40, 295—318.
55. Maciejewska, W., Broniewski, T. and Jarmozy, Z. (1981) : Steel Fiber Reinforced Resin Concrete Pipes Obtained by Centrifugal Method. Proceedings of the Third International Congress on Polymers in Concrete, 845—859.
56. Makansi, I. and Reader, C.E.L. (1975) : Epoxy Water Slurry Mortars. Proceedings of the First International Congress on Polymer Concretes, 174—178.
57. Manning D.G. and Hope, B.B. (1975) : The Influence of Porosity and Partial Drying on Properties of Polymer Impregnated Mortar. ACI Publication SP—40, 191—203.
58. 間山正一(1975) : エポキシ樹脂モルタルの力學性狀. 道路建設, (329), 52—57.
59. McClain R.R. (1978) : Epoxy Modified Cement Admixtures. Proceedings of the Second International Congress on Polymer in Concrete, 483—501.
60. Meyer, A.H. (1974) : A Polymer as a Surface Treatment for Concrete. ASCE Structural Division, 100(ST6), 1205—1210.
61. 村井信夫(1973) : レジンコンクリート製プロクタマンホール, コンクリート・ジャーナル, 11(4), 80—86.
62. Nagaraj, C.N. and Sinha, A.K. (1975) : Use of Polymer Resins in Restoration of Concrete Structures in Distress. J. Inst. Engrs., 55(4), 141—144.
63. 羅正友(1981) : 폴리마 含浸 콘크리트의 基礎的性質에 관한 研究. 서울大碩士學位論文.
64. Nawy E.C., Ukadike, M.M. and Sauer, J.A. (1976) : Optimum Polymer Content in Concrete Modified by Liquid Epoxy Resins. ACI Publication SP—58, 329—353.
65. 日本コンクリート工學協會編(1976) : コンクリート便覽, 技報堂, 984—1006.
66. 日本土木學會編(1974) : 土木工學ハンドブック. 技報堂, 817—826.
67. 野村裕之, 橋明弘(1975) : 超低粘度エポキシ樹脂の展開と應用, 工業材料, 23(12), 59—64.
68. 農業振興公社 試驗所(1980) : 가소지수 콘크리트補強을 위한 Epoxy 樹脂工事資料. 農振公試驗研究事業報告書, (18), 327—347.
69. 大浜嘉彦(1973) : プラスチックコンクリート用材料について, コンクリート・ジャーナル, 11(4), 72—79.
70. ———, (1973) : 建築用ポリマーセメントモルタルの性狀と調査設計に關する研究. 日本建設省 建築研究報告, (65), 140—144.
71. Ohama, Y. (1973) : Mix Proportions and Properties of Polymer Resin Concretes. ACI Publication SP—40, 283—294.
72. 大浜嘉彦, 出村克宣, 小宮山正(1980) : ポリエスチルレジンコンクリートの強度たどの 性狀に及ぼすステレンーポリエスチル比の影響. 材料, 29(318), 60—65.
73. 大浜嘉彦(1981) : ポリマーコンクリート國際會議概況. コンクリート工學, 19(9), 57—60.
74. 岡田清(1973) : プラスチックコンクリートの 土木への利用について, コンクリート・ジャーナル, 11(4), 3—9.
75. ———, (1978) : プラスチックコンクリート. コンクリート工學, 16(1), 18—28.
76. ———, 徳永博文(1979) : プラスチックコンクリート, コンクリート工學, 材料, 29(318), 66—72.
77. Okada, K., Kobayashi, K. and Tokunaga, H. (1981) : Fundamental Studies on Structural Use of Resin Concrete. Proceedings of the Third International Congress on Polymers in Concrete, 538—552.
78. O'Neil, D.J. (1977) : Polymer-Concrete Composites. Intern. J. Polymeric Mater., 6, 73 | 84.

79. Pavan, A., Ricco, T. and Rink, K. (1981) : High Performance Polymer Blends. *Materials Science and Engineering*, 48, 9—15.
80. Perry, E.R. and Becerra, R.T. (1981) : Development and Testing of Polymer Concrete Electrical Insulators. *Proceedings of the Third International Congress on Polymers in Concrete*, 860—868.
81. Peschke, H.J. (1981) : Stress and Strain Analysis between Cementitious Concrete and Polymer Concrete. *Proceedings of the Third International Congress on Polymers in Concrete*, 477—489.
82. Plecnik, J.M., Bresler, B., Chan, H.M., Pham, M. and Chao, J. (1980) : Epoxy-Repaired Concrete Walls under Fire Exposure. *ASCE Structural Division*, 108(ST8), 1894—1908.
83. ———, ———, Cunningham J.D. and Iding, R. (1980) : Temperature Effects on Epoxy Adhesives. *ASCE Structural Division*, 106 (ST1), 99—113.
84. Popovics, S. (1975) : Cement Mortar Experiment Concerning Addition of Water Dispersible Epoxy or Furfuryl Alcohol Systems. *Proceedings of the First International Congress on Polymer Concretes*, 64—70.
85. ———, and Tamas, F. (1976) : Investigation on Portland Cement Pastes and Mortars Modified by the Addition of Epoxy. *ACI Publication SP—58*, 357—366.
86. Raff, R.A.V. and Austin H. (1973) : Epoxy Polymer Modified Concretes. *ACI Publication SP—40*, 339—346.
87. Reiesterer, W. (1981) : Polymer Concrete Applications in New Construction and Rehabilitating Old Structures of Railroad Operations. *Proceedings of the Third International Congress on Polymer in Concrete*, 624—636.
88. Reznik, V.B. and Levchenko, A.I. (1981) : Rising the Reliability of Hydrotechnical Structures Protected with P-Concrete Elements and Restored by Methods Using Polymer Composition Materials. *Proceedings of the Third International Congress on Polymers in Concrete*, 652—659.
89. 盧熙逸(1974) : 高溫을 받은 콘크리트의 強度에 關한 研究. *大韓建築學會誌*, 11(58), 18—20.
90. Sawaide, M. and Arai, N. (1981) : Development of High Temperature Resistant and Room Temperature Curable Epoxy Resin. *Proceedings of the Third International Congress on Polymers in Concrete*, 1248—1261.
91. ———, and Takano, I. (1981) : Applications of Foamed Epoxy Resin in Construction Field. *Proceedings of the Third International Congress on Polymer in Concrete*, 1292—1305.
92. Saxena, P.C., Mokhashi, S.L., Paliwal, S.T. and Choudhary, M.M. (1981) : Some Applications of Epoxy Resins in Concrete and Other Structures in India. *Proceedings of the Third International Congress on Polymers in Concrete*, 123—137.
93. Schorn, H. (1978) : Time-Dependent Properties of Concrete Members Bonded by Polymer Mortar. *ACI Publication SP—58*, 21—29.
94. Selander, C.E. (1981) : Recent Applications of Concrete Polymer Materials by Water and Power Resources Service. *Proceedings of the Third International Congress on Polymers in Concrete*, 68—87.
95. SPI(1978) : Resin Reports '78. *Plastics Engineering*, 34(9), 16—23.
96. 清水茂夫(1973) : レジンコンクリート製ペイル. *コンクリート・ジャーナル*, 11(4), 87—91.
97. ———, (1974) : 레ジン콘크리트의 概要と 製造技術. *工業材料*, 22(5), 81—88.
98. Sommer, H. (1975) : Wear-Resistance of Resin-Bound Mortar to Studded Tyres. *Proceedings of the First International Congress on Polymer Concretes*, 323—326.
99. Staynes, B.W. (1975) : Epoxide Resin Concrete as a Structural Material. *Proceedings of the First International Congress on Polymer Concretes*, 340—348.
100. Staynes, B.W. and Ross, J.S.H. (1980) : Epoxide Resin Concrete a Practical Ap-

- plication in Supperconducting Turbogener-  
aters. The Structural Engineer, 58A(7),  
213—220.
101. Suzuki, H. and Sugahara, S. (1975) : Fire  
Test on Models Constructed of Resin Con-  
crete. Proceedings of the First International  
Congress on Polymer Concretes, 306—311.
102. Swamy, R.N. (1975) : Some Engineering  
Implications of Design in Polymer Concrete.  
Proceedings of the First International Con-  
gress on Polymer Concretes, 349—359.
103. Tolbert, R.N. and Hackett, R.M. (1979) :  
Viscoelastic Properties of Epoxy Polymer  
Concrete. Polymer Engineering and Science,  
19(11), 795—799.
104. Tse, K.W., Moyer, C.A., and Araj, S.  
(1981) : Electrical Conductivity of Graphite  
Fiber-Epoxy Resin Composites. Materials  
Science and Engineering, 49, 41—46.
105. 土橋正欠, 波木守(1973) : プラスチックスコン  
クリートの經濟性, コンクリーイ・ジャーナル,  
11(4), 63—71.
106. Valore, R.C. and Naus, D.J. (1975) : Resin  
Bound Aggregate Materials Systems. Pro-  
ceedings of the First International Con-  
gress on Polymer Concrettes, 216—222.
107. Watanabe, A. and Ymasaki, T. (1981) :  
Studies on Hardening Shrinkage Stress of  
Resin Concrete, 435—446.
108. Whiting, D.A., Blankenhorn, P.R. and  
Kline, D.E. (1974) : Mechanical Properties  
of Epoxy Impregnated Concrete. Journal of  
Testing and Evaluation, 2(1), 44—49.
109. Williams, P. and Jacobs, G.A. (1975) :  
Current Use and Application of Polymer  
Cement. Proceedings of the First Inter-  
national Congress on Polymer Concretes,  
367—374.
110. 上田勝範(1973) : レジンコンクリート(モルタ  
ル)の性質と現場施工例. コンクリート・ジャー  
ナル, 11(4), 110—116.
111. Xianneng, L. (1981) : Studies on Cracking  
and Its Prevention Related to Diphenol a  
Polyester Mortar and Concrete. Proceedings  
of the Third International Congress on  
Polymers in Concrete, 490—503.
112. 柳田力(1981) : コンクリート工法の最近の動  
向. 土木技術, 36(12), 24—28.
113. 梁在乾, 韓貞璉, 襄長淳(1981) : Siloxane-  
Epoxy(s) Copolymer 合成에 관한 研究. 檀國  
大學校 論文集, 15, 577—586.
114. Yelshine, I.M. (1981) : Polymer Concrete  
in Water Construction. Proceedings of the  
Third International Congress on Polymers  
in Concrete, 825—831.



農 學 博 士  
延 圭 錫

本學會 延圭錫 會員은 오랜 研究生活 끝에 農學博士 學位를 받은데 대하여  
全會員과 더불어 祝賀드리는 바입니다.

生年月日 : 1952年 10月 8日生

勤務處 : 江原大學校 農科大學

學位授與 : 忠南大學校 大學院

學位取得日 : 1984年 2月 22日

學位論文 : 에폭시 樹脂 모르터의 特性에 관한 實驗的 研究