

폴리머 콘크리트 보의 剪斷舉動에 관한 實驗的 研究

Experiment Study on Shear Behavior of Polymer Concrete Beams

郭 桂 煥* · 朴 鍾 健** · 韓 輝 男***
Kwak, Kae Hwan · Park, Jong Gun · Han, Hui Nam

Summary

This research focuses on producing a cheap polymer, and also experiments for marking with the high strength polymer concrete structures.

At present only a few tests on shear behavior in polymer reinforced concrete beams (PRC) have been reported. In the current experiments, the reinforced concrete beams with polymer fraction are investigated. The beams in this study are supported by conventional stirrups at appropriate intervals and they are designed to take static loads. The strength of beams are measured and the behavior of beams under each loading are observed in order to determine some advantages of adding polymer to reinforced concrete beams.

The static testing data consist of load, displacement, and strain at specified reinforcement locations, and the support displacement.

In the static tests, it has been observed that the beams fail in the same way as RC. However, it is observed to be rather weak in impact, but it can be said that its increase of strength and excellency of repairing are verified. Consequently this work strongly suggests that the steam-curing or the air-curing or the air-curing must be performed to increase the strength.

I. 緒 論

最近 新素材에 대한 研究와 開發이 活潑

하게 이루어지고 있으며 이를 여러분야에서 應用하여 生活에 活用하고 있다. 建設材料 分野에서도 예외는 아니다. 建設材料로써 반

* 圓光大學校 工科大學
** 圓光大學校 大學院
*** 裡里高等學校

키워드 : 萬能試驗機, 養生, 龜裂成長, 中央처짐, 變形, 配合設計, 壓縮強度, 靜的荷重, 舉動, 폴리머 콘크리트

드시 필요하지만 점점 枯渴되어가는 天然資源을 人工材料로 代替하거나 既存의 材料의 性質을 改善시켜 構造物의 性能과 安定性 向上을 도모하고 있다. 특히 시멘트가 풍부한 우리나라에서는 콘크리트의 활용도를 높이기 위해 콘크리트의 취약점인 脆性破壞를 보완하고 鐵筋의 腐植을 방지하는 新素材의 開發이 必要하게 되었다. 이 가운데 하나가 폴리머이다. 高分子材料를 使用하는 폴리머 콘크리트는 普通콘크리트에 비하여 強度, 延性, 韌性, 化學抵抗性, 그리고 耐久性 등이 크게 向上되므로 構造物材料 뿐만아니라 非構造物材料로 活用되고 있다. 이러한 폴리머 콘크리트는 配合 및 製造方法에 따라 폴리머침투콘크리트(Polymer Impr-egnated Concrete-PIC), 폴리머포틀랜드시멘트콘크리트(Polymer Port-land Cement Concrete-PPCC) 폴리머콘크리트(Polymer Concrete-PC)로 크게 3가지로 나눌수 있으며 各各의 種類에 따라 콘크리트의 特性은 다소 다르게 나타난다.^{1,2)}

本 研究에서는 構造物에 活用할 신폴리머를 開發하여 製造過程을 定立하고 이를 이용한 鐵筋콘크리트 보를 製作하여 剪斷舉動에 관하여 體系的으로 基礎를 定立하므로써 실용화에 力을 擔當 하고자 한다. 實驗적인 研究는 基本實驗과 靜的實驗으로 나누어 실시한다. 基本實驗에서는 壓縮, 引張強度實驗을 실시하고 靜的實驗에서는 極限荷重, 初期 龜裂荷重, 初期 斜引張龜裂荷重 등을 관찰하고 荷重과 鐵筋의 變形率 關係, 荷重과 中央처짐 關係 그리고 荷重 增加에 따른 龜裂成長과 破壞樣相을 分析하도록 한다.

本 剪斷舉動試驗에 關한 研究를 통하여 剪斷龜裂이 構造物의 破壞에 미치는 原因을 규명함으로써 이에대한 對策을 세울수 있으리라 사료된다.

II. 實驗計劃 및 方法

1. 使用材料의 性質

가. PVDC Latex

本 研究에서 製造되는 폴리머를 PVDC Latex(Poly Vinylidene Chloride)라 하는데 이는 EDC를 製造하고 남은 副產物 VDC가 主原料이다. 그다음에 Ethylate 그리고 Anionic, Emulsifier등이다. PVDC Latex에 關한 特性은 Table-1과 같다.³⁾

Table-1. Preperities of Poly Vinylidene Chloride Latex

VDC (%)	Ethyl acrylate (%)	Anionic Emulsifier (%)	Solid content (%)	Surface Tension (dyne/cm)	Viscosity (CPS)	PH
90	8	2	49.55	40	6-8	2-3

PVDC Latex의 製造過程은 다음과 같다.

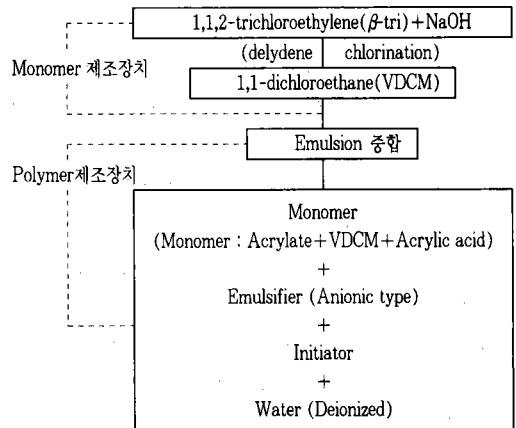
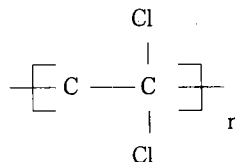


Fig. 1. A Manufacturing process of Polymer

제품이 완성된 PVDC Latex의 화학구조방정식은 다음과 같다.



나. 시멘트

시멘트는 ○○○○주식회사 제품의 普通 포틀랜드 시멘트를 使用하였으며 比重은 3.04이고 粉末度는 3,180kg/cm²이다.

다. 굵은 骨材

굵은 骨材는 碎石을 使用하였으며 이에 대한 物理的 特性은 Table-2과 같다. 骨材 最大 值數는 25mm이다.

라. 잔 骨材

잔骨材는 河川 모래를 使用하였고, 이에 대한 物理的 特性은 Table-3과 같다.

마. 鐵 筋

試片에 使用된 異形鐵筋 가운데 引張鐵筋은 直徑 19mm를 使用하고 스티럽에 使用한 鐵筋은 直徑이 10mm이다. 異形鐵筋에 使用된 鐵筋의 特性은 Tabel-4과 같다.

2. 配合設計

本 研究에서 使用한 Polymer는 pH가 2-3 정도이므로 이것을 中性(pH7)으로 하기 위하여 1Mol-KOH를 製造하여 Polymer에 KOH를 添加하여 pH를 中性으로 만든 後 使用 하였다. pH를 7로 하기 위한 Polymer의 配合過程은 다음과 같다.

$$\text{Polymer}(6.21\text{kg}) + \text{KOH}(1.24\text{kg}) + \text{Water}(11.18\text{kg}) = 18.63\text{kg}(\text{pH}7)$$

또한, 1Mol-KOH의 製造過程은 다음과 같다. KOH(56.11g)을 물 1000ml중에 溶解시킨다. 즉, 1Mol-KOH=56.11g/1000ml로 한다. NPRC의 配合設計 結果는 Table-5과 같다.

Table-2. Physical Properties of Coarse Aggregate

Specific gravity	Water content (%)	Unit weight (kg/m ³)	Percent passing by wight							Fineness modulus
			40mm	25mm	19mm	13mm	10mm	No. 4	No. 8	
2.65	1.05	1620	100	96.7	7206	47.9	27.5	4.2	1.1	7.66

Table-3. Physical Properties of Fine Aggregate

Specific gravity	Water content (%)	Unit weight (kg/cm ³)	Percent passing by wight						Fineness modulus
			No. 4	No. 8	No.16	No.30	No.50	No.100	
2.55	1.05	1620	99.2	95.6	85.8	57.6	21.0	4.8	2.36

Table-4. Properties of Deformed Bars

Classification	Nominal area As(cm ²)	Yielding stress σ_y (kg/cm ²)	Ultimate strength σ_u (kg/cm ²)	Modulus elasticity Es(kg/cm ²)
D10	0.713	2,777	4,067	2.04 × 10 ⁶
D19	2.865	3,560	5,020	2.04 × 10 ⁶

Table-5. Polymer Concrete Mixing Proportion

Aggre. max size (mm)	Slump (cm)		Water (kg)	Cement (kg)	Sand (kg)	Gravel (kg)	Polymer (kg)	1M-KOH (kg)
	Polymer	Plain						
25	1	5	12.42	41.40	84.04	56.03	6.21	1.24

3. 部材의 諸元 및 性質

本 實驗에 使用된 보의 크기는 15cm×30cm×190cm이고 普通콘크리트를 使用한 보와 폴리머를 混入한 콘크리트 보로 大別하였다. 各各의 경우를 첫재, 引張鐵筋단을 使用한 單鐵筋 보, 둘째, 스테럽을 2개 使用한 경우의 單鐵筋 보, 세째 스테럽을 4개 使用한 경우의 單鐵筋보로써 區別하였다. 剪斷強도의 變化를 알아보기 위해 剪斷支間比(a/d)가 2.5인 짧은 보로 限定하여 剪斷-引張破壞와 剪斷-壓縮破壞에 대하여 研究하였다. Table-6은 部材의 細部計劃이다.

III. 實驗結果 및 分析

1. 基本實驗

壓縮強도와 引張強도를 測定하기 위해서는 $\phi=10\text{cm}\times 20\text{cm}$ 실린더를 製作하였다. 壓縮強도는 KS 規準과 ASTM의 規準에 따라 實驗하였고 引張強도는 같은 規準에 따라 引張強度 實驗을 하였다. 이에 대한 實驗結果는 Table-7과 같다. Table-7에서 보는 바와 같이 普通콘크리트와 폴리머콘크리트 壓縮強도를 比較한 것이 Fig. 2이고, 引張強도의 比較는 Fig. 3와 같다.

2. 靜的實驗

靜的實驗에서는 100ton 용량의 萬能試驗機를 使用하여 單純支支 條件下에서 荷重의 載荷間격을 20cm로 유효높이에 대한 剪斷領域比는 2.5로 하고 4點載荷 方法으로 破壞에 이룰 때 까지 荷重을 0.5ton씩 增加시켰으며, 各

Table-6. Details of Test Specimen

Type	Specimen size(cm)	Tensile steel bar(mm)	Stirrup (mm)	Span-to-depth(a/d)	Cylinder specimen (cm)	Compressive strength (kg/cm ²)
I AS1	15×30×190	φ19	None	2.5	10×20	340
I BS1	"	φ19	φ10-2	2.5	"	346
I CS1	"	φ19	φ10-4	2.5	"	351
II AS1	"	φ19	None	2.5	10×20	330
II BS1	"	φ19	φ10-2	2.5	"	344
II CS1	"	φ19	φ10-4	2.5	"	340

Remark : I-Plain Concrete

II-Polymer Concrete

A-None Stirrup,

C-Four Stirrup,

B-Two Stirrup

S-Static Test

Table-7. Comparison of Compressive and Tensile Strength

Designation of Test	Plain Concrete		Polymer Concrete	
	Compressive Strength	Tensile Strength	Compressive Strength	Tensile Strength
σ_7 (kg/cm ²)	291	24.8	276	27.2
σ_{28} (kg/cm ²)	346	26.7	344	36.1
σ_{180} (kg/cm ²)	398	35.4	415	47.5
σ_{365} (kg/cm ²)	451	42.5	582	50.8

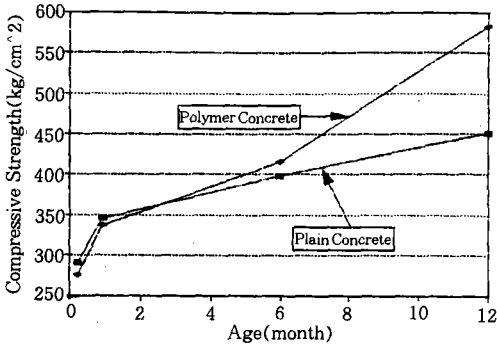


Fig. 2. Comparison Between Compressive Strength of Cylinders

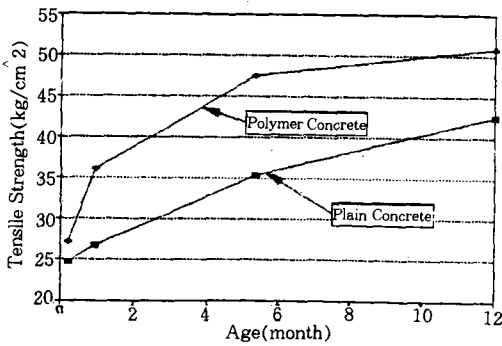


Fig. 3. Comparison Between Tensile Strength of Cylinders

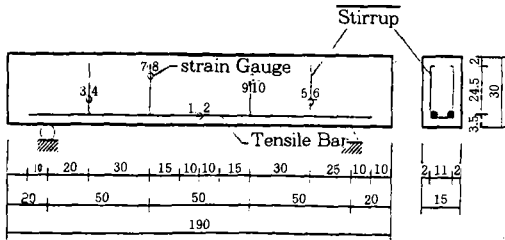


Fig. 4. Beam cross sections and strain gauge location

荷重마다 中央처짐, 變形率, 龜裂成長을 조사하였다. 部材의 中央에 다이알게이지를 設置하여 처짐을 測定하였고 鐵筋에 부착된 變形게이지를 통하여 荷重 增加에 따른 變形率을 記錄하였다. 또한 部材의 表面에 10cm간격으

로 가로와 세로줄을 그어 龜裂의 成長過程을 쉽게 測定하도록 하였다.

부재의 斷面 및 스트레인지어 附着位置는 Fig. 4과 같다.

가. 龜裂成長과 破壞樣相

靜的荷重(static loading)에 의한 龜裂成長過程을 觀察해보면 載荷 初期에는 순수 彎 區間에서 彎 龜裂이 發生하여 微細하게 發展하다가 荷重을 增加시키에 따라서 어느 순간에 이르러 部의 腹部中央에 斜引張龜裂이 發生하였다. 荷重의 增加와 함께 斜引張龜裂은 위와 아래 方向으로 前進를 계속하여 결국 極限荷重에서의 破壞는 斜引張龜裂에 의한 剪斷引張 혹은 剪斷壓縮破壞의 樣相을 나타내었다. 彎 龜裂은 어느정도 수준에서 前進이 멈추었으며, 破壞에 미치는 영향은 아주 작았다. 이러한 斜引張 龜裂은 荷重의 增加에 따라서 스테럽이 없는 경우에는 載荷點 方向과 支支點 方向으로 약 45°의 각도를 가지고 發展되었다. 스테럽을 포함한 보의 경우에도 좌와 우 거의 같은 모양으로 龜裂이 發生하였는데 各各의 경우 스테럽과 스테럽의 사이에서 거의 45°경사로 서너군데씩 龜裂이 發展되었다. 龜裂 成長過程에서 가장 윤곽이 뚜렷한 것은 支支點에서 d/2만큼 떨어져서 載荷點을 향하는 斜引張龜裂이다. Fig. 5, 6는 靜的實驗에 의한 部材의 龜裂成長過程을 나타내었다.

Fig. 5, 6에서 보는 바와 같이 剪斷龜裂은 部의 中央에서 45° 기울기로 中央에서 上·下로 進展되고 있음을 確認할 수 있었다.

나. 中央처짐 및 變形率 關係

靜的實驗에서의 처짐은 部材의 中央部에 設置한 두개의 다이알게이지 값을 平均하여 中央처짐을 구하였다. 荷重이 增加함에 따라 처짐은 어느정도까지 線形的으로 增加하였으나 그 이후에는 非線形的으로 舉動함을 알 수 있었고 破壞직전의 처짐은 신폴리머 鐵筋콘크리트 部材가 普通 鐵筋콘크리트 部材보다 크게 나타남을 確認할 수 있었다. 이것은 신폴리머

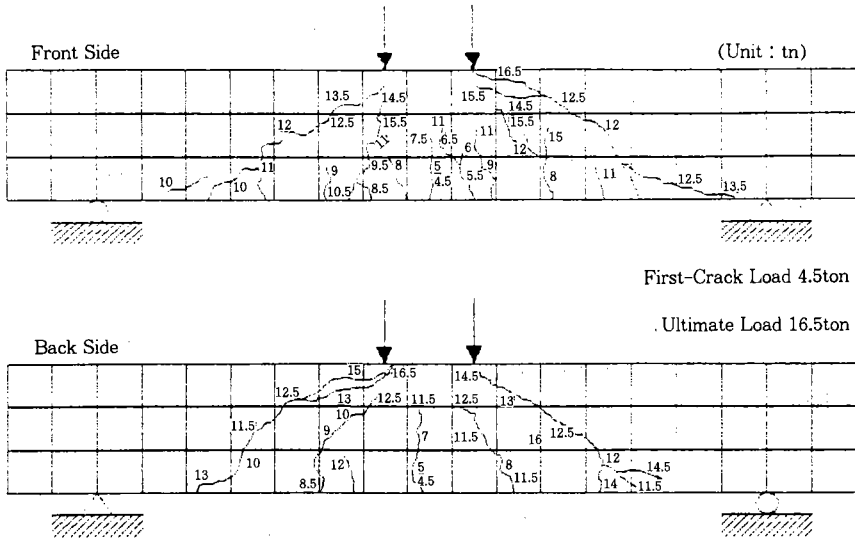


Fig. 5. Crack Growth Pattern in I CS1 Beam

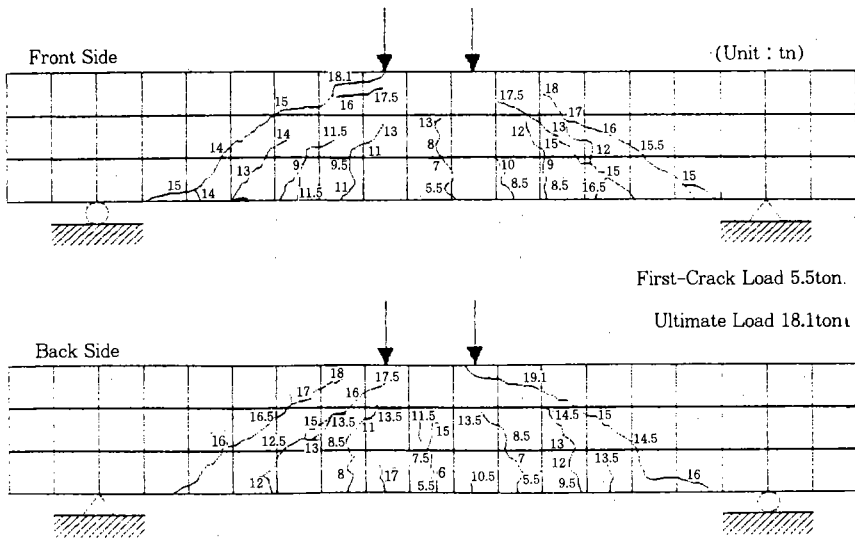


Fig. 6. Crack Growth Pattern in II CS1 Beam

를 혼합함으로써 鐵筋콘크리트의 강성이 어느 정도 增加한다는 것을 입증하는 것이다. 하지만 荷重이 作用할 때 지점부위의 콘크리트가 부분적으로 破碎되는 경우가 있어 荷重-中央 처짐 曲線이 약간 歪曲되는 경향이 있었다.

各各의 部材에 대한 荷重과 中央처짐 關係를 普通 鐵筋콘크리트와 신폴리머 鐵筋콘크리

트의 區別하여 Fig. 7, 8에 나타내었다.

또한 靜的實驗下에서 引張鐵筋의 變形은 荷重의 增加에 따라 일정한 기울기를 갖고 變形率이 增加하였으며, 신폴리머 鐵筋콘크리트가 初期龜裂荷重까지 引張鐵筋의 變形率 값이 普通 鐵筋콘크리트 보다 작은것으로 보아 콘크리트의 引張力이 增大 되었음을 알 수 있었

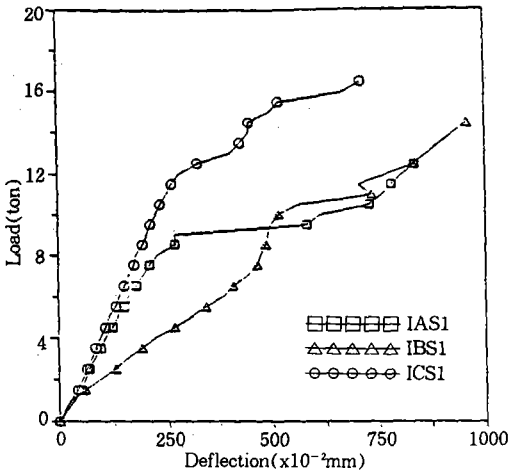


Fig. 7. Relation of deflection to load for plain concrete beam

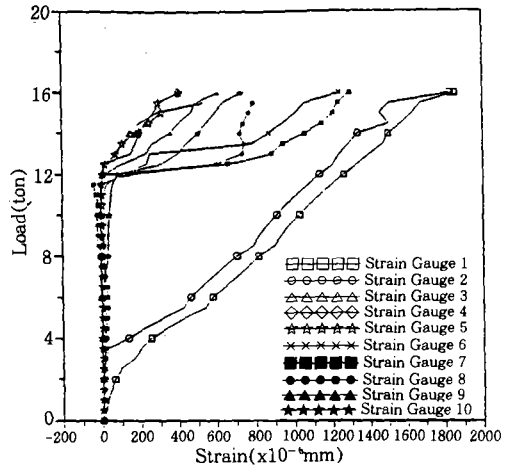


Fig. 9. Relationship between load and strain in I CS1 beam

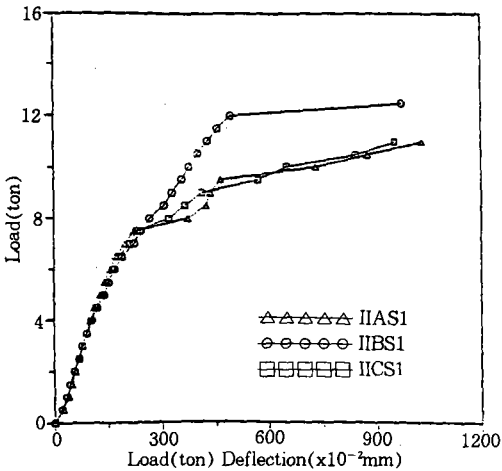


Fig. 8. Relation of deflection to load for polymer concrete beam

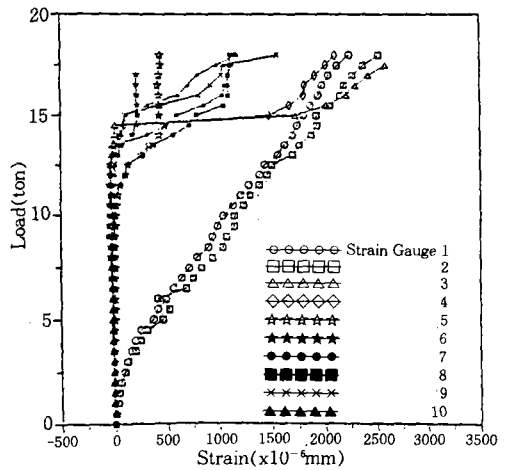


Fig. 10. Relationship between load and strain in II CS1 beam

다. 스티럽은 腹部 中央에서 初期剪斷龜裂이 發生할 때까지 거의 變化가 없었다. 荷重과 變形率 關係는 Fig. 9, 10에 나타내었다.

Fig. 9에서 보는 바와 같이 보통콘크리트인 경우에는 荷重과 처짐關係가 균일하지 못하였지만 Fig. 10에서 보는 바와 같이 폴리머콘크리트인 경우에는 荷重과 처짐關係가 균일하게 增加하는것을 確認함으로써, 폴리머콘크리트

의 材質이 均質하고 있음을 確認되었다.

3. 實驗的 結果分析

靜的實驗 結果 폴리머콘크리트가 普通콘크리트 보다 破壞時의 靜的極限荷重, 極限모멘트, 部材의 公稱翕強度, 初期翕龜裂荷重, 初期斜引張龜裂荷重 그리고 初期 翕龜裂發生時 中央처짐이 增加함을 確認할 수 있었다. 이에대

Table-8. Static Test Results

Specimen	σ_{28} (kg/cm ²)	P_u' (ton)	f_c (ton)	d_c (ton)
I AS1	340	12.6	3.5	9.0
I BS1	346	14.6	3.5	11.0
I CS1	351	16.0	4.5	12.0
II AS1	330	13.5	7.0	12.0
II BS1	344	17.0	6.0	12.5
II CS1	340	18.1	5.5	14.0

σ_{28} : Compressive Strength of Concrete at an age of 28-days
 P_u' : Ultimate Load at Failure
 P_{fc} : Load at Initial Stage of Flexure Crack
 P_{dc} : Load at Initial Stage of Diagonal Tension Crack

한 靜的實驗結果는 Table-8과 같다.

4. 材質分析

靜的實驗에 있어서 폴리머콘크리트의 引張鐵筋 그리고 스테럽의 破壞 後에 있어서 組織實驗을 한다. 組織實驗은 2,000배의 현미경을 사용하여 실시하였다. Photo. 1은 破斷된 引張鐵筋의 斷面, 그리고 Photo. 2은 靜的實驗하에 의해 破斷된 引張鐵筋의 斷面이다. 引張鐵筋의 破斷은 鐵筋의 微細龜裂에 의한 合體化 現象에 의해서 破壞되는 斷面을 보여 주고 있음을 確認할 수 있었다.

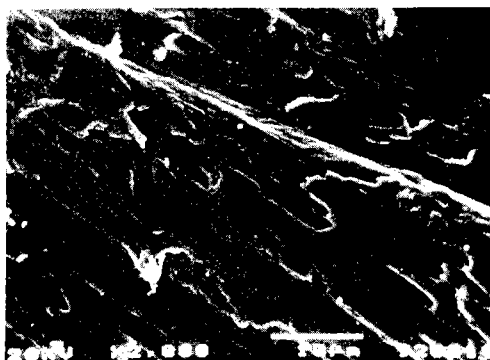


Photo. 1. Undamaged surface of tensile steel bar

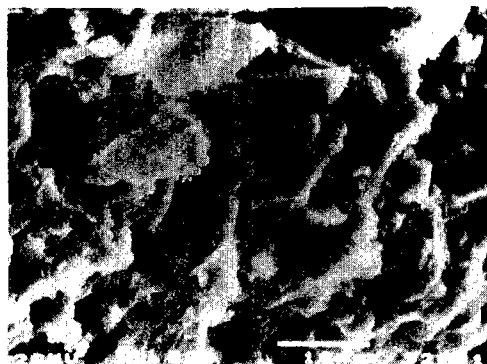


Photo. 2. Typical fracture surface of tensile steel bar under static loading

IV. 結 論

폴리머콘크리트의 實用性 向上을 爲한 剪斷舉動에 關한 實驗的 研究를 通하여 다음과 같은 結論을 얻을 수 있었다.

1. 1년간 空氣養生을 한 後의 폴리머 콘크리트와 普通콘크리트의 壓縮強度와 引張強度를 比較할 때 壓縮強度는 약 1.3배, 引張強度가 약 1.2배 가량 增加했다.

2. NPRC 보의 破壞는 NPRC의 龜裂成長과 密接한 關係가 있으며 窮極의 으로 보아 破壞는 이러한 應力集中에 起因한다.

3. NPRC 보의 中央에서 45° 기울기로 各 各 上·下方向으로 龜裂成長됨으로서 破壞되어지고 있음을 確認할 수 있었다.

앞으로 動的舉動에 대한 研究와 數值解析에 대한 研究가 持續的으로 이루어져야 한다고 思料된다.

本 論文은 '94年度 圓光大學校의 校責 研究費 支援에 의해 遂行 되었음.

參 考 文 獻

1. ACI Committee 548, "Guide for the Use of Polymer in Concrete" ACI Structures

- Journal, Title No. 83-74, September-October 1986, pp. 798-828.
2. Guide for the Use of Polymers in Concrete, ACI Committee 548, ACI Journal, September-October, 1986, pp. 789-829.
 3. Arnon Bentur "Properties of Polymer Latex-Cement Composites" The International Journal of Cement and Lightweight concrete, pp. 57-65.
 4. Kae-Hwak, June Suh, and cheng-Tzu Thomas Hsu., "Shear-Fatigue Behavior of Steel Fiber Reinforced Concrete Beams". ACI Structural Journal, Title No. 88-S18, March-April 1991, pp. 151-160.
 5. Polymer Modified Concrete, ACI SP-99, 1987.
 6. Polymer in Concrete, State-the-Art Report, ACI Committee 548, 1977.
 7. E. I. EI-Niema, "Reinforced Concrete Beams with Steel Fibers under Shear" ACI Structural Journal, Title No. 88-521, March-April 1991, pp. 178-183.