

# 폴리머 콘크리트 샌드위치 構造材의 휨特性

## Flexural Characteristics of Polymer Concrete Sandwich Constructions

延 圭 錫\*  
Yeon, Kyu Seok

### Summery

This study was conducted to investigate the flexural behaviour of sandwich constructions with cement concrete core and polymer concrete facings. Six different cross-sectional shapes using epoxy based polymer concrete facings were investigated.

Some of the results from the static tests are given including the load-deflection responses, load-strain relationships, ultimate moment, and mode of failure. From the results the following conclusions can be made.

1. The various strengths of polymer concrete were very high compared to the strengths for portland cement concrete, while modulus of elasticity assumed an aspect of contrast.

2. The thickness of core and facing exerted a great influence on the deflection and ultimate strenght of polymer concrete sandwich constructions.

3. The variation shape of deflection and strain depend on loading were a very close approximation to the straight line. The ultimate strain of polymer concrete at the end of tensile side were ranged from  $625 \times 10^{-6}$  to  $766 \times 10^{-6}$ , and these values increased in proportion to the decrease of thickness of core and facings.

4. The ultimate moments of polymer sandwich constructions were 3 to 4 times that of cement concrete constructions which was transformed same section. It should be noted that polymer concrete have an effect on the reinforcement of weak constructions.

5. Further tests are neede to investigate the shear strain of constructions, and thermal expansion, shrinkage and creep of cement and polymer concrete which were composite materials of sandwich constructions.

### I. 緒 論

폴리머 콘크리트(polymer concrete)는 骨材의 結合材로서 시멘트 콘크리트에서 사용되는 시멘트 풀(cement paste) 대신 液狀 폴리머를

使用하여 제조한 것이다.

폴리머가 콘크리트에 利用되기 시작한 것은 1950年代 후반으로서 美國, 소련, 英國, 獨逸, 日本 등에서 많은 종류의 콘크리트용 폴리머가 개발되어 왔는데, 가장 보편화된 콘크리트용 폴

\* 江原大學校 農科大學

리머는 Polyester, Epoxy, Vinylester 등이며, 모노머(monomer)로는 MMA(methyl methacrylate)가 많이 쓰인다. 우리나라에서도 이미 몇 회사에서 액폭시 수지를 생산하고 있으며 工場의 건설을 계획중에 있는 회사도 있다.

일반적으로 폴리머 콘크리트는 시멘트 콘크리트에 비해 強度, 耐久性, 接着性, 絶緣性 등이 양호하기 때문에 시멘트 콘크리트의 補修用이나 橋梁床板, 高速道路 및 滑走路에 대한 表面處理用으로 많이 使用되고 있다. 또한, 지난 몇년 동안은 工場製品의 製造에도 관심을 기울여 왔던 바, 建築用 패널, 導管, 말뚝, 타일, 貯水槽, 구유(trough) 등이 생산되고 있다.

이와같이 폴리머 콘크리트의 基本性質과 利用에 대한 연구는 활발히 추진되고 있으나, 아직 構造材(특히 樞部材)로서의 이용에 대한 연구는 제한되어 있으며, 더욱이 폴리머 콘크리트를 이용한 샌드위치 構造材에 대한 研究는 國內外的으로 극히 드물다.

샌드위치 構造는 3개의 層으로 형성되는데 보통 가운데 層은 低強度이며, 양쪽 바깥層은 高強度의 재료로 구성되어 있다. 이와같은 샌드위치 構造材는 폴리머 콘크리트가 비교적 高價이므로 저렴한 재료를 코어(core)로 사용할 경우 經費節減의 效果가 있으며, 強度와 韌性이 強해 비교적 약한 材料의 補強效果가 클 것으로, 各種 農業施設物이나 土木·建築 構造物에 있어서 보나 슬래브로서의 利用 可能性을 豫測 할 수 있다.

따라서 이 연구에서는 시멘트 콘크리트를 中心部로 하고 表面部는 에폭시 樹脂 폴리머 콘크리트로 補強된 샌드위치 構造材를 두께가 다르게 제조하여 樞特性을 究明하여 봄으로써 샌드위치 構造材의 利用을 위한 基礎資料를 提供 하는데 그 目的이 있다.

## II. 샌드위치 構造材의 概念

샌드위치 構造란 強度와 硬度가 낮은 材料를 가운데에 두껍게 두고, 높은 強度의 材料를 上·

下面에 사용하여 세개의 層으로 形成된 것을 말한다. 中央의 두꺼운 層을 中心部(core)라 하고, 上·下面의 얇은 層을 表面部(facing)라 하며, 비교적 높은 樞剛性을 갖는 輕量材料가 이러한 構造材의 製조에 유리하다.

또한, “샌드위치”란 用語는 위에서 정의한 세개의 層으로 형성된 재료라는 말 이외에 다른 표현을 쓸 수도 있는데, 예를들면 여러가지 材料를 中心部에 갖는 構造材도 샌드위치라고 할 수 있다.

샌드위치 構造材는 第2次 世界大戰 때 航空 産業에서 주로 使用된 이래 建設産業을 포함한 많은 분야에서 利用되어 오고 있다. 建築分野에서 주로 이용되는 構造材는 表面部를 合板, 콘크리트 및 알루미늄으로 하고, 中心部는 플라스틱이나 輕量콘크리트 등으로 하기도 한다.

샌드위치 構造材의 材料는 重量이 가볍고 費用이 적게 들며, 적당한 強度를 가져야 한다. 따라서 中心부와 表面部 材料는 각각의 性質들이 서로 보완되어 샌드위치 構造材의 原理를 충족하는 면에서 選擇되어야 한다.

샌드위치 구조재의 表面材는 I형 단면에서의 플랜지와 같이 작용하며 樞모멘트의 대부분을 받는다. 실제로 전형적인 샌드위치의 樞剛性은 表面材의 影響에 의해서 좌우되며, 中心부가 部材의 總樞剛性에 미치는 影響은 매우 작다.

샌드위치 構造材의 設計 및 製作에 있어서 重要한 사항은 中心부와 表面部 사이의 附着強度이다. 附着은 表面부와 中心부 사이의 실질적인 相對運動이 일어나지 않도록 하기 위해 충분해야 한다. 이러한 미끄럼은 샌드위치 構造材의 樞剛性을 저하시키기 때문이다.

폴리머 콘크리트 샌드위치 構造材의 解析에 있어서 사용되는 基本概念은 다음과 같다.

샌드위치 表面部の 두께( $t$ ), 中心부의 두께( $c$ ), 表面部の 圖心軸間 거리( $h$ ) 및 단면의 全높이( $t$ )와 全幅( $b$ )은 Fig. 1에 나타난 바와 같으며, 이와같은 斷面의 總樞剛性은 斷面의 圖心軸에 대한 表面부와 中心부의 樞剛性의 合計와 같으므로 다음과 같은 식을 쓸 수 있다.

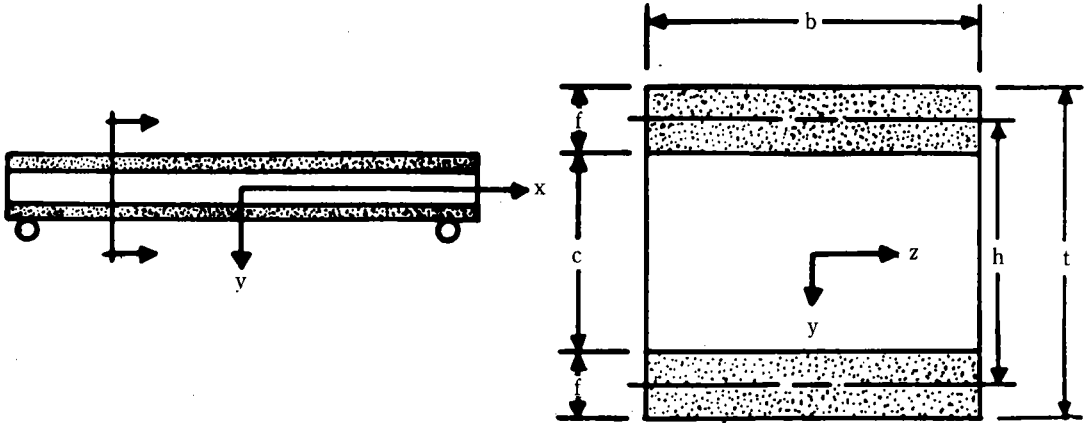


Fig. 1. Typical sandwich section with equal facing thicknesses.

$$B = E_f(bf^3)/6 + E_c(bfh^2)/2 + E_c(bc^3)/12$$

여기서,  $E_f$ 와  $E_c$ 와 는 各各 表面部 및 中心部 材料의 彈性係數이다.

한편, Euler-Bernoulli의 휨이론에 의하면 휨이 일어나기전 部材의 휨축에 대하여 직각인 단면은 휨을 받아 變形이 생기는 동안에도 平面이 維持된다고 하였으므로, 이러한 가정을 샌드위치 構造材에 적용하면 圖心軸에서 y만큼 떨어진 주어진 단면에서의 變形率은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\epsilon = My/B$$

여기서, M은 주어진 단면에서의 휨모멘트, B는 앞에서 정의한 휨剛性이다. 따라서, 임의의 점에서의 휨應力은 그 점에서의 變形率과 構成材料의 彈性係數를 곱하여 얻을 수 있다.

### III. 材料 및 方法

#### 1. 使用材料 및 配合

##### 가. 폴리머 콘크리트

폴리머類는 서로 다른 特性을 지니고 있기 때문에 폴리머 콘크리트의 性質도 이것들에 의해 크게 좌우된다. 여기에서 사용된 폴리머는 값은 比較的 높으나 우리나라에서 購入이 용이하고, 그 性能이 우수한 것으로 알려져 있는

에폭시 樹脂를 使用하였다.

에폭시 樹脂의 형태에도 化學構造에 따라 여러가지가 있으나 이 試驗에 使用된 것은 콘크리트 構造物用으로 汎用化되어 있는 Epi-Bis型이며, 硬化劑는 Amino polyamine類이다. 主劑와 硬化劑의 配合比는 5:1로 하였으며, 常溫에 可使時間(working time)은 約 40분이었다.

骨材의 形態와 粒度는 시멘트 콘크리트에서와 마찬가지로 폴리머 콘크리트에서도 큰 영향을 미친다. 使用된 粗骨材는 얇은 層으로 硃워야 하기 때문에 最大値數 10 mm의 강자갈이었고, 細骨材는 강모래였으며, 그것들의 粒度와 物理的 性質은 Table-1 및 Table-2와 같다.

또한, 骨材의 配合에는 空隙의 體積을 줄이기 위해 탄산칼슘( $C_aCO_3$ )을 充填材로 使用하였다.

Table-1. Aggregate gradation.

Sieve size	Gravel	Sand
	Percent finer by wight	Percent finer by weight
10 mm	95	—
# 4	29	—
# 8	8	98
# 16	2	70
# 30	—	33
# 50	—	15
# 100	—	2

Table-2. Physical properties of aggregate.

Item	Specific gravity	Absorption	Finess modulus
Fine aggregate	2.8	0.67	2.82
Coarse aggregate	2.6	0.57	5.66

폴리머 콘크리트용 骨材는 附着力을 증진시키기 위해 乾燥되어 있어야 하기 때문에 105±5℃로 調整된 oven에서 24時間 乾燥시켰으며, 使用前 충분히 常溫에서 冷却시켰다.

이 實驗에서 使用한 폴리머 콘크리트의 配合比는 Table-3과 같으며, 이는 얇은층으로 채워야 하기 때문에 워커빌리티(workability)를 충분히 고려하여 결정된 것이다.

Table-3. Polymer concrete mix properties.

Component	kg/m <sup>3</sup>
Epoxy resin	233
Coarse aggregate	838
Fine aggregate	838
CaCO <sub>3</sub>	121

나. 시멘트 콘크리트

시멘트 콘크리트용 粗骨材와 細骨材의 最大치수 및 粒度는 폴리머 콘크리트용 骨材와 같으며, 시멘트는 보통 포클랜드 시멘트를 사용하였다. 시멘트 콘크리트의 슬럼프치는 8.5cm, s/a=57%, w/c=50%로 하여 配合設計된 것이며, 決定된 配合比는 Table-4와 같다.

Table-4. Portland cement concrete mix proportions.

Component	kg/m <sup>3</sup>
Portland cement	457
Coarse aggregate	856
Fine aggregate	682
Water	228

2. 供試體 製作 및 試驗方法

가. 力學的 性質

샌드위치 構造材를 구성하는 폴리머 콘크리트와 시멘트 콘크리트의 力學的 性質은 다음과 같은 방법으로 試驗하였다.

壓縮強度는 7.5×15cm의 圓柱型 供試體를 제작하여 KS F 2405에 의해 試驗하였고, 引張強度 역시 7.5×15cm의 圓柱型 供試體로 KS F 2423에 의해 시험하였으며, 휨強度는 6×6×25cm의 角柱型 供試體를 제작하여 KS F 2408에 규정된 方法으로 시험하였다.

彈性係數와 포아슨比는 7.5×15cm의 供試體에 67mm 스트레인 게이지(KC-70-A<sub>1</sub>-11, Kyowa Electronic Instruments Co., Ltd)를 附着하여 變形率을 측정된 다음 KS F 2438에 규정된 方法에 의해 그 값을 산출하였다.

各種 試驗用 供試體의 材齡은 시멘트 콘크리트의 경우 28日, 폴리머 콘크리트의 경우 7일로 하였다. 그리고 샌드위치 構造材의 경우도 試驗時의 材齡은 위의 條件과 일치하도록 날짜를 조절하여 제작하였다.

나. 샌드위치 構造材

샌드위치 構造材는 모두 6個가 제작되었는데, 보의 길이는 120cm, 단면의 폭은 12cm, 단면의 높이는 中心部와 表面部의 두께에 따라 7~11cm로 변화시켰다. 각 샌드위치 구조재 斷面의 細部치수를 요약하면 Table-5와 같다.

供試體 製作過程은 中心部用 시멘트 콘크리트를 7일간의 濕潤養生과 14일간의 室溫養生을 시킨 다음 表面을 모래 噴射(sand blast)로 청

Table-5. Summary of sandwich constructions.

Construction id.	Width (cm)	Thickness(cm)		
		Core	Facing	Total
4-1.5-7	12	4	1.5	7
4-2.0-8	12	4	2.0	8
4-2.5-9	12	4	2.5	9
6-1.5-9	12	6	1.5	9
6-2.0-10	12	6	2.0	10
6-2.5-11	12	6	2.5	11

결히 하고, 21일째 되는날 폴리머 콘크리트로 表面部를 打設하였다. 이때 附着力 確保를 위해 에폭시 樹脂로 택 코트(tack coat)하였다. 試驗은 폴리머 콘크리트를 打設한 후 7일에 實施하였으므로 試驗時 시멘트 콘크리트는 材齡 28日, 폴리머 콘크리트는 材齡 7일에 해당된다.

휨變形率은 Fig. 2에서 보는 바와같이 67mm 스트레인 게이지 6쌍(總 12개)을 構造材 支間의 中央部에 附着시켜 측정하였고, 荷重은 Fig. 3에서 보는 바와같은 장치에 의해 가해졌다. 그리고, 처짐은 0.01mm 다이얼 게이지 2개를 사용하여 中央點에서 측정되었으며 처짐값은 그 平均値로 하였다.

變形率과 처짐은 1KN(各荷重點에는 p/w作用)마다 測定하였으며, 荷重은 破壞時까지 가해졌

으며, 載荷試驗機는 英國 ELE社의 디지털형 強度試驗機(50 KN)를 사용하였고, 荷重의 載荷速度는 0.01 KN/sec였다.

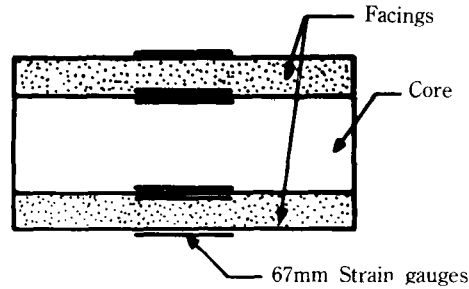


Fig. 2. Strain gauge instrumentation for flexural strain test.

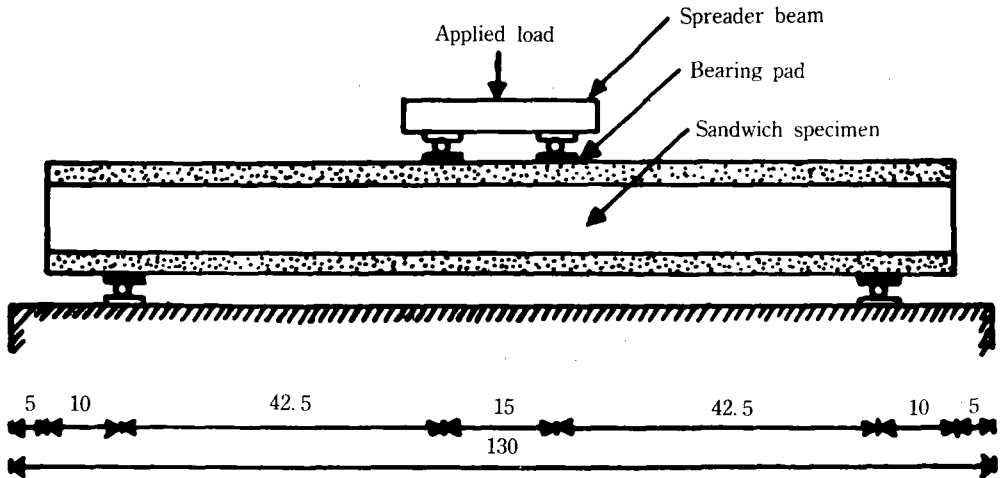


Fig. 3. Testing apparatus (Unit : cm)

#### IV. 結果 및 考察

##### 1. 샌드위치용 콘크리트의 力學的 性質

샌드위치 構造載에서는 弱한 재료를 中心部에 사용하는 것이 일반적이다. 이 研究에서는 포틀랜드 시멘트 콘크리트를 中心部에, 폴리머 콘크리트를 表面部에 使用하였으며, 이들 콘크리트에 대한 力學的 基本性質을 試驗한 結果는 Table-6과 같다.

여기서 볼 수 있듯이 폴리머 콘크리트는 시

멘트 콘크리트에 비해 壓縮強度가 2.3배, 割裂引張強度가 2배였고, 휨強度는 3배로서 매우 높게 나타났으나, 彈性係數는 폴리머 콘크리트가 시멘트 콘크리트에 비해 작게 나타났다.

이와같은 結果들로부터 폴리머 콘크리트가 強度는 높으나 變形性이 큼을 알 수 있는데, 이는 韌性이 큰 材料임을 나타내주는 結果이기도 하다.

따라서, 이러한 性質을 가진 폴리머 콘크리트로 比較的 變形性이 작고, 強度가 약한 시멘트

Table-6. Mechanical properties of polymer concrete and portland cement concrete for sandwich construction.

Item	Polymer concrete		Portland cement concrete	
	Average value	Standard deviation	Average value	Standard deviation
Compressive strength (kg/cm <sup>2</sup> )	843	32	361	18
Splitting tensile strength (kg/cm <sup>2</sup> )	104	9	50	4
Modulus of rupture (kg/cm <sup>2</sup> )	132	11	44	3
Modulus of elasticity (x10 <sup>5</sup> kg/cm <sup>2</sup> )	2.20	0.20	2.68	0.19
Poisson's ratio	0.23	0.04	0.20	0.04

콘크리트를 補強할 경우 充分한 補強效果를 發揮할 것임을 豫測 할 수 있다.

2. 荷重-처짐關係

Fig. 4는 4cm 두께의 中心部를 갖는 경우의 샌드위치 構造材에 대한 荷重-처짐關係 試驗結果를 나타낸 것이다. 荷重에는 構造材의 死荷重이 包含되지 않았으며, 처짐에는 剪斷에 의한

처짐이 包含된 것이다. 처짐은 破壞荷重의 約 90~95%까지 直線的으로 增加를 보였으며, 龜裂과 破壞가 거의 동시에 일어났다. 그리고, 6cm 中心部를 갖는 構造材 보다 4cm 中心部를 갖는 構造材의 처짐이 더 크게 나타났으며, 같은 中心部의 두께를 갖는 경우라도 表面部의 두께가 작을수록 처짐이 커지는 경향을 보였다.

Table-7은 Fig. 4 및 Fig. 5의 分析을 통해 얻은 結果이다. 極限荷重下에서 中央部의 全처짐은

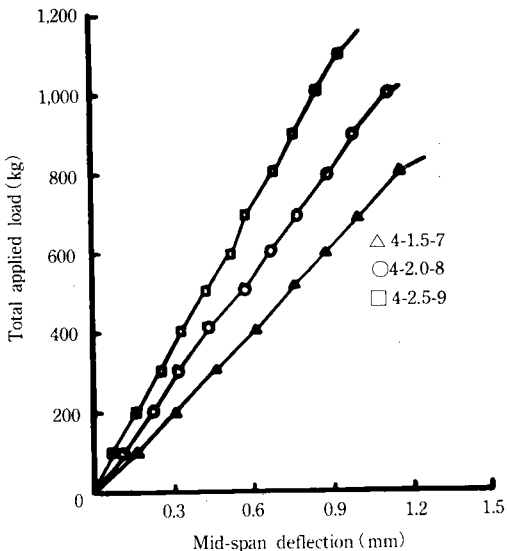


Fig. 4. Load-deflection response of constructions with 4cm cement concrete core.

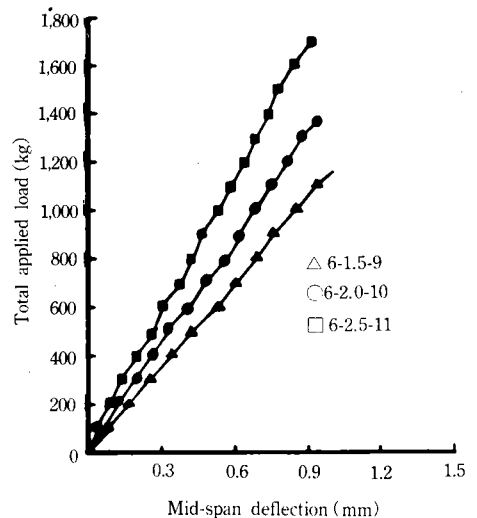


Fig. 5. Load-deflection response of constructions with 6cm cement concrete core.

Table-7. Test results of mid-span deflection and ultimate load.

Constructions	Total mid-span defl., Yu (mm)	Total mid-span defl. at 40% of ult. (mm)	Ultimate load, Pu (kg)	Yu/Pu (mm/kg)
4-1.5-7	1.26	0.49	827.3	0.00152
4-2.0-8	1.16	0.45	1,010.8	0.00115
4-2.5-9	1.05	0.42	1,149.5	0.00091
6-1.5-9	1.04	0.39	1,152.6	0.00091
6-2.0-10	1.00	0.37	1,410.9	0.00071
6-2.5-11	0.94	0.36	1,727.8	0.00054

中心部 두께 4 cm를 갖는 경우가 1.05~1.26 mm 이고, 6 cm를 갖는 경우는 0.94~1.04 mm를 보였다. 極限荷重의 40%에 해당되는 荷重에서의 처짐은 中心部 두께 4 cm인 경우 0.42~0.49 mm, 6 cm인 경우는 0.36~0.39 mm를 보였다.

極限荷重은 中心部 두께 4 cm인 경우 827.3~1,149.5 kg, 6 cm인 경우는 1,152.6~1,727.8 kg이었고, 또한 單位荷重當 처짐(Yu/Pu)은 中心部 두께 4 cm인 경우 0.00091~0.0015, 6 cm인 경우는 0.00054~0.00090을 보여 결국 中心部나 表面部の

두께가 샌드위치 構造材의 처짐이나 極限強度에 끼치는 영향이 매우 큼을 알 수 있었다.

### 3. 荷重-變形率關係

Fig. 6 및 Fig. 7은 中心部 두께별 荷重과 引張側 變形率의 關係를 나타낸 것이다. 이 結果에서 引張變形率은 中心部 두께 4 cm인 경우가  $738 \times 10^{-6} \sim 796 \times 10^{-6}$ , 6 cm인 경우가  $625 \times 10^{-6} \sim 892 \times 10^{-6}$ 로서 中心部 두께가 클수록 작은 引張變形率을 보였다.

Fig. 8은 대체적으로 極限荷重의 40%, 70% 및 破壞荷重에 到達했을 때 引張側 3地點, 壓縮側

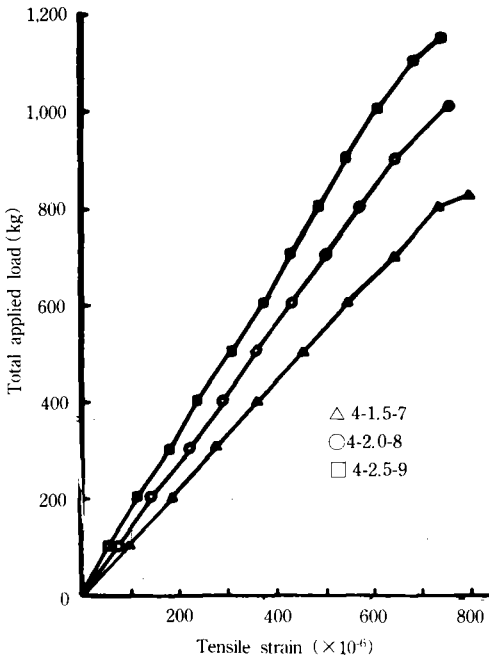


Fig. 6. Load-strain relationships for constructions with 4cm cement concrete core.

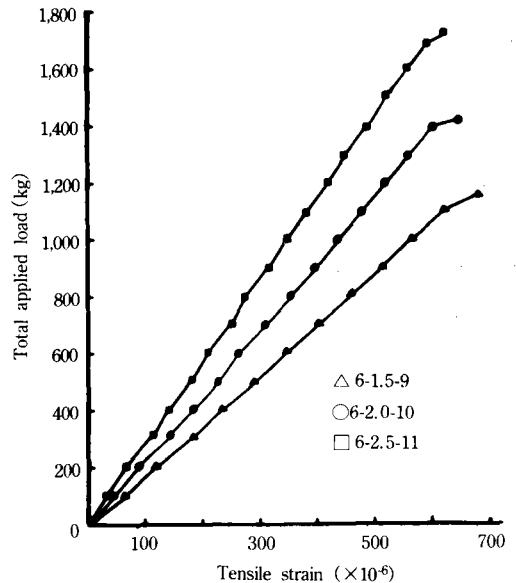


Fig. 7. Load-strain relationships for constructions with 6cm cement concrete core.

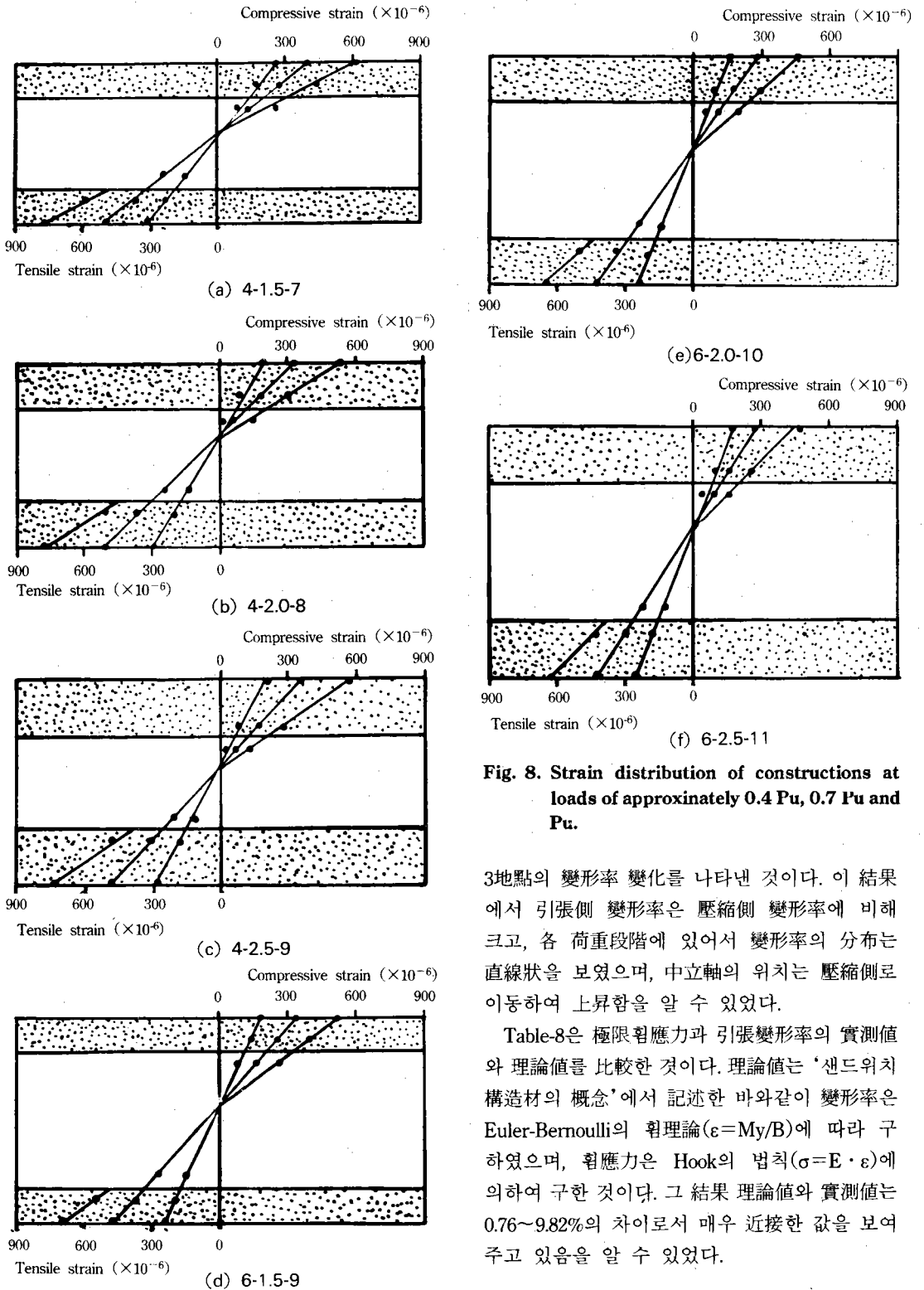


Fig. 8. Strain distribution of constructions at loads of approximately 0.4 Pu, 0.7 Pu and Pu.

3地點의 變形率 變化를 나타낸 것이다. 이 結果에서 引張側 變形率은 壓縮側 變形率에 비해 크고, 各 荷重段階에 있어서 變形率의 分布는 直線狀을 보였으며, 中立軸의 위치는 壓縮側로 이동하여 上昇함을 알 수 있었다.

Table-8은 極限휨應力과 引張變形率의 實測値와 理論値를 比較한 것이다. 理論値는 '샌드위치 構造材의 概念'에서 記述한 바와같이 變形率은 Euler-Bernoulli의 휨理論( $\epsilon = My/B$ )에 따라 구하였으며, 휨應力은 Hook의 법칙( $\sigma = E \cdot \epsilon$ )에 의하여 구한 것이다. 그 結果 理論値와 實測値는 0.76~9.82%의 차이로서 매우 近接한 값을 보여 주고 있음을 알 수 있었다.



Table-8. Comparison between observed and theoretical values in ultimate bending stress and tensile strain.

Constructions	Ultimate bending stress (kg/cm <sup>2</sup> )		Ultimate tensile strain (x10 <sup>-6</sup> cm/cm)		Percent difference
	Observed	Theoretical	Ovserved	Theoretical	
4-1.5-7	1,751	1,722	796	783	+1.66
4-2.0-7	1,683	1,632	765	742	+3.09
4-2.5-9	1,623	1,478	738	672	+9.82
6-1.5-9	1,522	1,419	692	645	+7.28
6-2.0-10	1,419	1,430	645	650	-0.76
6-2.5-11	1,364	1,465	625	666	-6.15

Table-9. Test results of ultimate moment and mode of failure.

Constructions	Ultimate moment (kg · cm)			Mode of failure
	Sandwich	Transformed*	Sandch/Transformed	
4-1.5-7	17,580	4,410	3.98	Flexure
4-2.0-8	21,479	5,760	3.73	〃
4-2.5-9	24,426	7,290	3.35	〃
6-1.5-9	24,492	7,290	3.36	〃
6-2.0-10	29,981	9,000	3.33	〃
6-2.5-11	36,715	10,890	3.37	〃

\*Substitute portland cement concrete section for polymer concrete sandwich constructions.

#### 4. 極限모멘트 및 破壞樣相

Table-9는 極限모멘트의 試驗值 및 破壞樣相을 調査한 結果이다. 極限모멘트는 中心部の 두께 4cm일 경우 17,580~24,426kg · cm인데 비해 6cm일 경우는 24,492~36,715kg · cm로서 훨씬 높은 값을 보였다.

이 結果를 中心部를 구성하고 있는 시멘트 콘크리트로 샌드위치 構造材와 同一한 斷面을 갖는 靱部材로 하였을 경우 換算된 極限모멘트와 比較해 보았던 바, 약 3~4배나 되는 높은 強度를 보였다. 따라서, 同一한 斷面의 시멘트 콘크리트 만으로 할 경우 보다 폴리머 콘크리트 샌드위치 構造材로 하는 경우가 매우 유리함을 알 수 있었다. 이는 특히 순수한 無筋 샌드위치 構造材의 제조는 물론이거니와 노후된 콘크리트 靱部材나 슬래브의 補強에도 매우 效果的임을 示唆해주는 結果라고 생각된다.

한편, 破壞樣相을 조사하여 본 바, 龜裂發生 없이 갑작스럽게 脆性破壞를 일으켰다. 그리고, 모든 샌드위치 構造材는 靱破壞를 일으켰으나 剪斷破壞는 發見되지 않았으며, 引張側에서 먼저 破壞가 일어났다. 이는 앞에서 논한 中立軸이 壓縮側으로 이동함과 동시에 引張側 變形率이 크게 나타난 것과 密接한 관련이 있는 結果라고 하겠다.

#### V. 結 論

이 研究는 폴리머 콘크리트를 表面部로 하고, 시멘트 콘크리트를 中心部로 하는 샌드위치 構造材의 靱特性을 究明하기 위한 것이다. 단면의 形狀에 따른 6個의 供試體에 대한 靱試驗을 실시하여 荷重-처짐 관계, 荷重-變形率 관계, 極限 모멘트 및 破壞樣相 등을 조사하였던바, 다음과 같은 結論을 얻었다.

1. 샌드위치 構造材에 使用된 폴리머 콘크리트는 시멘트 콘크리트 보다 強度가 훨씬 강하나 彈性係數는 작은 것으로 나타났다.

2. 中心部나 表面部の 두께가 샌드위치 構造材의 처짐이나 極限強度에 미치는 영향은 큰 것으로 나타났다.

3. 破壞時까지의 變形率 분포는 거의 直線形이었으며, 引張側 端部 폴리머 콘크리트의 極限變形率은  $625 \times 10^{-6} \sim 766 \times 10^{-6}$ 을 보였는데, 이는 中心部 두께와 表面部 두께가 작을수록 크게 나타났다.

4. 샌드위치 構造材의 極限모멘트와 순수한 시멘트 콘크리트 斷面으로 換算된 構造材의 極限모멘트를 비교하면 約 3~4배의 높은 強度增進을 보여 補強效果가 매우 큼을 알 수 있었다.

5. 앞으로 이 研究를 더 발전시키기 위해서는 翹부재의 剪斷變形, 構成材料의 熱膨脹性, 收縮性 및 크리프 特性 등에 대한 研究가 더 이루어져야 할 것으로 思料된다.

이 研究는 1988年度 韓國科學財團 研究費 (一般研究) 支援에 의한 결과임.

### 參 考 文 獻

1. Abdel-Sayed G., "Composite Cold-Formed Steel-Concrete Beams", Journal of the Structural Division, ASCE, November, 1982.
2. Allen, Howard G., "Analysis and Design of Structural Sandwich Panels", Pergamon Press, 1969.
3. ACI Committee 548, "Polymers in Concrete - State of the Art Report". American Concrete Institute, 1977.
4. Drysdale, R. G., "Thick Skin Sandwich Beam Columns with Weak Cores", Journal of the Structural Division, ASCE, December, 1979.
5. Fowler, D. W. and D. R. Paul, "Status of Concrete-Polymer Materials in the United States", Polymers in Concrete, Third International Congress on Polymers in Concrete, Koriyama, Japan, 1981.
6. Higdon, Archie, E. H. Ohlsen, W. B. Stiles,

- J. A. Weese, and W. F. Riley, "Mechanics of Materials", 3rd Edition, John Wiley & Sons, Inc., 1976.
7. Hoyle R. J., "Behavior of Wood I-Beams Bonded with Elastomeric Adhesive", Washington State University, College of Engineering Research Division, Bulletin 328, 1973.
8. Hsu, Huey-Tsann, "Flexural Behavior of Polymer Concrete Beams", Ph. D. Dissertation, The University of Texas at Austin, 1984.
9. Koyanagi, W., S. Ohno, N. Murai and F. Hayaishi, "The Optimum Design of Resin Concrete Flexural Member", Transactions of the Japan Concrete Institute, Vol. 3, 1981.
10. Norris, C. B., W. S. Erickson, and W. J. Kommers, "Flexural Rigidity of a Rectangular Strip of Sandwich Construction", FPL Report No. 1505-A, U. S. D. A., Forest Products Laboratory, 1956.
11. Pfeifer, D. W., and J. A. Hanson, "Precast Concrete Wall Panels: Flexural Stiffness of Sandwich Panels", A Symposium on Precast Concrete Wall Panels, ACT SP-11, 1965.
12. Plantema, Frederick J., "Sandwich Construction--The Bending and Buckling of Sandwich Beams, Plates, and Shells", John Wiley & Sons, Inc., 1966.
13. Prusinski, Richard C., "Precast Polymer Concrete", Polymers in Concrete, International Symposium, ACI SP-58, 1978.
14. Solomon, S. K., D. W. Smith, and A. R. Cusens, "Flexural Tests of Steel-Concrete-Steel Sandwiches", Magazine of Concrete Research, March, 1976.
15. Wang, C. K., and C. G. Salmon, "Reinforced Concrete Design", 4th Edition, Harper & Row, Inc., 1985.
16. Yeon, K. S., D. W. Fowler and D. L. Wheat, "Static Flexural Behavior of Various Polymer Concrete Beams", International Congress on Polymers in Concrete, U. K., England, 1987.