

고속 충격을 받는 Carbon/Epoxy 복합재 적층판의 흡수 에너지 예측에 대한 실험적 고찰

조현준* · 김인걸*[†] · 이석제* · 우경식** · 김종현***

The Experimental Study on the Absorbed Energy of Carbon/Epoxy Composite Laminated Panel Subjected to High-velocity Impact

Hyun-jun Cho*, In-Gul Kim*[†], Seokje Lee*, Kyeongsik Woo**, Jong-Heon Kim***

ABSTRACT: The evaluation and prediction for the absorbed energy, residual velocity, and impact damage are the key things to characterize the impact behavior of composite laminated panel subjected to high-velocity impact. In this paper, the method to predict the residual velocity and the absorbed energy of Carbon/Epoxy laminated panel subjected to high velocity impact are proposed and examined by using quasi-static perforation test and high-velocity impact test. Total absorbed energy of specimen due to the high-velocity impact can be grouped with static energy and kinetic energy. The static energy are consisted of energy due to the failure of the fiber and matrix and static elastic energy, which are related to the quasi-static perforation energy. The kinetic energy are consisted of kinetic energy of moving part of specimen, which are modelled by three modified kinetic model. The high-velocity impact test were conducted by using air gun impact facility and compared with the predicted values. The damage area of specimen were examined by C-scan image. In the high initial impact velocity above the ballistic limit, both the static energy and the kinetic energy are known to be the major contribution of the total absorbed energy.

초 록: 고속충격을 받는 복합재 적층판의 충격거동 특성 중에서 관통 후 잔류속도, 시편에 의한 충격흡수에너지 그리고 충격손상영역에 대한 평가와 예측이 중요하다. 본 논문에서는 고속충격을 받는 Carbon/Epoxy 복합재 적층판의 잔류속도와 흡수에너지를 준실험적 방법을 통하여 예측할 수 있는 방법을 제안하였다. 고속충격에 의한 시편의 흡수에너지를 정적에너지와 동적에너지로 구분하였으며 정적에너지는 보강섬유의 파손과 정적 탄성에너지와 관련 있는 준정적압입실험을 통한 관통에너지를 사용하였다. 동적에너지는 고속충격 시 시편 일부의 움직임과 관련한 운동에너지에 대하여 몇 가지 모델을 제안하여 비교하였다. 공압을 이용한 고속충격실험을 수행하고 예측 값과 비교 분석하였다. 시편의 손상영역은 C-scan을 통하여 측정하였다. 관통한계속도보다 큰 초기 속도인 경우, 정적에너지인 관통에너지 뿐 만 아니라 시편의 동적 에너지가 시편 전체 흡수에너지에 크게 기여함을 알 수 있었다.

Key Words: 복합재 적층판(composite laminates), 고속충격(high-velocity impact), 관통에너지(penetration energy), 준정적관통실험(quasi-static perforation test), 관통한계(ballistic limit), 흡수에너지(absorbed energy)

접수: 2013년 5월 13일, 수정: 2013년 6월 7일, 게재승인: 2013년 6월 9일

*충남대학교 항공우주공학과 대학원

*[†]충남대학교 항공우주공학과, Corresponding author(E-mail: igkim@cnu.ac.kr)

**충북대학교 토목공학부

***국방과학연구소

1. 서 론

복합재는 전통적인 금속재보다 뛰어난 비강도, 비강성 그리고 내구성으로 인하여 항공 산업 및 군수 산업 등 많은 산업에서 폭넓게 이용되고 있다. 하지만 복합재는 고속 충격에 대한 취약성 및 관통거동의 복잡성을 지닌다. 복합재의 고속충격에 의한 주요 설계 주안점은 외부의 물체가 복합재를 관통하는 동안에 흡수되는 에너지, 구조물의 생존성과 관통 후 잔류강도 유지이다. Morye[1]은 복합재에 대한 3가지 주요한 에너지 흡수 메커니즘을 제안하였으며, 고분자 복합재에 대한 고속 충격 시 에너지 흡수에 대한 모델링을 수행하였다. 본 논문에서는 Carbon/Epoxy 복합재 적층판의 고속충격실험을 통하여 복합재에 의하여 흡수된 에너지를 구하고 이를 준정적 관통실험식과 Morye가 제시한 모델과 수정모델을 이용하여 복합재 적층판에 의해 흡수된 에너지를 예측하고 비교 분석하였다.

2. 이론 전개

Morye는 복합재 적층판에 의해 흡수되는 에너지를 3가지(1. 복합재의 인장파괴, 2. 복합재의 탄성변형, 3. 복합재의 움직이는 부분의 운동에너지)로 분류하였다. 본 논문에서는 시편의 흡수에너지 중 1과 2를 정적에너지(E_{SE})로 3을 동적에너지(E_{KE})로 정의하였다. 또한 정적 에너지는 준정적관통실험식을 이용하였고, 동적에너지는 Morye의 방법을 Model 1, Morye의 방법을 여러 가지로 변형한 방법을 Model 2-4로 정의하였다.

2.1 준정적관통실험식

Wen[2]은 복합재 적층판에 준정적 하중을 가하여 관통될 때까지의 판에서 흡수한 에너지(E_f)를 국부적인 변형의 흡수한 에너지(E_f)와 복합재의 전체적인 변형에 의해 발산되는 에너지(E_g)의 합으로 정의하였다.

$$E_f = E_i + E_g \quad (1)$$

본 논문에서 사용된 끝이 반구형인 압입체에 관한 관통 에너지(E_f)의 계산식은 다음과 같다.

$$E_f = \sigma_u d^3 \left(\frac{\pi \epsilon_f}{8} + A \left(\frac{D}{d} \right)^{\beta_1} \left(\frac{T}{d} \right)^{\beta_2} \right) \quad (2)$$

여기서 σ_u 는 적층판의 파손응력(Failure stress), ϵ_f 는 인장에 의한 파단 변형률(Fracture strain), d 는 압입체의 지름, T 는 적층판의 두께, D 는 유효면적의 지름을 의미하며, A , β_1 , β_2 는 실험적으로 구할 수 있는 상수이다. A , β_1 , β_2 는 동일시편 및 압입체에 대한 기수행연구결과의 값을 사용하였다[3].

2.2 복합재 적층판 뒷면에 생성된 cone의 운동에너지(E_{KE})

본 논문에서는 흡수에너지 중 동적에너지 부분을 Morye가 제시한 모델과 그 모델을 변형 수정하여 정의하였다. Morye는 충격체가 시편을 관통하는 동안 시편의 일부가 충격지점을 중심으로 cone 형태의 변형이 생기며, 이러한 변형은 충격체의 잔류속도와 같은 속도를 가진다고 가정하였으며 이때 변형된 시편의 일부를 moving cone이라고 정의하였다. Moving cone의 속도분포와 질량을 이용하여 moving cone의 운동에너지를 계산하였다. Fig. 1에 보이는 1점 쇄선이 moving cone의 반경방향의 속도분포를 나타낸다. Morye가 제시한 모델(Model 1)과 변형 수정된 모델(Model 2-4)을 사용하여 동적에너지를 계산하고 비교하였다.

2.2.1 Model 1

Morye가 제시한 모델에 따르면 moving cone의 운동에너지는 다음과 같이 정의하였다.

$$E_{KE} = \frac{1}{2} m_c V_c^2 \quad (3)$$

여기서 m_c 는 moving cone의 질량이며, V_c 는 moving cone의 속도이다. moving cone의 질량은 식 (4)와 같이 정의할 수 있다.

$$m_c = \pi R_c^2 T \rho \quad (4)$$

여기서 R_c 는 moving cone의 반지름이고 V_c 는 moving cone의

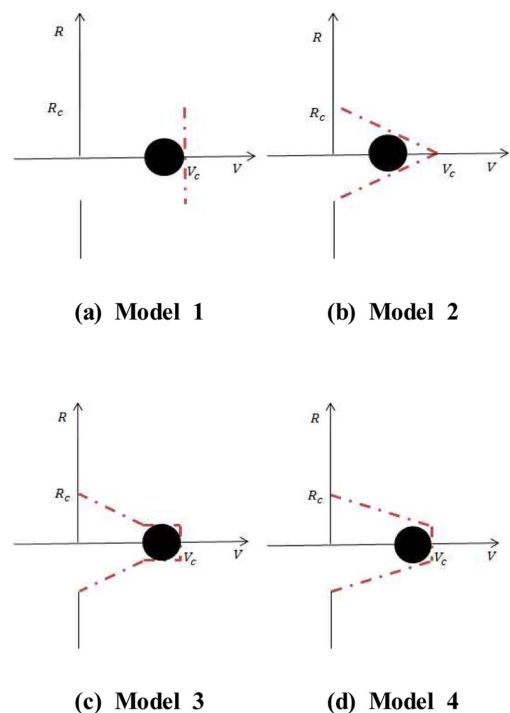


Fig. 1. Definition of velocity of moving cone.

속도이며 충격체의 잔류속도와 같다고 가정하였다. 이를 이용하여 moving cone의 운동에너지는 다음과 같다.

$$E_{KE} = \frac{1}{2} \pi R_c^2 T \rho V_c^2 \quad (5)$$

2.2.2 Model 2

Model 2는 moving cone의 속도 분포가 충격지점에서부터 moving cone의 반지름까지 충격체의 잔류속도부터 0까지 선형적으로 감소한다고 가정을 하였으며, 이때의 moving cone의 속도 분포식은 아래의 식 (6)과 같다.

$$V_c(r) = -\frac{V_r}{R_c} r + V_r \quad (6)$$

여기서 V_r 은 충격체의 잔류속도이며, r 은 적분 변수이다.

식 (6)을 식 (5)에 대입하여 동적에너지를 아래의 (7)과 같이 적분형태로 정의하였다. 적분구간은 0부터 moving cone의 반지름까지로 가정하였다.

$$E_{KE} = \frac{1}{2} \int_0^{R_c} \int_0^{2\pi} r T \rho \left(-\frac{V_r}{R_c} r + V_r \right)^2 d\theta dr \quad (7)$$

2.2.3 Model 3

Model 3 경우, 동적에너지를 충격지점부터 충격체의 반지름에 해당하는 부분을 충격체와 시편이 접촉하는 부분으로 가정하고 충격체의 반지름부터 변형이 생기는 부분의 반지름까지 moving cone으로 가정하여 두 부분으로 구분하였다. 충격체와 접촉하는 부분의 속도분포는 잔류속도와 동일한 속도를 가진다고 가정하였으며, Model 3에서의 moving cone의 속도분포는 Model 2와 같이 충격체의 잔류속도부터 0까지 선형적으로 감소한다고 가정하였다. 따라서 moving cone의 운동에너지를 다음과 같이 정의하였다.

$$E_{KE1} = \frac{1}{2} \int_{R_i}^{R_c} \int_0^{2\pi} r T \rho \left(-\frac{V_r}{R_c} r + V_r \right)^2 d\theta dr \quad (8)$$

여기서 R_i 는 충격체의 반지름이다.

충격체와 접촉하는 부분에 대한 운동에너지는 다음과 같이 정의하였다.

$$E_{KE2} = \frac{1}{2} \pi R_i T \rho V_r \quad (9)$$

따라서 최종적인 Model 3의 동적에너지는 moving cone의 운동에너지와 충격체와 접촉하는 부분에 대한 운동에너지의 합으로 다음과 같다.

$$E_{KE} = E_{KE1} + E_{KE2} \quad (10)$$

2.2.4 Model 4

Model 4 경우, Model 3와 동일하게 동적에너지 부분을 두

가지 형태로 구분하였으며, Model 3과는 달리 식 (6)에서 기울기를 $R_c - R_i$ 로 수정하였다. 따라서 moving cone의 속도분포를 다음과 같이 정의하였다.

$$V_c(r) = -\frac{V_r}{R_c - R_i} r + V_r \quad (11)$$

식 (11)을 식 (5)에 대입하여 moving cone의 운동에너지를 아래의 식 (12)와 같이 적분형태로 정의하였다.

$$E_{KE1} = \frac{1}{2} \int_{R_i}^{R_c} \int_0^{2\pi} r T \rho \left(-\frac{V_r}{R_c - R_i} r + V_r \right)^2 d\theta dr \quad (12)$$

Model 4 경우도 Model 3과 같이 충격체와 접촉하는 부분의 운동에너지를 고려하였으며, 식 (9)와 (12)를 사용하여 동적에너지를 정의하였다.

3. 고속 충격 실험

3.1 고속 충격 실험 장치

고속충격실험장치는 압축공기탱크(Air tank), 총관(Gun barrel), 4개의 마그네틱 센서(Magnetic sensor), 강구(Steel ball), 시편(Specimen), 지그(Jig) 및 신호취득시스템(DAQ system)으로 구성되어 있으며 충격용 강구의 지름은 6.35 mm로 무게는 1.04 gr이다. 다음 Fig. 2는 고속충격장치도이다.

3.2 충격체 시편

실험에 사용된 시편은 Carbon/Epoxy 일방향 프리프레그(USN 150B, SK케미칼)를 사용하였고, 폭과 너비가 각각 87.5×87.5 mm인 적층판이다. 시편의 적층 순서는 $[45/0/-45/90]_n$ 이며, 두께는(2S : 2.33 mm, 3S : 3.48 mm) 총 2가

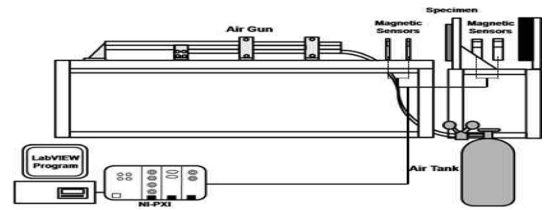


Fig. 2. Schematics of high-velocity impact test.

Table 1. Material property of prepreg (USN 150B, SK chemicals)

	Symbol	Unit	Value
Young's modulus along the fiber direction	E_{11}	GPa	181.0
Young's modulus along the Transverse direction	E_{22}	GPa	8.2
Axial shear modulus	G_{12}	GPa	4.6
Axial Poisson's ratio	ν_{12}		0.28
Thickness	h	mm	0.140

지를 사용하였다.

다음 Table 1은 시편제작에 사용한 프리프레그의 재료 물성치이다.

3.3 고속 충격 실험 절차

고속충격실험은 두께가 다른 시편에 대하여 구속조건의 지름(D) 대 충격체의 지름(d)의 비(D/d)가 3,4,5가 되도록 지그를 제작하여 수행되었고, 각각의 D/d에 대하여 관통한계 속도 근처 속도구간과 관통한계속도보다 높은 속도구간에서 각각 2번씩 수행하여 1가지 시편에 대하여 총 6번씩 실험을 수행하였다.

4. 결과 및 고찰

4.1 고속 충격 실험

Table 2는 고속충격실험 결과를 나타낸 표이다. 실험결과, 흡수에너지는 D/d와 시편의 두께가 증가하면 할수록 증가하는 것을 확인하였으며, 같은 D/d와 두께의 경우, 초기 속도가 커질수록 흡수에너지도 증가함을 확인하였다.

4.2 흡수 에너지 예측

본 논문에서는 고속충돌 시 복합재 적층판에 의해 흡수되는 운동에너지를 예측하기 위하여 Morye가 제시한 모델과 수정 변경된 모델을 사용하였으며, 흡수에너지를 예측하기 위하여 필요한 moving cone의 반지름을 손상면적의 반지름으로 가정하였으며, 손상면적의 반지름은 C-scan하여 구한 손상영역을 사용하였다.

4.2.1 손상영역

Fig. 3과 4는 고속충돌 실험 후 시편을 C-scan을 사용하여

Table 2. Result of high-velocity impact tests

Specimen thickness (mm)	D/d	Initial velocity (m/s)	Residual velocity (m/s)	Absorbed energy (J)
2.33	3	159	24.00	12.90
		185	93.04	13.35
	4	167	26.821	14.18
		184	86.36	13.78
	5	173	0	-
		182	61.49	15.32
3.48	3	216	19.44	24.16
		242	104.42	24.88
	4	223	34.83	25.33
		240	48.49	27.62
	5	231	27.23	27.47
		245	75.31	28.37

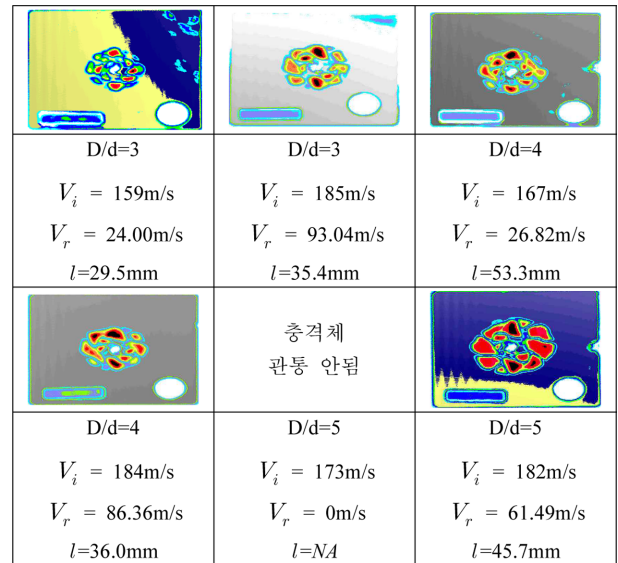


Fig. 3. C-scan images (specimen thickness = 2.33 mm).

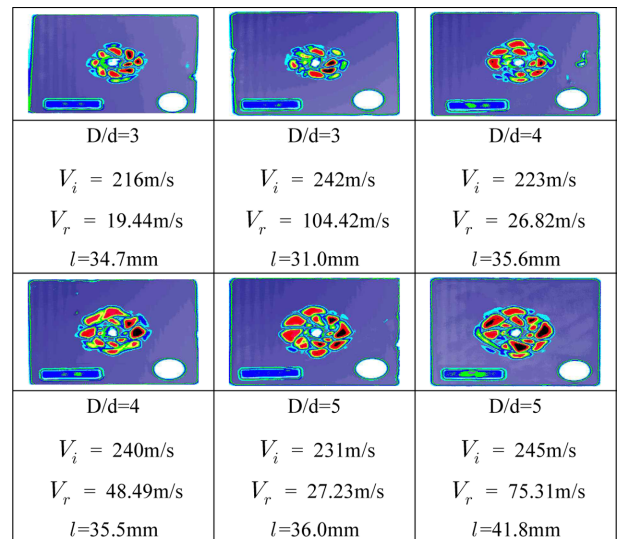


Fig. 4. C-scan images (specimen thickness = 3.48 mm).

얻은 시편의 손상영역 이미지이며, 이는 흡수에너지를 예측하기 위한 모델에 필요한 변수인 moving cone의 반지름이라고 가정하였다. 손상영역의 크기를 확인하기 위하여 C-scan시 우측하단에 지름 18 mm인 동전을 놓고, 동전과의 크기를 비교함으로써 손상영역의 크기를 확인하였다. D/d가 커지면 커질수록 손상면적은 증가하는 경향을 보였다.

4.2.2 모델링을 이용한 흡수에너지 예측

Table 3~6은 동적에너지 모델을 사용하여 예측된 흡수에너지이다. 또한 흡수에너지를 예측하기 위하여 필요한 변수인 moving cone의 반지름은 C-scan 이미지를 사용하여 예측해 보았다. Table에서 볼 수 있듯이, 관통한계속도 근처에서는 Morye가 제시한 모델(Model 1)과 그 외의 모델의 값

Table 3. Prediction of kinetic energy using damage area (specimen thickness = 2.33 mm)

D/d	V_i	V_r	E_{SE}	E_{KE}			
				Model1	Model2	Model3	Model4
3	159	24.00	11.19	0.7247	0.0004	0.0339	0.0338
	185	93.04		15.68	0.0093	0.5135	0.5101
4	167	26.82	11.82	2.95	0.0026	0.0445	0.0437
	184	86.36		13.97	0.0084	0.4428	0.4398
5	173	0	12.34	-	-	-	-
	182	61.49		11.41	0.0087	0.2289	0.2261

Table 4. Prediction of absorbed energy using damage area (specimen thickness = 2.33 mm)

D/d	V_i	V_r	E_{SE}	E_{obs}			
				Model1	Model2	Model3	Model4
3	159	24.00	11.19	11.92	11.19	11.22	11.22
	185	93.04		26.87	11.20	11.70	11.70
4	167	26.82	11.82	14.78	11.83	11.87	11.87
	184	86.36		25.80	11.83	12.27	12.26
5	173	-	12.34	-	-	-	-
	182	61.49		23.76	12.35	12.57	12.57

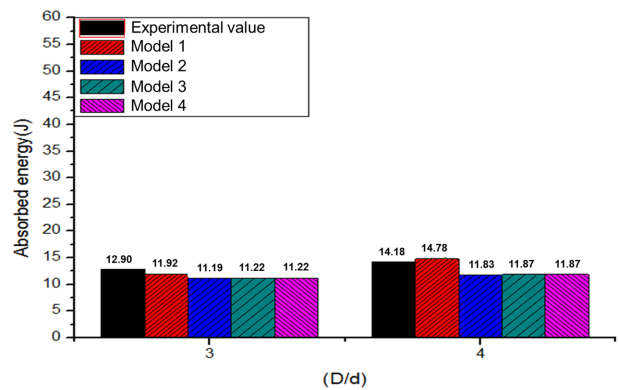
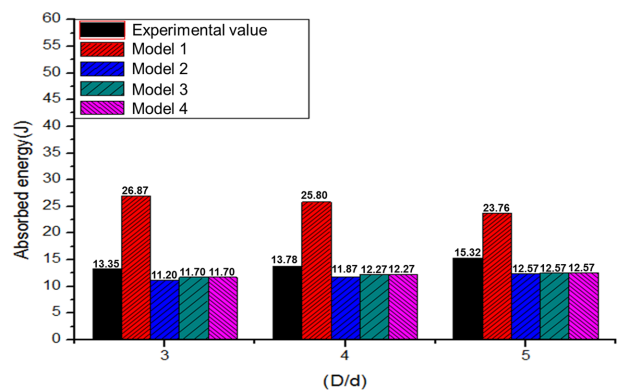
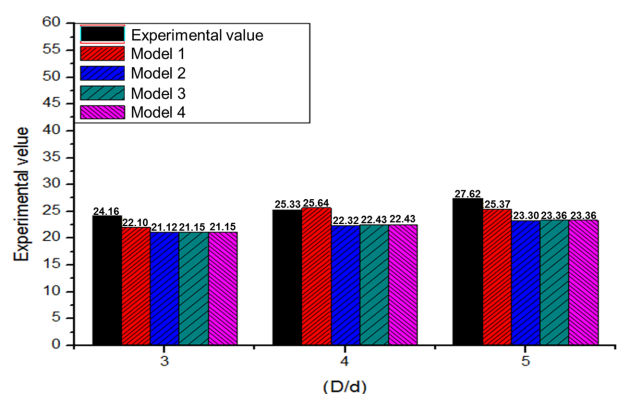
Table 5. Prediction of kinetic energy using damage area (specimen thickness = 3.48 mm)

D/d	V_i	V_r	E_{SE}	E_{KE}			
				Model1	Model2	Model3	Model4
3	216	19.44	21.12	0.9825	0.0005	0.0335	0.0332
	242	104.42		22.62	0.0117	0.9603	0.9560
4	223	34.87	22.32	3.33	0.0020	0.1075	0.1068
	240	48.49		6.600	0.0038	0.2083	0.2070
5	231	27.23	23.30	2.08	0.0013	0.0658	0.0653
	245	75.31		21.40	0.0149	0.5083	0.5031

Table 6. Prediction of absorbed energy using damage area (specimen thickness = 3.48 mm)

D/d	V_i	V_r	E_{SE}	E_{obs}			
				Model1	Model2	Model3	Model4
3	216	19.44	21.12	22.10	21.12	21.15	21.15
	242	104.42		45.75	21.13	22.08	22.08
4	223	34.87	22.32	25.64	22.32	22.43	22.43
	240	48.49		28.72	22.32	22.53	22.53
5	231	27.23	23.30	25.37	23.30	23.36	23.36
	245	75.31		44.69	23.31	23.80	23.80

이 큰 차이를 보이지 않으나 관통한계속도 이상에서는 Model 1의 경우가 상대적으로 다른 모델의 경우보다 큰 값을 보

**Fig. 5.** A comparison of experimental value and predicted value using damage area at low residual velocity. (specimen thickness = 2.33 mm)**Fig. 6.** A comparison of experimental value and predicted value using damage area at high residual velocity. (specimen thickness = 2.33 mm)**Fig. 7.** A comparison of experimental value and predicted value using damage area at low residual velocity. (specimen thickness = 3.48 mm)

인다. 이러한 이유는 Model 1의 경우 시편의 손상영역 전체가 충격체의 잔류속도로 운동하지만, Model 2-4의 경우는 충격체와 접촉하는 부분만이 충격체의 잔류속도로 운동하고 나머지 부분은 잔류속도부터 감소하는 속도 분포를 가

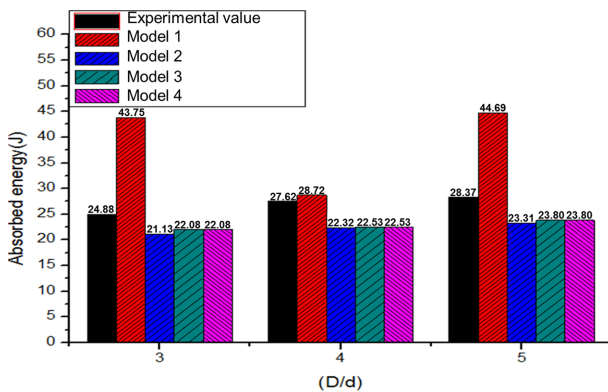


Fig. 8. A comparison of experimental value and predicted value using damage area at high residual velocity. (specimen thickness = 3.48 mm)

지기 때문에 오차를 보이는 것으로 판단된다. 또한 Model 3과 Model 4는 서로 큰 차이를 보이지 않으며, 이 둘과 Model 2를 비교하여도 그리 큰 차이를 보이지 않음을 알 수 있다.

Fig. 5~8은 실험값과 예측된 값을 서로 비교한 그래프이다. Fig. 5와 7을 참고하여 보면, 관통한계속도 근처에서는 모든 Model이 실제 실험값과 유사하게 나오나 그 중에서 Model 1의 경우가 가장 유사하게 나왔다. 하지만 Fig. 6과 8에서 보듯이 관통한계속도 이상에서는 Model 1의 경우가 다른 경우보다 높은 값을 지니며, 실제 실험값과 다소 차이를 가지는 것을 확인하였다. 이 또한 앞 단락에서 언급한 이유로 인한 차이로 판단되며, 이를 토대로 관통한계속도 근처에서는 Model 1이 고속충격을 받는 복합재 적층판의 흡수 에너지를 표현하는데 좀 더 적합한 모델이라고 판단되지만 관통한계속도 이상에서는 Model 1보다 Model 2-4가 흡수 에너지를 표현하는데 좀 더 적합한 모델이라고 판단된다.

5. 결 론

본 논문에서는 공압을 이용한 복합재 적층판에 대한 고속충격실험을 수행하였으며, 고속충격실험을 통하여 복합재의 흡수 에너지를 구하였다. 또한 고속충돌 시 복합재 적층판에 의해 흡수되는 에너지를 예측하기 위하여 준정적 관통에너지 실험식 및 Morye가 제시한 모델과 그 모델을 수정하여 적분형태의 모델을 가지고 예측을 수행하였으며, 실험값과 비교 분석을 하였다. 충격체의 초기속도가 증가함에 따라 복합재에 의한 흡수 에너지는 증가하는 것을 확인할 수 있었으며, 충격으로 인한 손상면적은 속도의 증가와 반비례적으로 손상면적이 줄어드는 것을 확인하였다. 이러한 실험적 결과를 바탕으로 다양한 모델을 적용하여 고속충격을 받는 복합재 적층판의 흡수 에너지를 예측해본 결과 Morye가 제시한 모델의 경우 관통한계속도 근처에서

는 다른 모델들과 계산된 흡수 에너지 값이 비슷하며, 실제 실험값과 비슷한 경향을 가졌다. 하지만 관통한계속도 이상에서는 Model 2-4 및 실험값과 비교하였을 때, 상대적으로 큰 오차를 가지는 것을 확인하였다. 이러한 이유로는 Model 1은 손상된 영역 전체가 충격체의 잔류속도와 같은 속도를 가지는데 비해 Model 2-4는 충격체의 직경에 해당하는 면적이 충격체의 잔류속도와 같은 속도를 가짐으로써 Model 1과 Model 2-4의 운동에너지 사이에 차이가 생겨 전체 흡수 에너지의 차이가 커진다고 판단된다. 또한 충격체의 초기속도가 증가함에 따라 동적에너지항이 전체 흡수 에너지에 차지하는 기여도가 커짐을 확인하였다. 이러한 결과를 토대로 향후 본 연구에서 손상면적이나 moving cone의 유효 반지름 R_c 를 충격체의 초기속도와 복합재 적층판의 두께에 따라 변화하는 정도를 예측가능 하다면 정적압입 실험과 준정적관통실험식을 통하여 복합재 적층판에 의해 흡수되는 정적에너지 뿐만 아니라 동적에너지도 예측할 수 있을 것이라 판단되어 고속충격거동에 대한 사전정보를 확인하는데 도움이 되리라 판단된다.

후 기

본 연구에서는 국방과학연구소의 지원으로 수행되었습니다(과제번호 : 10-01-08-17).

참고문헌

1. Morye, S.S., Hine, P.J., Duckett, R.A., Carr, D.J., and Ward, I.M., "Modelling of the Energy Absorption by Polymer Composites upon Ballistic Impact," *Composite Science and Technology*, Vol. 60, Issue 14, 2000, pp. 2631-2642.
2. Wen, H.M., "Predicting the Penetration and Perforation of FRP Laminates Struck Normally by Projectiles with Different Nose Shapes," *Composite Structures*, Vol. 18, Issue 3, 2000, pp. 321-329.
3. You, W.Y., *A Study on the High Velocity Impact Behavior of Gr/Ep Composite Laminates Based on Quasi-static Perforation Test*, MS. Thesis, Chungnam National University, Korea, 2012.
4. Sun, C.T., and Potti, S.V., "A Simple Model to Predict Residual Velocities of Thick Composite Laminates Subjected to High Velocity Impact," *International Journal of Impact Engineering*, Vol. 18, No. 3, 1996, pp. 337-353.
5. Morye, S., Hine, P.J., Duckett, R.A., Carr, D.J., and Ward, I.M., "A Comparison of the Properties of Hot Compacted gel-spun Polyethylene Fiber Composite with Conventional gel-spun polyethylene Fiber Composite," *Composites Part A : Applied Science and Manufacturing*, Vol. 30, Issue 5, 1999, pp. 649-660.
6. Gama, B.A., and Gillespie, Jr. J.W., "Punch Shear Based Penetration Model of Ballistic Impact of Thick-section Composite," *Composite Structures*, Vol. 86, Issue 144, 2008, pp. 356-369.
7. Mines, R.A.W., Roach, A.M., and Jones, N., "High Velocity Perforation Behaviour of Polymer Composite Laminates," *Interna-*

- tional Journal of Impact Engineering*, Vol. 22, Issue 6, 1999, pp. 561-588.
8. Nailk, N.K., Shirao, P., and Reddy, B.C.K., "Ballistic Impact Behaviour of Woven Fabric Composites: Formulation," *International Journal of Impact Engineering*, Vol. 32, Issue 9, 2006, pp. 1521-1552.
9. Ha, S.C., Cho, S.G., Kim, I.G., Choi, I.H., and Kim, J.H., "Comparison between Static Indentation and Impact Behavior of Composite Laminates," *Proceeding of the 2010 KSAS Fall Conference*, 2010, pp. 272-276.