2012년 8월 박사학위논문

차체 구조용 CFRP 모자형 부재의 충돌 안전성능 평가

조선대학교 대학원

첨단부품소재공학과

황 우 채

차체 구조용 CFRP 모자형 부재의 충돌 안전성능 평가

Collision Evaluation of Safety Performance in CFRP Hat shaped Member for a Use of Car Body Structures

2012 년 8월 24일

조선대학교 대학원

첨단부품소재공학과

황 우 채

차체 구조용 CFRP 모자형 부재의 충돌 안전성능 평가

지도교수 양 인 영

이 논문을 공학박사학위신청 논문으로 제출함.

2012 년 4 월

조선대학교 대학원

첨단부품소재공학과

황 우 채

황우채의 박사학위 논문을 인준함.

위육	신장	조선대학교	교수	심	재	フ	୧
위	원	전북대학교	교수	김	선	규	୧
위	원	우석대학교	교수	임	광	ই	୧
위	원	조선대학교	부교수	김	지	すし	୧
위	원	조선대학교	교수	양	인	ල්	୧

2012 년 6 월 일

조선대학교 대학원

목 차

LIST OF TABLES		iii
LIST OF FIGURES		iv
LIST OF PHOTOGRA	APHS	xii
ABSTRACT	x	z vii
제1장서론		1
제 1 절 연구배경		1
제 2 절 연구목적 등	및 방법	5

제 2 장 실험방법 ······ 7 제 1 절 시험편 ······ 7

제 2 절 실험장)치 ·	 15
제 3 절 압궤실]험 ·	 19

제 3 장 CFRP 모자형 부재의 안전성능 평가 21

- 제 2 절 계면수 변화에 따른 정적압궤특성 28
- 제 4 절 계면수 변화에 따른 충격압궤특성 ………………………… 45

제 5 절 결과	56
----------	----

제 4 장 CFRP 이중 모자형 부재의 안전성능 평가 67 제 1 절 적층각도 변화에 따른 정적압궤특성 68 제 2 절 계면수 변화에 따른 정적압궤특성 74 제 3 절 적층각도 변화에 따른 충격압궤특성 85 제 4 절 계면수 변화에 따른 충격압궤특성 91 제 5 절 결과 102

제	5	장	결과	및	고찰				 112
	제	1	절 정적	압구	뭬특성			•••••	 112
		1.	CFRP	모,	자형 부	재의 정적	압궤특성	•••••	 113
		2.	CFRP	0]=	중 모자	형 부재의	정적압궤	특성	 116
	제	2	절 충격	압구	뭬특성			•••••	 121
		1.	CFRP	모;	자형 부	·재의 충격	압궤특성		 122
		2.	CFRP	0]=	중 모자	형 부재의	충격압궤	특성	 124

참 고 문 헌

LIST OF TABLES

Table 1 Characteristics and use of the CFRP
Table 2 Material properties of the CFRP prepreg sheet
Table 3 Static collapse test results for CFRP hat shaped member
according to fiber orientation angle of CFRP
Table 4 Static collapse test results for CFRP hat shaped member
according to interface number(outer layer 90°)
Table 5 Static collapse test results for CFRP hat shaped member
according to interface number(outer layer 0°)
Table 6 Impact collapse test results for CFRP single hat shaped member
according to fiber orientation angle of CFRP
Table 7 Impact collapse test results for CFRP single hat shaped member
according to interface number(outer layer 90°)
Table 8 Impact collapse test results for CFRP single hat shaped member
according to interface number(outer layer 0°)
Table 9 Static collapse test results for CFRP double hat shaped member
according to fiber orientation angle of CFRP
Table 10 Static collapse test results for CFRP double hat shaped member
according to interface number(outer layer 90°)
Table 11 Static collapse test results for CFRP double hat shaped member
according to interface number(outer layer 0°)
Table 12 Impact collapse test results for CFRP double hat shaped member
according to fiber orientation angle of CFRP
Table 13 Impact collapse test results for CFRP double hat shaped
member according to interface number(outer layer 90°) 107
Table 14 Impact collapse test results for CFRP double hat shaped
member according to interface number(outer layer 0°) 108

LIST OF FIGURES

Fig. 1 Configuration of CFRP single hat shaped member	9
Fig. 2 Configuration of CFRP double hat shaped member	9
Fig. 3 Stacking conditions of CFRP single hat shaped member	10
Fig. 4 Stacking conditions of CFRP double hat shaped member	11
Fig. 5 Curing cycle of CFRP stacking specimen	14
Fig. 6 Impact testing setup for crushing	17
Fig. 7 Diagram of measurement system	18
Fig. 8 Load-displacement curve of CFRP single hat shaped member,	
$[+15/-15]_4$ (Static, 15° fiber orientation angle)	23
Fig. 9 Load-displacement curve of CFRP single hat shaped member,	
$[+45/-45]_4$ (Static, 45° fiber orientation angle)	24
Fig. 10 Load-displacement curve of CFRP single hat shaped member,	
$[90]_8$ (Static, 90° fiber orientation angle)	25
Fig. 11 Load-displacement curve of CFRP single hat shaped member,	
$[0/90]_4$ (Static, 0° /90° fiber orientation angle)	26
Fig. 12 Load-displacement curve of CFRP single hat shaped member,	
$[90/0]_4$ (Static, 90° /0° fiber orientation angle)	27
Fig. 13 Load-displacement curve of CFRP single hat shaped member,	
$[90_2/0_2]_s$ (Static, 2 interface number)	29
Fig. 14 Load-displacement curve of CFRP single hat shaped member,	
$[0_2/90_2]_2$ (Static, 3 interface number)	30
Fig. 15 Load-displacement curve of CFRP single hat shaped member,	
$[90/0]_{S2}$ (Static, 4 interface number)	31
Fig. 16 Load-displacement curve of CFRP single hat shaped member,	
[90/0] _{2S} (Static, 6 interface number)	32

Fig.	17 Load-displacement curve of CFRP single hat shaped member,	
	$[0/90]_4$ (Static, 7 interface number)	33
Fig.	18 Load-displacement curve of CFRP single hat shaped member,	
	$[0_2/90_2]_{\rm S}$ (Static, 2 interface number)	34
Fig.	19 Load-displacement curve of CFRP single hat shaped member,	
	$[90_2/0_2]_2$ (Static, 3 interface number)	35
Fig.	20 Load-displacement curve of CFRP single hat shaped member,	
	$[0/90]_{S2}$ (Static, 4 interface number)	36
Fig.	21 Load-displacement curve of CFRP single hat shaped member,	
	$[0/90]_{\rm 2S}$ (Static, 6 interface number)	37
Fig.	22 Load-displacement curve of CFRP single hat shaped member,	
	$[90/0]_4$ (Static, 7 interface number)	38
Fig.	23 Load-displacement curve of CFRP single hat shaped member,	
	$[+15/-15]_4$ (Impact energy 419J, 15° fiber orientation angle) …	40
Fig.	24 Load-displacement curve of CFRP single hat shaped member,	
	$[+45/-45]_4$ (Impact energy 419J, 45° fiber orientation angle) \cdot	41
Fig.	25 Load-displacement curve of CFRP single hat shaped member,	
	$[90]_8$ (Impact energy 341J, 90° fiber orientation angle)	42
Fig.	26 Load-displacement curve of CFRP single hat shaped member,	
	$[0/90]_4$ (Impact energy 419J, 0° /90° fiber orientation angle)	43
Fig.	27 Load-displacement curve of CFRP single hat shaped member,	
	$[90/0]_4$ (Impact energy 419J, 90° /0° fiber orientation angle)	44
Fig.	28 Load-displacement curve of CFRP single hat shaped member,	
	$[90_2/0_2]_S$ (Impact energy 419J, 2 interface number)	46
Fig.	29 Load-displacement curve of CFRP single hat shaped member,	
	[0 ₂ /90 ₂] ₂ (Impact energy 419J, 3 interface number)	47
Fig.	30 Load-displacement curve of CFRP single hat shaped member,	

Fig. 31 Load-displacement curve of CFRP single hat shaped member,	
[90/0] _{2S} (Impact energy 419J, 6 interface number)	49
Fig. 32 Load-displacement curve of CFRP single hat shaped member,	
[0/90] ₄ (Impact energy 419J, 7 interface number)	50
Fig. 33 Load-displacement curve of CFRP single hat shaped member,	
[0 ₂ /90 ₂] _S (Impact energy 419J, 2 interface number)	51
Fig. 34 Load-displacement curve of CFRP single hat shaped member,	
[90 ₂ /0 ₂] ₂ (Impact energy 419J, 3 interface number)	52
Fig. 35 Load-displacement curve of CFRP single hat shaped member,	
[0/90] _{S2} (Impact energy 419J, 4 interface number)	53
Fig. 36 Load-displacement curve of CFRP single hat shaped member,	
[0/90] _{2S} (Impact energy 419J, 6 interface number)	54
Fig. 37 Load-displacement curve of CFRP single hat shaped member,	
$[90/0]_4$ (Impact energy 419J, 7 interface number)	55
Fig. 38 Relationship between fiber orientation angle of CFRP and absorbe	d
energy per unit mass for CFRP single hat shaped member(Static)	,
	58
Fig. 39 Relationship between interface number and absorbed energy per	
unit mass for CFRP single hat shaped member	
(Static, outer layer 90°)	59
Fig. 40 Relationship between interface number and absorbed energy per	
unit mass for CFRP single hat shaped member	
(Static, outer layer 0°)	30
Fig. 41 Relationship between fiber orientation angle of CFRP and absorbe	d
energy per unit mass for CFRP single hat shaped member(Impact	:)
	31

Fig. 42 Relationship between interface number and absorbed energy per unit mass for CFRP single hat shaped member

(Impact, outer layer	90°)	62
Fig. 43 Relationship between	interface number and absorbed energy per	
unit mass for CFRP	single hat shaped member	
(Impact, outer layer	0°)	63
Fig. 44 Relationship between	fiber orientation and absorbed energy per	
unit mass for CFRP si	ngle hat shaped member (Static and Impact)
		64
Fig. 45 Relationship between	interface number and absorbed energy per	
unit mass for CFRP si	ngle hat shaped member	
(Static and Impact, o	uter layer 90°)	
		64
Fig. 46 Relationship between	interface number and absorbed energy per	
unit mass for CFRP si	ngle hat shaped member	
(Static and Impact, o	uter layer 0°)	
		65
Fig. 47 Load-displacement cu	rve of CFRP double hat shaped member,	
[+15/-15] ₄ (Static, 15	5° fiber orientation angle)	68
Fig. 48 Load-displacement c	urve of CFRP double hat shaped member,	
[+45/-45] ₄ (Static, 4	5° fiber orientation angle)	69
Fig. 49 Load-displacement c	urve of CFRP double hat shaped member,	
[90] ₈ (Static, 90° fib	er orientation angle)	70
Fig. 50 Load-displacement of	urve of CFRP double hat shaped member,	
[0/90] ₄ (Static, 0°/90	° fiber orientation angle)	71
Fig. 51 Load-displacement of	urve of CFRP double hat shaped member,	
[90/0] ₄ (Static, 90°/0	° fiber orientation angle)	72
Fig. 52 Load-displacement cu	rve of CFRP double hat shaped member,	
$[90_2/0_2]_{s}$ (Static, 2 int	erface number)	74
Fig. 53 Load-displacement cu	rve of CFRP double hat shaped member,	

	[0 ₂ /90 ₂] ₂ (Static, 3 interface number)	75
Fig.	54 Load-displacement curve of CFRP double hat shaped member,	
	[90/0] _{S2} (Static, 4 interface number)	76
Fig.	55 Load-displacement curve of CFRP double hat shaped member,	
	$[90/0]_{\rm 2S}$ (Static, 6 interface number)	77
Fig.	56 Load-displacement curve of CFRP double hat shaped member,	
	[0/90] ₄ (Static, 7 interface number)	78
Fig.	57 Load-displacement curve of CFRP double hat shaped member,	
	$[0_2/90_2]_S$ (Static, 2 interface number)	79
Fig.	58 Load-displacement curve of CFRP double hat shaped member,	
	$[90_2/0_2]_2$ (Static, 3 interface number)	80
Fig.	59 Load-displacement curve of CFRP double hat shaped member,	
	$[0/90]_{\rm S2}$ (Static, 4 interface number)	81
Fig.	60 Load-displacement curve of CFRP double hat shaped member,	
	$[0/90]_{\rm 2S}$ (Static, 6 interface number)	82
Fig.	61 Load-displacement curve of CFRP double hat shaped member,	
	$[90/0]_4$ (Static, 7 interface number)	83
Fig.	62 Load-displacement curve of CFRP double hat shaped member,	
	$[+15/-15]_4$ (Impact energy 419J, 15° fiber orientation angle)	85
Fig.	63 Load-displacement curve of CFRP double hat shaped member,	
	$[+45/-45]_4$ (Impact energy 419J, 45° fiber orientation angle) \cdot	86
Fig.	64 Load-displacement curve of CFRP double hat shaped member,	
	[90] ₈ (Impact energy 341J, 90° fiber orientation angle)	87
Fig.	65 Load-displacement curve of CFRP double hat shaped member,	
	$[0/90]_4$ (Impact energy 419J, 0° /90° fiber orientation angle) \cdots	88
Fig.	66 Load-displacement curve of CFRP double hat shaped member,	
	$[90/0]_4$ (Impact energy 419J, 90° /0° fiber orientation angle) \cdots	89

Fig. 67 Load-displacement curve of CFRP double hat shaped member,

[90 ₂ /0 ₂] _S (Impact energy 419J, 2 interface number))1
Fig. 68 Load-displacement curve of CFRP double hat shaped member,	
[0 ₂ /90 ₂] ₂ (Impact energy 419J, 3 interface number)	92
Fig. 69 Load-displacement curve of CFRP double hat shaped member,	
[90/0] _{S2} (Impact energy 419J, 4 interface number)	93
Fig. 70 Load-displacement curve of CFRP double hat shaped member,	
[90/0] _{2S} (Impact energy 419J, 6 interface number)	94
Fig. 71 Load-displacement curve of CFRP double hat shaped member,	
[0/90] ₄ (Impact energy 419J, 7 interface number)	95
Fig. 72 Load-displacement curve of CFRP double hat shaped member,	
$[0_2/90_2]_s$ (Impact energy 419J, 2 interface number)	96
Fig. 73 Load-displacement curve of CFRP double hat shaped member,	
[90 ₂ /0 ₂] ₂ (Impact energy 419J, 3 interface number)	97
Fig. 74 Load-displacement curve of CFRP double hat shaped member,	
$[0/90]_{S2}$ (Impact energy 419J, 4 interface number))8
Fig. 75 Load-displacement curve of CFRP double hat shaped member,	
$[0/90]_{2S}$ (Impact energy 419J, 6 interface number)	99
Fig. 76 Load-displacement curve of CFRP double hat shaped member,	
[90/0] ₄ (Impact energy 419J, 7 interface number))()
Fig. 77 Relationship between fiber orientation angle of CFRP and absorbe	d
energy per unit mass for CFRP double hat shaped member(Static)	
)3
Fig. 78 Relationship between interface number and absorbed energy per	
unit mass for CFRP double hat shaped member	
(Static, outer layer 90°) 10)4
Fig. 79 Relationship between interface number and absorbed energy per	
unit mass for CFRP double hat shaped member	
(Static, outer layer 0°))5

– ix –

Fig. 80 Relationship between fiber orientation angle of CFRP and absorbed energy per unit mass for CFRP double hat shaped member(Impact)
Fig. 81 Relationship between interface number and absorbed energy per
unit mass for CFRP double hat shaped member
(Impact, outer layer 90°)
Fig. 82 Relationship between interface number and absorbed energy per
unit mass for CFRP double hat shaped member
(Impact, outer layer 0°)
Fig. 83 Relationship between fiber orientation and absorbed energy per
unit mass for CFRP double hat shaped member
(Static and Impact)
Fig. 84 Relationship between interface number and absorbed energy per
unit mass for CFRP double hat shaped member
(Static and Impact, outer layer 90°)
Fig. 85 Relationship between interface number and absorbed energy per
unit mass for CFRP double hat shaped member
(Static and Impact, outer layer 0°)
Fig. 86 Relationship between fiber orientation and absorbed energy per
unit mass for CFRP single and double hat shaped member (Static)
Fig. 87 Relationship between fiber orientation and absorbed energy per
unit mass for CFRP single and double hat shaped member
(Static, outer layer 90°)
110

– x –

Fig.	88	Relationship between fiber orientation and absorbed energy per
		unit mass for CFRP single and double hat shaped member
		(Static, outer layer 0°)
Fig.	89	Relationship between fiber orientation and absorbed energy per
		unit mass for CFRP single and double hat shaped member
		(Impact) 126
Fig.	90	Relationship between fiber orientation and absorbed energy per
		unit mass for CFRP single and double hat shaped member
		(Impact, outer layer 90°)
Fig.	91	Relationship between fiber orientation and absorbed energy per
		unit mass for CFRP single and double hat shaped member
		(Impact, outer layer 0°)

LIST OF PHOTOGRAPHS

Photo.	1	Autoclave	10
Photo.	2	Universal testing machine	13
Photo.	3	Collapse processing of CFRP hat shaped member,	
		$[+15/-15]_4$ (Static, 15° fiber orientation angle)	23
Photo.	4	Collapse processing of CFRP single hat shaped member,	
		$[+45/-45]_4$ (Static, 45° fiber orientation angle)	24
Photo.	5	Collapse processing of CFRP single hat shaped member,	
		[90]8 (Static, 90° fiber orientation angle)	25
Photo.	6	Collapse processing of CFRP single hat shaped member,	
		$[0/90]_4$ (Static, 0° /90° fiber orientation angle)	26
Photo.	7	Collapse processing of CFRP single hat shaped member,	
		$[90/0]_4$ (Static, 90° /0° fiber orientation angle)	27
Photo.	8	Collapse processing of CFRP single hat shaped member,	
		$[90_2/0_2]_{\rm S}$ (Static, 2 interface number)	29
Photo.	9	Collapse processing of CFRP single hat shaped member,	
		$[0_2/90_2]_2$ (Static, 3 interface number)	30
Photo.	1	0 Collapse processing of CFRP single hat shaped member,	
		$[90/0]_{S2}$ (Static, 4 interface number)	31
Photo.	1	1 Collapse processing of CFRP single hat shaped member,	
		[90/0] _{2S} (Static, 6 interface number)	32
Photo.	1	2 Collapse processing of CFRP single hat shaped member,	
		$[0/90]_4$ (Static, 7 interface number)	33
Photo.	1	3 Collapse processing of CFRP single hat shaped member,	
		$[0_2\!/90_2]_S$ (Static, 2 interface number)	34
Photo.	1	4 Collapse processing of CFRP single hat shaped member,	

	$[90_2/0_2]_2$ (Static, 3 interface number)	35
Photo.	15 Collapse processing of CFRP hat shaped member,	
	[0/90] _{S2} (Static, 4 interface number)	36
Photo.	16 Collapse processing of CFRP hat shaped member,	
	[0/90] _{2S} (Static, 6 interface number)	37
Photo.	17 Collapse processing of CFRP hat shaped member,	
	[90/0] ₄ (Static, 7 interface number)	38
Photo.	18 Shape of collapsed CFRP single hat shaped member, $[+15/-15]$]4
	(Impact energy 419J, 15° fiber orientation angle)	40
Photo.	19 Shape of collapsed CFRP single hat shaped member, $[+45/-45]$]4
	(Impact energy 419J, 45° fiber orientation angle)	41
Photo.	20 Shape of collapsed CFRP single hat shaped member, $[90]_8$	
	(Impact energy 419J, 90° fiber orientation angle)	42
Photo.	21 Shape of collapsed CFRP single hat shaped member, $[0/90]_4$	
	(Impact energy 419J, 0° /90° fiber orientation angle)	43
Photo.	22 Shape of collapsed CFRP single hat shaped member, $[90/0]_4$	
	(Impact energy 419J, 90° $/0^{\circ}$ fiber orientation angle)	44
Photo.	23 Shape of collapsed CFRP single hat shaped member, $[90_2/0_2]_{\rm S}$	
	(Impact energy 419J, 2 interface number)	46
Photo.	24 Shape of collapsed CFRP single hat shaped member, $[0_2/90_2]_2$	
	(Impact energy 419J, 3 interface number)	47
Photo.	25 Shape of collapsed CFRP single hat shaped member, $[90/0]_{\rm S2}$	
	(Impact energy 419J, 4 interface number)	48
Photo.	26 Shape of collapsed CFRP single hat shaped member, $[90/0]_{\rm 2S}$	
	(Impact energy 419J, 6 interface number)	49
Photo.	27 Shape of collapsed CFRP single hat shaped member, $[0/90]_4$	
	(Impact energy 419J, 7 interface number)	50
Photo.	28 Shape of collapsed CFRP single hat shaped member, $[0_2/90_2]_S$	

		(Impact energy 419J, 2 interface number)	51
Photo.	29	Shape of collapsed CFRP single hat shaped member, $[90_2/0_2]_2$	
		(Impact energy 419J, 3 interface number)	52
Photo.	30	Shape of collapsed CFRP single hat shaped member, $[0/90]_{\rm S2}$	
		(Impact energy 419J, 4 interface number)	53
Photo.	31	Shape of collapsed CFRP single hat shaped member, $[0/90]_{2S}$	
		(Impact energy 419J, 6 interface number)	54
Photo.	32	Shape of collapsed CFRP single hat shaped member, $[90/0]_4$	
		(Impact energy 419J, 7 interface number)	55
Photo.	33	Collapse processing of CFRP double hat shaped member,	
		$[+15/-15]_4$ (Static, 15° fiber orientation angle)	68
Photo.	34	Collapse processing of CFRP double hat shaped member,	
		$[+45/-45]_4$ (Static, 45° fiber orientation angle)	69
Photo.	35	Collapse processing of CFRP double hat shaped member,	
		$[90]_8$ (Static, 90° fiber orientation angle)	70
Photo.	36	Collapse processing of CFRP hat shaped member,	
		$[0/90]_4$ (Static, 0° /90° fiber orientation angle)	71
Photo.	37	Collapse processing of CFRP double hat shaped member,	
		$[90/0]_4$ (Static, 90° /0° fiber orientation angle)	72
Photo.	38	Collapse processing of CFRP double hat shaped member,	
		$[90_2/0_2]_s$ (Static, 2 interface number)	74
Photo.	39	Collapse processing of CFRP double hat shaped member,	
		$[0_2/90_2]_2$ (Static, 3 interface number)	75
Photo.	40	Collapse processing of CFRP double hat shaped member,	
		$[90/0]_{S2}$ (Static, 4 interface number)	76
Photo.	41	Collapse processing of CFRP double hat shaped member,	
		$[90/0]_{2S}$ (Static, 6 interface number)	77
Photo.	42	Collapse processing of CFRP double hat shaped member,	

	[0/90] ₄ (Static, 7 interface number)	78
Photo.	43 Collapse processing of CFRP double hat shaped member,	
	[0 ₂ /90 ₂] _S (Static, 2 interface number)	79
Photo.	44 Collapse processing of CFRP double hat shaped member,	
	[90 ₂ /0 ₂] ₂ (Static, 3 interface number)	80
Photo.	45 Collapse processing of CFRP double hat shaped member,	
	[0/90] _{S2} (Static, 4 interface number)	81
Photo.	46 Collapse processing of CFRP double hat shaped member,	
	[0/90] _{2S} (Static, 6 interface number)	82
Photo.	47 Collapse processing of CFRP double hat shaped member,	
	$[90/0]_4$ (Static, 7 interface number)	83
Photo.	48 Shape of collapsed CFRP double hat shaped member, $[+15/-1]$	5]4
	(Impact energy 611J, 15° fiber orientation angle)	85
Photo.	49 Shape of collapsed CFRP double hat shaped member, $[+45/-4]$	5]4
	(Impact energy 611J, 45° fiber orientation angle)	86
Photo.	50 Shape of collapsed CFRP double hat shaped member, $[90]_8$	
	(Impact energy 419J, 90° fiber orientation angle)	87
Photo.	51 Shape of collapsed CFRP double hat shaped member, $[0/90]_4$	
	(Impact energy 611J, 15° fiber orientation angle)	88
Photo.	52 Shape of collapsed CFRP double hat shaped member, $[90/0]_4$	
	(Impact energy 611J, 15° fiber orientation angle)	89
Photo.	53 Shape of collapsed CFRP double hat shaped member,	
	$[90_2/0_2]_s$ (Impact energy 611J, 2 interface number)	91
Photo.	54 Shape of collapsed CFRP double hat shaped member,	
	$[0_2/90_2]_2$ (Impact energy 611J, 3 interface number)	92
Photo.	55 Shape of collapsed CFRP double hat shaped member,	
	$[90/0]_{S2}$ (Impact energy 611J, 4 interface number)	93
Photo.	56 Shape of collapsed CFRP double hat shaped member,	

- xv -

		$[90/0]_{\rm 2S}$ (Impact energy 611J, 6 interface number)	94
Photo.	57	Shape of collapsed CFRP double hat shaped member,	
		$[0/90]_4$ (Impact energy 611J, 7 interface number)	95
Photo.	58	Shape of collapsed CFRP double hat shaped member,	
		$[0_2/90_2]_{\rm S}$ (Impact energy 611J, 2 interface number)	96
Photo.	59	Shape of collapsed CFRP double hat shaped member,	
		$[90_2/0_2]_2$ (Impact energy 611J, 3 interface number)	97
Photo.	60	Shape of collapsed CFRP double hat shaped member,	
		$[0/90]_{\rm S2}$ (Impact energy 611J, 4 interface number)	98
Photo.	61	Shape of collapsed CFRP double hat shaped member,	
		$[0/90]_{\rm 2S}$ (Impact energy 611J, 6 interface number)	99
Photo.	62	Shape of collapsed CFRP double hat shaped member,	
		[90/0] ₄ (Impact energy 611J, 7 interface number)	100
Photo.	63	Collapse modes of CFRP single hat shaped member(Static)	
			114
Photo.	64	Collapse modes of CFRP double hat shaped member(Static)	
			117
Photo.	65	Collapse modes of CFRP single hat shaped member(Impact)	
			122
Photo.	66	Collapse modes of CFRP double hat shaped member(Impact)	
			125

ABSTRACT

Collision Safety Performance Evaluation of CFRP Hat shaped Member for Car Body Lightweight

Hwang, Woo-Chae Advisor : Prof. Yang, In-Young, Ph. D. Dept. of Mechanical Design Engineering Graduate School of Chosun University

The ability to protect passengers on an automobile accident depends on the condition of the collision, structural integrity, etc. The front-end members of vehicles must absorb the impact energy effectively to ensure passenger's safety in front-end collision. Therefore, the designing vehicles should be more concerned on the aspect of securing safety performance, the while, it also should consider reducing weight of vehicle structural member. CFRP(Carbon Fiber Reinforced Plastics) of the advanced composite materials as structure materials for vehicles, has a widely application in lightweight structural materials of air planes, ships and automobiles because of high strength and stiffness.

In the study, experimental investigations are carried out for The CFRP single hat shaped member and CFRP double hat shaped section member in order to study the effect of various stacking condition and shape of section. Static and impact collapse tests were performed with change of the stacking condition, such as fiber orientation angle, interface number.

– xvii –

Collapse mode and energy absorption characteristics were analyzed. Following the above study, conclusions are drawn as below;

- 1. According to stacking angle, CFRP single hat shaped member and CFRP double hat shaped member show transverse shear, laminar bending, brittle fracture, localized collapsing, and its combination. Smaller CFRP stacking angle shows the significant energy absorption via laminar bending, and the energy absorption mode is changed to localized collapsing and transverse shear mode along with stacking angle.
- 2. For the static collapsing characteristics for single hat shaped member and double hat shaped CFRP member, energy absorption is increased when stacking angle is reduced from 90 degree to 15 degree. This can be elucidated by the energy absorption mode. When stacking angle is small, laminar bending and fiber fracture is the main mode of energy absorption. If angle is increased, transverse shear without fiber fracture will absorb high amount of energy. However, cracking of planar member and "⊏" shaped member in CFRP single hat shaped member is not observed for double hat shape of CFRP member. When the load is applied to CFRP single hat shaped member, cracking is occurred at the flange due to asymmetry of planar member. For CFRP double hat shaped member, symmetry of "⊏" shaped member prevent the cracking at flange. Therefore, CFRP single hat shaped member does not endure the sufficient amount of load because of the separation of "⊏" shaped member and planar one. Otherwise, CFRP double hat shaped member does not show the separation of "⊏" shaped member, and the better energy absorption characteristics because of flange area and increased number of edges.

- 3. For the member stacked in 0/90 degree and 90/9 degree, "⊏" shaped member shows the combination of collapsing modes, such as transverse shear and laminar bending, which can be found in the collapsing of CFRP single hat shaped member. However, cracking of planar member and "⊏" shaped one, which can be found in the member with single stacking angle, is not achieved. At the flange, combined collapsing mode of laminar buckling and basal fracture leads the better energy absorption characteristics, because the corresponding mode is not exhibited for the flange of CFRP single hat shaped member.
- 4. Impact collapsing properties of CFRP single and double hat-shaped members with 15 degree stacking shows the progress of collapsing along with fiber direction for "□" shaped member due to brittle fracture with transverse shear and laminar bending. At the flange, collapsing mode with inward and outward expansion is shown. This collapsing mode absorbs the energy from the friction of laminar buckling according to load face, the corresponding movement along with collapsing surface, and laminar bending from interlaminar cracks and intralaminar cracks. For the member with 45 degree stacking, the similar collapsing mode for 15 degree stacking is achieved. Member with 90 degree stacking is collapsed in crush mode due to basal fracture in transverse direction for "□" shaped member and flange. This collapsing mode absorbs the most of energy through basal fracture of laminar buckling in transverse shear mode.
- 5. For the member in 0/90 degree stacking, "⊏" shaped member is collapsed in brittle fracture mode combined with laminar bending and transverse shear, which is similar to the collapsing mode for CFRP single hat shaped member. In addition, flange area experiences laminar bending from the

propagation of intralaminar and interlaminar crack and transverse mode with inward and outward expansion. Laminar buckling in 0 degree stacking causes the laminar bending to outward direction because of inter and intralaminar crack propagation. Fiber stacked in 90 degree from axial direction is fractured via blocking laminar bending of fiber buckling with 0 degree stacking. Therefore, fiber experiences bending, but closes to fracture. It shows the repeated cycle of crack propagation and bending/fracture of laminar buckling. Member with 90/0 degree stacking is collapsed in a way similar to the one from 0/90 degree stacking for " \sqsubset " shaped member and flange. However, the laminar buckling, which is stacked with 0 degree stacking at the outermost layer, is expanded to outward direction. This collapsing mode is profound to be with laminar buckling with 0 degree stacking at the outermost layer. Fiber fracture, which is dominant for 0/90 degree stack is relatively minimal.

6. Energy absorption characteristics for static collapsing and shock collapsing test on CFRP single and double hat shaped member show the similar behavior. CFRP double hat shaped member shows 43% higher energy absorption compared with single hat shaped member according to the stacking angle variation during static collapsing test. The number of interface is also corresponded to the similar energy absorption (90 degree for outermost layer), which is CFRP double hat shaped member shows 62% higher energy absorption than the other counterpart. For 0 degree of stacking at the outermost layer, 64% higher energy absorption is achieved. For shock collapsing test, CFRP double hat shaped member shows 104% higher energy absorption with various tacking angles. Different number of interfaces also exhibits the similar results, 117% higher energy absorption for double hat shaped member (90 degree for the outermost layer)

stacking). For 0 degree of stacking at the outermost layer, 100% higher energy is absorbed for double hat shaped member.

7. During the shock collapsing test on CFRP double hat shaped member, 4 interfaces show the reduced energy absorption. This test specimen suffers from tearing at the edge, and "⊏" shaped member does not contain the sufficient amount of load compared with the others, and it induces the lower energy absorption characteristics.

제1장서론

제 1 절 연구배경

최근 차량의 연비개선과 CO₂ 배출량 삭감이라는 자동차에 대한 요구가 많아지면 서 차량의 설계시 안전성이 희생되지 않고 차량의 무게를 경량화 하는 요구가 증 대되고 있다.

자동차의 연비 개선 대책은 엔진의 효율향상, 경량화 등이 있으나 엔진의 효율 향상은 진전이 다소 늦어 대폭적인 효율 향상은 기대하기 어려운 실정이며 구조변 경, 경량재료 사용, 부품합리화 등에 의한 경량화가 연비개선에 기여도가 높다. 이 로 인해서 경량재료 변경에 의한 연비개선이 기대되고 있다. 연비향상을 위한 경량 화 방안으로는 차체 및 자동차 부품에 기존의 소재를 고장력강판, 알루미늄, 플라 스틱 등으로 대체를 고려할 수 있고 안정성 향상의 방안으로는 안전벨트 착용, 에 어백 장착, 차량 내의 구조강화, 내 충격 에너지흡수 구조재료의 대체 등으로 요약 할 수 있다.¹⁻³⁾

또한, 환경 보호적 측면에서 심각한 환경오염과 자동차 수요의 급격한 증가에 따 른 에너지 자원의 고갈로 인해 이미 선진국에서는 자동차 연비 및 배기가스의 규 제를 한층 강화하고 있는 실정이며 우리나라에서도 저공해 자동차 배기 규제를 더 욱 강화하고 있다. 이러한 환경 보호 관련 자동차 기술개발의 동향은 무공해자동 차, 전기자동차에 대한 연구와 함께 기존 자동차의 연비향상 뿐만 아니라 차체 수 명연장, 배기가스의 정화, 소음방지, 그리고 자원재활용을 위한 리사이클링 등을 위 한 폭넓은 연구개발 투자가 이루어지고 있으며, 이를 위한 방법으로 엔진효율향상, 공기저항감소를 위한 새로운 차체 디자인 및 소재의 경량화 등을 들 수 있다. 특히 소재의 경량화는 엔진효율을 높여 자동차의 성능향상을 극대화시키고 그로 인해 연비향상을 도모할 수 있어서 결국 소재의 경량화는 환경오염방지와 연료절감에 가장 적합하고 효과적인 방법이다.⁴⁻⁶⁾ 따라서, 차량의 설계는 안전성이 확보된 상 태에서 차량의 무게를 줄이기 위한 경량화 측면으로 이루어져야 한다.

- 1 -

이러한 문제점들을 개선하기 위하여 재료의 연구, 개발은 끊임없이 계속되고 있 으며, 새로운 재료가 계속 발명되고 있다. 구조물과 기계기구 등의 제작에 이용하 고 있는 재료는 각양각색이지만, 이들 중에서 복합재료의 응용분야가 급속히 진보 하고 있으며, 또한 주목을 받고 있다. 현재 우리가 사는 사회에 있어 재료성질에 대한 요구는 그 사용조건이 가혹해지고, 복잡화 되는 동시에 매우 다종다양하다. 예를 들면 강도, 강성, 내식성, 내마모성, 경량성, 내구성, 내열성, 차음성, 미관 등 에 부합되는 특성이 요구 된다. 이 같은 요구를 가능한 많이 만족시키는 것은 기존 의 재료로는 매우 곤란하다는 사실은 말할 필요도 없으며, 각각의 요구조건에 맞는 적합한 재료를 이용함으로써 구조물 및 기계기구의 안전성 향상 및 효율증대를 꽤 할 수 있을 것이다.⁷⁻¹¹⁾

수많은 복합재료 중 섬유강화복합재료(FRP)는 금속재료에 비해 비강도 및 비강 성이 우수하고 특히 설계요건에 따라 적층배향을 적절히 선정할 수 있는 유용성 때문에 경량화 및 고 강도가 요구되는 자동차, 항공기 및 우주비행체의 구조물에 널리 응용되고 있다. 잠수함, 항공기, 자동차 등의 구조물에 높은 비강성과 비강도 및 낮은 열팽창률 등의 우수한 성질을 갖는 섬유강화 복합재료의 사용이 급격히 확산되고 있으며 금속재료에 비해서 상당한 중량감소 효과를 얻을 수 있는 Graphite, Carbon, Glass등과 같은 복합재료는 금속재료를 대체해 나가는 추세이 다.¹²⁻¹⁵⁾ 자동차용 복합재료에 사용되는 보강섬유는 유리섬유가 대부분 사용되고 있으며, 최근에는 미국, 일본의 자동차 업계에서 경량화 효과를 증대시키기 위하여 탄소섬유를 사용한 복합재료부품의 사용을 추진 중에 있다. 예를 들면, 미국의 Ford 사에서는 100% 탄소섬유 강화 복합재료(CFRP: Carbon Fiber Reinforced Plastics) 시작차를 제조하여 SAEC(The Annual Society of Automotive Engineers Convention)에 전시 한 바 있으며, 이 차의 무게 감소율은 같은 형의 Ford TD에 비해 약 51.5%를 차지하였다.¹⁶⁾

자동차의 설계개발이란 승차감, 조정 안정성, 정숙성, 쾌적성 등 상품으로써의 요 건을 만족하면서 법규로 정해진 규격에 적합하도록 종합성능을 실현하는데 있다. 이러한 성능 중 충돌 시에 승객을 보호하는 능력을 충돌안전성능이라 하는데 충돌 조건, 차량구조, 승객구속장치 등의 요건으로 결정된다. 특히, 자동차의 충돌에 의

- 2 -

한 교통사고는 경사방향을 포함한 전면충돌의 경우가 70% 정도로써 측면이나 후 면으로부터의 충돌에 비해 가장 많이 발생하는 사고형태이기 때문에 전면충돌의 안전성능은 차량개발에서 가장 중요한 문제 중의 하나이다.¹⁷⁻²⁶⁾

차체 구조의 경량화를 위한 연구는 최적 구조설계 기술과 재료 및 소재개발 기 술이라는 두 가지 측면으로 추진되고 있다. 복잡한 형상을 가지고 있는 차체 구조 의 최적설계를 위한 강성해석이나 충돌해석 등을 위해서 컴퓨터를 이용한 유한요 소해석을 수행하고 있으며,²⁷⁻³¹⁾ 경량재료의 개발을 통한 차체 중량 및 관성에너지 의 저감은 가장 효과적인 연비개선 방안으로 평가되고 있어 기존의 철강부품을 알 루미늄 및 플라스틱 등으로 대체 개발 및 확대 적용하는 추세에 있다.³²⁻⁵⁴⁾ 따라서 이러한 경량화용 구조부재의 충돌안전성능 평가에 대한 연구가 절실히 요구되고 있다.

차체 앞부분은 엔진이나 현가장치를 지지하고 여러 보조장치를 격납하는 역할도 하지만, 전면 충돌시 에너지를 흡수할 수 있는 구조로 되어야 한다. 많은 차량에서 는 차체 앞부분의 내판을 모자형 단면형상의 강도부재로 구성하여 충돌사고시 전 면부 골격부재는 소성변형하여 충돌에너지를 흡수하도록 설계하고 있다. 또한, 차 실을 감싼 구조부재는 차체 앞부분이 소성변형하면서 에너지를 흡수하는 동안에 그 자체는 변형되지 않고 차실내의 공간을 유지하도록 설계하고 있다. 즉, 차실내 의 구조부재는 에너지흡수라고 하는 관점과 차체 앞 부분으로 부터 전달된 하중을 흡수·분산을 통하여 차실의 변형이 적게 되도록 설계된다. 특히, 차량의 초기설계 단계에서는 차량전체의 전면충돌 안전성능을 예측하기 전에 전면부 사이드부재와 같이 충돌시 에너지흡수량이 큰 기본형상의 구조부재에 대한 압궤거동과 에너지흡 수 특성을 정확히 파악하는 것이 중요한 문제이다.

CFRP 모자형 부재의 연구동향을 살펴보면, 이¹⁸⁾는 사각 및 원형 단면의 혼성 충격 흡수 부재에 대한 안전성능을 평가한다. 사각 및 원형 혼성 충격 흡수 부재는 알루미늄의 외면을 비강도, 비강성이 우수하면서 이방성을 갖는 탄소섬유 강화 복 합재 (Carbon Fiber Reinforced Plastics: 이하 CFRP라 한다)로 감싸 강화시킨 혼성부재 형태의 구조부재를 제작하여 에너지흡수 및 압궤모드를 고찰하였고, 일반 적으로 자동차에 주로 사용되는 모자형의 압연 강판을 점용점하여 제작한 사이드

- 3 -

멤버를 경량화 차원에서 CFRP로 제작하여 모자형 충격 흡수 부재의 안전성능을 평가하였다. 양⁵⁵⁾은 실제 차량에 사용되는 구조부재의 형상인 모자형 단면의 형상 을 갖는 구조부재를 제작하여 적층구성이 서로 다른 CFRP 모자형 단면부재가 고 온·고습의 가혹한 환경 하에서 수분으로 인해 발생되는 강도 및 흡수에너지에 대하 여 평가 하였다. 하지만, 모자형 단면 부재의 경우 "ㄷ"자 부재와 평판부재가 서로 갈라지는 문제 때문에 정량적인 설계 데이터를 얻을 수가 없었다. 따라서 본 연구 에서는 "ㄷ"자 부재와 평판부재가 갈라지는 현상을 보완하기 위하여 CFRP 이중 모자형 부재를 제작하여 CFRP 적층구성 변화에 따른 정적 및 충격압궤 실험을 통 한 압궤 거동과 에너지흡수 특성을 파악하여 CFRP 이중 모자형 부재의 정량적인 데이터를 얻고져 한다.

제 2 절 연구목적 및 방법

자동차 충돌시 외부로부터 가해지는 충돌에너지를 자동차 중량 및 변형범위 내 에서 변형에너지로 최대한 변환할 수 있도록 하며, 승객이 안전 보호 공간의 확보 를 위한 승객실 구조물의 충분한 강성 및 안전성을 확보하고, 최종적으로 승객상해 정도와 직결되는 최대가속도 크기를 최소화시킬 수 있는 안정된 축방향 접힘좌굴 모드를 유도하려는 설계의 개념이 차체 구조부재 설계에 이용되고 있다.48-49) 이러 한 역할을 하는 것이 프런트 사이드 멤버로서 정면충돌시 충돌에너지의 50~70% 를 흡수하며 단면형상은 약 0.8~1.2mm의 모자형 또는 박판 사각 및 원형 빔 형 상을 가지고 있다. 특히, 사이드 멤버 또는 엔진 멤버 등의 종방향 부재는 소성변 형으로 대부분의 에너지를 흡수하게 되며 굽힘에 의한 변형보다 압궤에 의한 변형 으로 많은 에너지를 흡수하다. 이러하 차체구조부재의 경량화는 차량의 연비향상과 이를 통한 대기 오염 저감을 위하여 중요한 연구과제가 되고 있으며, 기존의 금속 재료를 이용한 최적화 설계 방법에 의한 경량화는 어려움이 있으므로 최근에는 알 루미늄합금, 플라스틱 등 경량화 재료를 이용한 설계가 연구의 초점이 되고 있 다.^{13-16), 27-47)} 이러한 신소재를 사용하여 차체구조를 설계하면 경량화 이외에도 차량의 수동 안전도 향상, 소음 저감, 부식 방지, 내구성 증가 등 부수적으로 많은 장점을 얻을 수 있다.

따라서, 본 연구에서는 충돌 시 많은 에너지를 흡수할 수 있는 안정성능 및 연비 개선을 위한 경량화에 대한 방안으로 비강도 비강성이 우수하면서 이방성을 갖는 탄소섬유 강화 복합재를 이용하여 CFRP 단일 모자형 부재와 CFRP 이중 모자형 부재를 제작한 후 각도 변화, 계면수 변화 최외층각도의 변화에 따른 정적압궤특 성, 충격압궤특성 및 압궤 모드에 관해 고찰함으로써 최적의 수송기계용 구조부재 를 개발하는데 이용될 수 있는 기본적인 설계데이터를 얻고자 한다.

연구방법으로는 먼저, CFRP 단일 모자형 부재는 알루미늄 사각부재에 CFRP 프 리프레그 시트를 적층하여 Autoclave 내에서 압력과 열을 가하여 경화시키는 기술 인 Autoclave 성형법을 이용 하였고, 고품질 CFRP 단일 모자형 부재와 CFRP 이 중 모자형 부재에 각도 변화, 계면수 변화 및 최외층각도를 변화시켜 제작한 후 정 적압궤실험과 더불어 공기압식 수직충격시험장치를 이용하여 축 방향 하중을 받는 경우의 충격압궤실험을 행한다. 이를 통하여 CFRP 단일 모자형 부재와 CFRP 이 중 모자형 부재의 정적, 충격압궤 특성의 비교하여, CFRP 모자형 부재의 문제점인 비대칭을 보완한 최적의 구조부재를 개발하기 위하여 CFRP 이중 모자형 부재를 개발하고자 한다.

제 2 장 실험방법

제 1 절 시험편

본 연구에서는 대표적인 경량화 재료인 CFRP를 이용하여 사이드멤버의 기본 형 상인 단일 모자형과 이중 모자형 부재를 제작하여 시험편으로 사용하였으며, CFRP의 일반적인 특성 및 용도를 Table 1에 나타냈다.

CFRP 부재는 한국화이버(주)에서 생산한 일방향 Carbon Fiber/Epoxy Resin 프리프레그 시트(CU125NS)를 적층하여 오토클레이브를 사용하여 성형하였다. CFRP 프리프레그 시트의 기계적 성질을 Table 2에 나타냈다.

CFRP 단일 모자형 부재는 알루미늄 사각부재에 CFRP 프리프레그 시트를 적층 하여 오토클레이브를 사용하여 성형하였으며, 실재 전면부 사이드부재의 1/4 크기 인 폭(가로×세로)=30×30mm, 플랜지 길이=12mm로 "ㄷ"자 단면부재와 평판부 재를 결합하여 제작하였다. 적층구성의 변화에 따른 에너지 흡수 능력과 압궤모드 를 고찰하기 위하여 적층각도와 계면수 변화에 따라 시험편을 제작하였다. 이방성 재료인 CFRP의 적층구성의 변화에 따른 압궤특성을 평가하고자 프리프레그 시트 8매를 축방향을 0°로 하여 [+ θ_n/- θ_n]의 적층구성으로 적층각도와 계면수 변화 에 따라 시험편을 제작하였다. 여기서 적층각 θ는 15°, 45°, 90°, 0°/90° 및 90°/0°로 하여 적층각도를 변화시켰으며, 적층수 n을 2, 3, 4, 6 및 7계면수 에 맞추어 적층하여 제작하였고, 계면수 변화에서는 최외층각도를 90°와 0°로 변화를 주어 최외층각도 변화에 따른 압궤특성을 고찰하였다. 제작된 CFRP 단일 모자형 부재와 CFRP 이중 모자형 부재의 형상을 Fig. 1 과 Fig. 2에 나타내었다. 또한, Fig. 3과 Fig. 4는 CFRP 단일 모자형 부재와 CFRP 이중 모자형의 15°, 45°, 90°의 적층 조건에 대한 형상을 보여주고 있다.

CFRP의 가장 취약한 특성은 취성문제이며, 압궤초기에 최대하중이후 급격한 파 괴로 인한 층내 및 층간 등의 크랙 성장으로 흡수에너지는 낮아지게 된다. 따라서 일반적으로 한쪽 끝단에 Initiator 또는 고의의 결함을 주어 순차적이고 국부적인

- 7 -

압궤를 유도하여 높은 에너지 흡수특성을 갖게 하는데, 본 연구에서는 시험편의 하 중이 작용하는 끝단을 45°로 모따기 하여 트리거가 있는 시험편을 제작하였다.

시험편의 성형은 Photo. 1과 같은 오토클레이브(autoclave)를 이용하여 챔버 (chamber) 내부 둘레에 위치한 히터에 의해 경화점 온도 130℃, 경화시간을 90 분으로 하여 제작하였으며, 성형시에 진공펌프에 의해서 진공백 속을 10⁻¹ Pa 까 지 진공 시킨 후 컴프레셔에 의해서 진공백의 외측으로부터 3×10⁵ Pa 정도 가압 시켜 제작하였다. Fig. 3은 시험편 제작 시 성형 사이클을 나타냈다. 제작 후 잔류 응력이 발생하지 않도록 하기 위하여 다이아몬드 커터를 이용하여 절단하였다. 시 험편의 길이는 오일러좌굴을 일으키지 않고 실험 시 압궤가 수주기 반복하여 나타 나는데 충분한 길이인 120mm로 하였다.



Fig. 1 Configuration of CFRP single hat shaped member



Fig. 2 Configuration of CFRP double hat shaped member



Fig. 3 Stacking conditions of CFRP single hat shaped member



Fig. 4 Stacking conditions of CFRP double hat shaped member
분 류	특 성	사 용 범 위		
CFRP	비강성 비탄성	항공기(1차, 2차부재), 우주기기(태양열발전 설비), 미사일, 로케트, 인공위성, 자동차, 고 속차량, 경주용차, 오토바이, 보트, 자전거, 섬 유기계, 스포츠용품, 낚싯대, 등산용구, 카메 라, 윈심분리기, 플라이휠, 그라인더 휠, 타이 어, 벨트, 회전 프로펠러, 제지기 로울러 등		
	비강성 감쇠성	오디오 기기, 악기, 공작기계, 진동 컨베어 스 프링, 자동차(drive shaft, leaf spring) 등		
	강성 비크리프성	FRP배, 탱크, 저장고(싸이로) 등		
	강성 비열팽창	우주기기 안테나, 밀리파 안테나, 마이크로메 타, 타이밍 벨트, 저온 탱크, 제도기기 등		
	x선 투과성 강도, 강성	X선 카세트, X 선의료기기 등		
	전기전도성 발열	약품 탱크, 대전방지 로울러, 정전도장 벽직 류, 전극, 전지 등		
	내식성	화학 플랜트, 패킹, 열 교환기 등		
	단열성 내열성	로케트 노즐, 항공기 엔진 등		

Table 1 Characteristics and use of the $\ensuremath{\mathsf{CFRP}}^{18)}$

Types Characteristics	Fiber (Carbon)	Resin (Epoxy #2500)	Prepreg sheet
Density	1.83×10 ³ [kg/m ³]	1.24×10 ³ [kg/m ³]	-
Poisson's ratio	-	-	0.3
Young's modulus	240 [GPa]	3.60 [GPa]	132.7 [GPa]
Tensile stress	4.89 [GPa]	0.08 [GPa]	1.85 [GPa]
Breaking elongation	2.1 [%]	3.0 [%]	1.3 [%]
Resin content	-	-	33 [% Wt]

Table 2 Material properties of the CFRP prepreg sheet



Photo. 1 Autoclave



Fig. 5 Curing cycle of CFRP stacking specimen

제 2 절 실험장치

정적압궤실험은 SHIMADZU사의 만능재료시험기(AG-1S, 100kN)를 사용하였으며, 로드셀과 액츄에이터 사이에 두 개의 압축지그를 평행하게 설치하고, 변형속도의 영향이 나타나지 않도록 10mm/min의 변위제어를 통하여 균일한 압축하중이 가해지도록 실험을 행하였다. 실험 시 편심하중이 작용하지 않도록 시험편 제작 시 연마가공을 통하여 수평을 맞추었으며, 여러 번의 예비실험을 거쳐 실험결과의 재 현성이 좋도록 하였으며, 실험결과에 단부효과(end effects)가 나타나지 않고 순 차적인 압궤가 주기적으로 발생하도록 전체 축 방향 길이(120mm)의 50%(60mm)까지 변형되도록 변위를 제어하면서 연속적으로 압궤실험을 행하였다.

충격압궤실험은 공기압 수직식 충격장치를 사용하였다. 이 장치는 공기압 가속장 치를 부착한 실험장치로서 크로스헤드를 수직하향으로 자유낙하 및 공기압을 이용 하여 가속낙하 시켜 시험편에 충격하중을 가하는 방식이다. 충격실험기의 개략도를 Fig. 2에 나타냈으며, Fig. 3는 실험장치의 계측시스템의 구성도를 나타냈다.

시험기는 공기압 가속장치인 에어건과 에어실린더, 시험편에 직접적인 충격을 가 하는 크로스헤드, 충격하중을 계측할 수 있는 로드셀 및 가이드 바, 베이스 플레이 트, 방진고무, 프레임 등으로 구성되어있다. 특히, 가이드 바를 4개로 구성하고 크 로스헤드를 2층 구조로 제작하여 크로스헤드가 시험편에 편심되어 충격이 가해지 는 것을 방지하였으며, 재현성 있는 충격압궤실험을 할 수 있도록 하였다. 또한, 로 드셀은 2개의 원판을 원주로 연결한 형태로서 연강환봉을 절삭하여 제작하였으며, 위쪽 원판 위에 시험편을 위치시키고, 아래쪽 원판에 3개의 볼트구멍을 만들어 베 이스 플레이트에 고정하였다. 시험편에 작용하는 충격하중의 계산은 로드셀의 검출 부인 원주의 중앙에 스트레인게이지(KYOWA, KFG-5-120-C1-11L1M2R)를 중심축을 중심으로 각각 축 방향 2매, 원주방향 2매를 대칭으로 부착하는 Full bridge 방식으로 부착하여 굽힘과 비틀림의 영향을 제거하여 구하였으며, 스트레인 게이지의 저항 변화에 따른 변형률에 게이지가 부착된 검출부의 단면적과 영률을 곱하여 얻을 수 있었다. 충돌 시에 나타나는 스트레인게이지의 저항변화는 리드선

- 15 -

을 통하여 브리지박스(Bridge circuits)와 동적변형증폭기(Dynamic strain amplifier)를 거쳐 전압변화로 증폭된 후 파형 기억장치인 DSO(Digital Storage Oscilloscope)를 지나 컴퓨터에 하중-시간 데이터로 기록된다.

시험편의 압궤 시간변화 즉, 변위의 측정은 압궤가 진행하고 있는 사이 시험편의 변위량과 크로스헤드의 이동량이 일치한다고 보고 크로스헤드에 부착된 표적의 움 직임을 광학식 변위계(Zimmer OHG사, 100F)로 비접촉 계측하여 변위 데이터를 구하였다. 광학식 변위계는 광학렌즈를 이용하여 렌즈 측정범위 내에 있는 표적의 백색부와 흑색부의 경계선(edge)의 이동량을 전압변화로 측정하는 것이며, 렌즈의 교환에 따라 측정범위를 달리할 수 있다. 여기서는 초점거리가 1080mm이며 최대 100mm의 이동량을 측정할 수 있는 100-10형 렌즈를 사용하여 측정하였다.



Fig. 6 Impact testing setup for crushing



Fig. 7 Diagram of measurement system

제 3 절 압궤실험

정적 압궤실험 후 얻어진 하중-변위선도와 충격 압궤실험 후 측정된 하중-시간 및 변위-시간 데이터에서 시간 성분을 소거하여 얻어진 하중-변위선도의 면적을 시험편이 흡수한 에너지로 보고 하중-변위선도를 식(1)과 같이 적분하여 시험편 에 흡수된 에너지량을 구하였다.

$$E_a = \int_{l_0}^{l} P_{(l)} dl \tag{1}$$

여기서, E_a 는 시험편에 흡수된 에너지이며, $P_{(l)}$ 은 압궤하중을 나타낸다. 그리고 단위질량당 흡수에너지는 흡수에너지를 압궤된 부분의 질량으로 나눈 값으로 식 (2)과 같이 구할 수 있다.

$$E_m = \frac{E_a}{\rho A \,\Delta l} \tag{2}$$

여기서, *E*_m은 단위질량당 흡수에너지, *A*는 시험편의 단면적 그리고 ρ는 시험편 의 밀도를 나타낸다.

충격압궤 실험은 시험편이 흡수할 수 있는 에너지의 범위 내에서 자유낙하를 하였다. 또한 각 시험편에 대하여 4~5회의 충격 압궤실험을 행하였고, 압궤과정에서 시간에 대한 하중 및 변위를 측정하였다. 측정된 하중 및 변위에서 시간을 소거하여 충격압궤가 진행되고 있는 동안의 하중-변위선도를 구하였으며 흡수에너지 E_a, 전체흡수에너지 E_T, 및 시험편의 변형된 길이 δ를 구하여 각 부재의 에너지 흡수 특성에 대하여 고찰하였다. 그러나 동일한 충격에너지를 가했을 때 모든 시험편의 압궤길이가 동일하지 않기 때문에 흡수에너지를 정량적으로 고찰하기 위하여 모든 시험편이 시험편의 전체길이인 120mm가 압궤되었다고 가정하여 식 (3)과 같이 Magee와 Thornton이 언급한 압궤 효율의 역수³⁷⁾를 사용하여 식(4)를 이용하여

- 19 -

총흡수에너지를 구하였다.

$$\frac{1}{\rho_0} = \frac{L}{\delta_f} \tag{3}$$

여기서, ρ₀ 는 압궤효율, L은 시험편의 길이, δ_f 는 충격압궤 실험 후 변형된 시 험편의 길이이다.

$$E_T = E_a \times \frac{1}{\rho_0} \tag{4}$$

여기서, E_T 는 전체흡수에너지, E_a는 흡수에너지 이다.

또한, 단위질량당 총흡수에너지를 비교하기 위하여 식(5)을 이용하여 총흡수에 너지를 구하였다.

$$E_m = E_T / kg \tag{5}$$

여기서 Em은 단위질량당 총흡수에너지, kg은 각 시험편의 질량이다.

로드셀 위의 시험편이 흡수하는 이론적인 충격에너지 E_I는 식(6)와 같이 크로스 헤드의 위치에너지와 같으므로 시험편에 따라 시험편의 압궤형상을 관찰하기 가장 적절한 충격에너지 419J를 가하였다. 충격에너지의 크기는 본 연구에서 제작한 CFRP 부재의 특성을 고려하여 수차례의 예비실험을 통하여 최적의 에너지의 크기 를 결정 하였다.

 $E_I = mgh$

(6)

여기에서 E_I는 충격에너지, *m*은 크로스헤드의 질량, g는 중력 가속도, h는 시험 편에 가해진 크로스헤드의 높이이다.

제 3 장 CFRP 모자형 부재의 안전성능 평가

본 장에서는 CFRP 단일 모자형 부재가 차량 전면부 사이드 부재로 사용될 것을 상정하여 사이드 부재의 기본형상인 단일 모자형 단면을 갖는 CFRP 단일 모자형 부재에 대하여 정적 및 충격 압궤 실험을 통하여 에너지흡수 능력과 압궤모드를 고찰하여 안전성능을 평가하였다.

제 1 절 적층각도 변화에 따른 정적압궤특성

본 절에서는 CFRP 단일 모자형 부재에 대하여 적층각도의 변화에 따른 압궤특 성을 살펴보고자 정적압궤실험에서 얻은 하중-변위관계와 압궤현상을 나타내었다. Figs. 8~12에 적층수 8ply를 갖는 단일 모자형 부재에 대하여 15°, 45°, 90°, 0°/90° 및 90°/0°의 적층각의 변화에 따른 정적압궤실험 결과 얻어진 각각의 하중-변위선도를 나타내었으며, Photos. 3~7에 각 시험편에 대하여 변형 량(δ)이 각각 0mm, 10mm, 20mm, 40mm 및 60mm일 때의 압궤과정을 나타내 었다.



Fig. 8 Load-displacement curve of CFRP single hat shaped member, [+15/-15]₄ (Static, 15° fiber orientation angle)



(a) $\delta = 0$ mm (b) $\delta = 10$ mm (c) $\delta = 20$ mm (d) $\delta = 40$ mm (e) $\delta = 60$ mm Photo. 3 Collapse processing of CFRP single hat shaped member,

 $[+15/-15]_4$ (Static, 15° fiber orientation angle)

- 23 -



Fig. 9 Load-displacement curve of CFRP single hat shaped member, $\label{eq:cFRP} [+45/{-}45]_4$

(Static, 45° fiber orientation angle)



(a) $\delta = 0$ mm (b) $\delta = 10$ mm (c) $\delta = 20$ mm (d) $\delta = 40$ mm (e) $\delta = 60$ mm Photo. 4 Collapse processing of CFRP single hat shaped member,

 $[+45/-45]_4$ (Static, 45° fiber orientation angle)

- 24 -



Fig. 10 Load-displacement curve of CFRP single hat shaped member, [90]₈ (Static, 90° fiber orientation angle)



(a) $\delta = 0$ mm (b) $\delta = 10$ mm (c) $\delta = 20$ mm (d) $\delta = 40$ mm (e) $\delta = 60$ mm Photo. 5 Collapse processing of CFRP single hat shaped member, [90]₈ (Static, 90° fiber orientation angle)



Fig. 11 Load-displacement curve of CFRP single hat shaped member, $[0/90]_4$ (Static, 0° /90° fiber orientation angle)



(a) $\delta = 0$ mm (b) $\delta = 10$ mm (c) $\delta = 20$ mm (d) $\delta = 40$ mm (e) $\delta = 60$ mm Photo. 6 Collapse processing of CFRP single hat shaped member, $[0/90]_4$ (Static, 0° /90° fiber orientation angle)



Fig. 12 Load-displacement curve of CFRP single hat shaped member, $\label{eq:g000} [90/0]_4$ (Static, 90° /0° fiber orientation angle)



(a) $\delta = 0$ mm (b) $\delta = 5$ mm (c) $\delta = 20$ mm (d) $\delta = 40$ mm (e) $\delta = 60$ mm Photo. 7 Collapse processing of CFRP single hat shaped member, $[90/0]_4$ (Static, 90° /0° fiber orientation angle)

제 2 절 계면수 변화에 따른 정적압궤특성

본 절에서는 CFRP 단일 모자형 부재에 대하여 계면수 변화에 따른 압궤특성을 살펴보고자 정적압궤실험에서 얻은 하중-변위관계와 압궤현상을 나타내었다.

Figs. 13~17에 최외층각이 90°인 적층각도 0°/90°의 CFRP 단일 모자형 부재에 대하여 2, 3, 4, 6 및 7계면의 계면수 변화에 따른 정적압궤실험 결과 얻어 진 각각의 하중-변위선도를 나타내었으며, Photos. 8~12에 각 시험편에 대하여 변형량(δ)이 각각 0mm, 10mm, 20mm, 40mm 및 60mm일 때의 압궤과정을 나타내었다. 또한, Figs. 18~22에 최외층각이 0°인 적층각도 90°/0°의 CFRP 모자형 부재에 대하여 2, 3, 4, 6 및 7계면의 계면수 변화에 따른 정적압궤실험 결과 얻어진 각각의 하중-변위선도를 나타내었으며, Photos. 13~17에 각 시험편에 대하여 변형량(δ)이 각각 0mm, 10mm, 20mm, 40mm 및 60mm일 때의 압궤과 정을 나타내었다.



Fig. 13 Load-displacement curve of CFRP single hat shaped member,[90₂/0₂]_S (Static, 2 interface number)



(a) $\delta = 0$ mm (b) $\delta = 10$ mm (c) $\delta = 20$ mm (d) $\delta = 40$ mm (e) $\delta = 60$ mm Photo. 8 Collapse processing of CFRP single hat shaped member, $[90_2/0_2]_s$ (Static, 2 interface number)



Fig. 14 Load-displacement curve of CFRP single hat shaped member, $\label{eq:constraint} [0_2/90_2]_2$ (Static, 3 interface number)



(a) $\delta = 0$ mm (b) $\delta = 10$ mm (c) $\delta = 20$ mm (d) $\delta = 40$ mm (e) $\delta = 60$ mm Photo. 9 Collapse processing of CFRP single hat shaped member, $[0_2/90_2]_2$ (Static, 3 interface number)



Fig. 15 Load-displacement curve of CFRP single hat shaped member, [90/0]_{S2} (Static, 4 interface number)



(a) $\delta = 0$ mm (b) $\delta = 10$ mm (c) $\delta = 20$ mm (d) $\delta = 40$ mm (e) $\delta = 60$ mm Photo. 10 Collapse processing of CFRP single hat shaped member, [90/0]_{S2} (Static, 4 interface number)



Fig. 16 Load-displacement curve of CFRP single hat shaped member, [90/0]_{2S} (Static, 6 interface number)



(a) $\delta = 0$ mm (b) $\delta = 10$ mm (c) $\delta = 20$ mm (d) $\delta = 40$ mm (e) $\delta = 60$ mm Photo. 11 Collapse processing of CFRP single hat shaped member, $[90/0]_{2S}$ (Static, 6 interface number)



Fig. 17 Load-displacement curve of CFRP single hat shaped member, [0/90]₄ (Static, 7 interface number)



(a) $\delta = 0$ mm (b) $\delta = 10$ mm (c) $\delta = 20$ mm (d) $\delta = 40$ mm (e) $\delta = 60$ mm Photo. 12 Collapse processing of CFRP single hat shaped member, $[0/90]_4$ (Static, 7 interface number)



Fig. 18 Load-displacement curve of CFRP single hat shaped member, $[0_2/90_2]_{
m S}$ (Static, 2 interface number)



(a) $\delta = 0$ mm (b) $\delta = 10$ mm (c) $\delta = 20$ mm (d) $\delta = 40$ mm (e) $\delta = 60$ mm Photo. 13 Collapse processing of CFRP single hat shaped member, $[0_2/90_2]_{s}$ (Static, 2 interface number)



Fig. 19 Load-displacement curve of CFRP single hat shaped member, $[90_2/0_2]_2$ (Static, 3 interface number)



(a) $\delta = 0$ mm (b) $\delta = 10$ mm (c) $\delta = 20$ mm (d) $\delta = 40$ mm (e) $\delta = 60$ mm Photo. 14 Collapse processing of CFRP single hat shaped member, $[90_2/0_2]_2$ (Static, 3 interface number)



Fig. 20 Load-displacement curve of CFRP single hat shaped member, $[0/90]_{\rm S2}$ (Static, 4 interface number)



(a) $\delta = 0$ mm (b) $\delta = 10$ mm (c) $\delta = 20$ mm (d) $\delta = 40$ mm (e) $\delta = 60$ mm Photo. 15 Collapse processing of CFRP single hat shaped member, $[0/90]_{S2}$ (Static, 4 interface number)



Fig. 21 Load-displacement curve of CFRP single hat shaped member, [0/90]_{2S} (Static, 6 interface number)



(a) $\delta = 0$ mm (b) $\delta = 10$ mm (c) $\delta = 20$ mm (d) $\delta = 40$ mm (e) $\delta = 60$ mm Photo. 16 Collapse processing of CFRP single hat shaped member, $[0/90]_{2S}$ (Static, 6 interface number)



Fig. 22 Load-displacement curve of CFRP single hat shaped member, [90/0]₄ (Static, 7 interface number)



(a) $\delta = 0$ mm (b) $\delta = 10$ mm (c) $\delta = 20$ mm (d) $\delta = 40$ mm (e) $\delta = 60$ mm Photo. 17 Collapse processing of CFRP single hat shaped member, [90/0]₄ (Static, 7 interface number)

제 3 절 적층각도 변화에 따른 충격압궤특성

본 절에서는 CFRP 단일 모자형 부재에 대하여 적층각도의 변화에 따른 압궤특 성을 살펴보고자 충격압궤실험에서 얻은 하중-변위관계와 압궤형상을 나타내었다. Figs. 20~24에 적층수 8ply를 갖는 단일 모자형 부재에 대하여 15°, 45°, 90°, 90°/0° 및 0°/90°의 적층각의 변화에 따른 정적압궤실험 결과 얻어진 각각의 하중-변위선도를 나타내었으며, Photos. 18~22에 각 시험편에 대하여 충 격압궤실험후 시험편의 형상을 나타내었다.



Fig. 23 Load-displacement curve of CFRP single hat shaped member,[+15/-15]₄ (Impact energy 419J, 15° fiber orientation angle)



Photo. 18 Shape of collapsed CFRP single hat shaped member, [+15/-15]₄ (Impact energy 419J, 15° fiber orientation angle)



Fig. 24 Load-displacement curve of CFRP single hat shaped member, $[+45/-45]_4$

(Impact energy 419J, 45° fiber orientation angle)



Photo. 19 Shape of collapsed CFRP single hat shaped member, $[+45/-45]_4$ (Impact energy 419J, 45° fiber orientation angle)



Fig. 25 Load-displacement curve of CFRP single hat shaped member, [90]₈ (Impact energy 341J, 90° fiber orientation angle)



Photo. 20 Shape of collapsed CFRP single hat shaped member, [90]₈ (Impact energy 341J, 90° fiber orientation angle)



Fig. 26 Load-displacement curve of CFRP single hat shaped member, $[0/90]_4$ (Impact energy 419J, 0° /90° fiber orientation angle)



Photo. 21 Shape of collapsed CFRP single hat shaped member, $[0/90]_4$ (Impact energy 419J 0° /90° fiber orientation angle)



Fig. 27 Load-displacement curve of CFRP single hat shaped member, $[90/0]_4$ (Impact energy 419J, 90° /0° fiber orientation angle)



Photo. 22 Shape of collapsed CFRP single hat shaped member, $[90/0]_4$ (Impact energy 419J, 90° /0° fiber orientation angle)

제 4 절 계면수 변화에 따른 충격압궤특성

본 절에서는 CFRP 단일 모자형 부재에 대하여 계면수 변화에 따른 압궤특성을 살펴보고자 충격압궤실험에서 얻은 하중-변위관계와 압궤형상을 나타내었다.

Figs. 25~29에 최외층각이 90°인 적층각도 0°/90°의 CFRP 단일 모자형 부재에 대하여 2, 3, 4, 6 및 7계면의 계면수 변화에 따른 충격압궤실험 결과 얻어 진 각각의 하중-변위선도를 나타내었으며, Photos. 23~27에 각 시험편에 대하여 충격압궤실험후 시험편의 형상을 나타내었다. 또한, Figs. 30~34에 최외층각이 0°인 적층각도 90°/0°의 CFRP 모자형 부재에 대하여 2, 3, 4, 6 및 7계면의 계면수 변화에 따른 충격압궤실험 결과 얻어진 각각의 하중-변위선도를 나타내었 으며, Photos. 28~32에 각 시험편에 대하여 충격압궤실험후 시험편의 형상을 나 타내었다.



Fig. 28 Load-displacement curve of CFRP single hat shaped member,[90₂/0₂]_S (Impact energy 419J, 2 interface number)



Photo. 23 Shape of collapsed CFRP single hat shaped member,[90₂/0₂]_S (Impact energy 419J, 2 interface number)



Fig. 29 Load-displacement curve of CFRP single hat shaped member, $[0_2/90_2]_2$ (Impact energy 419J, 3 interface number)



Photo. 24 Shape of collapsed CFRP single hat shaped member, $[0_2/90_2]_2$ (Impact energy 419J 3 interface number)


Fig. 30 Load-displacement curve of CFRP single hat shaped member, [90/0]_{S2} (Impact energy 419J, 4 interface number)



Photo. 25 Shape of collapsed CFRP single hat shaped member, [90/0]_{S2} (Impact energy 419J, 4 interface number)



Fig. 31 Load-displacement curve of CFRP single hat shaped member, [90/0]_{2S} (Impact energy 419J, 6 interface number)



Photo. 26 Shape of collapsed CFRP single hat shaped member, [90/0]_{2S} (Impact energy 419J, 6 interface number)



Fig. 32 Load-displacement curve of CFRP single hat shaped member, [0/90]₄ (Impact energy 419J, 7 interface number)



Photo. 27 Shape of collapsed CFRP single hat shaped member, [0/90]₄ (Impact energy 419J, 7 interface number)



Fig. 33 Load-displacement curve of CFRP single hat shaped member, $[0_2/90_2]_{
m S}$ (Impact energy 419J, 2 interface number)



Photo. 28 Shape of collapsed CFRP single hat shaped member, $[0_2/90_2]_S$ (Impact energy 419J, 2 interface number)



Fig. 34 Load-displacement curve of CFRP single hat shaped member, $[90_2/0_2]_2$ (Impact energy 419J, 3 interface number)



Photo. 29 Shape of collapsed CFRP single hat shaped member, $[90_2/0_2]_2$ (Impact energy 419J, 3 interface number)



Fig. 35 Load-displacement curve of CFRP single hat shaped member, [0/90]_{S2} (Impact energy 419J, 4 interface number)



Photo. 30 Shape of collapsed CFRP single hat shaped member, [0/90]_{S2} (Impact energy 419J, 4 interface number)



Fig. 36 Load-displacement curve of CFRP single hat shaped member, [0/90]_{2S} (Impact energy 419J, 6 interface number)



Photo. 31 Shape of collapsed CFRP single hat shaped member, [0/90]_{2S} (Impact energy 419J, 6 interface number)



Fig. 37 Load-displacement curve of CFRP single hat shaped member, [90/0]₄ (Impact energy 419J, 7 interface number)



Photo. 32 Shape of collapsed CFRP single hat shaped member, [90/0]₄ (Impact energy 419J, 7 interface number)

제 5 절 결과

본 장에서는 차량 전면부 사이드 부재의 기본형상인 단일 모자형 단면을 갖는 CFRP 단일 모자형 부재에 대하여 정적 및 충격 압궤 실험을 통하여 에너지흡수 능력과 압궤모드를 고찰하여 안전성능을 평가하였다.

적층구성의 변화에 따른 에너지 흡수 능력과 압궤모드를 고찰하기 위하여 적층 각도와 계면수 변화에 따라 시험편을 제작하였다. 이방성 재료인 CFRP의 적층구 성의 변화에 따른 압궤특성을 평가하고자 프리프레그 시트 8매를 축방향을 0°로 하여 [+ θ_n /- θ_n]의 적층구성으로 적층각도와 계면수 변화에 따라 시험편을 제작 하였다. 여기서 적층각 θ 는 15°, 45°, 90°, 0°/90° 및 90°/0°로 하여 적 층각도를 변화시켰으며, 적층수 n을 2, 3, 4, 6 및 7계면수에 맞추어 적층하여 제 작하였고, 계면수 변화에서는 최외층각도를 90°와 0°로 변화를 주어 최외층각 도 변화에 따른 압궤특성을 고찰하였다.

Tables 3 ~ Tables 5는 8ply로 적층된 모자형 부재의 적층각 및 계면수 변화 에 의한 정적압궤실험을 행한 결과의 평균값으로 흡수에너지, 평균하중, 단위질량 당 흡수에너지, 및 최대압궤하중의 데이터 값을 나타내었다. Fig. 38 ~ Fig. 40은 Tables 3 ~ Tables 5의 데이터 값 중 단위질량당 흡수에너지를 비교한 그림이 다.

Table 3과 Fig. 38를 보면 단일 각도로 적층된 경우 적층각도가 15°에서 90°로 적층각이 증가할수록 단위질량당 흡수에너지가 거의 선형적으로 감소하는 것을 알 수 있다. 이는 축 하중이 작용될 때 적층각이 적은 경우는 라미나 굽힘과 섬유의 파단에 의하여 에너지를 흡수하지만 각도가 증가할수록 섬유의 파단이 없 이 횡방향 전단모드로 인한 기지의 파단에 의해 에너지를 흡수한다. 따라서 적층각 이 적은 경우 섬유의 파단을 동반하여 더 많은 에너지를 흡수하는 것으로 사료된 다. 또한 0°와 90°섬유로 조합된 0°/90°와 90°/0°의 적층각을 갖는 시험편 의 경우의 에너지 흡수는 비슷하게 나타났다.

Table 4와 Fig. 39을 보면 계면수가 증가함에 따라 6계면을 갖는 시험편 까지

는 증가하다가 7계면을 갖는 시험편에서는 감소하는 경향을 나타내었다. 그 이유 는 CFRP 부재의 가장 큰 에너지 흡수 인자는 크랙 진전이며, 크랙은 크게 층간 크랙과 층내 크랙 및 중심 크랙으로 나눌 수 있다. 따라서 계면수가 증가한다는 의 미는 층간 크랙을 유발시킬 수 있는 경우의 수가 증가한다는 의미이며, 결국 흡수 에너지는 증가하게 된다. 그러나 7계면이 되면, 즉 어느 한계를 넘어서게 되면 층 간 크랙수가 증가함에 따라 층 두께의 감소로 인하여 층내 크랙을 유발시킬 수 있 는 경우의 수는 감소하게 되며, 결국 층간 크랙 수의 증가로 인하여 다소 흡수에너 지는 증가하나 이와 더불어 층내 크랙 수의 감소로 인하여 층내 크랙 진전이 충분 히 일어나지 않아 결국 단위질량당 흡수에너지는 감소하게 된다고 사료된다.

Table 5와 Fig. 40를 보면 최외층각이 90°인 CFRP 모자형 부재와 마찬가지 로 계면수가 증가함에 따라 6계면을 갖는 시험편 까지는 증가하다가 7계면을 갖는 시험편에서는 감소하는 경향을 나타내었다.

Tables 6 ~ Tables 8는 8ply로 적층된 모자형 부재의 적층각 및 계면수 변화 에 의한 충격압궤실험을 행한 결과의 평균값으로 흡수에너지, 총흡수에너지, 단위 질량당 총흡수에너지 및 최대압궤하중의 데이터 값을 나타내었다. Fig. 41 ~ Fig. 43은 Tables 6 ~ Tables 8의 데이터 값 중 단위질량당 총흡수에너지를 비교한 그림이다.

Tables 6과 Fig. 41을 보면 정적압궤실험과 마찬가지로 단일 각도로 적층된 경 우 적층각도가 15°에서 90°로 적층각이 증가할수록 단위질량당 흡수에너지가 거의 선형적으로 감소하는 것을 알 수 있다. 또한 0°와 90°섬유로 조합된 0°/90°와 90°/0°의 적층각을 갖는 시험편의 경우의 에너지 흡수는 비슷하게 나타났다.

Tables 7 ~ Tables 8과 Fig. 42 ~ Fig. 43을 보면 계면수 변화에 따른 충격 압궤실험도 정적압궤실험과 마찬가지로 6계면을 갖는 시험편 까지는 증가하다가 7 계면을 갖는 시험편에서는 감소하는 경향을 나타내었다.

CFRP 단일 모자형 부재의 정적 및 충격압궤실험 결과 시험편의 압궤길이가 동 일하지 않아 정량적인 데이터의 평가가 어렵기 때문에 충격압궤실험에서 압궤길이 가 40mm로 가장적은 15°의 시험편을 기준으로 모든 시험편의 흡수에너지를 40mm로 계산하였다.

Fig. 44는 CFRP 단일 모자형 부재의 적층각 변화에 따른 정적 및 충격압궤실험 후 시험편의 흡수에너지를 보여주고 있다. Fig. 44에서 보면 알 수 있듯이 각도변 화에 따른 정적 및 충격압궤하중의 영향은 명확하게 나타나지 않았다. 하지만, Fig. 45와 Fig. 46과의 계면수 변화에 따른 정적 및 충격압궤실험의 경우 충격압궤실험 보다 정적압궤실험에서 에너지흡수가 높은 것을 알 수 있다. 이는 CFRP의 에너지 흡수 인자는 크랙의 진전이며, 충격압궤실험의 경우 짧은 시간에 충격하중이 가해 지기 때문에 순간적인 크랙 진전으로 인하여 정적압궤실험과 다르게 충분한 크랙 진전으로 인한 충분한 에너지를 흡수하지 못하기 때문에 흡수에너지가 감소된다고 사료된다.

Fiber orientation	Absorbed energy	Mean load	Absorbed energy	Maximum
			per unit mass	collapse load
angel of CFRP	E_a [J]	P_m [kN]	E_m [kJ/kg]	P_{max} [kN]
15°	679.06	11.31	49.17	23.70
45°	390.11	6.50	28.62	16.30
90°	280.87	4.68	20.92	8.47
0°/90°	624.33	10.40	46.52	16.45
90°/0°	662.95	11.04	48.64	18.80

Table 3. Static collapse test results for CFRP single hat shaped memberaccording to fiber orientation angle of CFRP



Fig. 38 Relationship between fiber orientation angle of CFRP and absorbed energy per unit mass for CFRP single hat shaped member (Static)

Interface number	Absorbed energy	Mean load	Absorbed energy	Maximum
			per unit mass	collapse load
	E_a [J]	P_m [kN]	E_m [kJ/kg]	P_{max} [kN]
2	399.34	6.65	28.91	15.88
3	455.70	7.59	33.95	18.54
4	484.88	8.08	35.57	16.39
6	648.81	10.81	46.98	17.05
7	624.33	10.40	46.52	16.45

Table 4. Static collapse test results for CFRP single hat shaped member according to interface number(outer layer 90°)



Fig. 39 Relationship between interface number and absorbed energy per unit mass for CFRP single hat shaped member (Static, outer layer 90°)

Interface number	Absorbed energy	Mean load	Absorbed energy	Maximum
			per unit mass	collapse load
	E_a [J]	P_m [kN]	E_m [kJ/kg]	P_{max} [kN]
2	409.93	6.83	30.07	17.28
3	427.96	7.13	30.98	14.91
4	571.07	9.51	42.55	19.47
6	672.04	10.60	49.30	17.66
7	652.86	11.04	48.64	18.80

Table 5. Static collapse test results for CFRP single hat shaped member according to interface number(outer layer 0°)



Fig. 40 Relationship between interface number and absorbed energy per unit mass for CFRP single hat shaped member (Static, outer layer 0°)

Fiber orientation angel of CFRP	Absorbed energy E_a [J]	Total absorbed energy E _L [J]	Total absorbed energy per unit mass E_m [kJ/kg]	Maximum collapse load P _{max} [kN]
15°	411.68	1220.26	41.33	26.85
45°	417.36	767.29	25.86	15.85
90°	315.13	613.54	20.83	11.13
0°/90°	400.24	659.13	22.26	19.73
90°/0°	401.63	694.35	23.41	9.87

Table 6. Impact collapse test results for CFRP single hat shaped member according to fiber orientation angle of CFRP



Fig. 41 Relationship between fiber orientation angle of CFRP and absorbed energy per unit mass for CFRP single hat shaped member (Impact)

Interface number	Absorbed energy E_a [J]	Total absorbed energy E _L [J]	Total absorbed energy per unit mass E_m [kJ/kg]	Maximum collapse load <i>P_{max}</i> [kN]
2	405.44	636.72	21.62	15.42
3	404.79	645.33	21.62	15.01
4	404.65	708.82	24.05	14.50
6	406.01	951.70	32.25	14.60
7	400.24	659.13	22.26	19.73

Table 7. Impact collapse test results for CFRP single hat shaped member according to interface number(outer layer 90°)



Fig. 42 Relationship between interface number and absorbed energy per unit mass for CFRP single hat shaped member

(Impact, outer layer 90°)

Table 8. Impact collapse test results for CFRP single hat shaped member according to interface number(outer layer 0°)

Interface number	Absorbed energy E_a [J]	Total absorbed energy E _L [J]	Total absorbed energy per unit mass E_m [kJ/kg]	Maximum collapse load <i>P_{max}</i> [kN]
2	403.54	596.54	19.99	29.01
3	402.69	638.45	21.61	14.39
4	402.24	717.14	24.24	16.70
6	404.37	741.36	24.84	13.22
7	401.63	694.35	23.41	10.49



Fig. 43 Relationship between interface number and absorbed energy per unit mass for CFRP single hat shaped member (Impact, outer layer 0°)



Fig. 44 Relationship between fiber orientation and absorbed energy for CFRP single hat shaped member (Static and Impact)



Fig. 45 Relationship between interface number and absorbed energy for CFRP single hat shaped member (Static and Impact, outer layer 90°)



Fig. 46 Relationship between interface number and absorbed energy for CFRP single hat shaped member (Static and Impact, outer layer 0°)

제 4 장 CFRP 이중 모자형 부재의 안전성능 평가

본 장에서는 CFRP 단일 모자형 부재가 압궤시에 비대칭으로 인하여 충격흡수특 성이 저하함으로 정량적인 설계 데이터를 획득할 수 없으므로, 이와 같은 단점을 보완하여 CFRP 이중 모자형 부재가 차량 전면부 사이드 부재로 사용될 것을 상정 하여 이중 모자형 단면을 갖는 CFRP 이중 모자형 부재에 대하여 정적 및 충격 압 궤 실험을 통하여 에너지흡수 능력과 압궤모드를 고찰하여 안전성능을 평가하였다.

제 1 절 적층각도 변화에 따른 정적압궤특성

본 절에서는 CFRP 이중 모자형 부재에 대하여 적층각도의 변화에 따른 압궤특 성을 살펴보고자 정적압궤실험에서 얻은 하중-변위관계와 압궤현상을 나타내었다. Figs. 36~40에 적층수 8ply를 갖는 이중 모자형 부재에 대하여 15°, 45°, 90°, 0°/90° 및 90°/0°의 적층각의 변화에 따른 정적압궤실험 결과 얻어진 각각의 하중-변위선도를 나타내었으며, Photos. 33~37에 각 시험편에 대하여 변 형량(δ)이 각각 0mm, 10mm, 20mm, 40mm 및 60mm일 때의 압궤과정을 나타 내었다.



Fig. 47 Load-displacement curve of CFRP double hat shaped member, [+15/-15]₄ (Static, 15° fiber orientation angle)



(a) $\delta = 0$ mm (b) $\delta = 10$ mm (c) $\delta = 20$ mm (d) $\delta = 40$ mm (e) $\delta = 60$ mm Photo. 33 Collapse processing of CFRP double hat shaped member, $[+15/-15]_4$

(Static, 15° fiber orientation angle)

- 69 -



Fig. 48 Load-displacement curve of CFRP double hat shaped member, $\label{eq:45} [+45/{-45}]_4$

(Static, 45° fiber orientation angle)



(a) $\delta = 0$ mm (b) $\delta = 10$ mm (c) $\delta = 20$ mm (d) $\delta = 40$ mm (e) $\delta = 60$ mm Photo. 34 Collapse processing of CFRP double hat shaped member,

 $[+45/-45]_4$ (Static, 45° fiber orientation angle)

-70-



Fig. 49 Load-displacement curve of CFRP double hat shaped member, [90]₈ (Static, 90° fiber orientation angle)



(a) $\delta = 0$ mm (b) $\delta = 10$ mm (c) $\delta = 20$ mm (d) $\delta = 40$ mm (e) $\delta = 60$ mm Photo. 35 Collapse processing of CFRP doublehat shaped member, [90]₈ (Static, 90° fiber orientation angle)



Fig. 50 Load-displacement curve of CFRP double hat shaped member, $[0/90]_4$ (Static, 0° /90° fiber orientation angle)



(a) $\delta = 0$ mm (b) $\delta = 10$ mm (c) $\delta = 20$ mm (d) $\delta = 40$ mm (e) $\delta = 60$ mm Photo. 36 Collapse processing of CFRP double hat shaped member, $[0/90]_4$ (Static, 0° /90° fiber orientation angle)



Fig. 51 Load-displacement curve of CFRP double hat shaped member, $[90/0]_4$ (Static, 90° /0° fiber orientation angle)



(a) $\delta = 0$ mm (b) $\delta = 5$ mm (c) $\delta = 20$ mm (d) $\delta = 40$ mm (e) $\delta = 60$ mm Photo. 37 Collapse processing of CFRP double hat shaped member, $[90/0]_4$ (Static, 90° /0° fiber orientation angle)

제 2 절 계면수 변화에 따른 정적압궤특성

본 절에서는 CFRP 이중 모자형 부재에 대하여 계면수 변화에 따른 압궤특성을 살펴보고자 정적압궤실험에서 얻은 하중-변위관계와 압궤현상을 나타내었다.

Figs. 41~45에 최외층각이 90°인 적층각도 0°/90°의 CFRP 이중 모자형 부재에 대하여 2, 3, 4, 6 및 7계면의 계면수 변화에 따른 정적압궤실험 결과 얻어 진 각각의 하중-변위선도를 나타내었으며, Photos. 38~42에 각 시험편에 대하여 변형량(δ)이 각각 0mm, 10mm, 20mm, 40mm 및 60mm일 때의 압궤과정을 나 타내었다. 또한, Figs. 46~51에 최외층각이 0°인 적층각도 90°/0°의 CFRP 이 중 모자형 부재에 대하여 2, 3, 4, 6 및 7계면의 계면수 변화에 따른 정적압궤실 험 결과 얻어진 각각의 하중-변위선도를 나타내었으며, Photos. 43~47에 각 시 험편에 대하여 변형량(δ)이 각각 0mm, 10mm, 20mm, 40mm 및 60mm일 때의 압궤과정을 나타내었다.



Fig. 52 Load-displacement curve of CFRP double hat shaped member,[90₂/0₂]_S (Static, 2 interface number)



(a) $\delta = 0$ mm (b) $\delta = 10$ mm (c) $\delta = 20$ mm (d) $\delta = 40$ mm (e) $\delta = 60$ mm Photo. 38 Collapse processing of CFRP double hat shaped member, $[90_2/0_2]_s$ (Static, 2 interface number)



Fig. 53 Load-displacement curve of CFRP double hat shaped member, $\label{eq:constraint} [0_2/90_2]_2$ (Static, 3 interface number)



(a) $\delta = 0$ mm (b) $\delta = 10$ mm (c) $\delta = 20$ mm (d) $\delta = 40$ mm (e) $\delta = 60$ mm Photo. 39 Collapse processing of CFRP double hat shaped member, $[0_2/90_2]_2$ (Static, 3 interface number)



Fig. 54 Load-displacement curve of CFRP double hat shaped member, $\cite{[90/0]_{S2}}\cite{Static},\ 4\ interface\ number)$



(a) $\delta = 0$ mm (b) $\delta = 10$ mm (c) $\delta = 20$ mm (d) $\delta = 40$ mm (e) $\delta = 60$ mm Photo. 40 Collapse processing of CFRP double hat shaped member, [90/0]_{S2} (Static, 4 interface number)



Fig. 55 Load-displacement curve of CFRP double hat shaped member, [90/0]_{2S} (Static, 6 interface number)



(a) $\delta = 0$ mm (b) $\delta = 10$ mm (c) $\delta = 20$ mm (d) $\delta = 40$ mm (e) $\delta = 60$ mm Photo. 41 Collapse processing of CFRP double hat shaped member, $[90/0]_{2S}$ (Static, 6 interface number)



Fig. 56 Load-displacement curve of CFRP double hat shaped member, $[0/90]_4$ (Static, 7 interface number)



(a) $\delta = 0$ mm (b) $\delta = 10$ mm (c) $\delta = 20$ mm (d) $\delta = 40$ mm (e) $\delta = 60$ mm Photo. 42 Collapse processing of CFRP double hat shaped member, $[0/90]_4$ (Static, 7 interface number)



Fig. 57 Load-displacement curve of CFRP double hat shaped member, $\label{eq:constraint} [0_2/90_2]_{\rm S}$ (Static, 2 interface number)



(a) $\delta = 0$ mm (b) $\delta = 10$ mm (c) $\delta = 20$ mm (d) $\delta = 40$ mm (e) $\delta = 60$ mm Photo. 43 Collapse processing of CFRP double hat shaped member, $[0_2/90_2]_s$ (Static, 2 interface number)



Fig. 58 Load-displacement curve of CFRP double hat shaped member, $[90_2/0_2]_2$ (Static, 3 interface number)



(a) $\delta = 0$ mm (b) $\delta = 10$ mm (c) $\delta = 20$ mm (d) $\delta = 40$ mm (e) $\delta = 60$ mm Photo. 44 Collapse processing of CFRP double hat shaped member, $[90_2/0_2]_2$ (Static, 3 interface number)



Fig. 59 Load-displacement curve of CFRP double hat shaped member, $[0/90]_{S2}$ (Static, 4 interface number)



(a) $\delta = 0$ mm (b) $\delta = 10$ mm (c) $\delta = 20$ mm (d) $\delta = 40$ mm (e) $\delta = 60$ mm Photo. 45 Collapse processing of CFRP double hat shaped member, $[0/90]_{S2}$ (Static, 4 interface number)



Fig. 60 Load-displacement curve of CFRP double hat shaped member, [0/90]_{2S} (Static, 6 interface number)



(a) $\delta = 0$ mm (b) $\delta = 10$ mm (c) $\delta = 20$ mm (d) $\delta = 40$ mm (e) $\delta = 60$ mm Photo. 46 Collapse processing of CFRP double hat shaped member, $[0/90]_{2S}$ (Static, 6 interface number)


Fig. 61 Load-displacement curve of CFRP double hat shaped member, $[90/0]_4$ (Static, 7 interface number)



(a) $\delta = 0$ mm (b) $\delta = 10$ mm (c) $\delta = 20$ mm (d) $\delta = 40$ mm (e) $\delta = 60$ mm Photo. 47 Collapse processing of CFRP double hat shaped member, $[90/0]_4$ (Static, 7 interface number)

제 3 절 적층각도 변화에 따른 충격압궤특성

본 절에서는 CFRP 이중 모자형 부재에 대하여 적층각도의 변화에 따른 압궤특 성을 살펴보고자 충격압궤실험에서 얻은 하중-변위관계와 압궤형상을 나타내었다. Figs. 51~55에 적층수 8ply를 갖는 이중 모자형 부재에 대하여 15°, 45°, 90°, 0°/90° 및 90°/0°의 적층각의 변화에 따른 정적압궤실험 결과 얻어진 각각의 하중-변위선도를 나타내었으며, Photos. 48~52에 각 시험편에 대하여 충 격압궤실험후 시험편의 형상을 나타내었다.



Fig. 62 Load-displacement curve of CFRP double hat shaped member, [+15/-15]₄ (Impact energy 611J, 15° fiber orientation angle)



Photo. 48 Shape of collapsed CFRP double hat shaped member, $[+15/-15]_4$ (Impact energy 611J, 15° fiber orientation angle)



Fig. 63 Load-displacement curve of CFRP double hat shaped member, $\label{eq:constraint} [+45/-45]_4$

(Impact energy 611J, 45° fiber orientation angle)



Photo. 49 Shape of collapsed CFRP double hat shaped member, $[+45/-45]_4$ (Impact energy 611J, 45° fiber orientation angle)



Fig. 64 Load-displacement curve of CFRP double hat shaped member, [90]₈ (Impact energy 419J, 90° fiber orientation angle)



Photo. 50 Shape of collapsed CFRP double hat shaped member, [90]₈ (Impact energy 419J, 90° fiber orientation angle)



Fig. 65 Load-displacement curve of CFRP double hat shaped member, $[0/90]_4$ (Impact energy 611J, 0° /90° fiber orientation angle)



Photo. 51 Shape of collapsed CFRP double hat shaped member, $[0/90]_4$ (Impact energy 611J, 0° /90° fiber orientation angle)



Fig. 66 Load-displacement curve of CFRP double hat shaped member, $[90/0]_4$ (Impact energy 611J, 90° /0° fiber orientation angle)



Photo. 52 Shape of collapsed CFRP double hat shaped member, $[90/0]_4$ (Impact energy 611J, 90° /0° fiber orientation angle)

제 4 절 계면수 변화에 따른 충격압궤특성

본 절에서는 CFRP 이중 모자형 부재에 대하여 계면수 변화에 따른 압궤특성을 살펴보고자 충격압궤실험에서 얻은 하중-변위관계와 압궤형상을 나타내었다.

Figs. 56~60에 최외층각이 90°인 적층각도 0°/90°의 CFRP 이중 모자형 부 재에 대하여 2, 3, 4, 6 및 7계면의 계면수 변화에 따른 충격압궤실험 결과 얻어 진 각각의 하중-변위선도를 나타내었으며, Photos. 53~57에 각 시험편에 대하여 충격압궤실험후 시험편의 형상을 나타내었다. 또한, Figs. 61~65에 최외층각이 0°인 적층각도 90°/0°의 CFRP 이중 모자형 부재에 대하여 2, 3, 4, 6 및 7계 면의 계면수 변화에 따른 충격압궤실험 결과 얻어진 각각의 하중-변위선도를 나타 내었으며, Photos. 58~62에 각 시험편에 대하여 충격압궤실험후 시험편의 형상을 나타내었다.



Fig. 67 Load-displacement curve of CFRP double hat shaped member,[90₂/0₂]_S (Impact energy 611J, 2 interface number)



Photo. 53 Shape of collapsed CFRP double hat shaped member,[90₂/0₂]_S (Impact energy 611.52J, 2 interface number)



Fig. 68 Load-displacement curve of CFRP double hat shaped member, $\label{eq:constraint} [0_2/90_2]_2$

(Impact energy 611J, 3 interface number)



Photo. 54 Shape of collapsed CFRP double hat shaped member, $[0_2/90_2]_2$ (Impact energy 611.52J 3 interface number)



Fig. 69 Load-displacement curve of CFRP double hat shaped member, $$[90/0]_{\rm S2}$$

(Impact energy 611J, 4 interface number)



Photo. 55 Shape of collapsed CFRP double hat shaped member, [90/0]_{S2} (Impact energy 611J, 4 interface number)



Fig. 70 Load-displacement curve of CFRP double hat shaped member, $$[90/0]_{\rm 2S}$$

(Impact energy 611J, 6 interface number)



Photo. 56 Shape of collapsed CFRP double hat shaped member, [90/0]_{2S} (Impact energy 611J, 6 interface number)



Fig. 71 Load-displacement curve of CFRP double hat shaped member, $[0/90]_4$ (Impact energy 611J, 7 interface number)



Photo. 57 Shape of collapsed CFRP double hat shaped member, $[0/90]_4$ (Impact energy 611J, 7 interface number)



Fig. 72 Load-displacement curve of CFRP double hat shaped member, $\label{eq:constraint} [0_2/90_2]_{\rm S}$ (Impact energy 611J, 2 interface number)



Photo. 58 Shape of collapsed CFRP double hat shaped member, $[0_2/90_2]_S$ (Impact energy 611J, 2 interface number)



Fig. 73 Load-displacement curve of CFRP double hat shaped member, $\label{eq:g02} [90_2/0_2]_2$

(Impact energy 611J, 3 interface number)



Photo. 59 Shape of collapsed CFRP double hat shaped member, $[90_2/0_2]_2$ (Impact energy 611J, 3 interface number)



Fig. 74 Load-displacement curve of CFRP double hat shaped member, $$[0/90]_{\rm S2}$$

(Impact energy 611J, 4 interface number)



Photo. 60 Shape of collapsed CFRP double hat shaped member, [0/90]_{S2} (Impact energy 611J, 4 interface number)



Fig. 75 Load-displacement curve of CFRP double hat shaped member, $$[0/90]_{\rm 2S}$$

(Impact energy 611J, 6 interface number)



Photo. 61 Shape of collapsed CFRP double hat shaped member, [0/90]_{2S} (Impact energy 611J, 6 interface number)



Fig. 76 Load-displacement curve of CFRP double hat shaped member, $[90/0]_4$ (Impact energy 611J, 7 interface number)



Photo. 62 Shape of collapsed CFRP double hat shaped member, $[90/0]_4$ (Impact energy 611J, 7 interface number)

제 5 절 결 과

본 장에서는 차량 전면부 사이드 부재의 기본형상인 단일 모자형 단면을 갖는 CFRP 단일 모자형 부재에 대하여 정적 및 충격 압궤 실험을 통하여 에너지흡수 능력과 압궤모드를 고찰하여 안전성능을 평가하였다.

Tables 9 ~ Tables 11은 8ply로 적층된 이중 모자형 부재의 적층각 및 계면 수 변화에 의한 정적압궤실험을 행한 결과의 평균값으로 흡수에너지, 평균하중, 단 위질량당 흡수에너지, 및 최대압궤하중의 데이터 값을 나타내었다. Fig. 77 ~ Fig. 79는 Tables 9 ~ Tables 11의 데이터 값 중 단위질량당 흡수에너지를 비교한 그림이다.

Table 9와 Fig. 77를 보면 단일 각도로 적충된 경우 CFRP 단일 모자형 부재와 마찬가지로 적층각도가 15°에서 90°로 적층각이 증가할수록 단위질량당 흡수에 너지가 거의 선형적으로 감소하는 것을 알 수 있다. 또한 0°와 90°섬유로 조합 된 0°/90°와 90°/0°의 적층각을 갖는 시험편의 경우의 에너지 흡수에서는 90°/0°의 적층각을 갖는 시험편이 좀더 많은 에너지를 흡수한 것을 알 수 있다. 이는 0°/90°의 시험편의 경우 "ㄷ" 부재는 횡방향 전단모드로 에너지를 흡수하 지만 90°/0°의 시험편의 경우 "ㄷ" 부재는 횡방향 전단모드와 최외각층 0°가 외측으로 확장되지 않고 90°인 부재가 횡방향 전단모드로 파단 될 때 0°부재는 섬유의 파단으로 인해서 더 많은 에너지를 흡수 하는 것으로 사료된다.

Table 10 ~ Table 11과 Fig. 78 ~ Fig. 79를 보면 CFRP 단일 모자형 부재 와 마찬가지로 CFRP 이중 모자형 부재도 계면수가 증가함에 따라 6계면을 갖는 시험편 까지는 증가하다가 7계면을 갖는 시험편에서는 감소하는 경향을 나타내었 다.

Tables 12 ~ Tables 14는 8ply로 적층된 모자형 부재의 적층각 및 계면수 변 화에 의한 충격압궤실험을 행한 결과의 평균값으로 흡수에너지, 총흡수에너지, 단 위질량당 총흡수에너지 및 최대압궤하중의 데이터 값을 나타내었다. Fig. 80 ~ Fig. 82은 Tables 12 ~ Tables 14의 데이터 값 중 단위질량당 총흡수에너지를 비교한 그림이다.

Tables 12와 Fig. 80을 보면 CFRP 이중 모자형 부재의 정적압궤실험과 마찬가 지로 CFRP 이중 모자형 부재도 단일 각도로 적층된 경우 적층각도가 15°에서 90°로 적층각이 증가할수록 단위질량당 흡수에너지가 거의 선형적으로 감소하는 것을 알 수 있다. 또한 0°와 90°섬유로 조합된 0°/90°와 90°/0°의 적층각 을 갖는 시험편의 경우의 에너지 흡수는 비슷하게 나타났다.

Tables 13 ~ Tables 14과 Fig. 81 ~ Fig. 82를 보면 계면수 변화에 따른 충 격압궤실험도 정적압궤실험과 마찬가지로 6계면을 갖는 시험편 까지는 증가하다가 7계면을 갖는 시험편에서는 감소하는 경향을 나타내었다. 하지만, 최외층각이 90°인 시험편의 경우 4계면에서 에너지흡수가 다소 감소하는 경향을 보였다. 이 는 시험편이 충격을 받을 때 다른 시험편과 다르게 "ㄷ" 부재의 모서리 부분에서 갈라짐 현상이 발생하여 다른 부재에 비해 충분한 하중을 받지 못하여 에너지흡수 특성이 감소된다고 사료된다.

CFRP 이중 모자형 부재의 정적 및 충격압궤실험도 CFRP 단일 모자형 부재와 마찬가지로 시험편의 압궤길이가 동일하지 않아 정량적인 데이터의 평가가 어렵기 때문에 충격압궤실험에서 압궤길이가 29mm로 가장적은 15°의 시험편을 기준으 로 모든 시험편의 흡수에너지를 29mm로 계산하였다.

Fig. 83는 CFRP 이중 모자형 부재의 적층각 변화에 따른 정적 및 충격압궤실험 후 시험편의 흡수에너지를 보여주고 있다. Fig. 83에서 보면 알 수 있듯이 각도변 화에 따른 정적 및 충격압궤하중의 영향은 명확하게 나타나지 않았다. 하지만, Fig. 84와 Fig. 85와의 계면수 변화에 따른 정적 및 충격압궤실험의 경우 CFRP 단일 모자형 부재와 마찬가지로 충격압궤실험보다 정적압궤실험에서 에너지흡수가 높은 것을 알 수 있다. 이는 CFRP의 에너지흡수 인자는 크랙의 진전이며, 충격압궤실험 의 경우 짧은 시간에 충격하중이 가해지기 때문에 순간적인 크랙 진전으로 인하여 정적압궤실험과 다르게 크랙 진전으로 인한 충분한 에너지를 흡수하지 못하기 때 문에 흡수에너지가 감소된다고 사료된다.

Fiber orientation	Absorbed energy	Mean load	Absorbed energy	Maximum
			per unit mass	collapse load
angel of CFRP	E_a [J]	P_m [kN]	E_m [kJ/kg]	P_{max} [kN]
15°	968.09	16.12	70.10	24.90
45°	601.04	10.01	44.09	17.40
90°	421.19	7.01	31.38	11.00
0°/90°	865.73	14.42	58.27	22.32
90°/0°	1116.24	18.59	70.89	25.67

Table 9. Static collapse test results for CFRP double hat shaped member according to fiber orientation angle of CFRP



Fig. 77 Relationship between fiber orientation angle of CFRP and absorbed energy per unit mass for CFRP double hat shaped member (Static)

Interface number	Absorbed energy	Mean load	Absorbed energy	Maximum
			per unit mass	collapse load
	E_a [J]	P_m [kN]	E_m [kJ/kg]	P_{max} [kN]
2	756.35	12.60	52.87	20.41
3	835.98	13.93	58.09	20.77
4	953.04	15.88	65.70	22.49
6	979.56	16.32	66.72	20.63
7	865.73	14.42	58.27	22.32

Table 10. Static collapse test results for CFRP double hat shaped member according to interface number(outer layer 90°)



Fig. 78 Relationship between interface number and absorbed energy per unit mass for CFRP double hat shaped member (Static)

Interface number	Absorbed energy	Mean load	Absorbed energy	Maximum
			per unit mass	collapse load
	E_a [J]	P_m [kN]	E_m [kJ/kg]	P_{max} [kN]
2	864.83	14.41	54.97	21.29
3	892.29	14.86	58.58	21.76
4	1014.48	16.89	66.11	24.19
6	1159.01	19.30	75.26	25.24
7	1116.24	18.59	70.89	25.67

Table 11. Static collapse test results for CFRP double hat shaped member according to interface number(outer layer 0°)



Fig. 79 Relationship between interface number and absorbed energy per unit mass for CFRP double hat shaped member (Static)

Fiber orientation angel of CFRP	Absorbed energy E_a [J]	Total absorbed energy E _L [J]	Total absorbed energy per unit mass E_m [kJ/kg]	Maximum collapse load P _{max} [kN]
15°	598.31	2485.23	87.66	30.52
45°	581.28	1451.39	52.85	18.20
90°	391.03	773.94	28.68	14.27
0°/90°	587.81	1584.56	55.95	19.46
90°/0°	588.81	1480.89	52.42	18.14

Table 12. Impact collapse test results for CFRP double hat shaped member according to fiber orientation angle of CFRP



Fig. 80 Relationship between fiber orientation angle of CFRP and absorbed energy per unit mass for CFRP double hat shaped member (Impact)

Interface number	Absorbed energy E_a [J]	Total absorbed energy E _L [J]	Total absorbed energy per unit mass <i>E_m</i> [kJ/kg]	Maximum collapse load <i>P_{max}</i> [kN]
2	590.86	1316.73	46.97	17.37
3	592.49	1577.13	53.58	17.67
4	585.89	1238.78	45.95	14.49
6	588.82	1641.22	59.16	18.15
7	587.22	1584.56	55.95	19.46

Table 13. Impact collapse test results for CFRP double hat shaped member according to interface number(outer layer 90°)



Fig. 81 Relationship between interface number and absorbed energy per unit mass for CFRP double hat shaped member (Impact)

Interface number	Absorbed energy E_a [J]	Total absorbed energy E _L [J]	Total absorbed energy per unit mass E_m [kJ/kg]	Maximum collapse load <i>P_{max}</i> [kN]
2	572.83	973.73	36.09	15.17
3	577.34	1056.17	38.92	14.99
4	588.33	1407.20	49.77	17.18
6	592.18	1555.75	53.86	18.39
7	588.81	1480.89	52.42	18.14

Table 14. Impact collapse test results for CFRP double hat shaped member according to interface number(outer layer 0°)



Fig. 82 Relationship between interface number and absorbed energy per unit mass for CFRP double hat shaped member (Impact)



Fig. 83 Relationship between fiber orientation and absorbed energy for CFRP double hat shaped member (Static and Impact)



Fig. 84 Relationship between interface number and absorbed energy for CFRP double hat shaped member (Static and Impact, outer layer 90°)



Fig. 85 Relationship between interface number and absorbed energy for CFRP double hat shaped member (Static and Impact, outer layer 0°)

제 5 장 결과 및 고찰

제 1 절 정적압궤특성

본 연구에서는 충돌 시 많은 에너지를 흡수할 수 있는 안정성능 및 연비 개선을 위한 경량화에 대한 방안으로 비강도 비강성이 우수하면서 이방성을 갖는 탄소섬 유 강화 복합재를 이용하여 CFRP 단일 모자형 부재와 CFRP 이중 모자형 부재를 제작한 후 각도 변화, 계면수 변화 최외층각도의 변화에 따른 정적압궤특성 고찰하 였다.

1. CFRP 단일 모자형 부재의 정적압궤특성

CFRP 단일 모자형 부재의 압궤모드는 적층각에 따라 Farley and Jones³⁰⁾가 정의한 횡방향 전단(Transverse shearing), 라미나 굽힘(Lamina bending) 그리 고 국부 좌굴(Local buckling)의 모드가 조합된 모드로 압궤되었다. Photo. 63에 CFRP 단일 모자형 부재의 정적압궤실험 후 나타난 압궤모드를 나타내었다.

15°로 적층된 부재에서는 Photo. 63의 (a)와 같이 평판부재는 층간 크랙 및 층내 크랙의 점진적인 진전과 함께 부재의 외측으로 확장하는 스플라인 형상으로 압궤되었으며, 이러한 압궤모드는 층간 크랙((Interlaminar cracks) 및 층내 크랙 (Intralaminar cracks) 진전에 의한 라미나 굽힘과 압궤표면을 따라 수반된 운동 과 하중 면에 대한 라미나 묶음의 마찰에 의하여 주로 에너지를 흡수하며, "ㄷ"자 형 부재는 섬유 방향을 따라 압궤가 진행되며 이는 횡방향 전단과 라미나 굽힘모 드가 조합된 취성파괴 모드로 압궤 되었다. 또한, 모서리 부분에서는 섬유의 파단 에 의해 대부분의 에너지를 흡수한다. 45°로 적층된 부재에서는 Photo. 63의 (b)와 같이 평판부재는 층간 크랙 및 층내 크랙의 점진적인 진전과 함께 부재의 외측으로 확장되지만, "ㄷ"자형 부재는 연성 금속에 존재하는 것과 유사한 접힘모 드의 형상으로 압궤되었다. 이러한 압궤모드는 섬유의 분리와 섬유의 파손이 없이 기지의 소성변형에 의해 국부좌굴의 변형으로 구성되며, 섬유는 좌굴된 섬유의 인 장면을 따라 분리되고 각 계면 사이에서 국부적인 층간분리를 발생한다. 90°로 적층된 부재에서는 Photo. 63의 (c)와 같이 횡방향의 기지 파단으로 인한 파쇄모 드의 형상으로 압궤되었다. 이러한 압궤모드는 주로 횡방향 전단모드에 의한 라미 나 묶음의 기지 파단에 의해 대부분의 에너지를 흡수한다. 0°/90°로 적층된 부 재에서는 Photo. 63의 (d)와 같이 평판부재는 층간 크랙 및 층내 크랙의 점진적 인 진전과 함께 부재의 외측으로 확장되지만, "ㄷ"자형 부재는 횡방향 전단과 라미 나 묶음의 파단이 조합된 취성파괴 모드의 형상으로 압궤되었다. 이러한 압궤모드 는 주로 평판부재의 층간 크랙 및 층내 크랙의 진전에 의한 라미나 굽힘과 "ㄷ"자 형 부재의 횡방향 전단모드에 의한 라미나 묶음의 섬유 및 기지 파단과 라미나 묶 음의 굽힘과 섬유의 파단에 의해 대부분의 에너지를 흡수한다. 이는 0°로 적층된

라미나 묶음은 층간 크랙 및 층내 크랙 진전에 의해 부재 외측으로의 라미나 굽힘 을 발생시키지만 축 방향에 대하여 90°로 적층된 섬유는 0°로 적층된 라미나 묶 음의 라미나 굽힘을 방해하면서 파단 된다. 즉, 섬유는 굽힘이 존재하나 파단에 가 까우며 크랙성장과 라미나 묶음의 굽힘/파괴가 반복적으로 나타난다. 90°/0°로 적층된 부재에서는 Photo. 63의 (e)와 같이 평판부재는 층간 크랙 및 층내 크랙 의 점진적인 진전과 함께 부재의 외측으로 확장되지만, "ㄷ"자형 부재는 횡방향 전 단모드에 의한 라미나 묶음의 섬유 및 기지 파단과 라미나 굽힘모드가 조합된 형 상으로 압궤되었다. 이러한 압궤모드는 최외각층에 0°로 적층된 라미나 묶음에 의해 나타나는 라미나 굽힘이 두드러지게 나타났으며, 상대적으로 0°/90°에서 주로 나타났던 섬유의 파단은 적게 나타났다.



(a) [+15/-15]₄

(b) $[+45/-45]_4$

(c) [90]₈



(d) [0/90]₄

(e) [90/0]₄

Photo. 63 Collapse modes of CFRP single hat shaped member(Static)

2. CFRP 이중 모자형 부재의 정적압궤특성

CFRP 이중 모자형 부재의 압궤모드는 CFRP 단일 모자형 부재와 마찬가지로 층각에 따라 Farley and Jones³⁰⁾가 정의한 횡방향 전단(Transverse shearing), 라미나 굽힘(Lamina bending) 그리고 국부 좌굴(Local buckling)의 모드가 조합 된 모드로 압궤되었다. Photo. 64에 CFRP 이중 모자형 부재의 정적압궤실험 후 나타난 압궤모드를 나타내었다.

Photo. 64에서 보면 (a) 15°, (b) 45°, (c) 90°로 적층된 부재의 "ㄷ"자형 부재는 CFRP 단일 모자형 부재의 압궤모드와 유사하게 압궤 되었다. 하지만, CFRP 단일 모자형 부재에 나타났던 평판부재와 "ㄷ"자형 부재의 갈라짐 현상은 발생하지 않았다. 이는 CFRP 단일 모자형 부재가 하중을 받을 때 "ㄷ"자형 부재와 평판부재의 비대칭으로 인하여 플랜지 부분에서 갈라짐 현상이 발생하지만, CFRP 이중 모자형 부재의 경우에는 "ㄷ"자형 부재의 대칭으로 인하여 플랜지 부분에서 갈라짐 현상이 발생하지 않았다. 따라서, CFRP 단일 보자형 부재에서는 평판부재 가 하중을 받을 때 "ㄷ"자형 부재와 평판부재가 분리되어 충분한 하중을 받지 못하 는 반면에 CFRP 이중 모자형 부재의 경우에는 "ㄷ"자형 부재가 분리 되지 않았으 며, 이로 인하여 플랜지 부분의 두께의 영향과 모서리 수 증가로 에너지흡수특성이 더 좋은 것으로 사료된다. Photo. 64에서 보면 (d) 0°/90°, (e) 90°/0°로 적 층된 부재의 "ㄷ"자형 부재는 CFRP 단일 모자형 부재의 압궤모드와 유사한 횡방 향 전단과 라미나 굽힘 모드가 조합된 압궤 모드로 압궤 되었다. 하지만, 단일 각 도로 적층된 경우의 부재에 나타났던 평판부재와 "ㄷ"자형 부재의 갈라짐 현상은 발생하지 않았으며, 플랜지 부분에서는 CFRP 단일 모자형 부재의 플랜지 부분에 서 크게 나타나지 않았던 라미나 묶음의 섬유 및 기지 파단이 조함된 압궤모드를 보임으로써 에너지흡수특성이 더 좋은 것으로 사료된다.

Fig. 86은 적층각도 변화, Fig. 87 ~ Fig. 88은 계면수 변화(90°,0°)에 따 른 CFRP 단일 모자형 부재와 CFRP 이중 모자형 부재의 정적압궤실험을 행한 결 과의 흡수에너지를 비교한 그래프이다. Fig. 86을 보면 적층각도 변화에 따른 CFRP 단일 모자형 부재와 CFRP 이중 모자형 부재의 정적압궤실험에서의 에너지 흡수특성은 유사한 경향을 보였으며, CFRP 이중 모자형 부재가 CFRP 단일 모자 형 부재보다 평균 43% 정도 더 많은 에너지를 흡수 하였고, 계면수 변화(최외층 각 90°)에 따른 CFRP 단일 모자형 부재와 CFRP 이중 모자형 부재의 정적압궤 실험에서의 에너지흡수특성 또한 유사한 경향을 보였으며, CFRP 이중 모자형 부 재가 CFRP 단일 모자형 부재보다 평균 62% 정도 더 많은 에너지를 흡수 하였고, 최외층각 0°의 경우는 평균 64% 정도 더 많은 에너지를 흡수 하였다.



(a) [+15/-15]₄

(b) $[+45/-45]_4$

(c) [90]₈



(d) [0/90]₄

(e) [90/0]₄

Photo. 64 Collapse modes of CFRP double hat shaped member(Static)



Fig. 86 Relationship between fiber orientation and absorbed energy per unit mass for CFRP single and double hat shaped member (Static)



Fig. 87 Relationship between interface number and absorbed energy per unit mass for CFRP single and double hat shaped member (Static, outer layer 90°)


Fig. 88 Relationship between interface number and absorbed energy per unit mass for CFRP single and double hat shaped member (Static, outer layer 0°)

제 2 절 충격압궤특성

본 연구에서는 충돌 시 많은 에너지를 흡수할 수 있는 안정성능 및 연비 개선을 위한 경량화에 대한 방안으로 비강도 비강성이 우수하면서 이방성을 갖는 탄소섬 유 강화 복합재를 이용하여 CFRP 단일 모자형 부재와 CFRP 이중 모자형 부재를 제작한 후 각도 변화, 계면수 변화 최외층각도의 변화에 따른 충격압궤특성 고찰하 였다.

1. CFRP 단일 모자형 부재의 충격압궤특성

CFRP 단일 모자형 부재의 압궤모드에서 15°로 적층된 부재에서는 정적압궤 실험과 유사한 경향을 보였으며, Photo. 65의 (a)와 같이 "ㄷ"자형 부재의 경우 모서리 부분에서 찢겨짐 현상이 발생하였으며, 이는 "ㄷ"자형 부재가 하중을 받을 때 순간적인 충격으로 인하여 모서리 부분에서 응력집중이 발생하여 모서리 부분 에서 찢겨짐 현상이 발생하는 것으로 사료된다. 45°로 적층된 부재에서도 정적실 험과 유사한 경향을 보였으며, Photo. 65의 (b)와 같이 평판부재는 층간 크랙 및 층내 크랙의 점진적인 진전과 함께 부재의 외측으로 확장되지만, "ㄷ"자형 부재는 정적 실험과는 다르게 연성 금속에 존재하는 것과 유사한 접힘모드의 형상이 아닌 15°로 적층된 부재와 유사하게 섬유 방향을 따라 압궤가 진행되며 이는 횡방향 전단과 라미나 굽힘모드가 조합된 취성파괴 모드로 압궤 되었다. 90°로 적층된 부재도 정적 실험과 유사한 경향을 보였고, Photo. 65의 (c)와 같이 횡방향의 기 지 파단으로 인한 파쇄모드의 형상으로 압궤되었다. 0°/90°와 90°/0°로 적 층된 부재에서도 정적실험과 유사하게 압궤 되었다. 하지만 "ㄷ"자형 부재의 경우 Photo. 65의 (d)와 (e)같이 "ㄷ"자형 부재는 모서리 부분에서 찢겨짐 현상과 횡방 향 전단 및 라미나 묶음의 파단이 조합된 취성파괴 모드의 형상으로 압궤되었다. 이러한 압궤모드는 주로 평판부재의 층간 크랙 및 층내 크랙의 진전에 의한 라미 나 굽힘과 "ㄷ"자형 부재의 횡방향 전단모드에 의한 라미나 묶음의 섬유 및 기지 파단과 라미나 묶음의 굽힘과 섬유의 파단에 의해 대부분의 에너지를 흡수한다. 하 지만, 90° /0° 로 적층된 부재의 경우 상대적으로 0° /90°에서 주로 나타났던 섬 유의 파단은 적게 나타났다.

- 122 -



(a) [+15/-15]₄

(b) $[+45/-45]_4$

(c) [90]₈



(d) [0/90]₄

(e) [90/0]₄

Photo. 65 Collapse modes of CFRP single hat shaped member(Impact)

2. CFRP 이중 모자형 부재의 충격압궤특성

CFRP 이중 모자형 부재의 압궤모드는 정적압궤실험에서의 압궤모드와 유사한 압궤 모드를 보였다. Photo. 66에 CFRP 이중 모자형 부재의 충격압궤실험 후 나 타난 압궤모드를 나타내었다.

15°로 적층된 부재에서는 Photo. 66의 (a)와 같이 "ㄷ"자형 부재는 섬유 방향 을 따라 압궤가 진행되며 이는 횡방향 전단과 라미나 굽힘 모드가 조합된 취성파 괴 모드로 압궤 되었고, 플랜지 부분에서는 내측과 외측으로 확장되는 압궤모드로 압궤 되었다. 이러한 압궤모드는 층간 크랙((Interlaminar cracks) 및 층내 크랙 (Intralaminar cracks) 진전에 의한 라미나 굽힘과 압궤표면을 따라 수반된 운동 과 하중 면에 대한 라미나 묶음의 마찰에 의하여 주로 에너지를 흡수하였다. 45° 로 적층된 부재에서는 15°로 적층된 부재와 마찬가지로 Photo. 63의 (b)와 같이 "ㄷ"자형 부재는 섬유 방향을 따라 압궤가 진행되며 이는 횡방향 전단과 라미나 굽 힘 모드가 조합된 취성파괴 모드로 압궤 되었고, 플랜지 부분에서는 내측과 외측으 로 확장되는 압궤모드로 압궤 되었다. 90°로 적층된 부재에서는 Photo. 66의 (c)와 같이 "ㄷ"자형 부재와 플랜지 부분 모두 횡방향의 기지 파단으로 인한 파쇄 모드의 형상으로 압궤되었다. 이러한 압궤모드는 주로 횡방향 전단모드에 의한 라 미나 묶음의 기지 파단에 의해 대부분의 에너지를 흡수한다. 0°/90°로 적층된 부재에서는 Photo. 66의 (d)와 같이 "ㄷ"자형 부재는 CFRP 단일 모자형 부재의 압궤모드와 유사한 횡방향 전단과 라미나 굽힘 모드가 조합된 취성파괴 압궤 모드 로 압궤 되었다. 또한, 플랜지 부분에서도 크랙 및 층내 크랙의 진전에 의한 라미 나 굽힘과 전단모드에 의한 내측과 외측이 확장되는 압궤모드로 압궤 되었다. 이는 0°로 적층된 라미나 묶음은 층간 크랙 및 층내 크랙 진전에 의해 부재 외측으로 의 라미나 굽힘을 발생시키지만 축 방향에 대하여 90°로 적층된 섬유는 0°로 적 층된 라미나 묶음의 라미나 굽힘을 방해하면서 파단 된다. 즉, 섬유는 굽힘이 존재 하나 파단에 가까우며 크랙성장과 라미나 묶음의 굽힘/파괴가 반복적으로 나타난 다. 90°/0°로 적층된 부재에서는 Photo. 66의 (e)와 같이 "ㄷ"자형 부재와 플랜 지 부분은 0°/90°로 적층된 부재와 유사한 압궤 모드로 압궤 되었다. 하지만, 최

외각층에 0°로 적층된 라미나 묶음의 경우 부재의 외측으로 확장되되었다. 이러 한 압궤모드는 최외각층에 0°로 적층된 라미나 묶음에 의해 나타나는 라미나 굽 힘이 두드러지게 나타났으며, 상대적으로 0°/90°에서 주로 나타났던 섬유의 파 단은 적게 나타났다.

Fig. 89는 적층각도 변화, Fig. 87 ~ Fig. 88은 계면수 변화(90°,0°)에 따 른 CFRP 단일 모자형 부재와 CFRP 이중 모자형 부재의 충격압궤실험을 행한 결 과의 흡수에너지를 비교한 그래프이다. Fig. 89를 보면 적층각도 변화에 따른 CFRP 단일 모자형 부재와 CFRP 이중 모자형 부재의 충격압궤실험에서의 에너지 흡수특성은 유사한 경향을 보였으며, CFRP 이중 모자형 부재가 CFRP 단일 모자 형 부재보다 평균 104% 정도 더 많은 에너지를 흡수 하였고, 계면수 변화(최외층 각 90°)에 따른 CFRP 단일 모자형 부재와 CFRP 이중 모자형 부재의 정적압궤 실험에서의 에너지흡수특성 또한 유사한 경향을 보였으며, CFRP 이중 모자형 부 재가 CFRP 단일 모자형 부재보다 평균 117% 정도 더 많은 에너지를 흡수 하였 고, 최외층각 0°의 경우는 평균 100% 정도 더 많은 에너지를 흡수 하였다.



(a) $[+15/-15]_4$ (b) $[+45/-45]_4$ (c) $[90]_8$



(d) [0/90]₄

(e) [90/0]₄

Photo. 66 Collapse modes of CFRP double hat shaped member(Impact)



Fig. 89 Relationship between fiber orientation and absorbed energy per unit mass for CFRP single and double hat shaped member (Impact)



Fig. 90 Relationship between interface number and absorbed energy per unit mass for CFRP single and double hat shaped member (Impact, outer layer 90°)



Fig. 91 Relationship between interface number and absorbed energy per unit mass for CFRP single and double hat shaped member (Impact, outer layer 0°)

제 6 장 결 론

본 연구에서는 충돌 시 많은 에너지를 흡수할 수 있는 안전성능 및 연비 개선을 위한 경량화에 대한 방안으로 비강도 비강성이 우수하면서 이방성을 갖는 탄소섬 유 강화 복합재를 이용하여 CFRP 단일 모자형 부재와 CFRP 이중 모자형 부재를 제작한 후 각도 변화, 계면수 변화 최외층각도의 변화에 따른 정적압궤특성 및 충 격압궤특성을 고찰하였고, 차체구조부재의 기본 형상인 모자형 단면 부재의 경우 " ㄷ"자 부재와 평판부재가 서로 분리되는 문제 때문에 정량적인 설계 데이터를 얻 을 수가 없었다. 따라서 본 연구에서는 "ㄷ"자 부재와 평판부재가 갈라지는 현상을 보완하기 위하여 CFRP 이중 모자형 부재를 제작하여 CFRP 적층구성 변화에 따 른 정적 및 충격압궤 실험을 통한 압궤 거동과 에너지흡수 특성을 파악하여 다음 과 같은 결론을 얻었다.

- CFRP 모자형 부재와 CFRP 이중 모자형 부재는 적층각에 따라 횡방향 전단, 라미나 굽힘, 취성파괴 및 국부좌굴 압궤모드가 조합된 형태의 압궤모드로 압궤 되었다. CFRP 적층각도가 적은 경우에는 주로 라미나 굽힘에 의해 에너지를 흡 수하는 반면, CFRP 적층각도가 증가 할수록 국부좌굴 및 횡방향 전단모드에 의 한 기지 파단에 의해 주로 에너지를 흡수하였다.
- 2. CFRP 단일 모자형 부재와 CFRP 이중 모자형 부재의 정적압궤특성에서는 적층 각이 90°에서 15°로 작아질수록 흡수에너지가 증가하는 것을 알 수 있다. 이 는 축하중이 작용될 때 적층각이 작은 경우는 라미나 굽힘과 섬유의 파단에 의 하여 에너지를 흡수하지만 각도가 커질수록 섬유의 파단이 없이 횡방향 전단으 로 인한 기지의 파단에 의해 에너지를 흡수하게 된다. 따라서 적층각이 작은 경 우 섬유의 파단을 동반하여 더 많은 에너지를 흡수하였다. 하지만, CFRP 이중 모자형 부재에서의 압궤 모드는 CFRP 단일 모자형 부재에 나타났던 평판부재 와 "ㄷ"자형 부재의 갈라짐 현상은 발생하지 않았다. 이는 CFRP 단일 모자형

부재가 하중을 받을 때 "ㄷ"자형 부재와 평판부재의 비대칭으로 인하여 플랜지 부분에서 갈라짐 현상이 발생하지만, CFRP 이중 모자형 부재의 경우에는 "ㄷ "자형 부재의 대칭으로 인하여 플랜지 부분에서 갈라짐 현상이 발생하지 않았 다. 따라서, CFRP 단일 보자형 부재에서는 평판부재가 하중을 받을 때 "ㄷ"자 형 부재와 평판부재가 분리되어 충분한 하중을 받지 못하는 반면에 CFRP 이중 모자형 부재의 경우에는 "ㄷ"자형 부재가 분리 되지 않았으며, 이로 인하여 플 랜지 부분의 두께의 영향과 모서리 수 증가로 에너지흡수특성이 더 좋은 것으로 사료된다.

- 3. 0° /90°, 90° /0°로 적층된 부재의 경우 "ㄷ"자형 부재는 CFRP 단일 모자형 부재의 압궤모드와 유사한 횡방향 전단과 라미나 굽힘 모드가 조합된 압궤 모드 로 압궤 되었다. 하지만, 단일 각도로 적층된 경우의 부재에 나타났던 평판부재 와 "ㄷ"자형 부재의 갈라짐 현상은 발생하지 않았으며, 플랜지 부분에서는 CFRP 단일 모자형 부재의 플랜지 부분에서 크게 나타나지 않았던 라미나 묶음 의 섬유 및 기지 파단이 조함된 압궤모드를 보임으로써 에너지흡수특성이 더 좋 은 것으로 사료된다.
- 4. CFRP 단일 모자형 부재와 CFRP 이중 모자형 부재의 충격압궤특성에서는 15°로 적충된 부재에서는 "ㄷ"자형 부재는 섬유 방향을 따라 압궤가 진행되며 이는 횡방향 전단과 라미나 굽힘 모드가 조합된 취성파괴 모드로 압궤 되었고, 플랜지 부분에서는 내측과 외측으로 확장되는 압궤모드로 압궤 되었다. 이러한 압궤모드는 충간 크랙((Interlaminar cracks) 및 충내 크랙(Intralaminar cracks) 진전에 의한 라미나 굽힘과 압궤표면을 따라 수반된 운동과 하중 면에 대한 라미나 묶음의 마찰에 의하여 주로 에너지를 흡수하였다. 45°로 적층된 부재에서는 15°로 적층된 부재와 유사한 압궤모드로 압궤 되었다. 90°로 적 충된 부재에서는 "ㄷ"자형 부재와 플랜지 부분 모두 횡방향의 기지 파단으로 인 한 파쇄모드의 형상으로 압궤되었다. 이러한 압궤모드는 주로 횡방향 전단모드 에 의한 라미나 묶음의 기지 파단에 의해 대부분의 에너지를 흡수한다.

- 5. 0° /90°로 적층된 부재에서는 "ㄷ"자형 부재는 CFRP 단일 모자형 부재의 압 궤모드와 유사한 횡방향 전단과 라미나 굽힘 모드가 조합된 취성파괴 압궤 모드 로 압궤 되었다. 또한, 플랜지 부분에서는 크랙 및 층내 크랙의 진전에 의한 라 미나 굽힘과 전단모드에 의한 내측과 외측이 확장되는 압궤모드로 압궤 되었다. 이는 0°로 적층된 라미나 묶음은 층간 크랙 및 층내 크랙 진전에 의해 부재 외측으로의 라미나 굽힘을 발생시키지만 축 방향에 대하여 90°로 적층된 섬유 는 0°로 적층된 라미나 묶음의 라미나 굽힘을 방해하면서 파단 된다. 즉, 섬유 는 굽힘이 존재하나 파단에 가까우며 크랙성장과 라미나 묶음의 굽힘/파괴가 반 복적으로 나타난다. 90°/0°로 적층된 부재에서는 "ㄷ"자형 부재와 플랜지 부 분은 0°/90°로 적층된 부재와 유사한 압궤 모드로 압궤 되었다. 하지만, 최외 각층에 0°로 적층된 라미나 묶음의 경우 부재의 외측으로 확장되되었다. 이러 한 압궤모드는 최외각층에 0°로 적층된 라미나 묶음에 의해 나타나는 라미나 굽힘이 두드러지게 나타났으며, 상대적으로 0°/90°에서 주로 나타났던 섬유의 파단은 적게 나타났다.
- 6. CFRP 단일 모자형 부재와 CFRP 이중 모자형 부재의 정적압궤실험과 충격압궤 실험에서의 에너지흡수특성은 유사한 경향을 보였으며, 정적압궤실험의 경우 적 충각도 변화에서는 CFRP 이중 모자형 부재가 CFRP 단일 모자형 부재보다 평 균 43% 정도 더 많은 에너지를 흡수 하였고, 계면수 변화(최외층각 90°)에 따른 에너지흡수특성 또한 유사한 경향을 보였으며, CFRP 이중 모자형 부재가 CFRP 단일 모자형 부재보다 평균 62% 정도 더 많은 에너지를 흡수 하였고, 최외층각 0°의 경우는 평균 64% 정도 더 많은 에너지를 흡수 하였다. 충격압 궤실험의 경우 적층각도 변화에서는 CFRP 이중 모자형 부재가 CFRP 단일 모 자형 부재보다 평균 104%% 정도 더 많은 에너지를 흡수 하였고, 계면수 변화 (최외층각 90°)에 따른 에너지흡수특성 또한 유사한 경향을 보였으며, CFRP 이중 모자형 부재가 CFRP 단일 모자형 부재보다 평균 117% 정도 더 많은 에 너지를 흡수 하였고, 최외층각 0°의 경우는 평균 100% 정도 더 많은 에너지 를 흡수 하였다.

7. CFRP 이중 모자형 부재의 충격압궤실험에서 최외층각 90°인 시험편인 경우 4계면에서 에너지흡수가 감소하는 경향을 보였다. 이는 시험편이 충격하중을 받 을 때 다른 시험편들과 다르게 모서리 부분에서 찢겨짐 현상이 발생하여 "ㄷ" 자형 부재가 다른 부재에 비해 충분한 하중을 받지 못하여 에너지흡수특성이 감 소된다고 사료된다.

참고문 헌

- 1. 한국자동차공학회지 , 『자동차 기술 핸드북 ; 시험평가편』 SAE Korea, 1996, pp. 339-350.
- 이대길 · 오박균. "복합재료 자동차 부품의 설계 및 제조방법." 『자동차공학 회지』 16:45-53, 1994.
- Donald F. Adams. "Test Methods For Composite Materials: Seminar Notes." *Technomic Publishing Company*, 1990.
- 4. 곽규섭. "자동차 경량화의 현황과 전망." 『자동차경제』, 24-29, 1997
- 5. 권문식. "한국자동차 신기술의 동향 (VI)." 『자동차공학회지』 26:30-35, 2004.
- Song, S. I., Bae, K. J., Lee, K. H. and Park, G. G. "Light weight Design for Automotive Door Using Optimizations and Design of Experiments." *Transactions of KSAE* 10:125-132, 2002.
- 7. 김구현 · 이정주 · 신금철. "알루미늄/GFRP 혼성 사각튜브의 정적 압축 붕괴
 및 에너지흡수특성." 『한국자동차공학회 논문집』 8:208-219, 2000.
- A. G. Mamalis, D. E. Manolaks. "Crashworthy Behavior of Thin-Walled Tubes of Fibreglass Composite Materials Subjected to Axial Loading." J. Composite Materials 24:72-91, 1990.
- C. H. Chiu, C. K. Lu. "Crushing Characteristics of 3-D Braided Composite Square Tubes." J. Composite Materials *31*:2309-2327, 1997.
- C. H. Chiu, K. H. Tsai, W. J. Huang. "Effects of Braiding Parameters on Energy Absorption Capability of Triaxially Braided Composite Tubes." J. Composite Materials *32*:1964–1983, 1998.
- Vistasp M. Karbhari. "Energy Absorption Characteristics of Hybrid Braided Composite Tubes." J. Composite Materials *31*:1164-1186, 1997.

- Jack R. Vinson. The Behavior of Shells Composed of Isotropic and Composite Materials: Kluwer Academic Publishers, ISBN 0-7923-2113-8, 1993.
- 13. 원종진·이종선·홍석주. "탄소섬유 복합적층원통셀의 거동해석." 『한국자동차 공학회 추계학술대회 논문집』1998.
- 14. 김선규·심재기·양인영. "충돌에 의한 차체 박육구조부재의 에너지 흡수특성에 관한 연구." 『한국자동차공학회 논문집』 3:74-81, 1995.
- 15. 김정호·양인영. "충돌 시 최적 흡수에너지특성을 갖는 경량화 차체구조용 CFRP 부재의 개발." 『대한기계학회 논문집』 **22**:1316-1325, 1998.
- 16. 이상관·김병선. "섬유강화 복합재료와 자동차." 『자동차공학회지』
 18:196-120, 1996.
- 17. 차천석. "박육단면 차체구조부재의 충격압궤 특성평가." 조선대학교 박사논문, 2000.
- 18. 이길성. "충격 흡수용 경량화 차체구조부재의 안전성능 평가" 조선대학교 박 사논문, 2008.
- 19. 서현경. "경량화용 Al/CFRP 혼성부재의 충격압궤특성" 조선대학교 석사논문, 2009.
- White, M. D. and Jones, N.. "Experimental quasi-static axial crushing of top-hat and double-hat thin-walled sections." Int. J. Mech. Sci. 41:179-208, 1999.
- Ohkubo Y, Akamatsu T. and Shirasawa K.. "Mean Crushing strength of closed-hat section members." Society of Automotive Engineers paper No. 740040, 1974.
- Aya N. and Takahashi K.. "Energy absorption characteristics of vehicls body structure." Japan Society of Automotive Engineers Bulletin 7:65-74, 1976.
- 23. Tani M. and Funahashi A.. "Energy absorption by the plastic deformatin of body structural members." Paper 783068 presented at

S.A.E. Annual Meeting, Detroit, February 1978. 2002.

- 24. Cha, C. S., Chung, J. O., Park, J. W., Kim, Y. N., and Yang, I. Y.. "Collapse analysis of spot welded thin section members in a vehicle body structure at various impact velocities." KSME International Journal 17:501-510, 2003.
- Wang, Q., Fan, Z. and Gui, L.. "Theoretical analysis for axial crushing behaviour of aluminium foam-filled hat sections." Int. J. Mech. Sci. 49:515-521, 2007.
- Song, H, Fan, Z., Yu, G., Wang, Q. and Tobota, A.. "Partition energy absorption of axially crushed aluminum foam-filled hat sections." Int. J. Solids and Structures 42:2575-2600, 2005.
- Huh, H., Kim, K. P., kim, S. H., Song, J. H., and Hong, S. K.. "Crashworthiness assessment of frond side members in an auto-body considering the fabrication histories." Int. J. Mech. Sci. 45:1645-1660, 2003.
- 28. 김기풍·송정한·허훈·김현섭·홍석길. "성형 효과를 고려한 차체 구조 부재의 충돌 특성." 『한국정밀공학회논문집』 12:91-98, 2004.
- Kim, B. J. and Heo, S. J.. "Collapse Characteristics of Aluminum Extrusions Filled with Structural Foam for Space Frame Vehicles" Inernational Journal of Automotive Technology *4*:141-147, 2003.
- 30. 김범진·허승진. "알루미늄 경량 차체의 충돌에너지 흡수 성능 향상을 위한 설 계 개선 연구." 『자동차공학회 논문집』 11:155-160, 2003.
- Hanssen, A. G., Langseth, M. and Hopperstad, O. S.. "Optimum design for energy absorption of square aluminum columns with aluminium foam filler." Int. J. Mech. Sci. 43:153-176, 2001.
- 32. 김정호. "경량화용 차체 구조부재의 충격 압궤특성에 관한 연구." 조선대학교 박사논문, 1996.
- 33. 김천욱·한병기·원종진·임채홍. "자동차 충돌특성 연구동향." 『자동차공학회지』

18:1–17, 1996.

- Li, S. and Reid, S. R.. "Relationship Between the Elastic Bucking of Square Tubes and Rectangular Plates." International Journal of Applied Mechanics 57:969-973, 1990.
- Avalle, M. and Belingardi, G.. "Experimental evaluation of the strain field history during plastic progressive folding of aluminum circular tubes." Int. J. Mech. Sci. 39:575-583, 1997.
- Singace, A. A.. "Axial crushing analysis of tubes deforming in the multi-mode." Int. J. Mech. Sci. 41:865-890, 1999.
- 37. Kim, S. K., Im, K. H., Kim, Y. N., Park, J. W., Yang, I. Y.and Adachi, T.. "On the characteristics of energy absorption control in thin-walled members for the use of vehicular structures." Key Engineering Materials 233-236:239-244, 2003.
- Minoru, Y., Manabu, G. and Yasuhiko S.. "Axial crush of hollow cylindrical structures with various polygonal cross-sections numerical simulation and experiment." Journal of Materials Processing Technology 140:59-64, 2003.
- 39. 황창숙. "축압궤 하중을 받는 Al 박육부재의 에너지흡수제어특성." 조선대학교 석사논문, 2003.
- Farley, G. L. and Jones, R. M.. "Prediction of Energy-Absorption Capability of Composite tubes", Journal of Composite Materials, *26*:388-404, 1991.
- Farley, G. L.. "Relationship between mechanical-property and energy-absorption trends for composite tubes." NASA Technical paper, OMB 0704-0188, 1992.
- 42. 김영남·차천석·양인영. "CFRP 복합재 튜브의 압괴메카니즘에 관한 실험적 연 구." 한국자동차공학회논문집』 10:149-157, 2002.
- 43. Kim, Y. N., Im, K. H., Kim, S. K., and Yang, I. Y.. "Energy absorption

characteristics of CFRP composite tubes under axial compression load." Key Engineering Materials *233-236*:245-250, 2003.

- 44. Kim, Y. N., Hwang, J. J., Baek, K. Y., Cha, C. S., and Yang, I. Y..
 "Impact collapse characteristics of CF/Epoxy composite tubes for light-weights." KSME International Journal *17*:48-56, 2003.
- 45. Mamalis, A. G., Manolakos, D. E., Ioannidis, M. B. and Papapostolou, D. P.. "Crashworthy characteristics of axially statically compressed thin-walled square CFRP composite tubes: experimental." Composite Structures 63:347-360, 2004.
- 46. 김영남. "수송기계용 경량화 CFRP 복합재 박육부재의 축 압궤특성." 조선대학 교 박사논문, 2002.
- 47. Mamilis, A. G., Manolakos, D. E., Demosthenous, G. A. and Johnson,
 W.. "Axial Plastic Collapse of Thin Bi-Material Tubes as Energy Dissipating Systems." International Journal of Impact Engineering *11*:185-196, 1991.
- Andre Laoie, J., and Kellas, S.. "Dynamic crush tests of energy-absorbing laminated composite plates." Composite : part A 27A:467-475, 1996.
- Hanefi, E. I. and Wierzbicki, T.. "Axial resistance and energy absorption of externally reinforced metal tubes." Composite : part B 27B:387-396, 1996.
- Broughton, J. G., Beevers, A. and Hutchinson, A. R. "Carbon-fibre -reinforced Plastic(CFRP) strengthening of aluminum extrusions." Int. J. Adhesion and adhesives 17:269-278, 1997.
- Wu, E. and Jiang, W. W.. "Axial Crush of Metallic Honeycombs." International Journal of Impact Engineering 19:439-456, 1997.
- 52. Song, H. W., Wan, Z. M., Xie, Z. M. and Du, X. W. "Axial impact behavior and energy absorption effciency of composite wrapped metal

tubes." International Journal of Impact Engineering 24:385-401, 2000.

- Bouchet, J., Jacquelin, E. and Hamelin, P.. "Dynamic axial crushing of combined composite aluminum tube: the role of both reinforcement and surface treatments." Composite Structures 56:87-96, 2002.
- 54. Shin, K. C., Lee, J. J., Kim, K. H., Song, M. C. and Huh, J. S.. "Axial crush and bending collapse of an aluminum/GFRP hybrid square tube and its energy absorption capability." Composite Structures 57:279-287, 2002.
- 55. 양용준·차천석·양인영. "고온·고습 환경 하에서의 계면수 변화에 따른 CFRP 모자형 단면 부재의 압궤특성." 『한국공작기계학회지』 **18**:241-247, 2009.

감사의 글

본 논문이 완성되기까지 학위과정부터 늘 항상 정성어린 지도와 노고를 아끼지 않으신 양인영 지도교수님께 진심으로 감사드립니다.

본 논문을 검토하시면서 조언과 격려를 해주시고 지도편달을 아끼지 않으신 심 재기 교수님, 전북대학교 김선규 교수님, 우석대학교 임광희 교수님과 김지훈 교수 님께 지면을 빌어 깊은 감사를 드립니다.

또한, 학부과정부터 격려와 조언을 아끼지 않으시고 지도해 주신 기계설계공학과 양광영 교수님, 나기대 교수님, 김택현 교수님, 정낙규 교수님, 김경석 교수님께도 감사드립니다.

부족한 부분이 많은 후배지만 늘 격려와 조언을 아끼지 않으셨던 송원대학 정종 안 교수님, 동강대학 차천석 교수님, 민한기 박사님, 김영남 박사님께 감사드립니 다. 그리고 무뚝뚝하시지만 실험실생활과 대학원생활을 하는데 아낌없는 조언을 해 주시고 항상 후배들을 배려해주신 이길성 박사님께 깊은 감사를 드립니다. 또한, 석사과정동안 실험실 생활을 하며 서로 돕고 아껴주며 부족한 부분을 채워 주었던 허욱, 박상국, 양용준, 김정호, 서현경, 최주호, 국현, 여인구 선·후배들에게도 감 사드리고 그 외에 지금은 졸업을 하셨지만, 대학원 생활 동안 항상 조언과 관심을 주신 메카트로닉스공학과 김진우 박사님, 기계공학과 이승철 박사님과 박사학위 과 정 중에 했던 메카트로닉스공학과 윤희성, 최승현, 김형석, 곽남수, 기계공학과 손 재경 학우님께도 감사를 드립니다.

그 외의 모든 분들이 계셨기에 제가 이 자리에 있었습니다. 항상 감사드리며 앞 으로 모든 일에 최선을 다해 열심히 하겠습니다.

마지막으로, 오늘의 제가 있기까지 항상 늘 옆에서 제게 힘이 되어주신 아버님과 어머님, 누나들, 형, 그리고 매형들에게 고맙다는 말을 전하고 싶습니다. 그리고 사 랑합니다.

> 2012 년 6월 황 우 채

저작물 이용 허락서			
학 과	첨 단 부 품 소 재 공학과 학 번 20097527	과 정	석사, 박사
성 명	한글: 황 우 채 한문 : 黃 宇 採 영문 :Hwang Woo-Chae		
주 소	광주광역시 광산구 월계동 우미 3차 303동 210호		
연락처	연락처 E-MAIL : wchwang80@naver.com		
한글 : 차체 경량화용 CFRP 모자형 부재의 충돌 안전성능 평가 온문제목 영어 : Collision Safety Performance Evaluation of CFRP Hat shaped Member for Car Body Lightweight			
본인이 저작한 위의 저작물에 대하여 다음과 같은 조건아래 조선대학교가 저작물을 이용할 수 있도록 허락하고 동의합니다. - 다 음 - 1. 저작물의 DB구축 및 인터넷을 포함한 정보통신망에의 공개를 위한 저작물의 복제, 기억장치에의 저장, 전송 등을 허락함 2. 위의 목적을 위하여 필요한 범위 내에서의 편집ㆍ형식상의 변경을 허락함. 다만, 저작물의 내용변경은 금지함. 3. 배포ㆍ전송된 저작물의 영리적 목적을 위한 복제, 저장, 전송 등은 금지함. 4. 저작물에 대한 이용기간은 5년으로 하고, 기간종료 3개월 이내에 별도의 의사 표시가 없을 경우에는 저작물의 이용기간을 계속 연장함. 5. 해당 저작물의 저작권을 타인에게 양도하거나 또는 출판을 허락을 하였을 경우에는 1개월 이내에 대학에 이를 통보함. 6. 조선대학교는 저작물의 이용허락 이후 해당 저작물로 인하여 발생하는 타인에 의한 권리 침해에 대하여 일체의 법적 책임을 지지 않음 7. 소속대학의 협정기관에 저작물의 제공 및 인터넷 등 정보통신망을 이용한 저작물의 전송ㆍ출력을 허락함.			
동의여부 : 동의() 반대()			
2012년 8월			
	저작자: 황우채 (서	명 또는 인)	
조선대학교 총장 귀하			