

纖維補強 시멘트 複合體를 利用한 床板構造의 力學的 特性에 關한 研究

A Study on the Mechanical Properties of Floor Slab Structures

Using Fiber Reinforced Cement Composites

박 승 범* · 윤 의 식** · 차 종 훈***

Seung Bum, Park Eui Sik, Yoon Jong Hoon, Cha

ABSTRACT

The purpose of this study is to investigate the mechanical properties of floor slab structures with high-strength and lightweight CFRC panel using fly ash, PAN-derived and Pitch-derived carbon fiber.

As a result, the flexural strength of CFRC is remarkably increased by CF contents, but compressive strength of the CFRC is not so increased as flexural strength. The bulk specific gravith is influenced by FA contents more than by CF contents. The compressive strength and the flexural strength are increased by FA contents, but decreased the case of 30% of contents. In order to increasing the flexure-carrying capacity of floor slab structures, it is recommended that the shape of anchor for reinforcement is required type-C and the spacing of anchor is required below 60mm.

1. 서 론

각종 건설구조물의 대형화 및 다양화와 함께 그 요구성능도 다양화·고도화되고 있고 선진국 수준의 경량·고강도의 고성능 건설용 재료 및 부재의 수요도 급신장하는 추세에 있다. 특히 최근에는 각종 구조물의 경량·고강도화와 품질의 고도화에 수반하여 고성능·고품질의 건재용 섬유보강 시멘트 복합체의 개발 및 실용화가 크게 주목되고 있다. 또한 최근 경제적·사회적으로 많은 문제를 야기하고 있는 국내 화력발전소의 석탄회 및 플라이애쉬와 같은 산업부산물은 대부분 막대한 경비를 들여 회사장에 폐기하고 있는 실정이다. 이러한 산업부산물을 이용하여 고성능 경량·고강도 건재의 제조에 다량 이용함은 국가 산업발전은 물론 에너지 절약에도 크게 기여할 수 있을 것이다. 따라서 본 연구에서는 산업 부산물인 플라이애쉬와 PAN계 및 Pitch계 탄소섬유를 이용한 경량이면서 고강도인 CFRC 패널합성부재를 제작하여 구조공시체의 역학적 특성을 검토하였다. 특히 CFRC합성부재인

패널공시체의 내력중대를 위하여 패널공시체 내부에 보강용 Anchor를 설치한 경우와 저부에 강판접착의 경우의 내하력 성능측정시험을 실시하였다.

2. 시험개요

2.1 사용재료

(1) 시멘트

국내 S사 제품의 조강 포틀랜드 시멘트를 사용하였으며, 그 화학성분 및 물리적 성질은 Table 1과 같다.

Table 1 Properties of Early Strength Cement

Specific Gravity	Blaine (cm ² /g)	Setting Time		Compressive Strength(kg/cm ²)				
		Initial (hr. min.)	Final (hr. min.)	1 day	3 days	7 days	28 days	
3.14	4.500	3.20	5.20	197	338	373	448	
SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	MgO (%)	SO ₃ (%)	Jg. loss (%)	K ₂ O (%)	Na ₂ O (%)
19.2	5.9	2.8	61.7	3.6	4.2	1.37	1.08	0.15

* 정회원, 충남대학교 공과대학 토목과 교수

** 정회원, 충남대학교 대학원 박사과정

*** 정회원, 충남대학교 대학원 석사과정

(2) 플라이애쉬

국내 보령 화력발전소에서 부산되는 Fly Ash를 사용하였고, 그 화학성분 및 물리적 성

Ash를 사용하였고, 그 화학성분 및 물리적 성질은 Table 2와 같다.

Table 2 Chemical Composites and Physical Properties of Fly Ash

Chemical Composites(%)									
Ig. loss	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	Total	
2.14	63.50	28.50	4.21	1.20	0.21	1.03	0.20	98.85	
Physical Properties(%)									
Size(mm)	Specific Gravity(20℃)	Water Content(℃)	Organic Impurities						
<4.2×10 ⁻²	2.12	<0.1	None						

(3) 탄소섬유

CFRC용 탄소섬유는 PAN계(KOSKA 제품) CF단 섬유와 Pitch계(Kureha 제품) CF단섬유를 사용하였고, 그 물성은 Table 3과 같다.

Table 3 Properties of Carbon Fiber

Type of Fiber	Fiber Diameter (10 μm)	Specific Gravity	Tensile Strength (kg/cm ²)	Modulus of Elasticity (10 ⁴ kg/cm ²)	Elongation (%)
Pitch-based Carbon Fiber	14.5	1.63	7,800	3.8	2.1
PAN-based Carbon Fiber	6.8	1.78	35,000	23.0	1.6

(4) 골재

사용골재는 CFRC용으로 국내 S사 제품의 Silica Powder(입경 0-80μm)를 사용하였고, 그 물성은 Table 4와 같다.

Table 4 Properties of Aggregates

Name of Aggregate	Chemical Components(%)			Physical Properties	
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Specific Gravity	Particle Size
Silica Powder	95.1	2.15	2.75	2.70	0 - 80μm

(5) 혼화제

혼화제로는 유동화제로써 Mighty 150, 증점제로써 Methyl Cellulose와 소포제로써 국내 L사의 Antifoam을 사용하였다.

2.2 배합 및 시험방법

(1) 배합 및 믹싱

배합은 복합체 제조에 있어 섬유와 Matrix가 분리하지 않고 Fiber-ball이 생기지 않도록 Fiber를 Matrix내에 균등 분산시키면서 적당한 Workability를 확보하도록 시험배합을 통하여 믹싱방법과 배합조건을 선정하였으며,

배합은 Table 5와 같이 하였다.

또한 믹싱은 섬유의 시멘트 매트릭스내에서의 탠덤 균등분산을 위하여 일본 C사 제품의 고성능 Omni-Mixer(Capacity : 30l)를 사용하였고, 비빔시간은 a) Dry blend(cement, fly ash, dispersing agent and silica powder) : 30초, b) Primary blend(Add water and admixtures) : 3-5분, c) Secondary blend(Add carbon fiber) : 4.5-6.5분으로 Total 약 10분간으로 하여 혼합하였다.

Table 5 Mixing Proportions of CFRC for Free Access Floor (W/C=75%, S/C=0.3)

Type of CF	CF Content (vol. %)	Fly Ash (%)	Unit Weight(kg/m ³)							
			C	FA	W	Silica Powder	CF	Admixture		
								S. P.*	M. C.	A. F.
PAN-based CF	1	0	839	0	629	252	17.8	8.39	4.20	8.39
		10	755	57	629	252	17.8	8.39	4.20	8.39
		20	671	113	629	252	17.8	8.39	4.20	8.39
		30	587	170	629	252	17.8	8.39	4.20	8.39
	2	0	831	0	623	249	35.6	8.31	4.16	8.31
		10	748	56	623	249	35.6	8.31	4.16	8.31
		20	665	112	623	249	35.6	8.31	4.16	8.31
		30	582	168	623	249	35.6	8.31	4.16	8.31
	3	0	822	0	617	247	53.4	8.22	4.11	8.22
		10	740	55	617	247	53.4	8.22	4.11	8.22
		20	658	111	617	247	53.4	8.22	4.11	8.22
		30	575	166	617	247	53.4	8.22	4.11	8.22
Pitch-based CF	1	0	839	0	629	252	16.3	8.39	4.20	8.39
		10	755	57	629	252	16.3	8.39	4.20	8.39
		20	671	113	629	252	16.3	8.39	4.20	8.39
		30	587	170	629	252	16.3	8.39	4.20	8.39
	2	0	831	0	623	249	32.6	8.31	4.16	8.31
		10	748	56	623	249	32.6	8.31	4.16	8.31
		20	665	112	623	249	32.6	8.31	4.16	8.31
		30	582	168	623	249	32.6	8.31	4.16	8.31
	3	0	822	0	617	247	48.9	8.22	4.11	8.22
		10	740	55	617	247	48.9	8.22	4.11	8.22
		20	658	111	617	247	48.9	8.22	4.11	8.22
		30	575	166	617	247	48.9	8.22	4.11	8.22

* Superplasticizer : Mighty 150 V

(2) 공시체 제작 및 시험방법

압축강도의 측정은 KS L 5105에 준하여 5.08cm×5.08cm×5.08cm의 입방공시체를 제조하여 측정하였고, 휨강도 및 휨응력-처짐량 측정은 JIS R 5201에 준하여 4cm×4cm×16cm의 각주공시체를 제조하여 일본 S사 제품의 용량 25ton의 Computer Controlled Universal Testing Machine(Autograph)을 사용하여 3점 휨하중시험방법에 의해 크로스헤드 속도 0.5mm/min의 변위제어 방식으로 휨시험을 행하였고, 이때의 하중-처짐곡선을 X-Y레코더에 의하여 구하였다.

구조공시체의 휨내하력 측정을 위하여 공시체의 크기 50×50×(2.0~3.5)cm인 패널공시체를 제조하여 1일간 습윤양생을 실시한 다

음, 오토클래브 양생(180°C, 10기압의 조건에서 5시간 양생)을 실시하였고, 구조공시체의 내하력 측정은 Fig. 1에 나타난 바와 같이 100ton UTM을 사용하여 공시체의 4모서리를 $\phi 25\text{mm}$ 지지대 위에 얹은 다음, 중앙에 $\phi 50\text{mm}$ 의 봉강을 올려 놓고 그 위에 재하하여 파괴에 이를때 까지 재하시 중앙점의 처짐을 다이얼 게이지를 이용하여 측정하였다. 이때 사용한 anchor의 형상은 Fig. 2에 나타낸바와 같다.

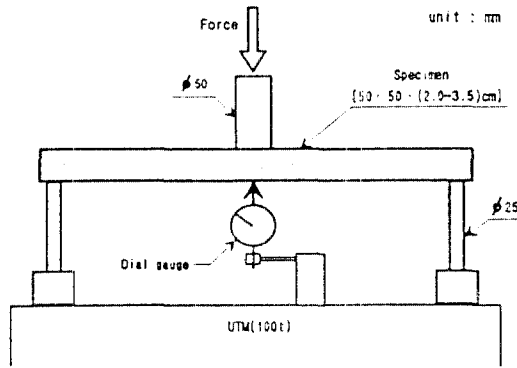


Fig. 1 Apparatus Set-up for measuring Displacement

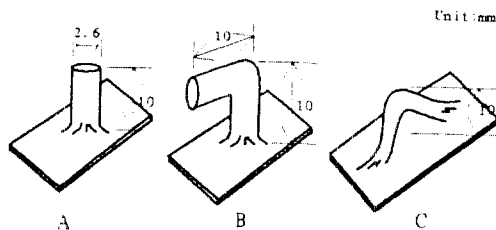


Fig. 2 The Shape and Size of Anchor

3. 시험 결과 및 고찰

3.1 기건비중(ρ)

플라이애쉬 혼입량 및 CF혼입량과 기건비중과의 관계는 Fig. 2에 나타난 바와 같고 이를 고찰하여 보면, 기건비중은 CF혼입율의 증가에 별영향을 나타내지 않았으나 플라이애쉬 혼입율의 증가에 수반하여 플라이애쉬를 시멘트의 0, 10, 20, 30%로 대체하였을 경우에 대하여 PAN계 CF혼입의 경우 $\rho=1.63\sim 1.65$, $1.54\sim 1.56$, $1.47\sim 1.51$, $1.46\sim 1.48$, Pitch계 CF혼입의 경우 $\rho=1.53\sim 1.55$, $1.45\sim 1.48$, $1.42\sim 1.43$, $1.41\sim 1.43$ 으로 다소 감소

하는 경향을 나타냈으며, 이러한 경향은 플라이애쉬가 다른 콘크리트 재료에 비하여 비중이 작기 때문으로 판단된다. 또한 오토클래브 양생의 경우가 기건양생의 경우에 비하여 현저한 경량화 경향을 보였다.

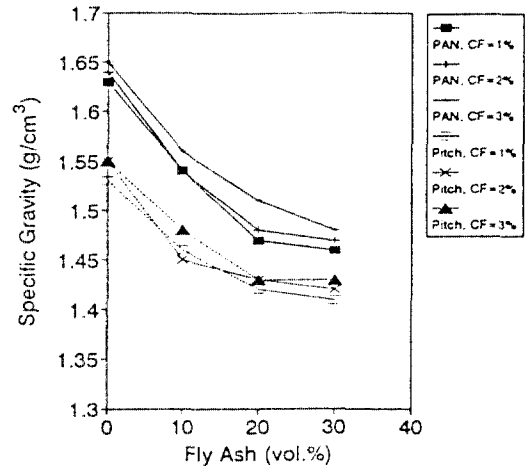


Fig. 3 Relationship between the Fly Ash Content and Specific Gravity

3.2 CFRC의 압축강도 및 압축탄성계수

(1) 플라이애쉬 혼입율 및 CF혼입율과 압축강도와의 관계

플라이애쉬, PAN계 및 Pitch계 CF단섬유의 혼입량과 압축강도와의 관계는 Fig. 4에서 나타내는 바와 같이 CF혼입량 증가에 따른 압축강도의 변화는 그다지 크지 않았으나 플라이애쉬 혼입율 증가에 수반하여 증대하는 경향을 나타내었으며 플라이애쉬 혼입율 10%, 20%까지는 다소 증대하는 경향이 있으나 30%의 경우는 오히려 감소하는 경향을 나타냈으며 이러한 원인은 과도한 플라이애쉬 혼입으로 SiO_2 함량이 많아지면서 포졸란 생성물인 Gel을 형성하지 못한 미반응성 물질이 많기 때문인 것으로 판단된다.

또한, PAN계 탄소섬유를 혼입한 경우가 Pitch계 탄소섬유를 혼입한 경우에 비하여 다소 높은 강도를 나타내었으며, 이는 PAN계 CF가 Pitch계 CF에 비하여 물성이 월등히 우수하기 때문인 것으로 판단된다.

한편, CFRC의 압축강도는 오토클래브 양생의 경우가 기건양생의 경우에 비하여 높은 경향을 나타내었으며, 이는 매트릭스층의 공극에 미분말의 Silica Powder에 의하여 충전되어 조적이 밀실화되고 오토클래브 양생에 의한 반응생성물에 의한 것으로 추정된다.

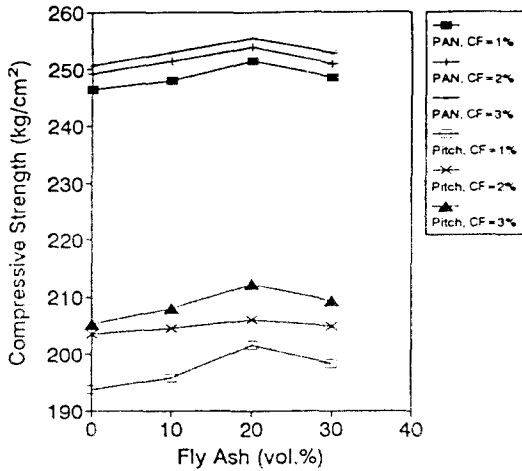


Fig. 4 Relationship between the Fly Ash Content and Compressive Strength

(2) CF 혼입율과 압축탄성계수(Ec)와의 관계
 플라이애쉬와 PAN계 및 Pitch계 CF단섬유 사용시 플라이애쉬혼입율과 압축탄성계수(Ec)와의 관계를 나타내면 Fig. 5와 같고, 이를 고찰하여 보면 CFRC의 압축탄성계수는 CF단섬유 혼입율의 증가와 함께 약간 증가하는 경향을 나타내었고 플라이애쉬혼입율의 증가에 수반하여 플라이애쉬혼입율 20%까지는 약간 증가하는 경향이던 30%에서는 감소하였다. 이러한 경향은 일반적으로 플라이애쉬의 미연탄소분이 콘크리트내에서 공기를 흡착하는 성질이 있기때문에 이로인해 공기량의 감소가 일어나기 때문으로 판단된다.

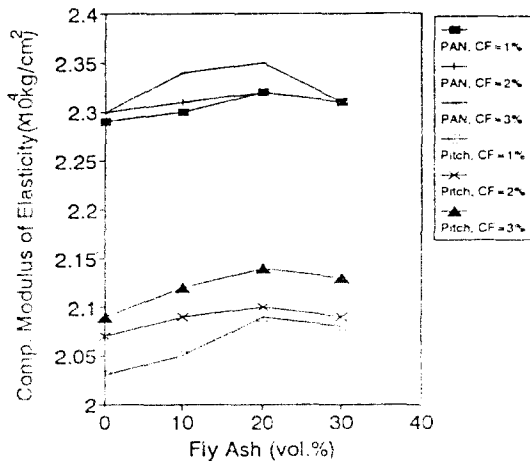


Fig. 5 Relationship between the Fly Ash Content and Compressive Modulus of Elasticity

또한 W/C비에 따라서는 W/C비가 35%, 45%, 55%로 증가함에 따라 압축탄성계수는 현저히 저하하는 경향을 나타내었다.

3.3 CFRC의 휨강도, 휨응력-처짐과의 관계 (1) 플라이애쉬 및 CF혼입율과 휨강도와의 관계

플라이애쉬, PAN계 및 Pitch계 CF단섬유의 혼입율과 휨강도와의 관계는 Fig. 6에 나타낸 바와 같다. 이를 고찰하여 보면, 압축강도의 경우와 마찬가지로 플라이애쉬 혼입율에 따른 휨강도의 증가는 현저하지 않으나 CF단섬유의 혼입율의 증가에 수반하여 휨강도는 현저히 증가하는 경향을 나타내었으며, 이는 Silica Powder에 의해 CF의 분산성이 향상되고, 동시에 시멘트 매트릭스와 섬유의 부착력을 향상시켜 그 보강효과가 증대하기 때문인 것으로 판단된다. 또한 Autoclave 양생의 경우가 기건양생의 경우에 비하여 높은 휨강도를 나타내었다.

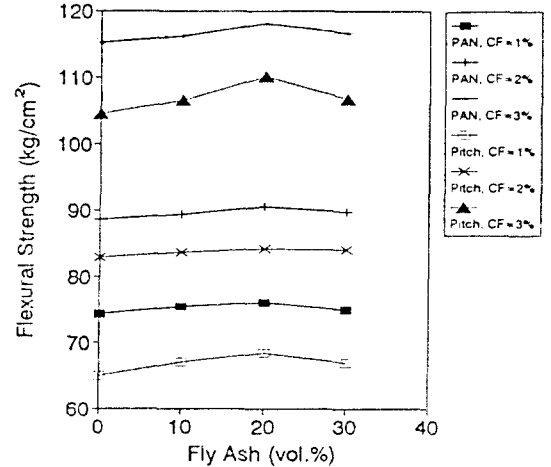


Fig. 6 Relationship between the Fly Ash Content and Flexural Strength

(2) CFRC의 휨응력과 처짐과의 관계
 휨응력을 받는 CFRC의 휨응력과 처짐량과의 관계를 확인하기 위하여 PAN계 CF단섬유를 $V_f = 0\%$, 1% , 2% , 3% , 4% 를 사용하여 플라이애쉬 20%를 혼입한 경우, 섬유혼입율의 증가에 따른 휨응력-처짐곡선은 Fig. 7과 같다. 이를 고찰하여 보면, 휨응력-처짐관계는 $V_f = 0\%$ 인 Plain의 경우 직선적으로 저하하는데 비하여, CFRC의 경우에는 현저한 비선형으로서 최대 휨응력을 나타낸 이후에도 급격히 저하하지 않고 현저한 연성적 특성을 나타내었다. CF혼입율의 증가에 따라 휨응력의 증가와 함께 변형 성능도 크게 증대함을 알수있고, 특히 휨인성(흡수에너지, 곡선하의 면적으로

평가)은 급격히 증대하는 경향을 나타내었다. 또한 수중양생을 행한 경우가 오토클래브 양생을 실시한 경우에 비하여 우수한 휨변형 특성을 나타내었으며, 이는 오토클래브 양생의 경우 매트릭스 자체가 고강도화됨과 아울러 섬유와 매트릭스의 부착력이 현저히 증대하여 섬유가 매트릭스로부터 인발이 감소하고 파단섬유가 증가하기 때문인 것으로 판단된다.

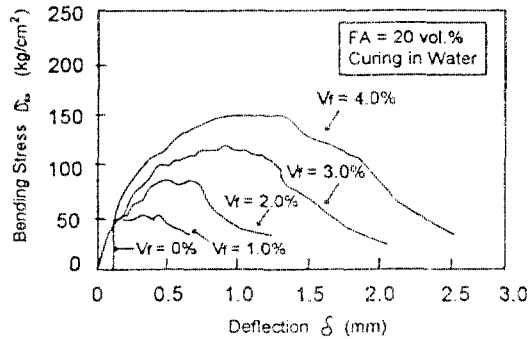


Fig. 7 Example of Bending Stress-Deflection Curves for CFRC

3.4 패널구조공시체의 내하력 측정결과

(1) Anchor 형상의 영향

Anchor형상에 따른 구조공시체의 하중-처짐 곡선은 Fig. 8에 있고, 강성의 지표로서 하중과 처짐이 직선관계로 300kg 재하시의 처짐, 최대하중을 Table 6에 나타내었다. Anchor형상의 영향을 처짐의 역수비인 강성의 비로 평가하면 A가 1260kg, C가 1700kg이며, B의 0.88, 0.93이 되고 anchor형상에 대한 최대하중의 차이는 작다. 또한 그림과 같이 처짐성능을 비교하면 A는 최대하중시의 처짐이 작으며, 최대하중후는 급격히 하중이 저하하게 된다. 한편, B, C는 최대하중시의 처짐이 각각 A의 1.4배, 1.5배이다. 이러한 경우, CFRC와 강판과의 미끄러짐(활동)변형에 대하여 패널 전면에서 저항하기 때문에 최대하중까지의 강성저하는 작지만 전단파괴와 동시에 강판이 CFRC와 박리하기 때문에 급격한 하중저하가 생긴다. 이것은 기계적인 anchor에 의해 B, C는 응력이 높은 패널중앙 부근의 anchor가 미끄러짐 변형에 저항하며, B는 주로 CFRC의 압축소성변형이, C는 주로 anchor의 인장소성변형이 서서히 진행되기 때문에 최대하중시의 처짐이 커진다고 생각된다. 또한 최대하중 이후에도 강판이 CFRC와 박리하지 않으며 하중저하도 완화된다고 생각된다.

또한, 패널의 응력상태는 다음과 같이 평가한다. 탄성범위내에 있는 4모퉁이 지지의 정방형 판 중앙에 Pkg를 재하한 경우 발생하는

Table 6 Properties of Strength and Maximum load carrying capacity for Shape of Anchors

Sign	Deflection (300kg)		Maximum Load		M
	mm	Relative Stiffness	kg	Ratio	
A2'	0.80	0.88	1260	0.84	300
B2	0.70	1.00	1500	1.00	358
C2	0.75	0.93	1700	1.13	405

* A2 : Anchor Shape A, CF=2vol. *

최대 휨모멘트 M은 근사적으로

$$M = (0.1034 \log \frac{a}{u} + 0.129) \cdot P \dots \dots (1)$$

여기서 a : 공시체의 한변의 길이,
u : 정사각형 재하판의 한변의 길이, 재하판이 원형인 경우의 u 값을 환산하면,

$$u = \frac{\sqrt{2} c}{e^{\frac{1}{4}-1}} = 1.75 c \dots \dots (2)$$

(c : 재하봉강의 반지름)

로 나타내었다.

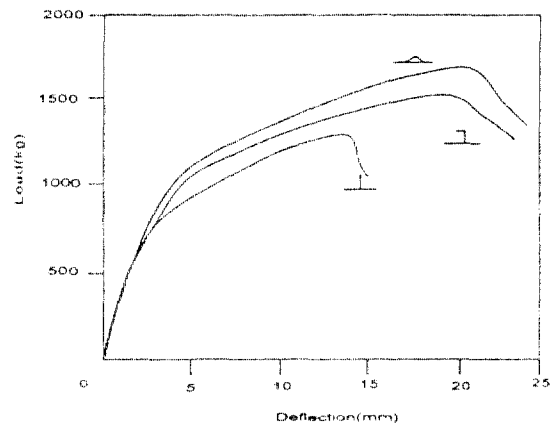


Fig. 8 The Load-Deflection Curves of CFRC Plate for Shapes of Anchors

(2) Anchor 간격의 영향

Anchor형상을 B로 하고 구조공시체의 두께 30mm와 35mm의 두가지 경우에 대하여 anchor의 간격을 각각 30, 60, 90, 120mm로 했을 경우에 대하여 실험한 하중-처짐곡선은 Fig. 9와 같고, 이를 고찰하여 보면, anchor간격 60mm까지는 간격이 좁을 수록 anchor의 갯수가 많아져 anchor 1개가 부담하는 힘이 작아지고 최대하중이 높아지지만, 30mm와 60mm의 경우는 대부분 차이가 없다. 이것은 anchor의 갯수중가에 의한 내력향상에는 한계가 있기

때문인 것으로 판단된다. 또한 파괴형식은 anchor간격 90, 120mm가 휨파괴에 이르고 anchor간격 30, 60mm는 재하부의 전단파괴가 있다. 그러한 것의 차이는 간격이 작은 쪽이 강판과 CFRC의 미끄러짐(활동) 또는 박리력에 대한 anchor 1개가 분담하는 힘이 작기 때문이다. 즉, 휨내력이 커지고 전단내력을 상회하기 때문에 전단파괴가 먼저 일어난다고 생각된다.

Table 7 Properties of Strength and Maximum load carrying capacity for Spacing of Anchors

Sign	Deflection (300kg)		Maximum Load		M
	mm	Relative Stiffness	kg	Ratio	
T30	30	0.70	1500	1.00	358
	60	0.71	1440	0.96	343
	90	0.84	1140	0.75	272
	120	0.95	850	0.57	203
T35	30	0.57	1740	1.16	415
	60	0.57	1680	0.12	401
	90	0.78	1360	0.91	324
	120	1.01	1050	0.70	250

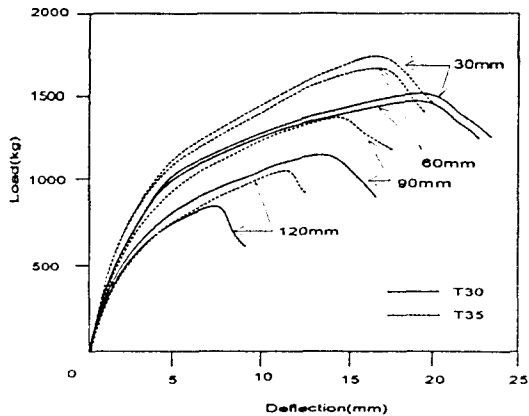


Fig. 9 The Load-Deflection Curves of CFRC Plate for Spacing of Anchors

(3) 구조공시체의 두께별 처짐특성

Anchor의 형상을 B로 하고 구조공시체의 두께를 각각 20, 25, 30, 35mm로 하였을 경우의 하중-처짐곡선은 Fig. 10과 같고, 300kg 재하시의 처짐, 최대하중 및 강성비를 Table 8에 나타내었다. 이때 구조공시체의 두께에 따른 처짐의 역수비를 강성의 비로 나타내면 구조공시체의 두께가 20, 25, 30, 35mm일때 각각 0.69, 0.82, 1.0, 1.23이 되고, 파괴형식은

두께 20, 25, 30mm가 휨파괴에 이르고 두께 35mm는 재하부의 전단파괴가 있다.

Table 8 Properties of Strength and Maximum load carrying capacity for Thickness of Specimens

Sign	Deflection (300kg)		Maximum Load		M
	mm	Relative Stiffness	kg	Ratio	
T20	1.02	0.69	890	0.59	212
T25	0.85	0.82	1350	0.90	322
T30	0.70	1.00	1500	1.00	358
T35	0.57	1.23	1740	1.16	415

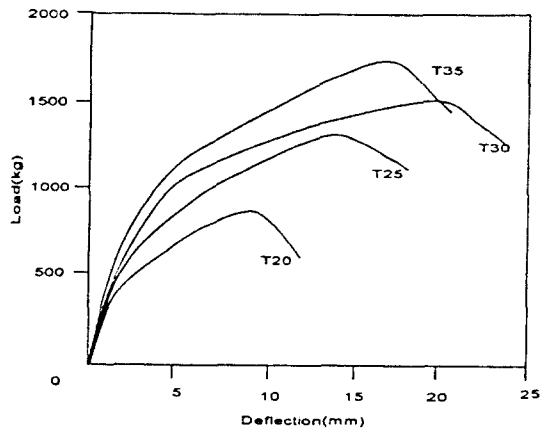


Fig. 10 The Load-Deflection Curves of CFRC Plate for Thickness of Specimens

4. 결 론

섬유보강 시멘트 복합체를 이용한 상판구조의 역학적 특성에 관한 연구결과를 요약하여 보면 다음과 같다.

(1) CF혼입율에 따른 기건비중의 차이는 크게 나타나지 않았으나 플라이애쉬 혼입율의 증가에 수반하여 다소 감소하는 경향을 나타냈으며, 오토클레브 양생의 경우가 기건양생의 경우에 비하여 현저한 경량화 경향을 보였다.

(2) CF혼입량 증가에 따른 압축강도의 변화는 그다지 크지 않았으나 플라이애쉬 혼입율 증가에 수반하여 증대하는 경향을 나타내었으며 플라이애쉬 혼입율 10%, 20%까지는 다소 증대하는 경향이 있으나 30%의 경우는 오히려 감소하는 경향을 나타냈으며, 이러한 원인은 과다한 플라이애쉬 혼입으로 SiO₂ 함량이 많아지면서 포졸란 생성물인 Gel을 형성하지 못한 미반응성 물질이 많기 때문인 것으로

판단된다.

(3) 플라이애쉬 혼입율에 따른 휨강도의 증가는 현저하지 않으나 CF단섬유의 혼입량의 증가에 수반하여 휨강도는 현저히 증가하는 경향을 나타내었으며, 이는 Silica Powder에 의해 CF의 분산성이 향상되고, 동시에 시멘트 매트릭스와 섬유와의 부착력을 향상시켜 그 보강효과가 증대하기 때문인 것으로 판단된다.

(4) CF혼입을 증대에 수반하여 CFRC의 휨변형 성능은 현저히 개선되고, 휨인성도 급격히 증대하는 경향을 나타내었다. 또한 오토클래브 양생의 경우가 수중양생을 행한 경우에 비하여 우수한 휨변형특성을 나타내었으며, 이는 오토클래브 양생시 매트릭스의 고강도화에 따른 섬유와 매트릭스의 부착력 증대로 섬유가 매트릭스로부터 인발이 감소되고 파단섬유가 증가하기 때문인 것으로 판단된다.

(5) 패널구조공시체의 내하력측정결과 소요의 경량성을 확보하고 휨내력을 증대하기 위하여 anchor의 형상을 C와 같이 하고 간격을 60mm이하로 하는것이 최적으로 판단된다.

(6) 본 연구결과에 의해 경량·고강도의 Free Access Floor의 제조는 물론 외장패널, 방음 및 전파흡수벽, 파이프, 크린룸 및 면상발열판, 단열 및 내열재, 접지용부재 등의 활용이 기대되며 에너지절약 및 수입대체에 따른 외화절감효과는 물론 관련산업 분야에의 기술개발의 파급효과가 매우 클 것으로 전망된다.

參 考 文 獻

1. ACI Committee Report #544, "State of the Art Report on Fiber Reinforced Concrete", in ACI Manual of Concrete Practice, 1987, Part 5, pp. 544. IR
2. S. Sarker and M.B. Bailey, "Structural Properties of Carbon Fibers Reinforced Cement", in Fiber Reinforced Cement and Concrete,

RILEM Symposium, 1975 London, Vol. 1. I, pp.361.

3. K. Shirakawa and K. Nakagawa, "Factors Affecting Flexural Strength of Carbon Fibre Reinforced Cement Composites", Proceedings of the JCI, 4th Conf., 1982, pp. 153.
4. S. Akihama, T. Suenaga and T. Banno, "The Behavior of Carbon Fibre Reinforced Cement Composites in Direct Tension", The International J. of Cement Composites and Lightweight Concrete, Vol. 6, No. 159, 1984.
5. Seung Bum Park, "Development and Application of Carbon Fiber Reinforced Cement Composites", J. of KSCM, Vol. 1, No.1, pp.34-42, 1988.
6. K. Nishioka, S. Yamakuwa and K. Shirakawa, "Properties and Applications of CFRC Composites", Preprint from European Concrete Society Conference, London, England, July, 1986.
7. J.F. Ryder, "Application of Fibre Cement, Fibre Reinforced Cement and Concrete", RILEM Symposium, Vol.1, Construction Press Ltd., pp.23-35, 1975.
8. J. Delmont, "Technology of Carbon and Graphite Fiber Composites", Von Nostrand Reinhold, Nr. 419, 1984.
9. ACI Committee 226, "Use of Fly Ash in Concrete", Committee Report, 1985
10. Seung-Bum Park, "Engineering Properties of CFRC with Fly Ash", International J., Cement and Concrete Research, Vol.21, No.1, 1991
11. S. P. Timoshenko, S. Woinowsky-Krieger, "Theory of Plates and Shells", McGraw-Hill International Book Co., pp.218-221, 1970