

폴리머 콘크리트 샌드위치 패널의 휨에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Flexural Deflection of Sandwich Panels with Polymer Concrete Facings

함 형 길* · 이 석 건** · 연 규 석***
Hahm, Hyung Gil · Lee, Suk Gun · Yeon, Kyu Seok
이 현 우** · 이 종 원****
Lee, Hyun Woo · Lee, Jong Won

Summary

The purpose of this study is to analyse deformation properties by carrying out of flexure experimentations after fabricating polymer concrete sandwich panels which are composed of the polymer concrete in facing and expanded polystyrene in cores, and to provide the basic data necessary to design, fabricate and operate the structure using these polymer concrete sandwich panels

The analysed result of this study is summarized as follows.

1. The result of experiment on flexural deflection indicated that the thicker the thickness of both cores and facing of the polymer concrete sandwich panels, the smaller the deflection but the larger the ultimate shear force. In addition, it was also shown that the thicker the thickness of these cores and facing, the smaller the increasing rate of the deflection with the increase of load.

2. The breaking shape of polymer concrete sandwich panels by experiment on flexure was different according to the thickness of facing. When the facing was 5mm in thickness, it was the flexure while it was the flexure and shear failure when the facing was 10mm in thickness. As a result, it seems that the thickness of the facing has a great effect on failure.

3. There were induced not only the related formula between load, deflection and deformation according to the thickness of cores and facing on the basis of the flexure experi-

* 밀양산업대학교 이공학부

** 경북대학교 농과대학

*** 강원대학교 농업생명과학대학

**** 경북대학교 대학원

키워드 : 폴리머 콘크리트, 샌드위치 패널 변형도, 하중, 처짐, 두께, expanded polystyrene foam.

ment, but also related formula between load, horizontal displacement. Then, it seems that it will be possible to estimate the above elements by using these related formulas.

I. 서 론

폴리머를 소재로 하는 건설재료중 가장 관심을 끌고 있는 것이 콘크리트-폴리머 복합체이다. 콘크리트-폴리머의 복합체는 폴리머 시멘트 콘크리트재, 폴리머 콘크리트재 및 폴리머 함침(含浸) 콘크리트재의 3종류로 구분된다.

외국의 경우 폴리머 콘크리트는 각종 구조재의 현장시공, 조립식 구조물등에 이미 사용되고 있으며 국내에서도 이에 관한 연구가 시작되어 각종 건설재료의 조립식 공장제품의 개발이 시도되고 있다.

이와같은 폴리머 콘크리트 샌드위치패널의 용도는 내력벽식 구조물의 벽체와 지붕재료로 이용할 수 있는데 구체적인 예로서는 농산물 저온저장고, 냉동고, 소형조립식 건물에 사용 가능하다.

이에 본 연구는 구조물의 경량화 및 조립화 추세가 더욱 가속화될 것으로 예상하여 표면부를 폴리머 콘크리트로 하고, 중심부를 발포 폴리스티렌폼으로 구성된 폴리머 콘크리트 샌드위치패널 시험체를 제작하여 단순 휨시험을 통하여 변형특성을 구명하고 실제 구조물의 설계, 제작 및 시공시 기초자료를 제공하기 위한 것이다.

II. 재료 및 방법

1. 폴리머 콘크리트용 재료

가. 불포화 폴리에스터 수지

폴리머 콘크리트의 결합재로 사용된 것은 국내 A사의 Ortho type 불포화 폴리에스터 수지로서 코발트계 경화촉진제 (CoO_c)가 첨가되어 있으며, 그 구조식은 Fig. 1과 같고 그

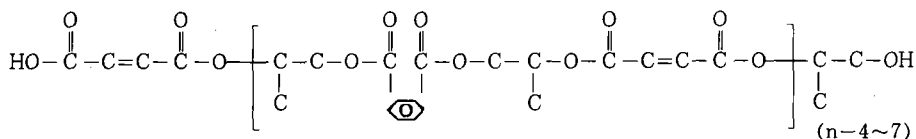


Fig. 1. Constitutional formula of ortho type unsaturated polyester resin

Table-1. Properties of unsaturated polyester resins

Specific gravity (25°C)	Viscosity (25°C)	Acid value	Styrene content (%)
1.12±0.02	4±1.2	24±4	38.0

성질은 Table-1과 같다.

나. 개시제

본 시험에 사용한 것은 국내제품으로서 표

준경화형 개시제를 사용했으며, 그 성분 및 성질은 Table-2와 같다.

Table-2. Properties of initiator

Component	Specific gravity	Active oxygen
MEKPO 55% DMP 45%	1.13	10.0

다. 수축감소제

열가소성인 폴리스티렌을 스티렌 모노머에 용해시켜 만든 수축감소제가 사용되었으며,

Table-3. Properties of shrinkage reducing agent

Viscosity (25°)	Involate substance (%)	Appearance
31-41	34-38	Transparent

그 성질은 Table-3과 같다.

라. 충전재

본 시험에서 사용한 충전재는 중질(重質) 탄산칼슘(heavy calcium carbonate)으로 입자 크기 1~30 μ m, 분말도 2500~3000cm²/g 정도로서, 그 일반적 성질 및 화학적 조성은 Table-4 및 Table-5와 같다.

Table-4. General Properties of heavy calcium carbonate

Specific gravity (g/cc)	Absorption (cc/g)	Water content (%)	pH	Mean grain size (μ m)	White colorimetric (%)	Retained percentage of #325 sieve
0.75	0.20	0.3이하	8.8	13	90	0.03

Table-5. Chemical components of heavy calcium carbonate

(Unit : %)					
CaO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	MgO	Ig. loss
53.7	0.25	0.09	2.23	0.66	42.4

마. 골재

폴리머 콘크리트 제조에 사용되는 골재는 유기불순물이 없어야 하며, 함수율이 높을수록 수지와 골재의 부착력에 따른 강도저하를 초래하게 된다. 본 연구에 사용된 골재는 자연산골재로 물리적 성질과 체가름 시험결과는 Table-6 및 Fig. 2와 같다.

2. 샌드위치패널용 재료

가. 표면부 재료

표면부재료는 폴리머 콘크리트를 사용하였으며 배합비는 Table-7과 같다.

Table-6. Physical properties of aggregate

Specific gravity	Absorption (%)	Unit weight (kg/m ³)	Percentage	
			passed of #200 sieve (%)	Fines modulus
2.60	0.75	1,500	0.68	2.73

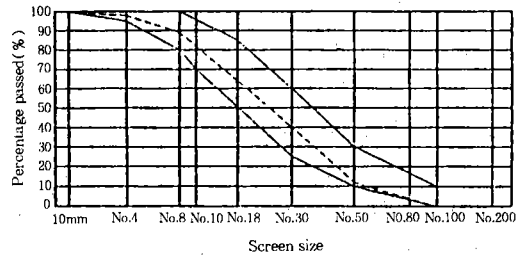


Fig. 2. Grading curve of aggregate

Table-7. Mix proportions of polymer concrete (Unit : wt%)

Binder(UP+ST)	Filler	Aggregate
16	12.6	71.4

UP : Unsaturated polyester resin,

ST : Styrene monomer

폴리머 콘크리트의 강도측정을 위한 시험체는 공시체 제작 방법(KS F 2419)에 의하여 제작하였으며, 재령 7일에서 측정된 탄성계수(KS F 2438), 압축강도(KS F 2481), 활열인장강도(KS F2480) 및 휨강도(KS F 2482) 시험결과는 Table-8과 같다.

Table-8. Mechanical properties of polymer concrete

Specific gravity	Modulus of elasticity (kg/cm ²)	Compressive strength (kg/cm ²)	Splitting tensile strength (kg/cm ²)	Flexural strength (kg/cm ²)
2.1	1.17×10 ⁵	628	91	175

나. 중심부 재료

중심부에 사용된 재료는 발포 폴리스티렌 보온판 4호이며 KS M 3808(발포 폴리스티

Table-9. Mechanical properties of expanded polystyrene foam

Compressive strength (kg/cm ²)	Flexural strength (kg/cm ²)	Shear strength (kg/cm ²)	Shear modulus (kg/cm ²)
0.803	2.35	1.05	61.87

렌 보온판) 및 KS M 3831에 의하여 강도를 시험한 결과는 Table-9와 같다.

다. 표면부 보강재

본 연구에서 표면재로 사용한 폴리머 콘크리트의 외부와 중심재인 발포 폴리스티렌폼 사이에 유리섬유로 보강하였으며, 보강재는 로빙크로스(roving cloth)형태의 E-그라스(electrical glass)이다.

사용된 E-그라스의 물리적 성질과 화학적 성분은 Table-10 및 Table-11과 같다.

Table-10. Physical properties of E-glass

Specific gravity	Tensile strength (kg/mm ²)	Young's modulus (kg/mm ²)
2.55	350	7,400

Table-11. Chemical Component of E-glass

(Unit : %)					
SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	B ₂ O ₃	Na ₂ O
54	15	17	5	8	0.6

3. 시험용 샌드위치 패널의 제작

본 연구에 사용된 폴리머 콘크리트 샌드위치 패널 시험체의 중심부에 사용한 발포 폴리스티렌폼은 크기 90×180cm이고 두께가 50mm, 75mm, 100mm, 125mm인 4종류를 사용하였으며, 표면부에 폴리머 콘크리트를 각각 5mm, 10mm두께로 타설하여 상온양생 후 표면부에 직조 유리섬유 보강재를 부착시켰다. 샌드위치패널의 구체적인 제조과정은 Fig. 4와 같으며 단면상세도와 세부 치수는

Fig. 3 및 Table-12와 같다.

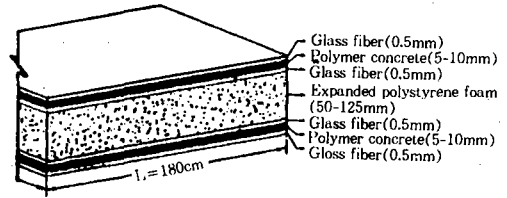


Fig. 3. Cross section of polymer concrete sandwich panel

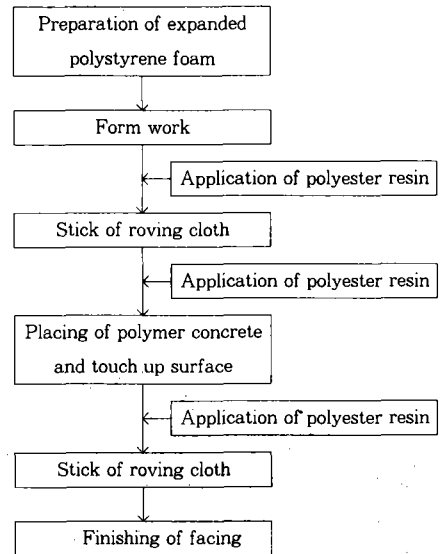


Fig. 4. Fabrication process of polymer concrete sandwich panel

Table-12. Detail of polymer concrete sandwich panels

Specimen No.	Thickness (mm)		Size(cm) (h×b×L)	Weight (kg)	Weight per unit area (kg/m ²)
	Core	Facing			
C50-F5	50	5	6.0×90×180	38.1	23.5
C75-F5	75	5	8.5×90×180	38.9	24.0
C100-F5	100	5	11.0×90×180	39.7	24.5
C125-F5	125	5	13.5×90×180	40.5	25.0
C50-F10	50	10	7.0×90×180	75.1	46.4
C75-F10	75	10	9.5×90×180	75.9	46.9
C100-F10	100	10	12.0×90×180	76.7	47.3
C125-F10	125	10	14.5×90×180	77.5	47.8

4. 시험방법

가. 샌드위치 패널의 지지 및 재하방법

샌드위치 패널의 지지 및 재하방법은 KS F 2273(조립용판 및 그 구조 부분의 성능 시험 방법)에 준하여 4점재하법으로 시험하였다. Fig. 5는 샌드위치 패널의 가력용보, 가력점 재하상태를 나타낸 것으로, 하중은 시험체가 파괴될때까지 가하였다. Fig. 6은 휨변형을 측정하기 위하여 스트레인게이지의 부착상태를 나타낸 것으로 패널의 상부와 하부의 중앙에 1개씩의 스트레인 게이지를 부착하였다. 스트레인 게이지에 의한 변형량은 Data logger로 사용하였으며, 재하는 국내 D사에서 만든 패널 구조 시험용장치가 사용되었다.

나. 하중과 처짐 시험

하중 재하 단계별로 샌드위치 패널의 처짐

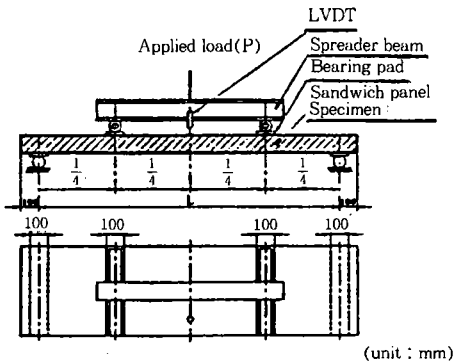


Fig. 5. Installation of bending test for sandwich panel

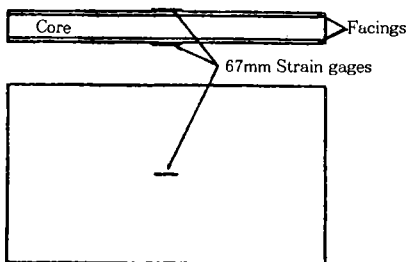


Fig. 5. Instrumentation of strain gauge

을 측정하기 위하여 Fig. 5와 같이 중앙점에 처짐측정장치인 LVDT(linear variable displacement transducer)를 설치하여 변형량을 측정하였다.

다. 하중과 전단변형도 시험

샌드위치 패널의 전단변형도를 측정하기 위하여 전단시간에 Fig. 7과 같은 측정장치인 다이알게이지와 처짐측정 까치발을 상부표면과 하부표면에 설치하여 하중 재하 단계별로 전단변형도를 측정하였다.

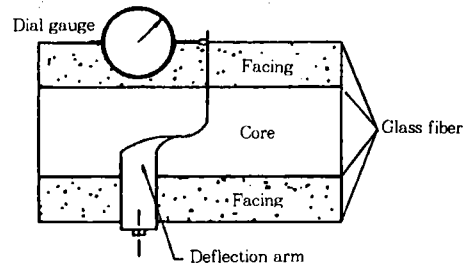


Fig. 7. Instrument for measuring shear strain

라. 파괴 시험

하중 재하 과정에서 발생한 샌드위치 패널의 균열 및 파괴된 후의 양상은 샌드위치패널의 좌우지점에서의 균열거리와 상부와 하부의 균열부의 수평거리를 조사하였다.

III. 시험결과 및 고찰

1. 하중과 처짐 관계

수평재인 샌드위치 패널이 평면에 수직으로 하중을 받게되면 처짐변형을 일으키게 되고 일정처짐을 넘게되면 구조물이 파괴를 일으켜 구조물이 붕괴되거나 제기능을 다 발휘할 수가 없게된다. 따라서 하중재하시 샌드위치 패널의 두께에 대한 처짐의 거동상태와 구조내력을 파악하여 이에 대한 대처가 있어야 될 것이다.

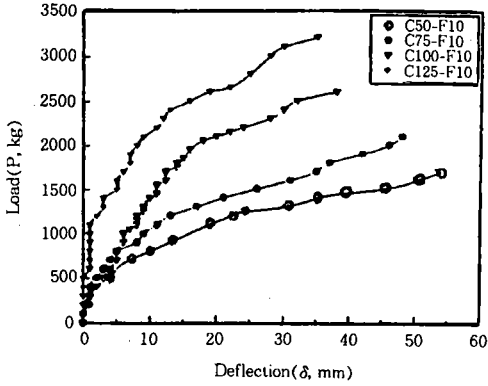


Fig. 8. Relationship between load and deflection of sandwich panel (facing thickness of 10mm)

Fig. 8은 표면부 두께가 10mm일때 중심부 두께별 하중재하시 처짐과의 관계를 나타낸 것으로서, 하중값이 1,700kg일때 중심부 두께 50mm에서 최대처짐 54mm를 나타냈고, 75mm두께에서는 35mm, 100mm두께에서는 12mm, 125mm 두께에서는 6mm의 처짐이 나타나 중심부 두께가 처짐에 미치는 영향은 두께가 두꺼워질수록 처짐이 작으며 표면부 두께 10mm이고 중심부 두께가 50mm일때의 최대처짐은 중심부 두께 125mm일때 최대처짐의 약 1.6배로 표면부 두께가 큰 것이 중심부 두께의 증가에 따른 처짐차가 작게 나타나고 있다.

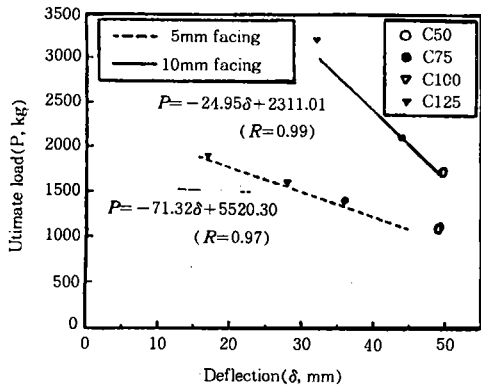


Fig. 9. Relationship between ultimate load and deflection of sandwich panel

Fig. 9은 극한하중시 최대처짐에 대한 것으로서 중심부 두께가 증가 할수록 최대하중값은 증가되는 반면 처짐은 중심부 두께가 커질수록 처짐증가율이 점차 작게 나타났다.

표면부 두께 5mm와 10mm일때 하중을 비교 분석한 결과, 평균 최대하중이 1,500kg과 2,400kg으로서 그 비는 1.6으로 나타났으며 10mm두께 일때 하중이 평균 900kg더 높게 나타나 표면부 두께 10mm일때가 구조내력이 더 크다.

2. 중심부 두께별 극한하중 및 최대 처짐 관계

샌드위치패널은 일정하중에 도달하게 되면 처짐과 함께 파괴가 일어나게 되는데, 구조물의 안전을 위하여는 하중 또는 처짐이 허용치 이하가 되도록 설계해야 한다. 따라서 극한하중과 최대처짐에 대한 특성을 분석할 필요가 있다.

Fig. 10는 하중과 샌드위치 패널 중심부 두께와의 관계를 나타낸 것으로서 중심부의 두께가 증가할수록 극한하중도 점차 증가하였다. 특히 중심부 두께의 증가와 함께 표면부 두께 5mm일때 에도 극한하중이 점차 커지고 있으나 표면부의 두께 10mm일때의 극한하중의 증가 보다는 증가값이 떨어지므로 중심부의 두께와 표면부의 두께가 두꺼워 질수록 극한하중이 커지는 것으로 나타났다. 그리고 표면부 두께 5mm보다는 10mm일때의 하중이 급속도로 증가하는 것으로 보아 중심부의 두께는 물론 표면부의 두께를 두껍게 할수록 구조내력이 증가하는 것으로 판단된다. 그리고 극한하중의 30%에서의 하중(0.3Pu)과 중심부 두께와의 관계는 중심부의 두께가 증가할수록 하중이 증가하고 표면부의 두께 10mm일때가 하중의 증가율이 더 크게 나타났다. 따라서 폴리머 콘크리트패널의 중심부 두께와 표면부 두께에 대한 극한하중값과 극한하중의

30%값의 예측이 가능할 것으로 판단된다.

Fig. 11은 샌드위치 패널의 두께와 처짐과의 관계를 나타낸 것으로 중심부의 두께가 두꺼워질수록 처짐은 점차 작게 나타났다. 중심부의 두께가 50mm에서 125mm범위이고, 표면부 두께 5mm와 10mm일때 중심부의 두께가 커질수록 최대처짐과 최대처짐의 30%값에서도 처짐이 감소되었다. 또한, 표면부의 두께와 중심부의 두께가 각각 증가 할수록 하중에 따른 처짐이 작게 나타나는 반면 극한하중은 크게 나타났다. 그리고 관계식에 따라서 중심부와 표면부의 두께에 따른 처짐에 대한 예측이 어느 정도 가능하다고 생각된다.

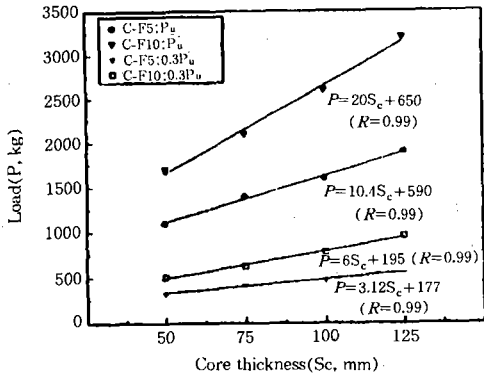


Fig. 10. Relationship between load and core thickness of sandwich panel

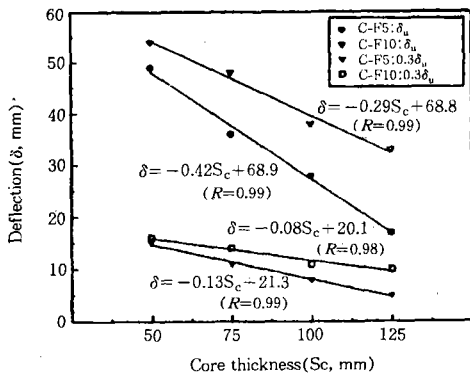


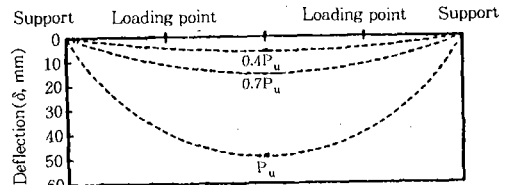
Fig. 11. Relationship between deflection and core thickness of sandwich panel

이러한 결과를 토대로 볼 때 처짐을 줄이고 구조내력을 증가시키기 위한 방법으로는 가급적 탄성계수가 높은 중심재 및 표면재의 사용과 그 두께를 증가시키면 될 것으로 판단된다.

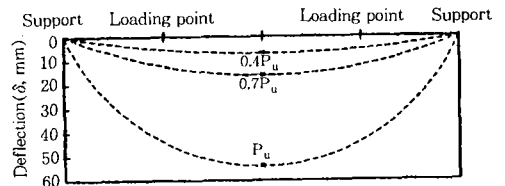
Fig. 12(a), 13(a)에서 중심부 두께 50mm와 100mm이고 표면부 두께 5mm일때의 샌드위치 패널에 가해지는 하중의 단계별 처짐을 비교해 보면 최대 하중의 P_u , $0.4P_u$ 및 $0.7P_u$ 일때 중앙부에서 최대처짐과 중심부 두께와 하중에 따른 처짐 관계를 비교분석해 보면 중심부의 두께가 두꺼워질수록 처짐이 점차 작아지고 있음을 알 수 있다.

또한, Fig. 12(b), 13(b)에서도 처짐을 보면 역시 5mm 표면부에서와 마찬가지로 10mm 표면부에서도 중심부의 두께가 두꺼워질수록 처짐이 점차 작게 나타났다.

그리고 중심부의 두께가 일정하고 표면부의 두께 5mm와 10mm일때를 비교분석해 보면 표면부의 두께가 5mm일때보다 10mm일때가 처짐이 더 크게 나타났는데, 이는 표면부에 사용하는 부재의 두께가 커짐으로 인한 강성의 증가로 파괴하중이 5mm 부재일때보다



(a) 5mm facing



(b) 10mm facing

Fig. 12. Maximum deflection of sandwich panel (core thickness of 50mm)

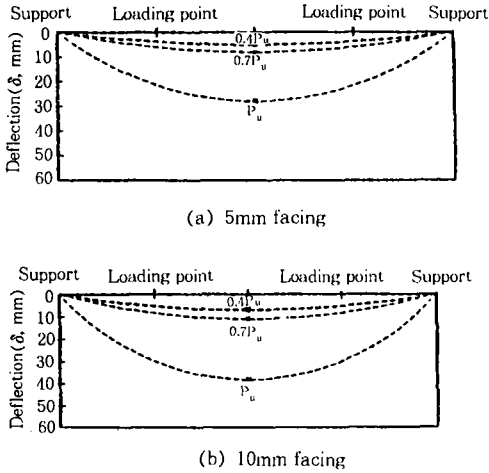


Fig. 13. Maximum deflection of sandwich panel (core thickness of 100mm)

10mm일때가 훨씬 커지는데 기인한 것으로 생각한다.

이를 Fridley⁷⁾의 시험결과와 비교하여 보면 역시 표면부와 중심부의 두께가 커질수록 처짐이 점차 작아지는 경향은 본 연구와 같았다.

3. 전단력과 전단변형도 관계

샌드위치 패널이 전단력을 받게되면 대체로 중심부재가 전단력을 부담하게 되는데 발포 폴리스티렌을 중심부재료로 사용하고 중심부의 두께에 따라서 어떻게 전단변형이 거동하는지 파악하여 전단력에 의한 구조물의 과도한 전단변형으로 안전성을 상실하게 되기전에 대처방안을 강구할 필요성이 있다. 따라서 전단변형도와 극한전단력 관계의 분석이 필요하다.

Fig. 14는 전단력과 전단변형도의 관계를 나타낸 것으로 전단력이 커질수록 전단변형도가 증가하였다. 표면부 두께가 10mm일때 중심부 두께에 따른 전단력과 전단변형도의 관계를 보면 표면부 두께 5mm일때와 비슷한 양상으로서 역시 중심부 두께가 증가 할수록 동일하중에서의 전단변형도는 작게 나타났다. 특히 중심부 두께 50mm의 경우 전단력

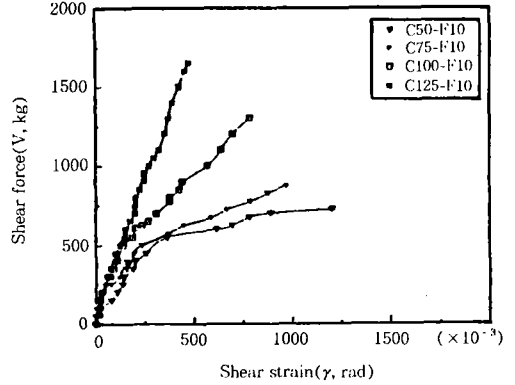


Fig. 14. Relationship between shear force and shear strain of sandwich panel (facing thickness of 10mm)

500kg까지는 직선적인 양상을 보이다가 전단력 675kg이후에는 전단력의 증가가 거의 없어도 전단변형도가 0.0078~0.0120으로 현저한 변형상태를 나타냈는데, 이는 샌드위치 패널의 중심부 두께가 작을수록 전단력의 영향이 빨라 전단에 대한 저항력의 현저한 약화로 더이상 전단력을 받을수 없는데에 기인되는 것으로 판단된다.

4. 중심부 두께별 극한전단력 및 극한전단 변형도

전단력을 받는 폴리머 콘크리트 샌드위치패널은 중심부의 두께에 따라서 상당한 전단변형도의 차이를 보이는데, 이는 중심부재가 전단력에 저항하는 구조로 되어있기 때문이다. 따라서 중심부의 두께가 어떻게 극한전단력 및 전단변형도에 영향을 미치는지를 파악할 필요성이 있다.

Fig. 15는 중심부의 두께와 극한전단력과의 관계를 나타낸 것으로서 중심부의 두께가 증가할수록 극한전단변형도의 값이 증가하였다. 중심부의 두께가 50mm에서 125mm이고 표면부의 두께가 5mm와 10mm일때 중심부와 표면부의 두께가 커짐에 따라서 전단력도 크

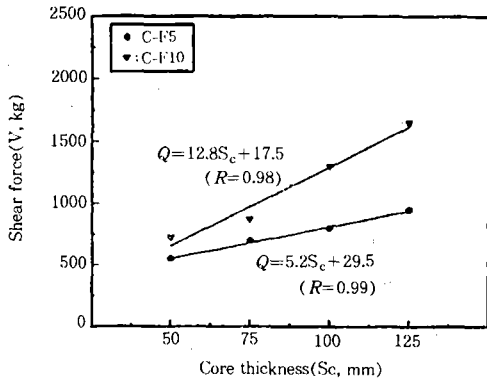


Fig. 15. Relationship between ultimate shear force and core thickness of sandwich panel

게 나타나고 있으며, 표면부의 두께가 5mm일 때보다 10mm일때가 중심부의 두께변화에 기인한 것 보다는 급격히 전단력이 증가하는 것으로 나타났다. 따라서 표면부의 두께가 커질수록 급속한 전단력의 증가가 예상되며 유도된 관계식에서 중심부와 표면부의 두께에 따른 극한전단력의 값을 예측할 수 있다고 판단된다.

5. 파괴양상

샌드위치 패널은 하중을 받으면 극한하중에서 파괴되며 파괴된후 샌드위치 패널의 종류에 따라 어떤 형태로 파괴되는지를 비교분석하여 파괴형태에 대하여 샌드위치 패널의 설계, 제작 및 시공시에 고려할 필요가 있다.

Fig. 16은 중심부 두께 50mm에서 125mm 범위이고 표면부 두께 5mm일때 좌우 L/4 지점에서 하중재하시 중심부 두께에 따른 파괴양상을 나타낸 것으로 하중재하점 사이에서 파괴가 일어났다. 여기에서 표면부의 두께가 5mm일때는 중심부 두께가 얇을수록 대체로 중앙부분에 가깝게 휨파괴선이 나타나고, 두께가 두꺼워 질수록 중앙부분에서 점점 멀어져 하중점 가까이에서 파괴되는 양상을 보였다. 그러나 표면부인 폴리머 콘크리트와 유리

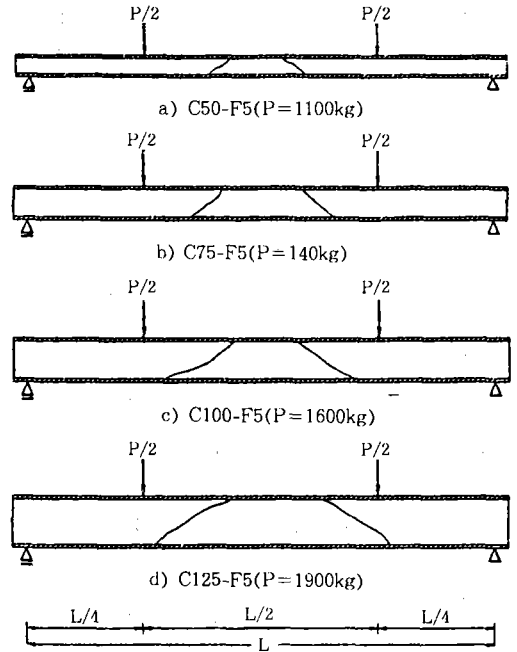


Fig. 16. Flexural cracking in sandwich panel with 5mm facings

섬유 부분은 거의 파괴되지 않았는데 이는 유리섬유로 표면부가 보강되어 폴리머 콘크리트 부분의 취성파괴를 방지해 주었기 때문이라 생각된다.

중심부 두께 50mm에서 125mm범위이고 표면부 두께가 10mm일때는 대체로 하중점과 지점사이에서 사인장 응력에 의한 휨 및 전단 파괴로 나타났는데, 이는 표면부 두께가 상당히 크게 영향을 준 것으로 보이는데 표면부의 두께가 두꺼워질수록 휨강성이 커져서 표면재가 휨을 크게 부담할 뿐만 아니라 지점에 가까이 갈수록 전단응력이 커지는데 기인하는 것으로 판단된다. 여기서도 대체적으로 중심부 두께가 두꺼워 질수록 하중점에서 지점 가까이로 이동하면서 파괴되는 양상을보였다.

특히 Fridley⁹⁾의 시험체는 중심부 재료를 발포 폴리스티렌폼으로 표면부는 폴리머재로 만든 샌드위치 구조와 파괴양상을 비교해 보면, 중심부 두께 51mm에 표면부 두께

13mm, 19mm, 25mm로 총두께가 77mm, 89mm, 102mm인 경우와 중심부 두께 76mm에 표면부 두께 13mm, 19mm, 25mm로 총두께 102mm, 114mm, 126mm인 경우, 휨 및 전단파괴로 나타났다.

이는 표면부의 두께가 얇은 경우 휨파괴로 나타나고, 표면부가 두꺼워지면 휨보다는 전단파괴로의 경향을 나타내는 것은 본연구와 거의 일치하는 것으로 생각된다.

IV. 결 론

폴리머 콘크리트 샌드위치 패널의 휨거동을 구명하기 위하여 단순 휨시험을 실시하여 분석한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 폴리머 콘크리트 샌드위치 패널의 중심부와 표면부 두께가 두꺼울수록 처짐량은 작았지만 극한전단력은 크게 나타났다. 또, 중심부와 표면부의 두께가 두꺼울수록 하중증가에 따른 변형도의 증가율은 작았다.

2. 휨시험에 의한 폴리머 콘크리트 샌드위치 패널의 파괴양상은 표면부 두께에 따라 상이하였으며, 표면부 두께가 5mm인 경우에는 휨파괴, 표면부 두께가 10mm인 경우에는 휨·전단파괴로 나타나 표면부의 두께가 파괴에 미치는 영향이 큰 것으로 판단된다.

3. 휨시험 결과를 이용하여 중심부와 표면부의 두께에 따른 하중, 처짐 및 변형도 사이의 관계식을 유도하였으며 이들 식으로부터 상기 인사들의 예측이 가능할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. 대한건축학회, 1982, 조립식 건축부재로서의 와이어판넬에 관한 성능연구, April, p. 129.
2. 연구석, 강신업, 1984, 에폭시 수지 모르타의 특성에 관한 실험적 연구, 한국농공

학회지, 제26권 1호, pp. 52-72.

3. 川井忠彦, 1974, 座屈問題解析, 培風館, p. 285.
4. 鈴木恒太郎, 1986, 坤出發泡リスチレンの正しい知識と使い方, 建築士と實務, Vol. 9, No. 8, pp. 47-56.
5. Allen, R. T. L. and Edwards, S. C., 1987, The Repair of Concrete Structures, pp. 37-52.
6. Czarnecki, L. and Grabowski, J., 1986, Criterion of Cracking Resistance of Glass fiber Reinforced Resins a Comparative Study, France sep. 16-19, pp. 152-165.
7. Fridley, K. J., 1986, Structural Behavior of Polymer Concrete Sandwich Constructions, M. S. E., The University of Texas at Austin, p. 138.
8. Hollaway, L. C., 1990, Polymers and polymer Composites in Construction, Tomas Telford Ltd., pp. 33-71.
9. Koyanagi, W., Rokugo, K., Uchida, Y., Hayashi, F. Oshima, M. and Satoh, R., 1990, Structural Behavior of Unsaturated Polyester Resin Concrete Slabs, Proceedings of the 6th International Congress, Sep. 24-27, China, pp. 405-410.
10. Peschke, H. and Dinitz, A. M., 1979, Development of Performance Standard and Specifications for Polymer Concrete, A. B.A, New York, pp. 17-19.
11. Rebeiz, K. S., Fowler, D. W., and Paul, D. R., 1991, Properties and Behavior of Polymer Composites Using Resins Made with Recycled Plastics, International Congress on Polymers in Concrete, Sep. 24-27, California, pp. 1-9.

(접수일자 : 1996년 11월 14일)