

4邊이 單純支持된 폴리머 모르터 샌드위치 패널의 構造的 舉動

Structural Behavior of Polymer Mortar Sandwich Panels with Simply Supported Four Edges

연 규 석* 김 광 우** 김 기 성*** 황 진 용****
Yeon, Kyu Seok Kim, Kwang Woo Kim, Ki Sung Hwang, Jin Yong

요 약

본 연구에서는 표면부를 에폭시 폴리머 모르터로 하고, 중심부를 發泡 폴리스티렌으로 하는 샌드위치 패널을 제조하여, 표면부를 鎔接鐵網으로 보강한 경우와 보강하지 않은 경우에 대하여 4邊 單純支持 조건에서의 靜的 載荷試驗을 통해 하중-처짐, 휨모멘트-변형률, 파괴양상 등을 究明하였다. 單位重量, 極限荷重, 휨모멘트는 중심부의 두께보다 표면부 두께에 더 큰 영향을 받으며 극한처짐은 보강안된 경우 표면부 보다 중심부 두께의 영향이 월등히 컸으나 보강된 경우는 표면부나 중심부 두께의 영향이 비슷하였다. 그리고 용접철망의 보강은 샌드위치 패널의 처짐억제 보다 韌性增加에 기여도가 높은 것으로 나타났다. 샌드위치 패널의 破壞樣相은 보강하지 않은 경우 線形破壞가 일어난데 비해 보강한 경우는 放射狀의 破壞가 일어났다.

Abstract

The structural behavior of sandwich panels with simply supported four edges was evaluated under static loading at center. The sandwich panels were made using epoxy polymer mortar facing and expanded polystyrene core. Unit weight, ultimate load and bending moment were affected by thickness of facing rather than core. Unreinforced panels showed that the maximum deflection was a function of core thickness rather than facing thickness, but reinforced panels did not show much difference due to variation of facings or core thickness. Reinforcement was found to be less effective in reducing deflection. An obvious trend was found in crack pattern in accordance with facing thickness for unreinforced panels. However, multi directional crack patterns were found for reinforced panels.

* 정회원, 강원대학교 농공학과 교수
** 정회원, 강원대학교 농공학과 조교수
*** 강원대학교 농공학과 강사
**** 강원대학교 대학원 농공학과

• 본 논문에 대한 토의를 1993년 9월 30일까지 학회로 보내
주시면 1993년 12월호에 토의회답을 게재하겠습니다.

Keywords : sandwich panel, facing, core, epoxy resin polymer mortar, expanded polystyrene, ultimate load, ultimate flexural moment, crack pattern,

1. 序 論

고분자 재료인 폴리머의 내구성, 경량성, 절연성, 접착성, 수밀성등의 특성을 이용한 프리캐스트 월(precast wall), 커튼월(curtain wall) 등이 建設産業用 구조재로서 새롭게 등장하고 있다. 이러한 패널 형태 중의 하나가 合成構造인 샌드위치 패널(sandwich panel)이다. 샌드위치 구조는 기본적으로 얇고 강한 表面部와 경량인 中心部로 구성되는데 建築산업용 공장제품으로서 널리 이용키 위해서는 強度 뿐만아니라 惡天候에서도 견딜 수 있는 탁월한 내구성을 갖고 있어야 한다.

샌드위치 구조물이 변형을 일으켰을 때 중심부가 表面부와 서로 離脱 되어서는 안될 만큼 충분한 附着性을 가져야하며, 압축력을 받을 때는 表面부가 국부적 휨을 받지 않도록 충분한 안정성이 확보되어야만 한다.

이와같은 점들을 감안할 때 콘크리트, 合板, 알루미늄 등을 表面부로 하고, 斷熱材를 중심부로 하여 제조한 기존의 샌드위치 구조물들에 비하여 폴리머를 表面부에 사용한 샌드위치 패널은 상당히 유리한 점을 가지고 있다고 할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 表面부를 높은 接着性, 速硬性, 高強度인 에폭시수지 폴리머 모르타르하고, 중심부를 發泡 폴리스티렌(expanded polystyrene) 으로하는 샌드위치 패널을 제조하여, 表面부를 鎔接鐵網(welded wire-mesh)으로 보강한 경우와 보강하지 않은 경우에 대하여 究明코져 한다.

表面부에 에폭시 폴리머 모르타르를 사용한 이유는 接着性이 양호하고, 發泡 폴리스티렌을 鎔解시키지 않아 샌드위치 패널 제조에 無理가 없기 때문이며, 中心부에 發泡 폴리스티렌을 사용한 이유는 輕量이고, 斷熱性이 우수하며 가격이 저렴하기 때문이다. 그리고 補強材로서 용접철망을 사용한 것은 구입이 용이하고, 加工 및 組立이

용이할 뿐 아니라 보강효과가 뛰어난 것으로 알려져 있기 때문이다.

본 研究의 주된 목적은 表面부와 중심부의 두께를 변화시킨 벽체용 샌드위치 패널을 대상으로 4邊 單純支持 조건에서의 靜的 載荷試驗을 통해 하중-처짐, 휨모멘트-변형률, 파괴양상 등을 究明함으로써 폴리머를 이용한 샌드위치 패널 개발에 있어 基礎資料로 제공코져 하는 것이다.

2. 材料 및 方法

2.1 使用材料

2.1.1 폴리머 모르타

본 연구에서 사용된 샌드위치 패널의 表面부 재료는 에폭시 폴리머 모르타르로서 에폭시 樹脂, 플라이 애쉬, 細骨材로 구성되어 있다. 充填材로 사용된 플라이애쉬는 粒徑이 $72.4 \times 10^{-3} \text{mm}$ 이하고, 比重은 20℃에서 2.65였다. 세골재는 洪川江에서 채취된 강모래였다.

이들 재료의 配合比는 에폭시 수지 12.6wt%, 강모래 61.4wt%, 플라이애쉬 26.0wt%(1:4.8:2.1)이었다. 이는 실험실에서 事前 反復 試驗을 통해 결정된 배합비이다.

표면부용 에폭시 폴리머 모르타르에 대하여 材齡 10일에서의 탄성계수(KS F 2438), 압축강도(KS F 2481), 할렬인장강도(KS F 2480), 휨강도(KS F 2482)를 시험한 바, 그 結果는 Table 1과 같다.

Table 1 Physical and mechanical properties of epoxy polymer mortar for facing material

Specific gravity	Elastic modulus (MPa)	Compressive strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Flexural strength (MPa)
1.8	19,000	83.5	12.3	31.2

이 결과에서 볼 수 있듯이 에폭시 폴리머 모르타의 강도는 재령 28일인 시멘트 모르타의 강도⁽¹⁶⁾(압축강도 $\sigma_c=24.1\text{MPa}$, 활렬인장강도 $\sigma_t=2.8\text{MPa}$, 휨강도 $\sigma_b=5.8\text{MPa}$)와 비교할 때, 압축강도는 3.5배, 활렬인장강도는 4.4배, 휨강도는 5.4배 정도였다. 強度比를 살펴보면 σ_c/σ_t 는 6.8, σ_c/σ_b 는 2.7이었고, σ_b/σ_t 는 2.5로서 시멘트 콘크리트의 경우와 비교해 볼 때, σ_t/σ_c 와 σ_b/σ_c 가 매우 큰 것으로 나타났다. 이것은 結合材인 에폭시 수지가 시멘트 보다 靱性이 큰 데 기인한다고 할 수 있다.

2.1.2 鎔接鐵網

본 실험에서 사용한 용접철망은 주로 시멘트 콘크리트 鋪裝에 이용되는 것으로서 鐵網의 크기는 $20.0\text{cm}\times 20.0\text{cm}$ 이었다. 그러나 이것은 너무 간격이 넓어서 $10.0\text{cm}\times 10.0\text{cm}$ 로 특별 제작한 철망을 사용하였으며, 구성재료인 鐵線의 物理的·力學的 성질은 Table 2에서 보는 바와 같다.

Table 2 Physical and mechanical properties of welded wire-mesh for reinforcing material

Specific gravity	Tensile strength (MPa)	Elastic modulus (MPa)	Diameter (mm)
7.93	36,500	194,000	2.5

2.1.3 發泡 폴리스티렌

중심부에 사용된 재료는 건축용 斷熱材로 가장 널리 이용되고 있는 發泡 폴리스티렌이며, 이것의 物理的·力學的 성질은 Table 3에 보인 바와 같다.

Table 3 Physical and mechanical properties of expanded polystyrene for core material

Specific gravity	Elastic modulus (MPa)	Compressive strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Flexural strength (MPa)
0.03	7	0.16	-	0.34

2.2 試驗體 제작

제작된 샌드위치 패널의 규격은 $70\text{cm}\times 120\text{cm}$ 이며, 표면부의 보강유무와 두께에 따라 모두 12가지를 제작하였다. 즉, 中心部의 두께는 50mm, 100mm 두 종류이며, 表面部 두께는 5mm, 8mm, 12mm 세 종류로서 표면부를 보강한 것 6가지, 보강하지 않은 것 6가지이다. 패널의 제작방법은 다음과 같다.

2.2.1 표면부를 보강하지 않은 샌드위치 패널의 제작

패널의 중심부용 발포폴리스티렌을 소정의 크기로 切斷한 후 목재 거푸집을 설치하여 일정한 두께로 타설하였다. 표면부의 에폭시 폴리머 모르타 타설 과정에서 거푸집 離脫 방지를 위하여 4번을 완전 고정시켰으며, 양생후 거푸집의 脫型을 용이하게 하기 위해 목재 거푸집의 표면에 剝離劑를 발랐다. 그리고 중심부와 표면부와의 접착성 확보를 위해 폴리머 모르타를 打設하기 전에 에폭시 수지로서 약 0.5mm 두께의 택코팅(tack coating)을 하고 에폭시 폴리머 모르타를 타설하였다. 또한 에폭시 폴리머 모르타는 速硬化이므로 가급적 짧은 시간에 타설작업이 완료되도록 하였다. 제작된 패널은 溫度 $20\pm 3^\circ\text{C}$, 濕度 60~70%인 실험실에서 10일간 養生시켰다.

2.2.2 表面部를 보강한 샌드위치 패널의 제작

표면부를 보강하지 않은 경우의 패널 제작 방법과 큰 차이는 없다. 택코팅 후에 용접철망을 표면에 고정시키고, 에폭시 폴리머 모르타를 타설하였다. 이때 표면부가 5mm인 경우는 에폭시 폴리머 모르타를 일정한 두께로 마무리 하는 단계에서 용접철망에 에폭시 폴리머 모르타가 묻치는 현상이 발생하는 관계로 타설의 어려움이 있었다. 養生條件은 표면부를 보강하지 않은 샌드위치 패널과 같으며, 제작된 패널의 세부사항은 Table 4와 같고, 圖式的 概要는 Fig.1과 같다.

Table 4 Detail of sandwich panels

Sandwich panel (ID)	Thickness (mm)		
	Core (Polystyrene)	Facing (Polymer mortar)	Total
C50-F5	50	5	60
C50-F8		8	66
C50-F12		12	74
C100-F5	100	5	110
C100-F8		8	116
C100-F12		12	124

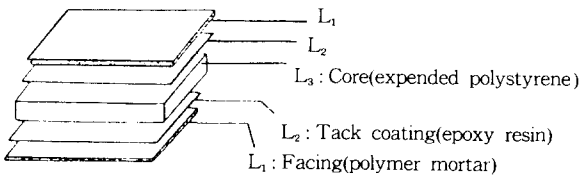


Fig. 1 Schematic diagram of a sandwich panel

2.3 試驗方法

2.3.1 單位重量

70cm×120cm인 샌드위치 패널의 個當 重量을 패널의 個當 面積(0.84m²)으로 나누어 구한 單位面積當 重量을 單位重量으로 하였다.

2.3.2 패널의 支持形態 및 載荷

지금까지 샌드위치패널의 構造的 舉動 시험은 대부분 2邊 單純支持 조건에서 이루어졌다.^(12,14) 그러나 본 연구에서는 패널의 실용화 측면에서 各邊의 지지상태를 고려하여 4邊 單純支持 상태로서 실험하였다. 載荷時에는 應力集中을 완화시키기 위해 지름 21.8cm인 圖形板(patch)을 사용하였다. Fig. 2는 샌드위치 패널의 재하상태를 보여주는 것이며, Fig. 3은 變位測定裝置(displacement transducer)의 設置와 스트레인 게이지의 附着位置를 나타내 주는 그림이다.

2.3.3 하중-처짐

U.T.M에 의한 載荷 段階別 샌드위치 패널의 처짐을 측정키 위해 中央點에 변위측정장치가 설치되었으며, 이로부터 처짐량이 측정되었다.

2.3.4 휨모멘트-변형률

중앙부 인장측에 2개의 스트레인 게이지를 직각으로 부착시켜 장변 및 단변방향에 대한 변형률을 측정하였다. 最大휨모멘트의 산출은 다음 식을 이용하여 구하였다.⁽⁸⁾

$$M_{xx} = \beta_1 \times P, \quad M_{yy} = \beta_2 \times P \quad (1)$$

위 식에서 M_{xx} , M_{yy} 는 각각 長邊과 短邊에 대한 휨모멘트이며, 이 때 비틀림모멘트도 발생하나 등방성 패널에서는 휨모멘트보다 훨씬 작으므로 일반적으로 설계에서 무시한다.

여기서, β_1 , β_2 는 a/b 및 D_1/D_2 에 의하여 결정되는 應力集中係數(stress concentration parameter)로 Table 5에서 구하며, P는 재하된 하중을 나타낸다. 이 표에서는 β_1 , β_2 값은 재하판 지름이 $d=d/32$ 일 때의 기준치로서 지름이 다른 경우는 다음과 같은 식에 의해 계산된 수정계수를 곱한 것으로 한다.

$$0.19(0.435 + 1.3 \log 4b/\pi d) \quad (2)$$

그리고 a/b는 패널의 장변과 단변의 길이에 대한 비율이며, D_1/D_2 는 장변과 단변에 대한 휨剛性比로서 等方性(isotropic plate)이면 $D_1/D_2=1$ 이다. 이와 같은 근거에 의해 보간법으로 계산된 β_1 값은 0.0818, β_2 값은 0.0962이었다.

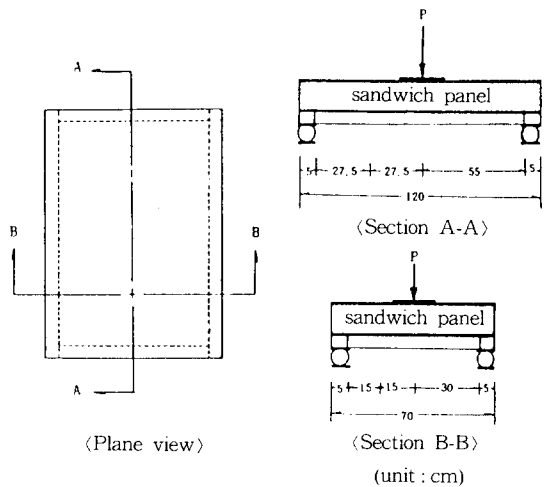
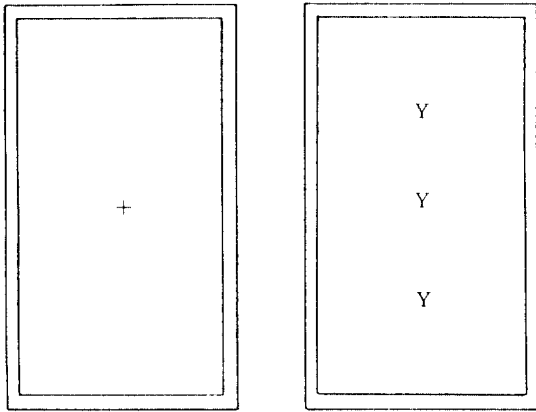


Fig. 2 Instrumentation of test sandwich panel



+ : Strain gauge
Y : Displacement transducer

Fig. 3 Installation of strain gauge and displacement transducer at the bottom of sandwich panel

Table 5 Stiffness and stress parameter for rectangular orthotropic plate under center point loading with simply supported four edges⁽⁸⁾

D_1/D_2	a / b				
	0.25	0.5	1	2	4
1 β_1	0.397	0.445	0.435	0.365	0.297
	β_2	0.295	0.365	0.435	0.445
2 β_1	0.467	0.535	0.553	0.458	0.368
	β_2	0.230	0.290	0.363	0.395
4 β_1	0.548	0.635	0.692	0.587	0.463
	β_2	0.178	0.232	0.293	0.345
7 β_1	0.620	0.725	0.813	0.725	0.558
	β_2	0.147	0.192	0.243	0.307
10 β_1	0.670	0.787	0.892	0.892	0.63
	β_2	0.128	0.170	0.217	0.282
15 β_1	0.730	0.862	0.983	0.817	0.575
	β_2	0.110	0.148	0.188	0.213

2.3.5 破壞形態

재하 과정에서 샌드위치 패널의 균열은 압축측에서 일어나는 것만을 관찰할 수 밖에 없었으므로 인장측에 대한 것은 패널이 파괴된 후 파괴양상의 관찰을 통해 확인하였다.

3. 結果 및 考察

3.1 單位重量

샌드위치 패널에 있어서 단위중량은 제작, 설계, 취급 등 그 이용에 있어서 중요한 요소라고 할 수 있다. 대체적으로 단위중량의 증가는 운반 및 시공상의 어려움은 물론 死荷重의 증가를 가져오는 등의 단점을 수반하게 된다. 샌드위치 패널이 구조용 부재로서 관심의 대상이 되는 것도 斷熱性能이 우수할 뿐 아니라 輕量化를 기할 수 있기 때문이다. 본 연구에서 대상으로 한 에폭시 폴리머 모르타 샌드위치 패널의 단위중량 측정결과를 Table 6과 같다.

Table 6 Unit weight of sandwich panels

Sandwich panel (ID)	Core (mm)	Unit weight (kg/m ²)	
		Unreinforced	Reinforced
C50-F5	50	26.6	27.7
C50-F8		38.9	40.9
C50-F12		55.0	57.8
C100-F5	100	27.7	28.8
C100-F8		40.2	42.2
C100-F12		56.2	59.1

이 결과에서 에폭시 폴리머 모르타 샌드위치 패널의 單位重量은 표면부 두께에 큰 영향을 받을 수 있다. 그리고 표면부를 보강한 경우의 중량은 보강하지 않은 경우보다 4.1~5.2wt%의 증가를 나타냄으로써, 용접철망 자체의 중량이 샌드위치 패널의 중량증가에 크게 영향을 미치지 않음을 알 수 있었다.

3.2 하중-처짐

3.2.1 表面部를 보강하지 않은 패널의 하중-처짐

Fig. 4는 표면부가 보강되지 않은 샌드위치 패널에서 중심부 두께가 50mm, 100mm인 경우 표면부 두께에 따른 하중-중양점 처짐의 관계를 나타낸 것이다.

표면부가 처짐에 미치는 영향을 살펴보면 중심부 두께 50mm인 경우 표면부가 두꺼울수록 직선

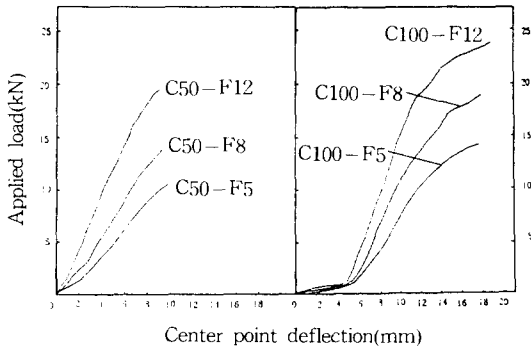


Fig. 4 Load-deflection response at center point for unreinforced sandwich panels

적인 변화양상을 보였으나, 최종 처짐량은 표면부 두께에 따라 큰 차이를 보이지 않았다. 그러나 단위하중당 처짐량은 표면부 두께 50mm에서 0.83mm/kN, 8mm에서 0.64mm/kN, 12mm에서 0.44mm/kN을 나타내 표면부의 두께가 두꺼울수록 단위하중당 처짐량은 작게 나타났다. 표면부 두께 5mm와 12mm를 비교해 보면 거의 2배의 단위하중당 처짐량 차이를 보여 표면부 두께가 처짐의 증가율과 밀접한 관계에 있음을 알 수 있었다.

중심부 두께 100mm인 경우는 초기에 4~5mm의 급격한 처짐을 보인 후에야 비로소 중심부 두께 50mm인 경우의 하중-처짐 양상과 비슷하게 나타났다. 이와같이 초기처짐이 크게 나타난 것은剛性이 작은 중심부의 발포 폴리스티렌이 두꺼운 층을 형성함으로써 초기의 자체 침하가 발생하기 때문이라고 판단된다.

따라서 단위하중당 처짐량도 상당히 크게 나타났는데, 이는 표면부 두께 5mm에서 1.21mm/kN, 8mm에서 0.95mm/kN, 12mm에서 0.8mm/kN로서 표면부 두께에 따라서도 역시 큰 차이를 나타냈다. 그러나 최종 처짐량은 중심부 두께 50mm에서와 마찬가지로 표면부 두께에 따라 큰 차이를 보이지 않았다.

중심부 두께에 따른 최종 처짐량의 차이를 살펴보면 중심부 두께 50mm일 때 평균 9mm정도, 100mm일 때 평균 18mm 정도의 처짐이 생겨 약 2배의 차이를 보였다.

결과적으로 볼 때, 용접철망으로 보강되지 않은

경우 중앙점의 최종 처짐량은 표면부보다도 중심부의 두께에 따라 큰 차이를 보였으며, 중앙점에서의 단위하중당 처짐량은 표면부와 중심부의 두께에 모두 큰 영향을 받는 것으로 나타났다.

3.2.2 표면부를 보강한 패널의 하중-처짐

Fig. 5는 표면부가 용접철망으로 보강된 샌드위치 패널에서 중심부의 두께가 50mm, 100mm일 때 표면부 두께에 따른 중앙점에서의 하중-처짐관계를 나타낸 것이다.

표면부 두께에 따른 하중-처짐 관계를 살펴보면 중심부 두께 50mm인 경우 표면부 두께가 두꺼울수록 처짐량은 작아졌으며, 용접철망으로 보강되지 않은 경우와 달리龜裂을 예측할 수 있는 항복점이 뚜렷하게 나타났다. 단위하중당 처짐량은 표면부 두께 5mm에서 1.12mm/kN, 8mm에서 0.68mm/kN, 12mm에서 0.44mm/kN으로서 역시 표면부가 두꺼울수록 작은 값을 보였다.

중심부 두께 100mm인 경우에는 50mm인 경우와 반대로 표면부 두께가 두꺼울수록 처짐량은 커졌다. 단위하중당 처짐량은 표면부 두께 5mm일 때 0.84mm/kN, 8mm일 때 0.69mm/kN, 12mm일 때 0.58mm/kN으로서 역시 표면부가 두꺼울수록 작은 값을 보였으나 그 차이는 크지 않았다.

중심부의 두께에 따른 하중-처짐관계에서 최종 처짐량은 표면부의 두께에 따라 차이가 있었지만 중심부 두께 50mm인 경우와 100mm인 경우의 평균 최종 처짐량은 각각 16mm정도로서 큰 차이

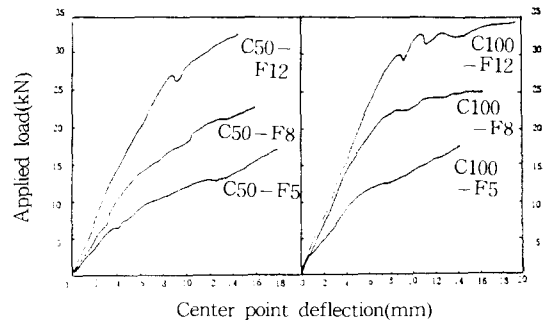


Fig. 5 Load-deflection response at center point for reinforced sandwich panels

를 보이지 않았다.

결과적으로 볼 때, 용접철망으로 보강된 샌드위치 패널의 하중-처짐 관계에서 중심부의 두께가 얇으면 표면부의 두께가 얇을수록, 중심부의 두께가 두꺼우면 표면부가 두꺼울수록 큰 처짐을 동반하나 중심부 두께에 따른 최종 처짐량의 차이는 보강치 않은 샌드위치 패널에서처럼 크지는 않았다. 이와같은 이유는 철망보강으로 인한 인성 증가 효과 때문이라고 사료된다. 그리고 보강되지 않은 샌드위치 패널의 하중-처짐 곡선과 비교해 볼 때 중요한 차이점은 표면부의 균열을 파악할 수 있는 항복점이 뚜렷하였다는 점과 중심부 두께 100mm인 경우 재하점의 국부침하로 인한 초기 처짐이 급격히 증가하는 양상을 발견할 수 없었다는 점이라 하겠다.

3.3 휨모멘트-변형률

3.3.1 표면부를 보강하지 않은 패널의 휨모멘트-변형률

시험체가 等方性 矩形板(rectangular isotropic plate)이기 때문에 長邊과 短邊에 대한 휨모멘트와 변형률이 구해질 수 있으나 실제 破壞를 지배할 뿐 아니라 설계시 이용되는 短邊에 대한 휨모멘트와 변형률이 더 중요한 요소가 된다.

Fig. 6은 표면부가 보강되지 않은 패널에서 중심부가 50mm, 100mm인 경우 表面部 두께 5, 8, 12mm를 갖는 각 패널의 단변방향에 대한 모멘트-변형률 관계를 나타낸 것이다.

이 결과에서 휨모멘트는 중심부와 표면부의 두께가 증가할 수록 모두 커지는 경향을 보였으나 그 증가폭은 중심부의 두께보다는 표면부의 두께에 더 큰 영향을 받는 것으로 나타났다. 그리고 변형률의 경우 중심부 두께 50mm일 때 극한변형률이 약 $1,200 \times 10^{-6}$ 으로서 표면부의 두께에 따라 큰 차이를 보이지 않았다. 그러나 표면부 두께 100mm일 때는 극한변형률이 $930 \times 10^{-6} \sim 1230 \times 10^{-6}$ 으로서 큰 차이를 보였는데 표면부 두께가 증가할 수록 현저히 증가하는 경향을 나타냈다. 이와같이 변형률이 다르게 나타난 것은 샌드위치

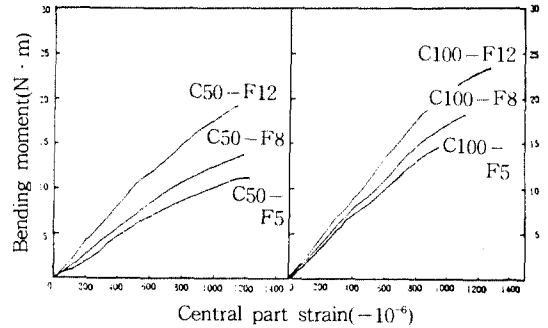


Fig. 6 Moment-strain response in short direction for unreinforced sandwich panels

패널 자체가 변형성이 큰 發泡 폴리스티렌을 중심부로 하는 복합체로서 표면부와 중심부의 두께비에 대한 영향 때문인 것으로 해석할 수 있다.

여기서 중요한 점은 가장 큰 단변방향의 중앙점 극한변형률이 $1,230 \times 10^{-6}$ 으로서 작게 나타났다는 점인데, 그 원인은 강성이 작은 중심부와 얇은 표면부를 갖는 샌드위치 패널의 構造的 特性에 기인하기 때문인 것으로 생각된다.

3.3.2 표면부를 보강한 패널의 휨모멘트-변형률

표면부를 용접철망으로 보강한 경우는 파괴점에서의 극한변형률이 측정되지 않았다. 그 이유는 스트레인 게이지의 길이가 7cm이고, 용접철망의 규격이 10×10 cm로서 철망이 위치한 중앙지점에 스트레인 게이지를 부착시켰기 때문이라고 사료된다. 따라서 여기서는 스트레인 게이지가 파괴될 때까지 초기의 휨모멘트와 변형률 관계에 대해서만 고찰키로 한다.

Fig. 7은 표면부를 용접철망으로 보강한 경우 중심부가 50mm, 100mm이고 表面部 두께가 5, 8, 12mm인 샌드위치 패널의 중앙점에서 단변방향의 휨모멘트-변형률 관계를 나타낸 것이다.

중심부가 50mm인 경우 표면부 두께에 관계없이 휨모멘트와 변형률은 거의 같은 증가폭으로 線形的인 증가를 보였다. 특히 5mm 표면부를 갖는 패널은 초기균열을 보인 후에도 계속적으로 휨모멘트와 변형률이 증가하고 있어 보강되지 않은 패널에서 처럼 균열발생과 동시에 파괴가

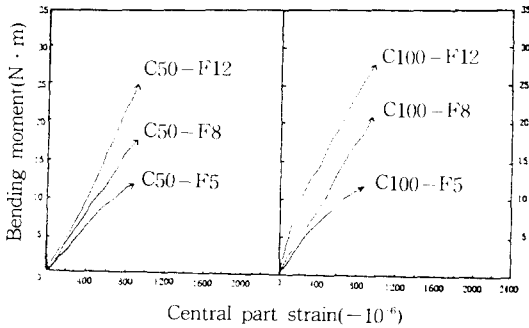


Fig. 7 Moment-strain response in short direction for reinforced sandwich panels

일어나지는 않았다.

중심부가 100mm인 경우는 표면부 두께가 두꺼울수록 휨모멘트의 증가폭이 현저하게 커진 것으로 보아 표면부가 두꺼운 패널이 더 큰 휨저항모멘트를 발휘함을 알 수 있다.

이 결과로부터 재하 초기에는 표면부 두께가 증가해도 변형률에 큰 차이가 없이 극한모멘트만이 크게 증가함을 알 수가 있다. 그리고 표면부가 보강되지 않은 경우는 균열과 동시에 파괴가 일어나脆性破壞 양상을 보였으나 보강된 경우는 균열이 발생하여도 즉시 파괴가 일어나지 않았는데 이는 용접철망의 보강효과 때문이라고 판단된다.

3.4 破壞形態

3.4.1 표면부를 보강하지 않은 패널

Fig. 8은 表面部를 보강하지 않은 샌드위치 패널의 파괴형태를 나타낸 것이다. 이 결과에서 볼 수 있듯이 균열양상은 表面部の 두께별로 일정한 경향을 보였다. 즉, 표면부의 두께가 5mm인 경우는 短邊의 斜方向으로, 8mm인 경우는 長邊方向으로, 12mm인 경우는 長·短邊方向으로 균열이 발생되어 파괴가 일어남을 알 수가 있다.

그러나 극한하중에 도달한 후의 破壞舉動은 中心部の 두께에 따라 큰 차이를 보였다. 즉, 중심부의 두께가 50mm인 경우는 중심부와 표면부가 동시에 파괴되어 완전히 切断되었으나, 100mm인 경우는 폭 0.05~0.1mm의 미세한 균열만 발생할 뿐 中心部の 파괴가 일어나지 않아 시험 후에

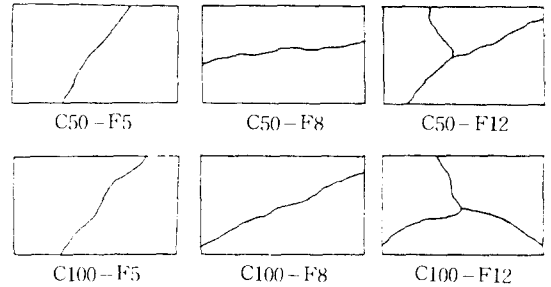


Fig. 8 Modes of failure for unreinforced sandwich panels

도 본래 모양의 유지가 가능했다. 이같은 원인은 표면부가 파괴되더라도 중심부가 두꺼워 상당한 復元力을 발휘할 수 있기 때문이라고 생각된다.

파괴형태의 관찰을 통해 나타난 또 하나의 중요한 점은 어느 패널에서도 중심부와 표면부의 分離를 발견할 수 없었다는 점이다. 이는 에폭시 수지의 강한 接着力에 기인하는 것으로서 샌드위치 패널 제조에 있어서 유리함을 보여주는 결과라고 하겠다.

3.4.2 표면부를 보강한 패널

Fig. 9는 表面部에 용접철망을 보강한 샌드위치 패널의 파괴형태를 나타낸 것으로서 龜裂樣相은 표면부보다도 중심부의 두께에 따라 큰 차이를 보였다. 즉, 中心部 두께 50mm인 경우에는 표면부 두께에 상관없이 복잡한 放射狀 龜裂이 발생되었으나, 중심부 두께 100mm인 패널의 경우는 단순한 放射狀의 파괴를 보였다. 그러나 용접철망으로 보강하지 않은 패널과 달리 모든 패널이 완전한 절단파괴가 일어나지 않아 시험 후에도 본래 모양의 유지가 가능했다. 이같은 원인은

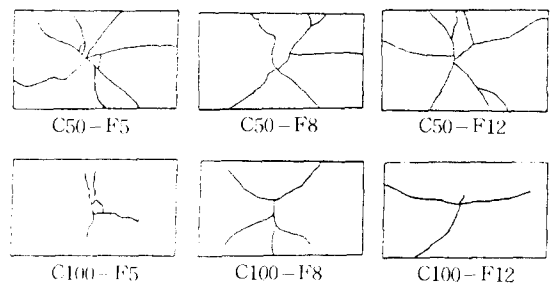


Fig. 9 Modes of failure for reinforced sandwich panels

철망으로 보강된 샌드위치 패널에서는 에너지 흡수능력이 커지기 때문인 것으로 분석된다.

이는 에폭시 수지의 강력한 접착력으로 인하여 에폭시 폴리머 모르타가 중심부의 發泡 폴리스티렌과는 물론 표면부 보강재인 용접철망과도 충분히 부착되어 있음을 의미하는 것으로서 샌드위치 패널 제조에 있어 또 하나의 유리함을 보여주는 결과라고 하겠다.

4. 綜合 論議

Table 7, 8은 표면부가 철망으로 보강되지 않은 것과 보강된 것의 비교를 위한 각종 시험결과를 나타낸 것이다.

이는 직사각형 패널의 중앙에 지름 21.8cm인 圖形板을 설치하고 하중을 가했을 경우의 값으로서 極限荷重은 파괴시의 것이며, 휨모멘트는 短邊과 長邊에 대한 것을 모두 생각할 수 있으나 파괴를 지배하는 短邊에 대한 휨모멘트만으로 하였다. 그리고 처짐은 載荷點에서 측정된 값이며, 변형률은 재하점의 밑부분, 즉 인장측에서 短邊방

향으로 측정된 값이다.

극한하중과 휨모멘트는 중심부의 두께보다도 표면부의 두께에 더 큰 영향을 받고 있음을 알 수 있다. 그리고 용접철망으로 보강된 경우가 보강되지 않은 경우보다 월등히 높게 나타났다. 그 증가율은 C100-F5 시험체에서 16%로 가장 낮았고, C50-F5 시험체에서 65%로 가장 높게 나타났다. 이로써 용접철망의 보강효과는 중심부의 두께가 작을수록, 표면부의 두께가 클수록 크게 나타남을 알 수 있다. 이와같은 원인은 剛性이 작은 중심부의 두께가 작아지고 剛性이 큰 표면부의 두께가 커진데다 철망으로 보강까지 되어 높은 휨강성의 증가 효과가 나타났기 때문이라고 생각된다.

극한처짐은 보강되지 않은 경우 표면부 두께보다도 중심부 두께의 영향이 월등히 크나, 보강된 경우는 이들의 영향이 작음을 알 수 있다. 보강유무에 따른 극한처짐을 비교해 보면 중심부의 두께가 50mm일 때 보강된 경우가 보강되지 않은 경우보다 오히려 67~97%나 증가했는데, 이는 보강에 의해 큰 변형에도 저항할 수 있는 에너지

Table 7 Test results of unreinforced sandwich panels

Sandwich panel I D	Load(kN)		Bending moment(N · m)		Deflection(mm)		Strain($\times 10^{-6}$)
	Cracking	Ultimate	Cracking	Ultimate	Cracking	Ultimate	Ultimate
C50-F5	11.3	11.3	10.8	10.8	9.4	9.4	1,230
C50-F8	11.8	13.9	11.3	13.3	7.5	8.9	1,195
C50-F12	12.2	19.6	11.7	18.8	5.0	8.6	1,100
C100-F5	14.4	14.4	13.8	13.8	17.5	17.5	930
C100-F8	17.2	18.9	16.5	18.1	15.9	18.0	1,140
C100-F12	19.4	23.7	18.6	22.7	12.4	19.1	1,232

Table 8 Test results of reinforced sandwich panels

Sandwich panel I D	Load(kN)		Bending moment(N · m)		Deflection(mm)		Strain($\times 10^{-6}$)
	Cracking	Ultimate	Cracking	Ultimate	Cracking	Ultimate	Ultimate
C50-F5	12.5	16.2	12.0	15.5	12.8	18.2	890
C50-F8	18.5	22.5	17.7	21.6	10.6	16.0	862
C50-F12	25.9	32.4	24.9	31.1	9.8	14.4	842
C100-F5	12.3	16.7	11.8	16.0	7.8	14.1	870
C100-F8	22.5	23.5	21.6	22.6	8.3	16.2	910
C100-F12	28.8	33.8	27.7	32.5	9.8	19.5	951

흡수능력이 커진데 基因한다고 생각된다.

그리고 중심부 두께 100mm인 경우는 보강한 경우가 보강치 않은 경우보다 표면부 두께 5mm, 8mm에서 각각 19%와 10%씩 감소했으나 표면부 두께 12mm에서는 오히려 2%의 증가를 보였다. 이는 용접철망이 응력집중을 완화시켜 재하초기에 발생하는 發泡 폴리스티렌의 자체 침하를 억제시켜 주었기 때문이라고 생각된다.

이러한 결과들을 종합해 볼 때 용접철망의 보강으로 인한 처짐량의 감소효과는 기대할 수 없었으며, 단지 극한하중과 극한처짐량을 증가시켜 인성을 증가시키는 결과만을 가져오는 것으로 나타났다.

결과적으로 보아 용접철망으로 補強하면 脆性破壞를 방지할 수 있는 것으로 확인되었으며, 安全性 확보라는 차원에서 볼 때 너무 얇은 표면부를 갖는 샌드위치 패널은 불리하다고 생각된다. 따라서 製品의 안정성이나 경제성을 고려해 볼 때, 너무 두꺼운 표면부가 되지 않도록 하기 위해서는 鎔接鐵網과 같은 補強材를 사용하는 것이 바람직할 것이다.

5. 結 論

본 연구는 에폭시 수지 폴리머 모르타를 表面部로 하고, 鎔接鐵網을 표면부의 補強材로 하며, 發泡 폴리스티렌을 中心部로 하는 샌드위치 패널을 제작하여 4변 單純支持 상태에서의 構造的 舉動을 실험적으로 究明한 것으로서 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 單位重量은 26.6~59.1kg/m²로서 중심부의 두께보다 표면부의 두께에 더 큰 영향을 받는 것으로 나타났다. 표면부를 보강한 경우의 중량은 보강하지 않은 경우보다 약 4.1~5.2wt% 증가하였으며, 補強材 자체의 중량은 샌드위치 패널의 全體重量에 크게 영향을 미치지 않았다.
- 2) 極限荷重과 휨모멘트는 중심부보다도 표면부의 두께에 더 큰 영향을 받으며, 보강하지 않은 것에 비해 보강했을 경우는 약 16~

65%의 높은 증가율을 나타낸 것으로 보아 용접철망의 補強效果가 뛰어난 것으로 판명되었다.

- 3) 극한처짐은 보강 안된 경우 표면부보다도 중심부 두께의 영향이 월등히 컸으나 보강된 경우는 표면부나 중심부 두께의 영향이 비슷하였다. 용접철망의 보강은 샌드위치 패널의 처짐 억제보다도 韌性增加에 기여도가 높은 것으로 나타났다.
- 4) 중앙부의 極限變形率은 표면부를 보강하지 않은 경우 $930 \times 10^{-6} \sim 1,230 \times 10^{-6}$ 으로 나타났다. 보강된 패널에서는 균열로 인한 스트레인 게이지의 파괴로 극한 변형률의 측정이 불가능하였다.
- 5) 샌드위치 패널의 破壞樣相은 표면부의 두께별로 일정한 경향을 보였다. 즉, 보강하지 않은 경우는 線形破壞가 일어났으며, 보강한 경우는 放射狀의 破壞가 일어났다.
- 6) 앞으로 이 研究를 더욱 발전시키기 위해서는 표면부 및 중심부의 材料의 多樣化를 기하고 實驗値와 理論値를 비교분석해야하며, 熱傳導 특성 등에 대한 연구가 좀 더 이루어져야 할 것이다.

참 고 문 헌

1. Benjamin B.S., "Structural Design with Plastics", Van Nostrand Reinhold Company, pp. 118-133, 1969.
2. Bentur, A., "Fibre Reinforced Cementitious Composites", Elsevier Applied Science, pp.1-163, 1990.
3. Drysdale, R.G., Betancourt-Angel, F. and Haddad, G.B., "Thick Skin Sandwich Beam Columns with Weak Cores", Journal of the Structural Division, ASCE, pp.2601-2619, 1979.
4. 대한건축학회, "철근콘크리트 내력벽식 건축물 구조설계 지침(안)", pp.1-175, 1992.
5. Feldman, D., "Polymeric Building Material", Elsevier Applied Science, pp.104-201, 1989.
6. Friedley, K.J., Wheat, D.L. and Fowler, D.W.,

- "Sandwich Beams with Polymer Concrete Facings", SP / 16, ACI, pp.35-59, 1989.
7. Fowler, D.W., "Status of Concrete-Polymer Materials", Proceedings of the 6th International Congress on Polymers in Concrete, Shanghai, China, pp.10-27, 1990.
 8. Holloway, L.C., "Polymers and Polymer Composite in Construction", Tomas Telford Ltd., London, pp.33-71, 1990.
 9. Koyanagi, W., Rokugo, K., Uchida, Y., Hayashi, F, Ohshima, M. and Satoh, R., "Structural Behavior of Unsaturated Polyester Resin Concrete Slabs", Proceedings of the 6th International Congress on Polymers in Concrete, Shanghai, China, pp.405-410, 1990.
 10. 金錫中外 "構造用 용접철망을 이용한 부재의 構造性能 實驗", 대한주택공사, pp.94-313, 1992.9.
 11. Nawy, E.G., "Reinforced Concrete", Prentice-Hall Inc., pp.81-149, 1985.
 12. Pfeifer, D.W and Hanson, J.A., "Precast Concrete Wall Panels: Flexural Stiffness of Sandwich Panels", SP-11, ACI. pp.67-86, 1965.
 13. Prato I., "Sandwich Structures Handbook", University of Naple, Italy, pp.17-77, 1989.
 14. Solomon, S.K., Smith, P.W. and Cusens, A.R., "Flexural Tests of Steel-Concrete-Steel Sandwiches", Magazine of Concrete Research Vol. 128, No.94, pp.13-20, 1976.
 15. 산업정보사, "산업기자재 정보", 통권 24호 1991, 8, pp.19-23.
 16. 연구석, 강신업, "에폭시 수지 모르터에 관한 실험적 연구", 한국농공학회지, 제26권 제1호, pp.52-72, 1984.
 17. Yeon, K.S., Fowler, D.W. and Wheat, D.L., "Static Flexural Behavior of Various Polymer Concrete Beams", Proceedings of the 5th International Congress on Polymers in Concrete, Brighton, U.K., pp.88-90, 1988.
 18. Yeon, K.S., "Structural Behavior of Polymer Mortar-Wood Composite Beams", Proceedings of the 6th International Congress on Polymers in Concrete, Shanghai, China, pp.661-668, 1990.
 19. Yeon, K.S., Kim, K.W. and Hwang J.Y., "Structural Behaviour of Sandwich Panels with Polymer Mortar Facings", Proceedings of the 7th International Congress on Polymers in Concrete, Moscow, Russia, pp.550-557, 1992.
- (접수일자 : 1993. 1. 21)