

# 連續纖維 거푸집으로 補強된 壓縮部材의 力學的 特性에 관한 研究

## A Study on the Mechanical Characteristics of Compression Member Confined the Cast Frame Using Continuous Fiber Mesh

고 훈 범\*

Ko, Hune-Bum

### ABSTRACT

Recently, the continuous fiber materials has become more important materials to repair and to reinforce concrete structural members. Continuous fiber meshes are effective for shear and confining reinforcement and provide excellent durability when combined with high strength mortar. The purpose of this study is to verify the relationship between concrete strength and the ductility of inner concrete confined laterally by continuous fiber meshes. For this study, Experimental studies were conducted by compressive members using the cast frame of high strength mortar and continuous fiber meshes.

Therefore, the result shows that compressive strength and ductility has improved according to the amount of the fiber meshes, and that the lateral confined effect of members with 3- or 4-axis mesh arrangement is bigger than that of members with 2-axis mesh.

These data have to be used to verify the characteristic of concrete structure members reinforced continuous fiber mesh.

키워드 : 연속섬유메쉬, 아라미드 섬유, 횡 보강효과

Keywords : continuous fiber mesh, aramid fiber, lateral confined effect

### 1. 서론

연속 섬유를 콘크리트부재의 보강용으로 사용하려는 노력은 1980년대부터 몇몇 선진국에서 계속적으로 이루어져 왔으나 경제적인 문제와 사용상의 문제점 등으로 이러한 노력의 결과들을 건설현장에 직접적으로 적용하기는 어려웠다.

그러나 건설현장에서 최근 탄소섬유, 아라미드섬유 등이 구조부재의 보강용으로 많이 이용되고 있으며, 우리나라에서도 본격적인 연구가 시작되고 있다. 선진국에서는 연속섬유를 부분적인 보강재료로써 보다 철근을 대신한 콘크리트의 주요 보강재료로써 이용하려는 움직임이 활발하게 일어나고 있다. 특히 지진피해가 많은 지역에서는 지진 후 피해를 입은 건물이나 또는 지진시 피해가 예상되는 건물을 대상으로 내진보강을 위한 재료로서 연속섬유가 많이 사용되고 있는 실정이다. 연속섬유의 장점은 철근과 같이 부식되지 않아 반영구적인 콘크리트 보강재료 이용될 수 있으며 또한 경량이어서 운반, 조립 및 제작이 매우 간편하다. 그리고 단위면적당 강도도 매우 높아(철근의 약 5~10배) 구조부재의 강성을 극대화시킬 수 있어 선진국에서는 조직적으로 실용화에 노력을 기울이고 있다.

이러한 연구개발의 움직임은 크게 기초적인 재료개발연구와 개발된 재료를 구조부재에 적용하려는 연구로 크게 구분

할 수 있다.

국내 건축분야에서는 개발된 신소재를 콘크리트부재에 적용하려는 연구가 활발하게 진행되고 있으나 보수용으로 사용하려는 목적으로 국한된 연구가 거의 대부분이어서 근본적으로는 연속섬유의 최대장점인 인장재 대응으로써 구조부재에 적용하는 다양한 연구가 필요한 실정이다. 그런 연구중의 하나가 연속섬유와 시멘트계 재료를 조합한 복합재료를 이용하는 방법으로 연속섬유를 보강재로 이용한 모르타 거푸집을 생각할 수 있다. 연속섬유로 보강된 모르타 거푸집의 사용은 구조부재의 형태를 만드는 거푸집의 역할을 하면서 구조적인 전단보강의 역할도 할 수 있는 복합적 장점을 가지고 있으며 거푸집의 해체작업을 고려하지 않아도 된다. 물론 경제성과 중량에 대한 문제는 계속적으로 해결해 나가야 할 부분이라고 생각된다.

본 연구에 사용되는 연속섬유는 면·입체 보강재에 해당하는데 이러한 보강재는 섬유에 결합재를 함침시킨 섬유강화복합재료의 형태와 결합재를 사용하지 않은 섬유자체의 형태가 있다. 생산공정에 따라 천연섬유와 인공섬유로 구분할 수 있으며, 현재 주로 사용되고 있는 것은 인공섬유 중에서 무기질 섬유로 분류되는 탄소섬유와 유리섬유, 합성섬유로 분류되는 아라미드와 비닐론 섬유이다. 결합재는 에폭시, 불포화 폴리 에스테르, 비닐에스테르 등의 수지계나 특수시멘트 등의 시멘트계 가 현재 주로 사용되고 있으며 금속계 결합재는 복합재료로써 연구개발단계에 있다. 면·입체 보강재는 기둥·보 등의 선재

\* 인하공업전문대학 건축계열 조교수

본 연구는 인하공업전문대학 학술연구비 지원에 의한 결과임

나 벽·바닥 등의 면재에도 사용이 가능하지만 부재의 최종형상으로 분류하기는 쉽지 않다. 결합재를 사용하지 않은 연속섬유는 섬유자체가 면·입체 보강재이며 결합재의 함침과정이나 반경화의 연속섬유는 최종적으로 결합재가 경화되어 면·입체 보강재가 된다.

본 연구는 일반적으로 널리 사용되어 지는 연속섬유의 일종으로 경량이며 내후성이 우수한 고강도 아라미드 메쉬를 보강재로 이용하여 고강도 모르타르 거푸집을 제작하고 내부를 콘크리트로 충전시킨 압축부재에 대한 1축 압축시험을 실시하여 연속섬유메쉬의 횡구속작용에 의한 내부콘크리트의 압축강도와 연성효과에 대하여 조사하는 것을 목적으로 하고 있다.

## 2. 실험개요

### 2.1 시험체

시험체 단면은 정방형을 사용하였으며 시험체 형상과 크기는 그림 1에 자세히 나타내었다. 시험체는 아라미드 섬유를 메쉬형태로 제작한 슈트를 보강재로 사용하여 두께 10mm의 모르타르거푸집을 제작하고 거푸집 내부에 콘크리트로 타설하여 제작하였다. 모든 시험체의 거푸집에 사용된 메쉬는 전 길이의 1/4를 중첩시켜서 에폭시수지로 접착하였다. 이 실험에서는 사선방향의 속선이 시험체 단부에서 절단되기 때문에 실험 전 시험체 양단부 30mm의 영역을 아라미드 테이프로 에폭시 수지에 의해 접착시켜 보강하여 단부의 파괴가 선행되지 않도록 하였다. 또한 각 시험체에 대해서는 메쉬가 응력집중에 의해 파단되는 것을 방지하기 위하여 거푸집 내부의 각을 반경 20mm로 면 정리를 하였다.

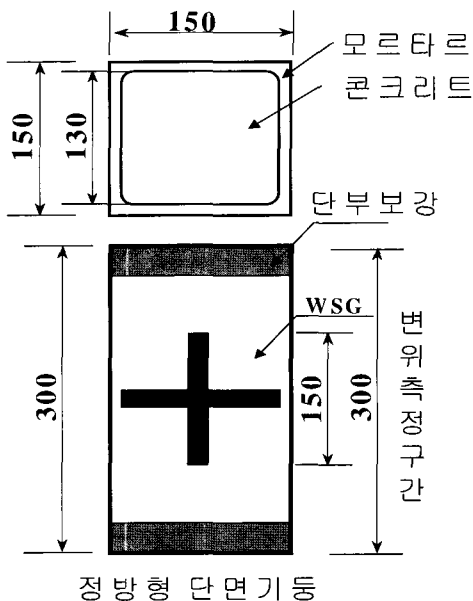


그림 1. 시험체 형상과 크기(단위 mm)

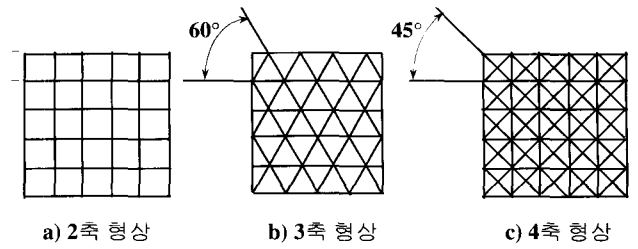


그림 2. 메쉬의 형상

표 1에 사용재료의 역학적특성 값 및 모르타르, 콘크리트의 배합을 나타내었다. H시리즈인 경우 거푸집에 사용된 모르타르의 압축강도는 72.0MPa, 충전용 콘크리트의 압축강도는 32.7MPa이며, N시리즈인 경우는 각각 47.6MPa, 22.0MPa이다. 사용섬유는 공중합 형식인 아라미드섬유로써 1500denier(직경 12.4 $\mu$ m인 소선 1000본)와 6000denier(소선 4000본)을 1축선으로 아크릴계 수지로 묶어 속선의 단면은 가능한 편평하게 제작되었다. 속선이 메쉬상태로 형성된 것을 보강재로 하였다. 그림 2에 메쉬의 형상을 나타내었다. 10mm간격의 수평속선에 대하여 90°(2축메쉬),  $\pm 60^\circ$ (3축메쉬), 90° 및  $\pm 45^\circ$ (4축메쉬)의 각도로서 가로, 경사속선이 배치되었다. 사진 1에 시험체의 제작과 단부보강 상황을 나타내었다.

표 1. 사용재료

		모르타르	
거 푸 집	압축강도(MPa)	72.0(H)	47.6(N)
	배합	시멘트:1, 물:0.3 5호규사:0.5	시판 믹스 모르타르사용
	아라미드섬유		
내 부	인장강도(MPa)	탄성계수(Gpa)	신율(%)
	3040	75.5	4.4
	콘크리트		
내 부	압축강도(MPa)	32.7(H)	22.0(N)
	배합	시멘트:1, 물:0.7 모래:3.2, 자갈:3.6	양생조건만 다름



사진 1. 시험체 단부보강

표 2. 각 시험체의 특성값과 실험결과 일람

시험체명	메쉬 층수	메쉬 층수	Pf(%)	$\sigma_a$ (MPa)	$\sigma_b$ (MPa)	$\epsilon_b$ ( $\times 10^{-6}$ )
H-2-2-1500	2	2	0.035	37.0	21.4	16000
H-2-3-1500		3	0.044	43.5	23.7	16000
H-2-4-1500		4	0.047	40.6	23.0	18000
H-4-2-1500	4	2	0.070	35.7	26.1	17800
H-4-3-1500		3	0.087	40.9	17.2	16000
H-4-4-1500		4	0.094	42.6	32.1	14600
H-2-2-6000	2	2	0.139	44.3	37.1	16200
H-2-3-6000		3	0.174	36.1	31.8	24000
H-2-4-6000		4	0.188	39.4	33.6	25600
H-4-2-6000	4	2	0.278	40.9	41.5	28800
H-4-3-6000		3	0.348	42.7	42.5	28000
H-4-4-6000		4	0.377	36.2	44.3	36000
N-2-2-6000	2	2	0.139	30.9	22.9	17400
				29.1	23.8	15600
				27.7	25.6	19000
N-4-2-6000	4	2	0.278	30.6	30.4	28600
				26.7	26.3	36200
				34.8	30.1	31200
N-2-4-6000	2	4	0.188	31.0	26.1	24600
				31.9	24.8	20000
				29.8	28.2	20800

주1) Pf : 원주방향 등가 보강근비(%)

$\sigma_a$  : 점 a(제1최고점)의 압축응력(그림 8 참조)

$\sigma_b$  : 점 b(제2최고점)의 압축응력(그림 8 참조)

\* 압축응력은 각 하중에 코어면적으로 나눈 값

$\epsilon_b$  : 점 b의 축변형도(그림 8 참조)

주2) 시험체 명칭 : N-2-4-6000 (콘크리트 및 모르타르 강도수준-메쉬층수-메쉬층수-축선굵기)

## 2.2 실험변수

실험변수는 메쉬의 형상(2층, 3층, 4층) 및 보강량(무보강, 2층, 4층)으로 표 2에 전체 일람을 보여주고 있다. 각 실험변수에 대한 시험체수는 H시리즈인 경우 1개이며, N시리즈인 경우 3개이다. 표의 각 기호는 표 하단부에 설명을 첨가하였다. N시리즈는 H시리즈의 실험결과에 대한 보강실험이다.

여기에서 등가 보강근 비 Pf는 섬유만의 실단면으로 고려한 횡보강근 비로서 경사방향축선에 대해서는 섬유가 탄성재료인 것을 고려하여 횡방향 축선의 늘어남에 따라 횡방향 분력을 평가하여 구한 값이다.

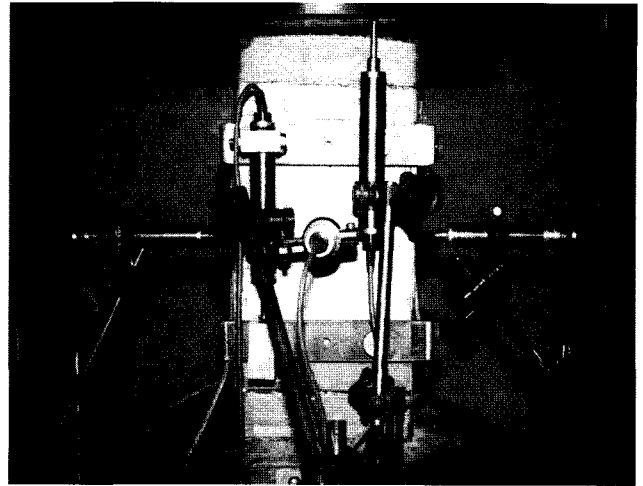


사진 2. 시험체 설치상황 및 계측광경

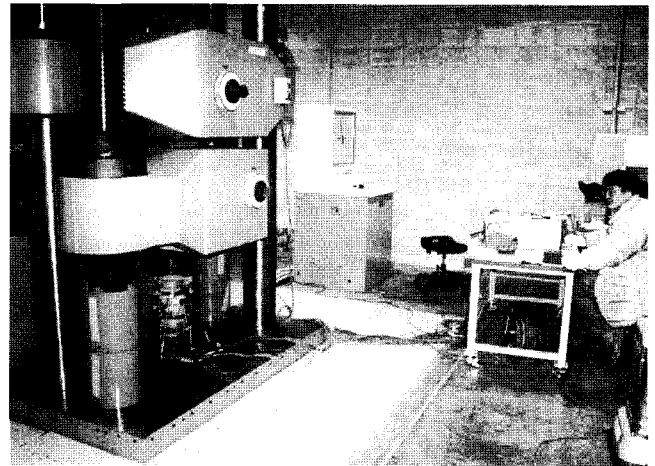


사진 3. 시험상황

## 2.3 재하조건과 계측사항

시험체의 상단부에 원형대의 구좌를 설치하고 400ton 만능 시험기를 이용하여 단조압축재하를 실시하였다. 시험체와 압축판 사이에는 특별하게 마찰을 저감시킬 수 있는 방법은 모색하지 않았다. 축방향 변형은 시험체 전체길이의 변형도를 계측하기 위하여 단부의 압축판에 설치한 변위계(300mm)와 시험체 중앙부분의 변형도를 계측하기 위해 중앙부분에 설치한 변위계(계측길이 150mm) 그리고 중앙부에 설치된 WSG(계측길이 120mm)에 의해 계측하였다.

재하축 방향과 직교방향의 변형은 시험체 중앙부에 설치한 변위계로, 원주방향 변형도는 WSG로 계측하였다. 또한 시험체 중앙부 섬유메쉬의 변형도도 WSG에 의해 계측되었다.

이하 변형도에 관한 검토는 전부 단부의 압축판에 설치한 변위계 계측값에 의해 이루어 졌다. 전체적인 시험광경 및 계측조건은 사진 2, 3에 나타내었다.

### 3. 실험결과와 검토

#### 3.1 파괴현상

표 2에 각 시험체의 특성값과 실험결과와 일람을 보여주고 있으며, 그림 3~6에 H시리즈 시험체의 응력-변형도 곡선(계측길이 300mm)의 일례를, N시리즈인 경우 그림 7,8에 나타내었다. 표와 그림 7,8에 나타난 압축응력은 각 하중에 코어면적으로 나눈 값이며 그림 3~6에 표시된 압축응력은 각 하중에 전체 단면적으로 나눈 값을 표시하였다.

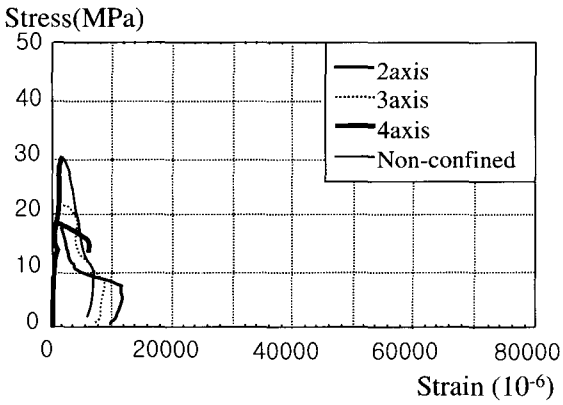


그림 3. 1500denier 2층(H 시리즈)

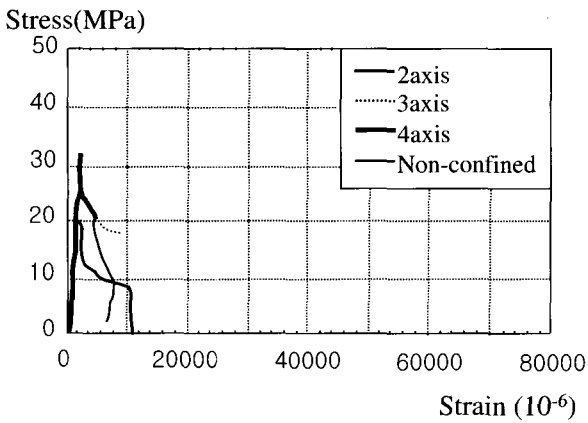


그림 4. 1500denier 4층(H 시리즈)

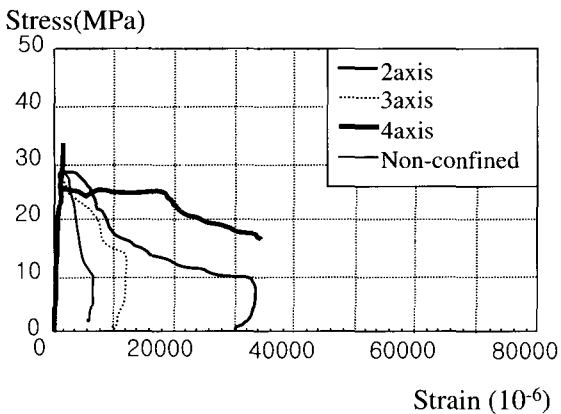


그림 5. 6000denier 2층(H 시리즈)

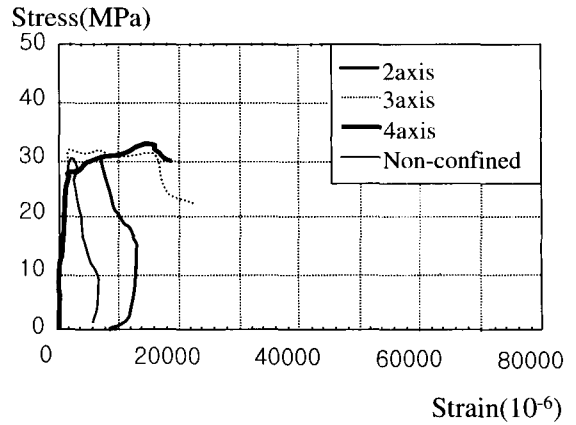


그림 6. 6000denier 4층(H 시리즈)

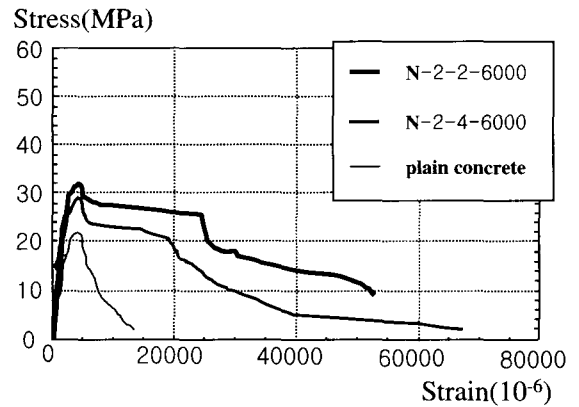


그림 7. 6000denier (N 시리즈)

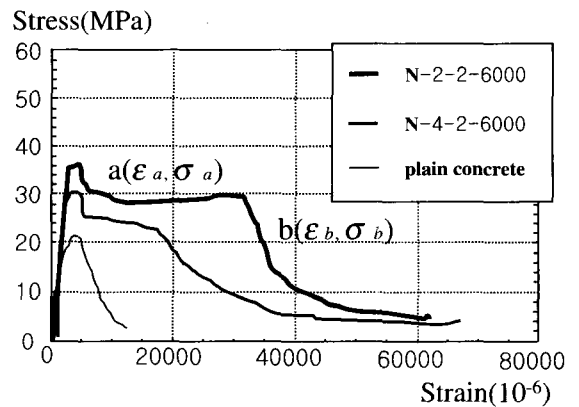


그림 8. 6000denier (N 시리즈)

N시리즈인 경우는 H시리즈의 결과에 대한 보강을 목적으로 실험을 실시하였으며 결과적으로 N시리즈인 경우 코어 부분의 응력을, H시리즈인 경우는 전체 부재에 대한 응력을 의미한다.

메쉬 보강이 이루어지지 않은 압축부재(사진 4)의 경우 전 단형태의 압축파괴를 보여주고 있다. 일반적으로 메쉬보강 거푸집을 사용한 시험체의 파괴형상은 거푸집의 모르타르 부분

에 균열이 발생하는 것과 함께 최고점 또는 강성 급변점을 맞이하고 보강량이 많은 경우에는 이후에 더욱 내력이 증대되어 두번째의 최고점에 도달하지만 보강량이 적은 경우에는 그대로 하중이 감소해 버린다. 이 과정에서 섬유가 파단하는 음이 발생하면서 변형이 진행되어 최종적으로 파단부분(중앙부)에서 대나무 빗자루 형태로 섬유메쉬가 파단된다.

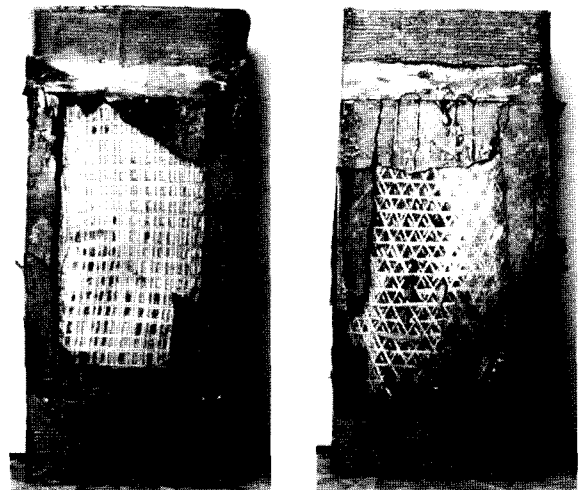
사진 5와 사진 6에서 보여지는 것과 같이 1500denier인 경우보다 6000denier인 경우가 더욱 가혹한 파괴양상을 보이고 있으며 같은 속선을 가진 경우에는 메쉬축수 및 층수가 많을수록 메쉬의 파단이 눈에 띄게 관측된다. 결과적으로 보강근비가 높은 시험체일수록 코아 콘크리트에 대한 횡보강 효과를 높여 압축부재의 연성능력을 증가시킨다고 할 수 있으며 연속섬유의 역할이 증가된다는 것을 의미한다.

### 3.2 메쉬형상의 영향

그림 3~그림 8의 응력-변형도곡선에 대하여 각 시험체에서 비교해 보면, 전체적인 경향으로 2축과 비교하여 3축, 4축인 경우가 횡구속 효과에 의한 최대내력, 변형능력이 증대되어지는 것을 알 수 있지만 3축, 4축의 차이는 작다.

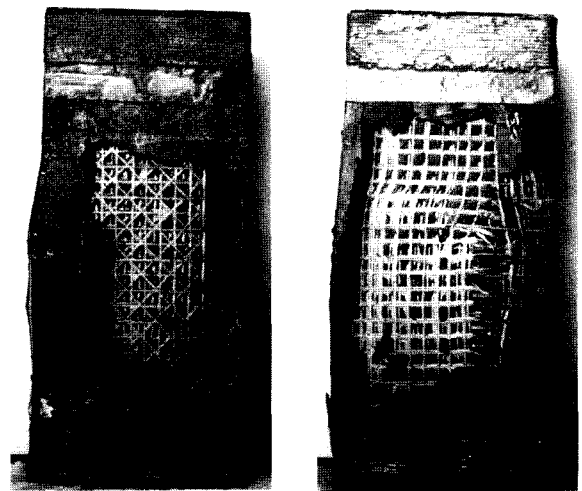
이 실험에서 동일 속선, 층수의 2축, 3축, 4축 메쉬는 축방향과 직교하는 방향의 섬유보강량이 같으며 임의의 원주방향 변형도의 사선방향분력을 가산하는 것으로 등가보강량비 Pf를 정의하면 2축 : 3축 : 4축은 1 : 1.25 : 1.35의 보강량 비가 된다.

사선 속선에 인장변형도가 발생하기 시작하는 것은 하중이 최고점을 넘어 축방향 변형도가 4000 $\mu$ 를 초과한 부분부터이다. 사선속선이 시험체의 압축성상에 미치는 영향은 단면내의 축압효과라기 보다는 메쉬간격이 작기 때문에 시험체의 입체적 파괴면의 형성, 변형을 구속하는 효과로 생각하는 것이 적절하다고 판단된다.



a) H-2-2-1500

b) H-2-3-1500



c) H-2-4-1500

d) H-4-2-1500

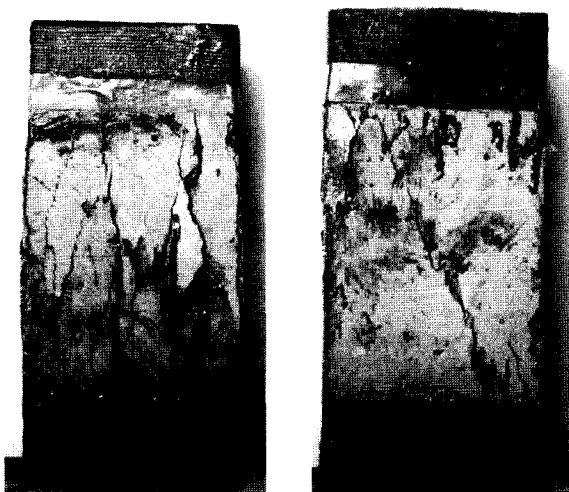
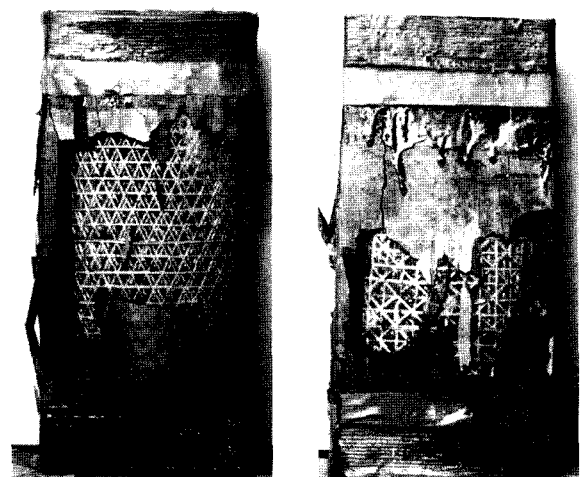


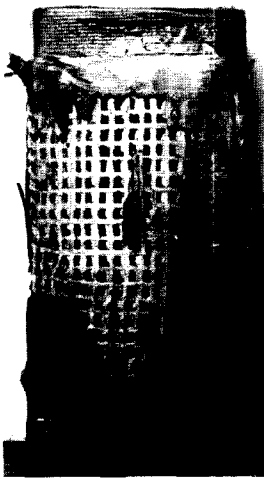
사진 4. 시험체의 파괴형상 (plain)



e) H-4-3-1500

f) H-4-4-1500

사진 5. 시험체의 파괴형상 (1500denier)



a) H-2-2-6000



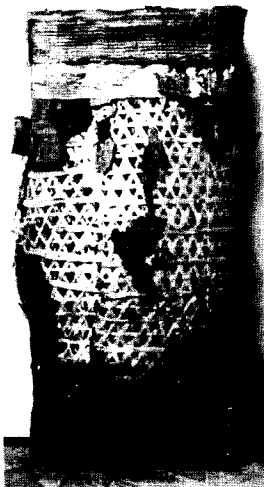
b) H-2-3-6000



c) H-2-4-6000



d) H-4-2-6000



e) H-4-3-6000



f) H-4-4-6000

사진 6. 시험체의 파괴형상 (6000denier)

### 3.3 횡구속효과

시험체에서는 일반적으로 메쉬속선이 굵을수록 메쉬층수가 많을수록 최대 압축응력이 증가하며 인성능력이 개선되는 것을 알 수 있다. 그렇지만 보강량이 적은 1500 denier속선 메쉬에서는 메쉬 보강으로 인하여 얼마간의 구속효과를 보여주었으나 그 효과는 미미하다고 할 수 있다. 섬유량이 많은 6000denier 속선메쉬에서는 메쉬 보강으로 인하여 기대될 정도의 구속효과가 관찰되었으며 특히, N시리즈에서는 그러한 경향이 뚜렷하였다.

### 4. 결론

연속섬유의 새로운 이용방법으로써 아라미드메쉬를 보강재로 사용한 모르타르 거푸집을 제작하고, 콘크리트로 거푸집내부를 충전한 콘크리트 기둥시험체에 대하여 1축 압축시험을 실시하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

- 1) 연속섬유 메쉬 보강 모르타르 거푸집의 횡구속효과에 의하여 메쉬보강량에 따라 압축강도 및 인성능력이 개선된다는 것을 알 수 있었다.
- 2) 메쉬 형상의 차이가 압축성향에 영향을 미친다.
- 3) 수평방향 속선으로만 이루어진 시험체보다 수직, 사선방향 속선으로 이루어진 시험체가 횡구속에 효과적이다.

### 참고문헌

1. 고희범, 이진섭, 연속섬유메쉬를 사용한 판부재의 역학적 특성에 관한 연구, 대한건축학회논문집, 구조계 16권 11호, 2000.11
2. Ottosen, N. S., "A failure criterion for concrete, Journal of Mechanical Engineering Division", ASCE, Vol. 103, EM4, Aug.1977
3. Ottosen, N. S., "Constitutive Model for Short-time Loading of Concrete", Journal of Mechanical Engineering Division, ASCE, Vol. 105, EM1, Feb. 1979
4. De Verkey, R. C., A.J.Majumdar, " Determining bond strength in fibre reinforced composites", Magazine of Concrete Research, Vol. 20, No. 65, 12, 1968
5. Hughes, D. C., "Stress transfer between fibrillated polyaikene films and cement matrices, composites". Vol. 15, No. 2, 1984-4
6. Hannant, D. J., "Durability of cement sheets reinforced with fibrillated polypropylene networks", Magazine of Concrete Research, Vol. 35, No. 125, 12, 1983
7. 連続纖維補強 콘크리트(諸性質と 設計法), 建設省大臣官房技術照査室監修, 連続纖維補強콘크리트編集委員會編, 技報堂出版, 1995年
8. 日本建築學會 連続纖維複合材料 研究委員會 : 新補強材의 콘크리트構造材への利用의 現狀と問題點 `1989
9. 日本建築學會 连续纖維複合材料 研究委員會 : 新補強材의 콘크리트構造材への適用に必要な評價項目의 整理と現狀의 評價法 `1990
10. 콘크리트工學協會 : 特集, 신소재-연속섬유による 콘크리트의補強, 콘크리트工學, Vol.29, No.11, 1991-11