creative commons

COMMONS DEED

저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:

저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.

변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 이용허락규약(Legal Code)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

Disclaimer

dCollection

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

[UCI]I804:24011-200000265946

2017년 2월
석사학위 논문

광계측 검사기법을 이용한 충격속도에 다른 GFRP 평판의 손상평가

조선대학교 산업기술융합대학원

융합자동차공학과

채 일 석

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

광계측 검사기법을 이용한 충격속도에 다른 GFRP 평판의 손상평가

Evaluation on GFRP Plate Using Optical Measurement Technique in Variation of Impact Velocity

2017년 2월 24일

조선대학교 산업기술융합대학원

융 합 자 동 차 공 학 과

채 일 석

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

광계측 검사기법을 이용한 충격속도에 다른 GFRP 평판의 손상평가

지도교수 김 지 훈

이 논문을 공학 석사학위신청 논문으로 제출함

2016년 10월

조선대학교 산업기술융합대학원

융 합 자 동 차 공 학 과

채 일 석

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

채일석의 석사학위논문을 인준함

위원장 조선대학교 부교수 조 홍 현 (인)

위 원 조선대학교 조교수 박 설 현 (인)

위 원 조선대학교 부교수 김 지 훈 (인)

2016 년 11월

조선대학교 산업기술융합대학원

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

목 차

목차 ····· i
List of Figures ····· iii
List of Table ····· V
List of Photo ····· VI
Abstract ····· VII

제 1장 서론 ····· 1
제1절 연구배경 ····· 1
제2절 연구동향 ····· 5
제3절 연구목적 ····· 6

제 2장 시험편 및 실험방법 ····· 7
제1절 시험편 ····· 7
제2절 실험 방법 ····· 10

제 3장 광계측 비파괴 검사 ····· 17
제1절 광계측 비파괴검사 ····· 17
제2절 간섭계 구성 ····· 18
제3절 이미지 처리 및 변형 측정 ····· 22

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

제 4장 결과 및 고찰 25

제 5장 결 론 38

【참고문헌】 40

dCollection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

LIST OF FIGURES

Fig. 1 Weight and reducing operating costs in accordance with the applicable civil aircraft GFRP ····· 03

Fig. 2 Applying of GFRP to Dodge Viper Component ····· 03

Fig. 3 Structure of fiber oriented specimen ····· 09

Fig. 4 Schematic Image of The Integrated Interferometer of Measuring Strain in Outer Surface ····· 18

Fig. 5 Schematic Image of The Integrated Interferometer of Measuring Strain in Inner Surface ····· 19

Fig. 6 Schematic Image of The Integrated Interferometer of Measuring Strain both Inner and Outer Surface ····· 20

Fig. 7 Phase Movement in Quartering ····· 22

Fig. 8 Obtaining the information on phase ····· 23

Fig. 9 Image filtering ····· 23

Fig. 10 Unwrapping ····· 24

Fig. 11 The image on damage by the high-speed impact (Velocity = 78.015m/s, Energy = 1.09J) ····· 27

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Fig. 12 The image on damage by the high-speed impact
(Velocity = 96.851m/s, Energy = 1.67J) ····· 28

Fig. 13 The image on damage by the high-speed impact
(Velocity = 111.96m/s, Energy = 2.24J) ····· 29

Fig. 14 The image on damage by the high-speed impact
(Velocity = 120.8m/s, Energy = 2.73J) ····· 30

Fig. 15 The image on damage by the free falls
(Size of the steel ball : 50mm, Velocity = 4.5m/s, Energy = 0.54J) ····· 31

Fig. 16 The image on damage by the free falls
(Size of the steel ball : 50mm, Velocity = 6.4m/s, Energy = 1.07J) ····· 32

Fig. 17 The image on damage by the free falls
(Size of the steel ball : 50mm, Velocity = 7.3m/s, Energy = 1.5J) ····· 33

Fig. 18 The image on damage by the free falls
(Size of the steel ball : 80mm, Velocity = 4.4m/s, Energy = 1.74J) ····· 34

Fig. 19 The image on damage by the free falls
(Size of the steel ball : 80mm, Velocity = 6.3m/s, Energy = 3.48J) ····· 35

Fig. 20 The image on damage by static load(Size of the steel ball : 50mm) ····· 36

Fig. 21 Comparison of Impact Damage according to Velocity and Energy ····· 37

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

LIST OF TABLES

Table 1 Application for the industry according to the characterisation of GFRP ··· 08

Table 2 Condition for compressive testing ····· 12

Table 3 Condition for free falls testing ····· 14

Table 4 Condition for high-speed impact testing ····· 16

dCollection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

LIST OF PHOTO

Photo 1 Applying of GFRP and CFRP to Audi Sp ring Component ····· 04

Photo 2 The geometry of GFRP plate specimen ····· 09

Photo 3 Universal testing machine ····· 11

Photo 4 The Testing machine for free falls ····· 13

Photo 5 Equipment for Testing on High-speed Impact ····· 15

Photo 6 The Integrated Interferometer of
Measuring Strain both Inner and Outer Surface ····· 21

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

ABSTRACT

Evaluation on GFRP Plate Using Optical Measurement Technique in Variation of Impact Velocity

By Chae, il-seok
Advisor : Prof. Kim. Ji Hoon, Ph. D.
Department of Fusion Automobile Engineering
Graduate of Industrial Technology
Convergence, Chosun University

Recently, the industry is focusing on developing lightweight and eco-friendly technology to meet various regulatory conditions that are getting more and more advanced as the economy gets more advanced and subdivided. Under such circumstances, GFRP (Glass Fiber Reinforced Plastics), which is one of the representative lightweight materials, has attracted attention.

GFRP is a fiberglass reinforced composite material that is not only stiff non-rigid but also excellent in various aspects such as light weight, ease of molding, productivity improvement and so on. In addition, it has the usefulness to appropriately select the lamination orientation according to the design requirements.

In this study, GFRP flat plate, which is one of the composite materials for light weight, was subjected to free fall and internal collapse through GFRP flat plate to evaluate internal damage by external force such as external impact. The internal damage was evaluated and the following conclusions were obtained.

1. It is confirmed that damage evaluation of GFRP plate is possible by non-destructive inspection of optical measurement.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

2. In the damage evaluation according to the impact velocity of the GFRP plate, even if the impact energy collides with the same impact energy, the smaller the mass of the impact body and the faster the speed, the larger the damage amount in the impact direction progression direction is.

3. There was a slight change in the measured value in the direction of the measurement when the optical metrology test was performed to evaluate the damage of the GFRP plate.

4. This slight change in the measurement value is due to the fact that the non-destructive inspection of the optical system is required to measure the exact position of the light source and the test specimen due to the characteristics of the measurement method using the laser. However, , It seems that there is a slight difference in measurement.

5. Photometry To ensure the validity of the nondestructive inspection, a more precise measurement is possible by supplementing the device that fixes and controls the position of the light source, the measuring object and the camera accurately.

6. It was found that the reproducibility of the experimental data is required through the accuracy of the manufacturing method such as cutting, laminating method, forming pressure,

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

제 1 장 서 론

제 1 절 연구배경

최근 산업은 경제 발전에 따른 고도화 및 세분화됨에 따라 날이 갈수록 강화되고 있는 각종 규제조건을 충족시키기 위한 경량화 및 친환경 기술 개발에 주력하고 있다. 이러한 추세에 따라 자동차 산업 또한 최근 규제에 대응하기 위해 자동차 제작사들은 그린자동차를 개발하고 있으며 자동차의 연비를 향상하기 위해 지속적으로 연구를 진행하고 있다.[1] 자동차의 연비를 향상하는 기술은 다운 스피딩, 다운사이징, 차체 경량화, 차체의 공기역학적 설계, 하이브리드화가 대표적인 방법이다. 이 중 차체경량화는 연비를 향상시키기 위한 가장 경제적인 방법이며, 부가적으로 제동 및 조정안정성이 향상되어 자동차의 성능도 향상되는 장점도 있다.[2] 최근 자동차 경량화 방법으로는 최적설계 기술 및 소재개발 두 가지 방법으로 추진되고 있다.[3] 최적설계기술은 구조부품의 최적설계를 위한 3D 모델링 및 유한요소해석을 이용한 기술이며, 소재개발의 경우 기존소재를 대체할 수 있는 알루미늄(Al), 마그네슘(Mg), 타이타늄(Ti) 그리고 복합재료 등의 개발을 통한 차량경량화 방법이다. 이들 소재 개발방법의 대표적인 사례로 금속재료를 대체하는 대표적인 경량화 재료중 하나인 GFRP(Glass Fiber Reinforced Plastics)는 유리섬유 강화 복합재료로써 비강도 비강성 뿐만 아니라 경량화, 성형용이성, 생산성 향상 등 여러 면에서 우수하여 여러 분야에 연구가 확산되고 있다. 또한 설계요건에 따라 적층배향을 적절히 선정할 수 있는 유용성을 가지고 있다.[4] 이러한 이유로 Fig.1~2와 같이 경량화 및 고강도 요구되는 자동차, 비행기 등의 자동차산업 및 우주항공분야에 널리 이용되고 있

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

다. 예를 들어, 최근에 항공기 분야에서는 최근 비행기 B787은 Fig. 1과 같이 항공기 날개 구조부재로 GFRP가 적용되었으며, 기체 무게 감소와 함께 운항 비용 절감을 증대시켰고[5] 자동차 부분에서 해외 기업에 Dodge 사는 Fig 2와 같이 2003년 차체 프레임에 GFRP 및 CFRP등의 경량화 재료를 사용하여 차량경량화에 힘쓰고 있고,[6] Photo. 1과 같이 2014년 아우디 차종에 초경량 GFRP 스프링이 적용되기도 했으며, 현재 차량 내 외장 부품에 다양하게 적용되고 있다.[7] 최근에는 휠 및 타이어, 제동장치의 부품까지 연구되고 있다. 이들 현가장치 계통의 경량화기술은 차체 하단부 질량을 감소하여 로드 홀딩성 및 조정안정성이 향상되고 차체 경량화의 효과가 크다.

이처럼 다양한 분야에서 사용되는 GFRP는 유리섬유(Glass Fiber)와 수지(Matrix) 2가지 재료의 특성이 공존하는 이방성 재료로서 인장, 굽힘, 충격 등의 하중 작용 시 금속과 달리 불안한 파괴모드를 보이기 때문에 강도, 강성 등 기계적 물성치를 예측하기 어려워 자동차 및 기계부품에 GFRP를 적용하고자 할 때 이를 설계 및 해석하기 위해서는 적층 각, 적층 방법에 따른 많은 시험데이터가 구축되어야 한다.[8]

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

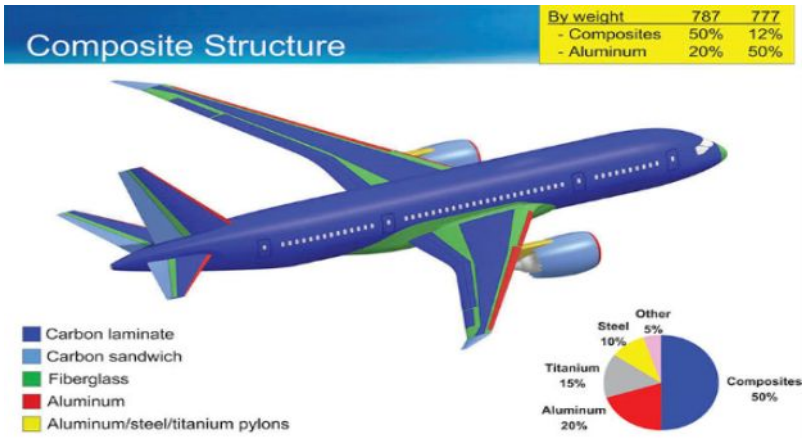


Fig. 1 Weight and reducing operating costs in accordance with the applicable civil aircraft GFRP.

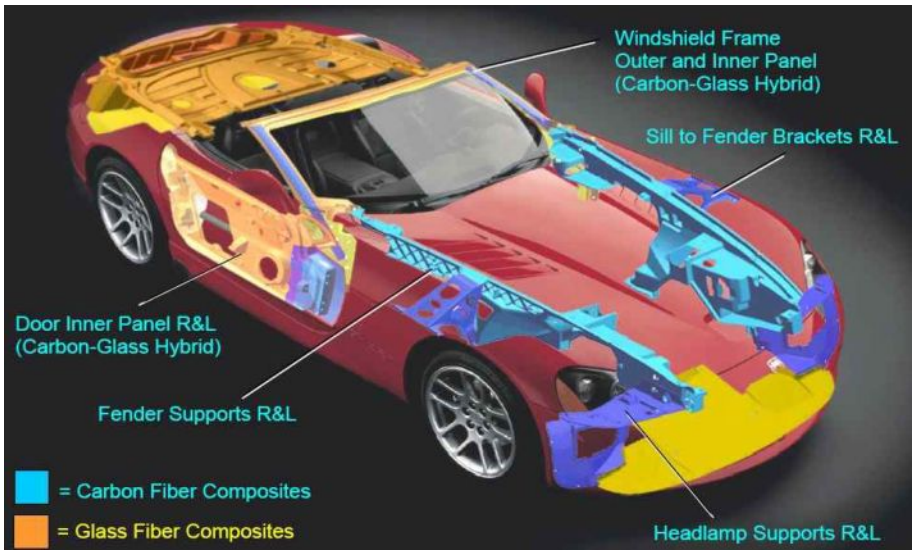


Fig. 2 Applying of GFRP to Dodge Viper Component

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Photo.1 Applying of GFRP and CFRP to Audi Spring Component

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

제 2 절 연구동향

GFRP의 산업계 적용을 위하여 다양한 연구가 진행되고 있으며, 그 예로 이[9]는 GFRP를 이용한 승용차용 충격빔의 인장시험 및 굽힘시험, 충격시험을 행하여 승용차 측면도어용 GFRP 충격빔을 개발하고자 하였고, 김[10] GFRP 복합재료의 섬유 배향과 함유율이 인장강도와 고속충격 흡수에너지에 미치는 영향에 대해서 연구하였고, 정[11]은 유리섬유강화플라스틱(GFRP) 가드레일 거동연구를 위해 압축강도 및 인장강도를 측정하고 인장부 플랜지와 압축부 플랜지의 두께 비율 및 플랜지와 리브의 두께 비율등에 따른 처짐과 응력의 변화를 검토하고자 하였다. 또한 이[12]는 GFRP-Aluminum Honeycomb 하이브리드 적층판의 파괴거동과 음향방출 해석에 대한 연구를 진행하였고, 이[13]는 GFRP 록볼트의 인장 및 전단성능에 관한 연구를 진행하였고, Lee[14]등은 섬유배향각 분포측정에 있어서 농도법의 정밀도에 미치는 섬유종횡비와 면적비의 영향에 대해 연구하였고, Lim[15] 등은 자동차용 고강도 폴리머 복합재료의 변형과 강도에 대해 연구하였고, Shin[16]등은 고속 압밀법에 의한 유리섬유강화 PET 기지 복합재료의 제조에 있어서 제조공정과 장치의 최적제작조건에 대한 연구를 수행하였다. Kim[17] 등은 장섬유강화 고분자 복합판의 섬유배향각 분포측정에 있어서 농 도법의 정밀도에 대해서 연구하였고, Choi[18] 등은 횡 방향 전단하중을 받는 단일방향 복합재료의 미시역학적 거동 연구를 하였고, Byun[19] 등은 꼰 섬유로 강화한 복합재료의 탄성계수를 예측하기 위한 강성모델을 제시하였다.

Ozdil등[20]은 일방향(UD)유리/폴리에스터 프리프레그를 적층한 복합재에 대하여 적층분리 파괴인성치의 값을 구하여, 일 방향 복합재의 경우 파괴인성치가 가장 크며 적층 각도가 커짐에 따라 파괴인성 치는 감소함을 나타내었다. Bennati 등[21]은 유리섬유강화 에폭시 적층재의 비대칭 DCB시험을 수행하여 층간 파괴특성치를 평가하였다.

이와 같이 GFRP의 많은 장점들로 인해 여러 분야에 적용하는 연구들이 진행되어져 왔다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

제 3 절 연구목적

자동차 차체의 경량화 소재로 사용되고 있는 구조부재의 특성에 대한 연구는 안전성 측면과 경량화 측면에서 여러 가지 경량화 재료와 다양한 형상에 대해 연구되어지고 있다. 본 연구에서 다루고자 하는 복합소재인 GFRP는 경량화, 비강성, 피부식성 및 높은 인장강도 등 우수한 재료물성을 가지고 있어 자동차 분야, 소형선박 등 경량화 소재적용 분야에 저가형 경량화 재료로 사용되어 지고 있다.

그러나 유리섬유의 특징 때문에 부분별 섬유량, 방향, 수지량 등 함침 방법에 따라 기계적 특성이 달라지고 인장, 굽힘, 전단 등의 하중 작용 시 금속과 달리 불안한 파괴모드를 보이기 때문에 예측하기 어려워 GFRP를 자동차 및 수송기계에 적용할 때 주요부품 보다는 자동차 범퍼 등 일반부품에 많이 적용되고 있다. GFRP는 수송기계에 적용 시 외력에 의한 파손이 많이 발생하기 때문에 파손 정도에 따른 수리방법 및 교체주기를 결정해야한다. 그러나 GFRP의 파손형태는 육안으로 판별되는 외부 손상보다는 내부 수지파괴 및 섬유파단이 더 중요한 특성을 가지고 있어 내부의 손상을 확인할 수 있는 검사방법이 요구된다.

본 연구에서는 GFRP 평판의 외력에 의한 손상을 평가하기 위한 검사방법을 제시하기 위하여 저속 및 고속 충격을 다양한 속도로 충격체를 충돌시켜 GFRP 평판에 손상을 가한다음 광계측을 통한 비파괴 검사를 행한다. 광계측 비파괴 검사기법을 이용하여 충격속도에 따른 손상을 평가하고 검증을 통하여 그 타당성을 검토하여 적용성을 평가한다. 이러한 연구를 통하여 GFRP 평판을 대상으로 외력에 의한 손상을 평가하기 위한 검사방법을 제시하고자 한다.

dCollection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

제 2 장 시험편 및 실험방법

제 1 절 시험편

본 연구에서는 주로 사용되는 형태인 GFRP 평판부재를 제작하여 시험편으로 사용하였으며, GFRP의 일반적인 특성 및 용도를 Table. 1에 나타냈다.

GFRP는 유리섬유 등의 방향족 나일론 섬유와 불포화 폴리에스터, 폴리프로필렌 등의 열경화성 수지를 결합한 물질로 본 연구에서는 E-글라스 얀(섬유직경 13㎛)와 폴리프로필렌으로 강화된 GFRP 판재를 Fig. 3과 같이 열압축 프레스공법을 사용하여 압축성형 하여 사각 판재를 제작하였다.

제작한 평판을 Photo. 2와 같이 정적 및 충격시험시 GFRP 평판 내부에 데미지가 나타나는데 충분한 길이인 가로 150mm, 세로 150mm로 절단하여 시험편을 제작하였다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Table. 1 Application for the industry according to the characterisation of GFRP

분류	특성	적용 예
GFRP	비강성 비탄성	항공기(1차,2차 부재), 자동차 및 경주용차, 타이어, 오토바이, 자전거, 스포츠용품(서핑보드, , 낚싯대, 벨트, 회전 프로펠러 등
	비강성 감쇠성	스프링, 자동차(Drive shaft, Leaf spring) 등
	강성 비크리프성	레저용 선박, 탱크, 저장고(사일로) 등
	강성 비열팽창	우주기기 안테나, 밀리파 안테나, 타이밍 벨트, 압력 용기, 항공기 날개 등
	X선 투과성 강도, 강성	X선 카세트, X선 의료기기 등
	내식성	화학물 저장 탱크 등
	단열성 내열성	건축재료, 항공기 엔진 블레이드 등

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

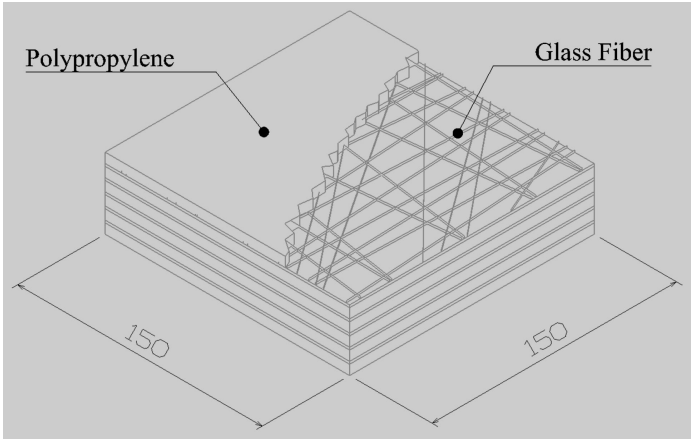


Fig. 3 Structure of fiber oriented specimen

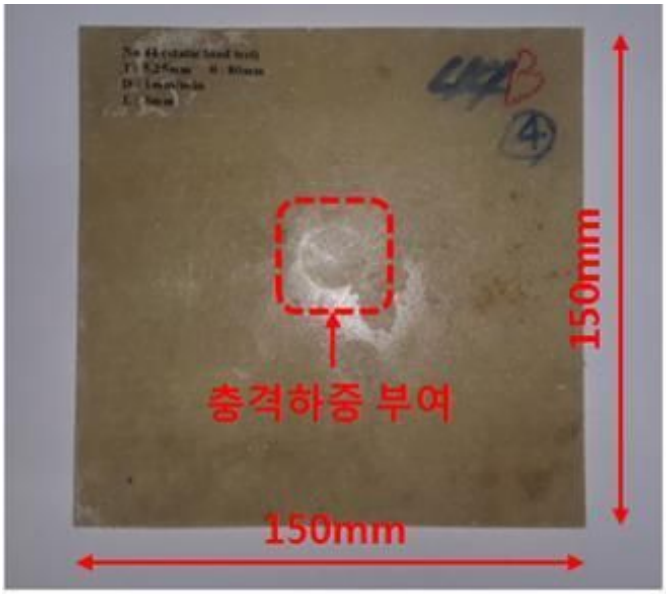


Photo. 2 The geometry of GFRP plate specimen

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

제 2절 실험방법

GFRP 평판 부재의 외력에 의한 손상을 정량적으로 측정하기 위하여 다양한 형태의 하중조건에 따른 손상을 부여하였다.

이를 위한 하중조건을 위해 정적, 충격에 의한 하중을 부여하였고 우선 정적실험은 Photo. 3과 같이 만능재료시험기(UTM)를 사용하고, 로드셀과 액츄에이터 사이에 압축지그를 설치하고 구형태의 강구(직경 80mm)를 압자로 사용하였고, 10 mm/min의 변위제어를 통해 균일한 하중이 가해지도록 Table. 2와 같이 시험을 진행하였다.

충격시험은 자유낙하와 고속충격하중을 부여하였고, 자유낙하시험은 Photo. 4와 같은 자유낙하 시험 장치를 통해 강구직경 50mm, 80mm의 steel ball을 사용하여 낙하높이 1, 2, 2.8m로 구분하여 Table. 3과 같이 자유낙하에 따른 다양한 충격하중을 부여하였다.

또한 고속충격에 의한 GFRP 평판의 손상을 측정하기 위하여 Photo. 5와 같은 충격시험장치를 이용하여 직경 10mm Steel Ball을 Table. 4와 같은 다양한 속도로 적층판에 발사하여 충격손상을 부여하였다.

다양한 외력조건에 따른 GFRP 평판의 손상평가를 위해 손상시험편을 대상으로 광계측 비파괴 검사를 통하여 손상을 평가하였다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Photo. 3 Universal testing machine

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Table. 2 Condition for compressive testing

Crosshead Speed (mm/min)	Spacemen Thickness (mm)	Displacement (mm/mm)	Initial Temperature (℃)
1	4.45	3	29
1	4.45	2	29
1	4.45	3	27
1	4.45	3	27

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Photo. 4 The Testing machine for free falls

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Table. 3 Condition for free falls testing

Height(m)	Velocity(m/s)	Impact Energy(J)	Initial Temperature (℃)
1	4.512	0.54	27
	4.177	0.54	27
	4.497	1.74	26
	4.387	1.74	27
	4.541	0.54	26
	4.819	1.74	27
	4.387	1.74	26
	4.277	0.54	28
2	6.519	3.48	28
	6.429	1.07	28
	6.263	3.48	28
	6.049	1.07	28
	6.263	3.48	28
	6.819	3.48	28
	6.049	1.07	26
	6.449	1.07	26
2.8	7.334	1.50	28
	7.951	1.50	27

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

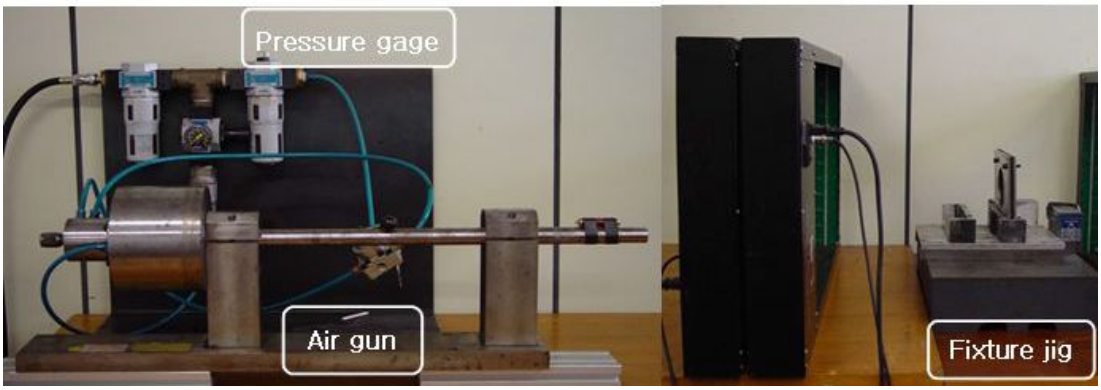


Photo. 5 Equipment for Testing on High-speed Impact

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Table. 4 Condition for high-speed impact testing

Specimen Thickness(mm)	Velocity(m/s)	Impact Energy(J)	Initial Temperature (℃)
3.90	78.015	1.09	40
4.40	77.991		25
4.90	77.981		27
3.70	96.871	1.67	30
3.95	96.451		25
4.95	96.851		27
3.65	111.961	2.20	30
4.20	111.001		30
5.75	110.981		28
4.45	124.083	2.74	28
5.00	123.819		32

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

제 3 장 광계측 비파괴 검사

제 1 절 광계측 비파괴 검사

광계측 비파괴 검사는 Holography, ESPI, Shearography의 광학적 기술을 사용하여 육안으로 결함을 판별하였던 기술을 대체하고 확장 되는 것으로 육안으로 보이지 않는 미세한 구조나 판별 어려운 결함을 빛의 신호를 사용하여 결함을 정량적으로 검사하는 기술이다.

광계측 비파괴 검사는 기존의 검사 방법과는 다르게 접촉식이 아닌 비접촉식으로 원거리 측정이 가능하므로 고온, 고전압, 방사선 등의 안전의 위협으로 접근하기 어려운 대상 체의 측정이 가능한 원거리 방식이며 빛을 확산하여 사용함으로서 넓은 영역의 측정이 가능하다. 또한 대형 구조물에서 MEMS 크기의 측정이 가능하며 최근에는 MEMS에 이르기 까지 다양한 분야에서 활발히 연구가 되고 있다.

광계측 비파괴 검사는 선진국을 중심을 우주항공산업, 풍력발전의 터빈블레이드, 자동차 외관, 플랜트 산업의 배관 등에서 결함 측정 검사를 하고 있으며 점차 그 분야가 확대가 되고 있다.

본 연구에 사용된 휴대형 광계측기는 기존의 Shearography 와 ESPI 기술의 면외·내 간섭계의 장점을 셔터 설치를 통한 기능 결합 간섭계를 통해 GFRP 평판의 변형 및 결함을 정밀 측정하고 이미지 획득 및 처리를 통해 대상물의 결함의 크기나 위치 및 변형 정보와 결함을 정량적으로 평가하고자 한다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

제 2 절 간섭계 구성

1. 면외 변형 측정 간섭계 구성

광계측 비파괴 검사를 하기 위해서는 레이저를 이용하여 면외 변형 측정이 가능한 간섭계를 구성하여야 한다. 간섭계는 Shearography 간섭 기법을 기본으로 하여 Laser, Beam Spliter(이하 BS), Lens, Mirror, Shearing Mirror, PZT Mirror, Zoom Lens, CCD Camera, Space 등 기타 광학 부품을 이용하여 구성을 하였다. Laser에서 출발한 빛은 Mirror을 따라 확산Lens를 거쳐 확산되어 물체에 조사되고, 이 조사된 빛은 물체표면에서 난반사를 일으켜 Zoom Lens를 통해 BS를 거쳐 둘로 나뉘게 된다. 그 중 하나는 Shearing Mirror에서 반사를 일으키고 다른 하나는 PZT가 장착되어 Mirror에서 반사를 일으켜 다시 BS에서 만난 후 간섭을 일으키게 된다. 이 빛은 CCD Camera에 들어오게 되며, 이 정보로부터 이미지 프로세싱을 거쳐 물체의 변형을 알 수 있다.

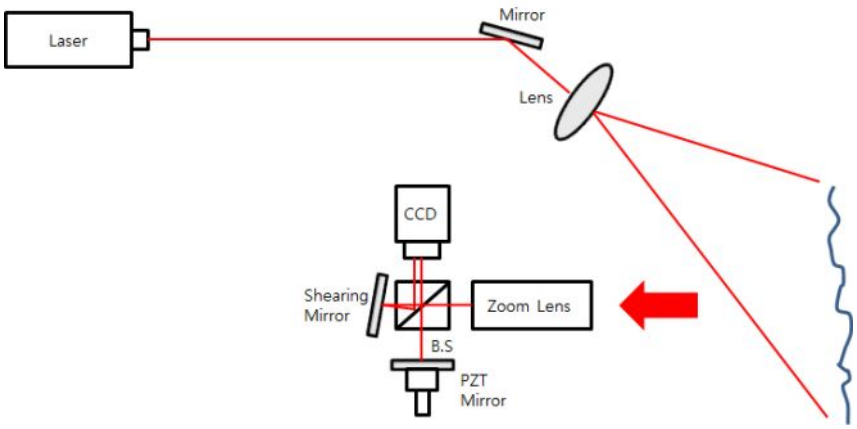


Fig. 4 Schematic Image of The Integrated Interferometer of Measuring Strain in Outer Surface

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

2. 면내 변형 측정 간섭계 구성

면내 변형 측정을 위해 구성된 간섭계는 면외 변형 측정 간섭계와 차이가 있다. 면외 변형 간섭계의 경우 물체에서 반사된 빛을 Zoom Lens를 통해 BS를 통하여 Shearing Mirror 와 PZT Mirror에서 전단량의 차이와 위상의 차이에 의해서 변형을 측정한다. 하지만 면내의 경우는 Laser에서 출발한 빛은 BS를 거쳐 둘로 나뉜 후 하나의 빛은 Mirror, 확산 Lens를 거쳐 물체에 조사되고 다른 하나의 빛은 PZT Mirror, 확산 Lens를 거쳐 물체에 조사 된다. 이 빛들은 물체 표면에서 간섭을 일으키며 난반사 되고 이 빛은 다시 Zoom Lens를 통하여 CCD Camera 들어오게 된다. 이 과정 중 PZT Mirror의 제어로 위상이동을 통하여 정보에 대한 이미지 프로세싱을 거쳐 변형에 대한 정보를 알 수 있다.

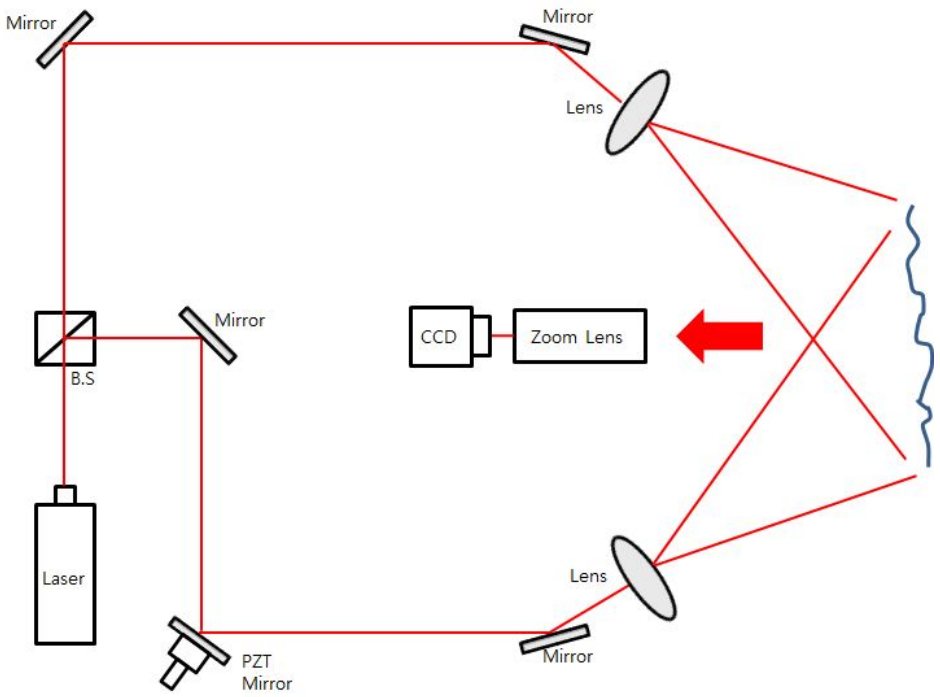


Fig. 5 Schematic Image of The Integrated Interferometer of Measuring Strain in Inner Surface

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

3. 면내 면외 변형 측정 통합 간섭계

광계측기를 이용한 내부 결함 측정을 위하여 Fig. 6, Photo. 6과 같이 레이저 면내 변형과 면외 변형의 통합 측정 간섭계를 구성하였다.

통합 간섭계를 구성하기 위해서는 Laser, Beamsplitter, Shutter, Lens, Mirror, Shearing Mirror, PZT Mirror, Zoom Lens, CCD Camera, Space 등 광학 부품이 필요하며 간섭계 내부의 광경로에 셔터를 장착하여 측정 방식에 따라 면외 변형 측정 시에는 셔터 1 또는 셔터 2를 차단시키고, 면내 변형 측정 시에는 셔터 3을 차단시킴으로서 통합간섭계를 구성하였으며, 면내 면외 변형을 동시에 측정하였다.

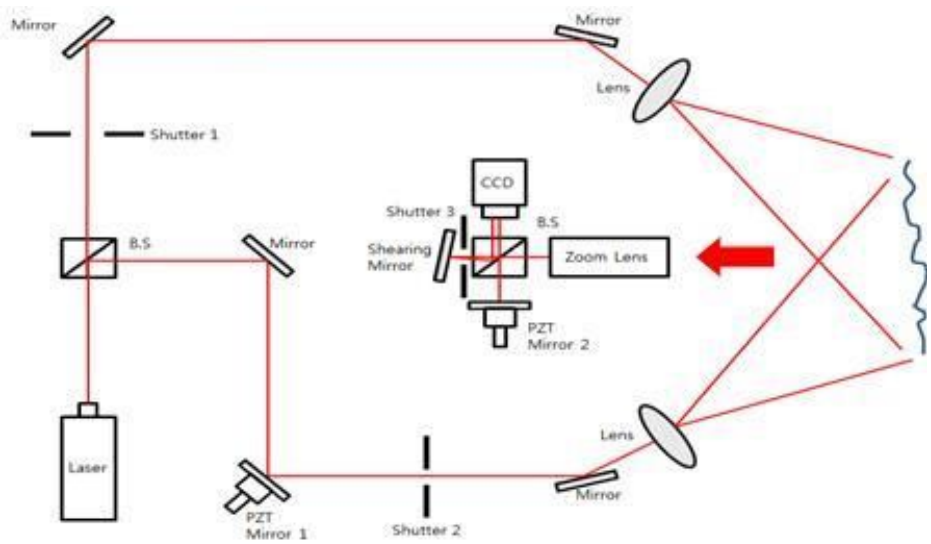


Fig. 6 Schematic Image of The Integrated Interferometer of Measuring Strain both Inner and Outer Surface

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

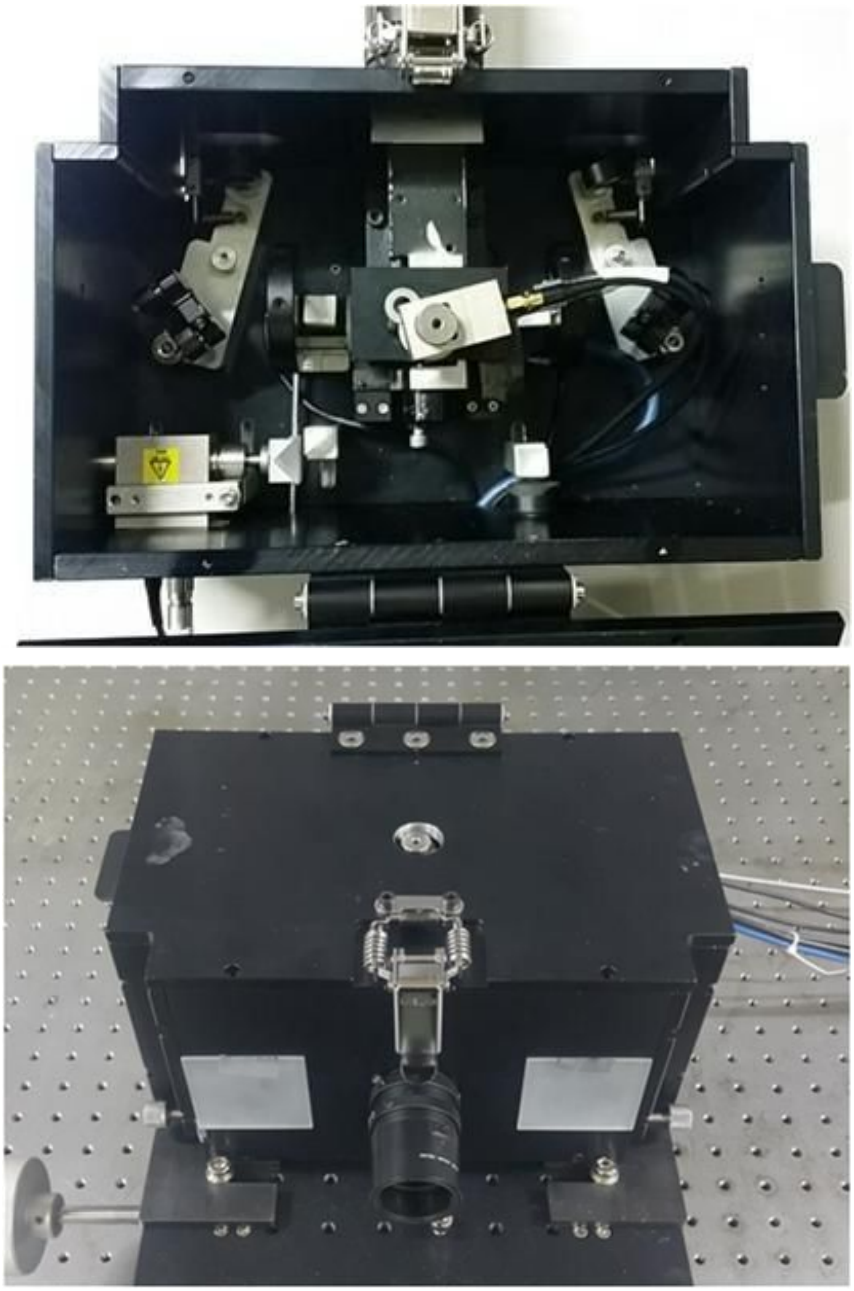


Photo. 6 The Integrated Interferometer of Measuring Strain both Inner and Outer Surface

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

제 3 절 이미지 처리 및 변형 측정

1. 위상이동 제어

PZT Mirror를 이용한 위상 이동 기법은 간섭정보로부터 물체의 변형에 따른 위상을 추출하기 위한 기법으로 가장 널리 사용되고 있으며, 가장 효과적인 방법이라고 할 수 있다. 계측용 레이저의 파장은 보통 수백 나노미터급 이므로 레이저 빛의 위상 정보로부터 변형의 정보를 측정하기 위해서는 간섭에 영향을 줄 수 있을 정도의 매우 작은 이동이 필요하다. 이러한 이유로 PZT Mirror를 제어하기 위한 정밀 제어 기술이 필요하다. 4-step 위상이동기법은 PZT Mirror의 정밀한 제어를 통해 정보를 4단계에 걸쳐 일정한 간격으로 변형 전과 변형 후를 각각 측정하고 측정 정보로부터 비교를 통하여 변형의 정도를 추출한다.

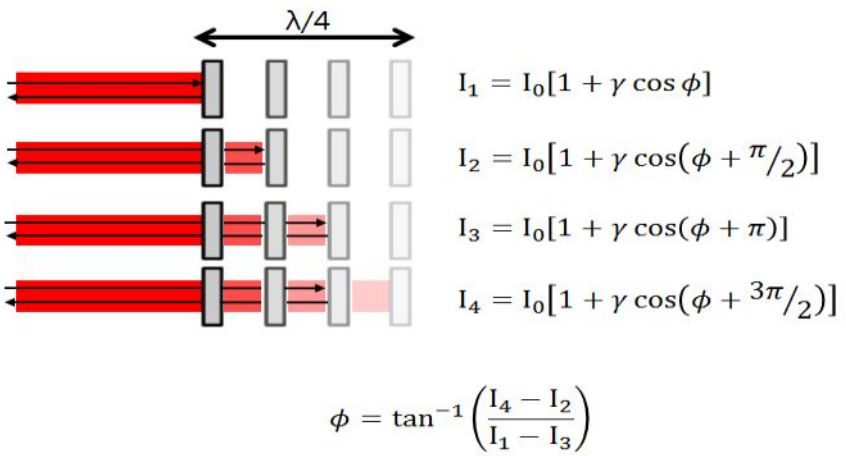


Fig. 7 Phase Movement in Quartering

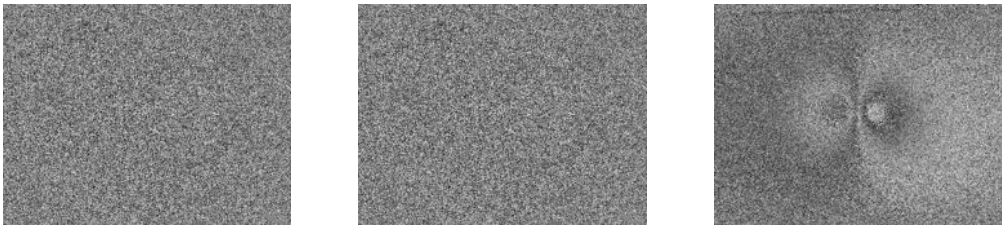
Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

2. Filtering 및 Unwrapping

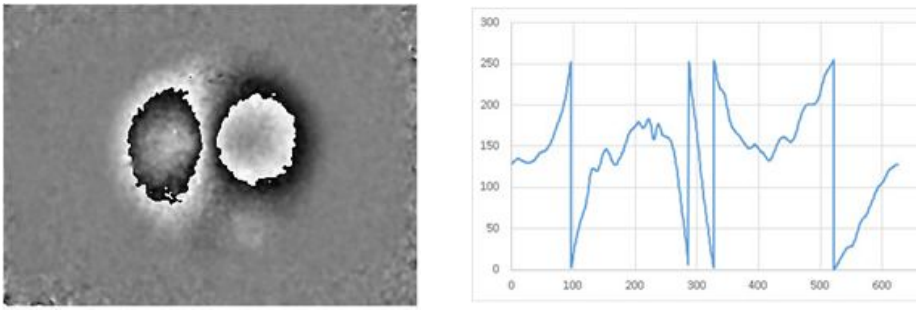
이와 같은 4장의 위상 이미지를 순차적으로 계산하고, 이미지를 통해 Phase map을 획득하고 위상정보를 저장한다. 위상 정보는 네 단계의 기준 이미지를 더하고 빼는 과정을 통해 대상물의 변형된 위상 이미지를 Fig. 8 (a) 와 같이 위상 이미지를 실시간으로 획득하고 이미지의 픽셀 Data를 저장한다.

이렇게 얻어진 이미지 픽셀 Data를 통해 Fig. 8 (c) 와 같이 Phase map 분석, Unwrapping 이미지 처리 과정 및 변형 결과 분석하여 Fig. 9, 10과 같이 필터링 이미지 및 해석영역 역산 및 결펼침를 통해 변형을 측정하였다.



(a) Before (b) After (c) Phase map

Fig. 8 Obtaining the information on phase



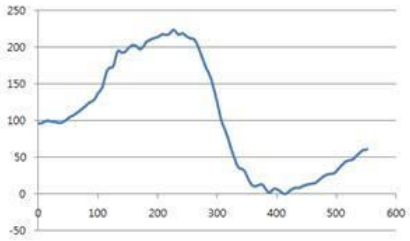
(a) Filtering image (b) Graph on filtering image

Fig. 9 Image filtering

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

(a) Goldstein



(b) Graph of goldstein

Fig. 10 Unwrapping

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

제 4 장 결과 및 고찰

충격속도에 따른 GFRP평판의 손상 평가를 위하여 광계측 비파괴 검사를 실시하여 Fig. 11 ~ 20에 도시하였다.

Fig. 11 ~ 20에서 충격속도에 따른 GFRP평판의 손상평가 실험에서 획득한 Phase map을 획득하였으며, Phase map unwrapping 이미지는 기존에 획득한 Phase map 이미지를 이미지 개선 프로세스를 통과한 후 출력된 이미지이다. Phase map 이미지와 Phase map unwrapping 이미지를 비교하였을 때 Phase map unwrapping 이미지에서 기존의 줄무늬가 사라지고 명암차이가 분명해지는 것을 확인 할 수 있다.

그림에서 알 수 있듯이 Phase map 그래프를 비교해 보았을 때 수직의 그래프 형태가 사라지고 원만한 형태의 그래프로고 변화하는 것을 확인할 수 있었다.

이러한 GFRP평판의 손상을 Phase map 및 Phase map unwrapping 이미지를 이용한 위상차를 측정한 Profile의 결과에서 확인할 수 있듯이 줄무늬의 경계를 나타낸 구간이며 줄무니 개수가 많아질수록 수직의 그래프가 증가하는 것을 알 수 있다.

Fig. 11 ~ 14는 GFRP평판의 손상을 가하기 위한 충격체가 Steel ball 직경 10mm로서 Air gun을 통한 고속충격을 행한 시험편으로서 Fig. 11은 충격속도 78m/s, 충격에너지 1.09J, Fig. 12는 충격속도 96.8m/s, 충격에너지 1.67J, Fig. 13은 충격속도 111m/s, 충격에너지 2.2J, Fig. 14는 충격속도 124m/s, 충격에너지 2.7J의 경우를 나타냈다.

Fig. 15 ~ 17은 GFRP평판의 손상을 가하기 위한 충격체가 Steel ball 직경 50mm로서 자유낙하장치를 통한 저속충격을 행한 시험편이며 Fig. 15는 낙하높이 1m로서 충격속도 4.5m/s, 충격에너지 0.54J, Fig. 16은 낙하높이 2m로서 충격속도 6.4m/s, 충격에너지 1.07J, Fig. 17은 낙하높이 2.8m로서 충격속도 7.3m/s, 충격에너지 1.5J의 경우를 나타냈다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

Fig. 18, 19는 GFRP평판의 손상을 가하기 위한 충격체가 Steel ball 직경 80mm로서 자유낙하장치를 통한 저속충격을 행한 시험편으로서 Fig. 18은 낙하높이 1m로서 충격속도 4.4m/s, 충격에너지 1.74J, Fig. 19는 낙하높이 2m로서 충격속도 6.26m/s, 충격에너지 3.48J의 경우를 나타냈다.

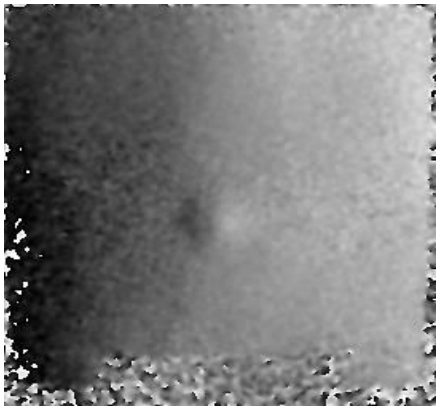
Fig. 20은 강구(직경 80mm)를 압자로 사용하여 압축지그를 10 mm/min의 변위제어를 통해 균일한 하중을 가한 경우를 나타냈다.

Fig. 21은 이와 같은 각 GFRP평판 시험편의 충격속도 및 충격에너지에 따른 손상정도를 비교하여 나타냈다. 이러한 결과에서 보듯이 광계측 비파괴검사 기법을 통하여 GFRP 평판의 충격속도에 따른 손상을 평가할 수 있음을 확인하였으며, 충격속도 및 에너지에 따른 손상평가로 충격에너지가 증가할수록 손상이 증가함을 알 수 있었으며 비슷한 충격에너지라도 충격속도가 빠를수록 충격체의 진행방향 손상이 커짐을 확인할 수 있었다.

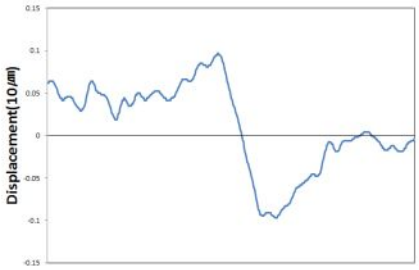
Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

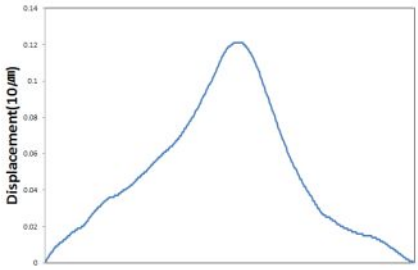
(a) Phase map



(b) Phase map unwrapping image



(c) Profile of phase map

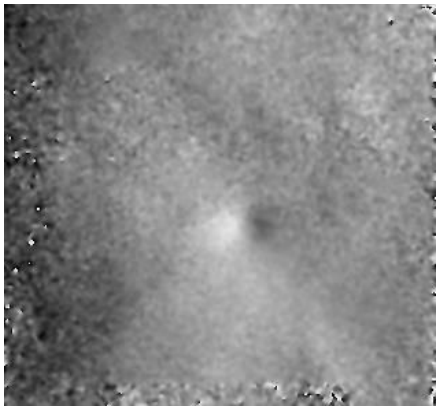


(d) Profile of unwrapping image

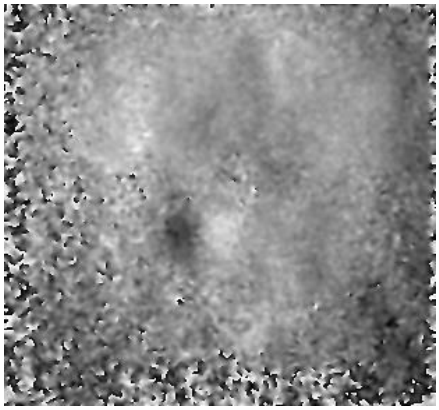
Fig. 11 The image on damage by the high-speed impact(Velocity = 78.015m/s, Energy = 1.09J)

Collection @ chosun

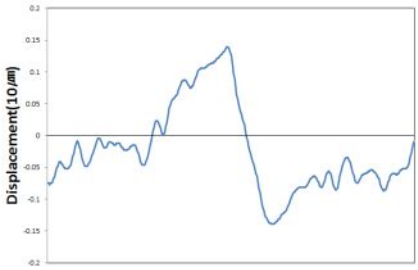
조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY



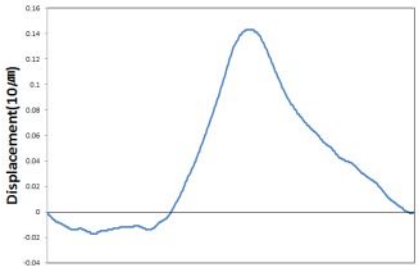
(a) Phase map



(b) Phase map unwrapping image



(c) Profile of phase map

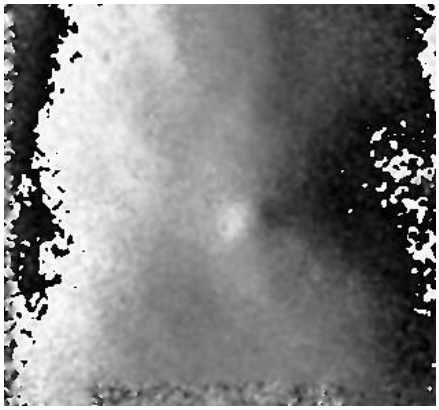


(d) Profile of unwrapping image

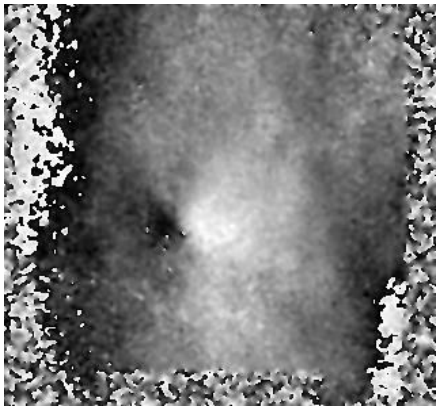
Fig. 12 The image on damage by the high-speed impact(Velocity = 96.851m/s, Energy = 1.67J)

Collection @ chosun

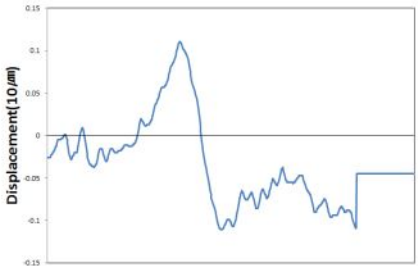
조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY



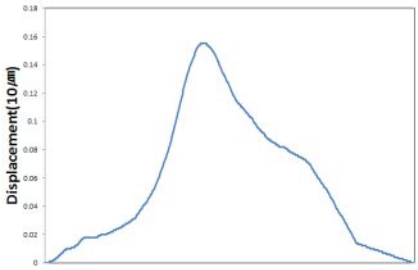
(a) Phase map



(b) Phase map unwrapping image



(c) Profile of phase map

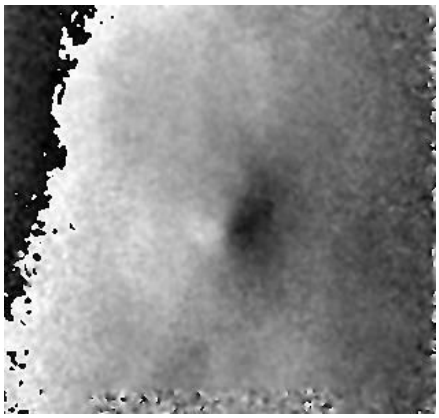


(d) Profile of unwrapping image

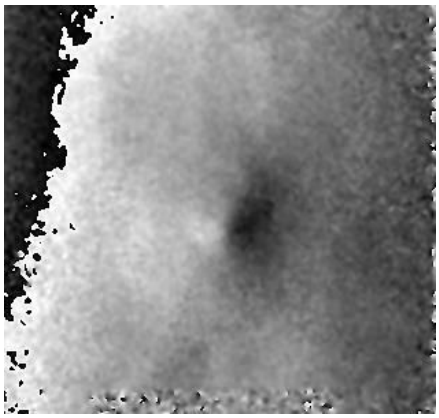
Fig. 13 The image on damage by the high-speed impact(Velocity = 111.96m/s, Energy = 2.20J)

Collection @ chosun

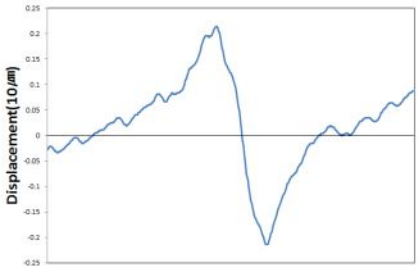
조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY



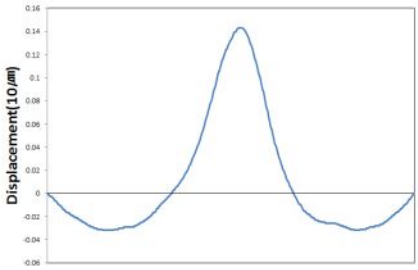
(a) Phase map



(b) Phase map unwrapping image



(c) Profile of phase map

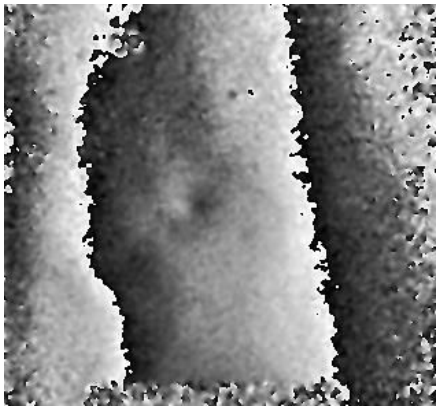


(d) Profile of unwrapping image

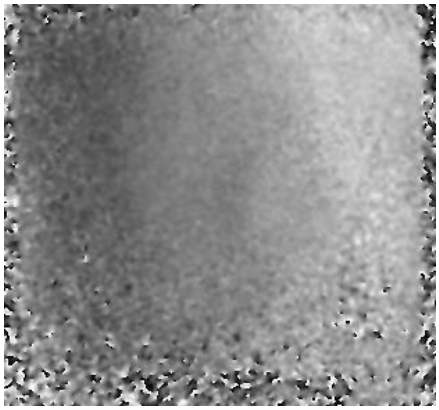
Fig. 14 The image on damage by the high-speed impact(Velocity = 124.08m/s, Energy = 2.74J)

Collection @ chosun

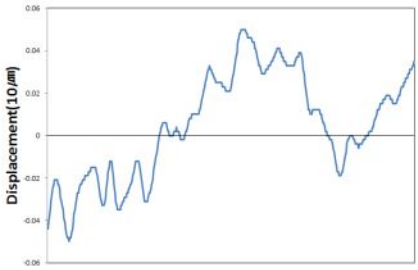
조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY



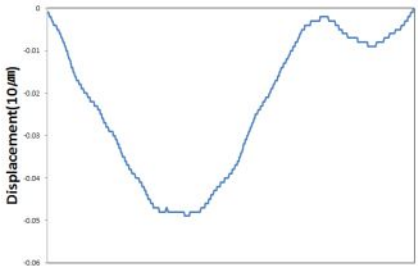
(a) Phase map



(b) Phase map unwrapping image



(c) Profile of phase map

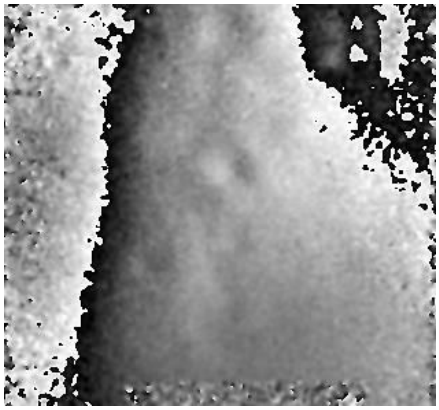


(d) Profile of unwrapping image

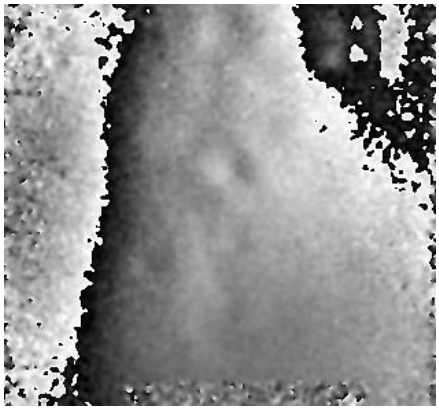
Fig. 15 The image on damage by the free falls(Size of the steel ball : 50mm, Velocity = 4.51m/s, Energy = 0.54J)

Collection @ chosun

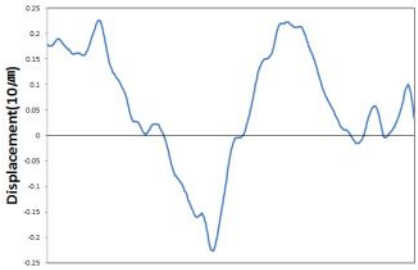
조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY



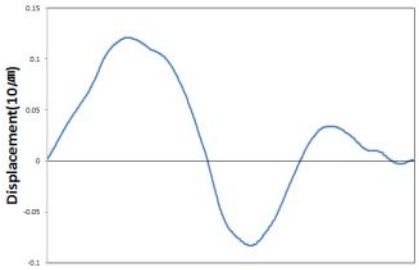
(a) Phase map



(b) Phase map unwrapping image



(c) Profile of phase map



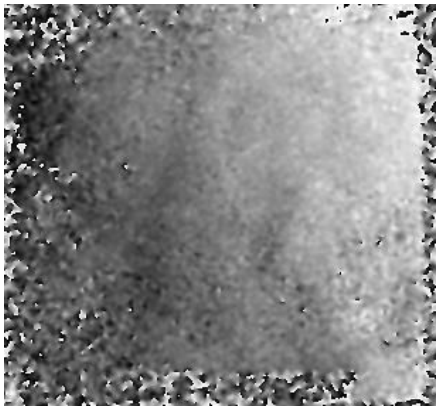
(d) Profile of unwrapping image

Fig. 16 The image on damage by the free falls(Size of the steel ball : 50mm, Velocity = 6.44m/s, Energy = 1.07J)

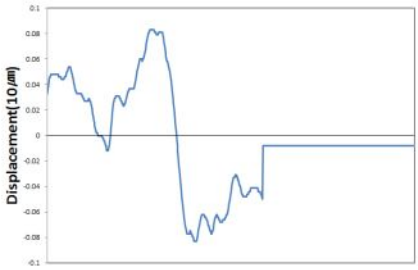
Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

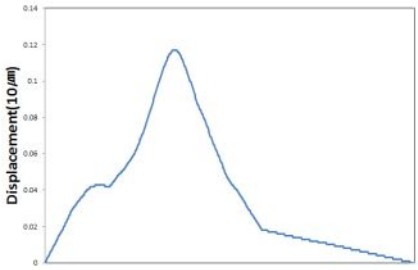
(a) Phase map



(b) Phase map unwrapping image



(c) Profile of phase map

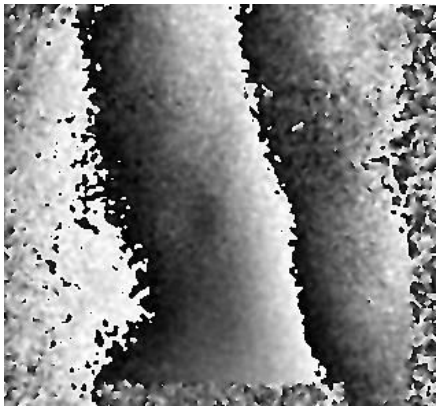


(d) Profile of unwrapping image

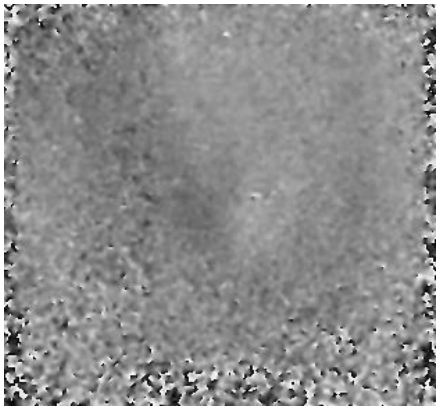
Fig. 17 The image on damage by the free falls(Size of the steel ball : 50mm, Velocity = 7.33m/s, Energy = 1.5J)

Collection @ chosun

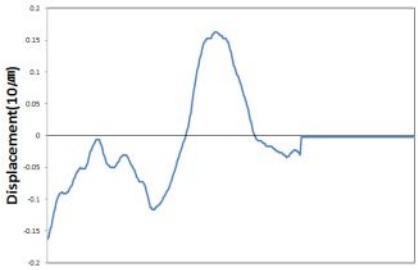
조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY



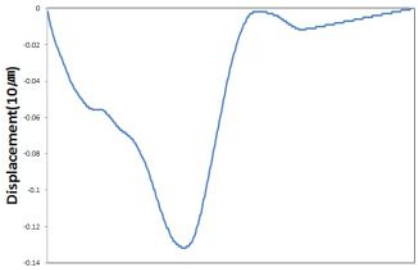
(a) Phase map



(b) Phase map unwrapping image



(c) Profile of phase map

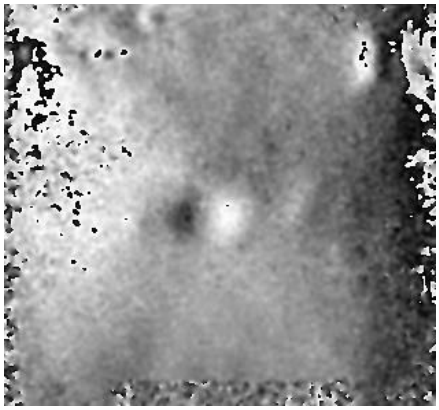


(d) Profile of unwrapping image

Fig. 18 The image on damage by the free falls(Size of the steel ball : 80mm, Velocity = 4.44m/s, Energy = 1.74J)

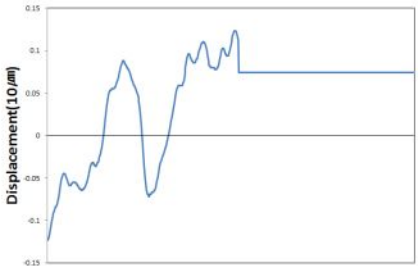
Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

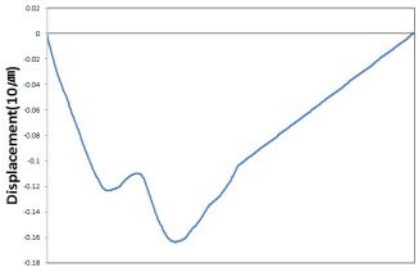


(a) Phase map

(b) Phase map unwrapping image



(c) Profile of phase map

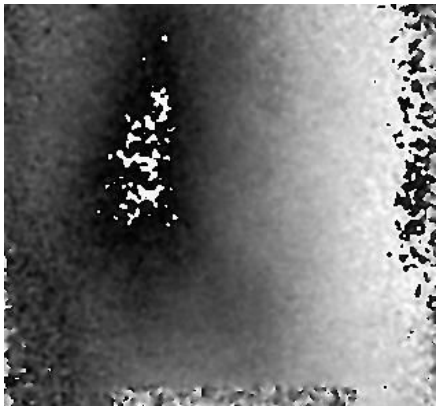


(d) Profile of unwrapping image

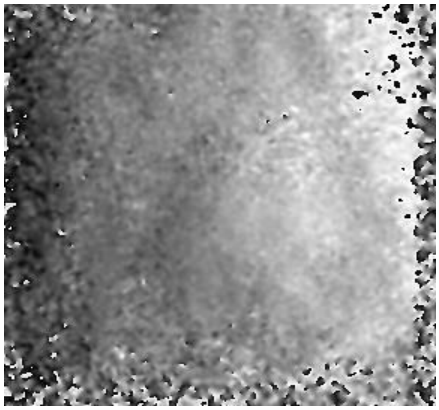
Fig. 19 The image on damage by the free falls(Size of the steel ball : 80mm, Velocity = 6.26m/s, Energy = 3.48J)

Collection @ chosun

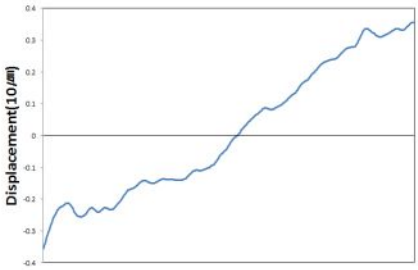
조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY



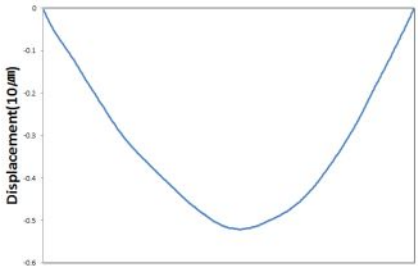
(a) Phase map



(b) Phase map unwrapping image



(c) Profile of phase map



(d) Profile of unwrapping image

Fig. 20 The image on damage by static load(Size of the steel ball : 80mm)

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

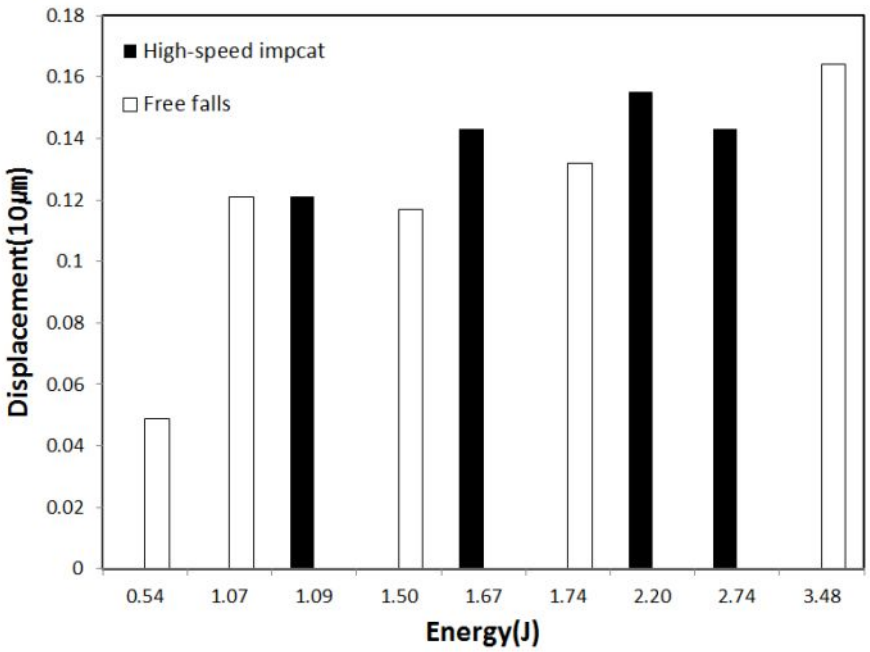


Fig. 21 Comparison of Impact Damage according to Velocity and Energy

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

제 5장 결 론

본 연구에서는 경량화를 위한 복합재료 중 대표적인 GFRP 평판을 대상으로 외부 충격 등 외력에 의한 내부 손상평가를 위해 GFRP 평판에 자유낙하, 고속 충돌을 통해 내부손상을 부여하였고 손상부위를 광계측 비파괴 검사를 통해 내부 손상을 평가하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 광계측 비파괴검사를 통해 GFRP 평판의 손상평가가 가능함을 확인할 수 있었다.

2. GFRP 평판의 충격속도에 따른 손상평가에서 같은 충격에너지로 충돌하더라도 충격체의 질량의 작고 속도가 빠른 경우가 질량이 크고 속도가 느린 경우보다 충격체 진행방향의 손상량이 더 크게 관찰되었다.

3. GFRP 평판의 손상평가를 위해 광계측 검사를 행할 경우 측정의 방향시 측정치의 약간의 변화가 있었다.

4. 이러한 약간의 측정치 변화는 광계측 비파괴 검사가 레이저를 사용하는 측정 방법의 특성상 광원과 시험편의 정확한 위치에서 측정되어야 하나 시험 환경 특성상 정확한 측정이 어렵고 GFRP 평판의 표면의 요철로 인한 빛의 난반사로 인하여 측정 시 약간의 차이를 보인 것으로 보인다.

5. 광계측 비파괴 검사의 유효성 확보를 위해서는 광원과 측정물 및 카메라의 위치를 정확하게 고정하고 제어하는 장치를 보완하면 보다 정확한 측정이 가능할 것으로 보인다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

6. 시험편 제작 시 소재의 이동 및 보관 방법 및 절단, 적층방법, 성형압력 등 제작방법에 대한 정확성을 통하여 실험 데이터의 재현성 확보가 요구됨을 알 수 있었다.

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

참 고 문 헌

1. 임종대. “자동차 경량소재 부품화 공정기술 동향.”, 한국자동차공학회, pp34-47, Vol.27, No.6, 2014.
2. 정선경. “자동차 제동장치 경량화와 설계 및 제작기술”, KOSEN Report(10768) 최첨단 기술 보고서, 2016
3. 김경환. “CFRP 적층판의 적층두께에 따른 물성치 예측 연구.” 조선대학교 석사논문, 2015.
4. 김형석, 김진우, 김용재, 이동기. “GFRP 복합재료의 압축성형에서 표면요철에 미치는 성형조건의 영향.” 『한국대한기계학회지』, Vol.34, No. 11 pp.1649-1657, 2010.
5. 강성직. “FEM을 이용한 Hole가공 CFRP 적층판의 응력해석.” 조선대학교 석사논문, 2016
6. 김대영. “FEM을 이용한 원형단면 CFRP 구조부재의 정적 압궤 특성연구.” 조선대학교 석사논문, 2016
7. “아우디 초경량 GFRP 스프링 개발.” 『오토스파이넷 자동차뉴스』, 2014
8. 김태익. “자동차 범퍼빔용 유리섬유/폴리프로필렌 프리프레그의 제조 및 특성” 조선대학교 박사논문, 2013
9. 이춘호. “GFRP를 이용한 승용차용 충격빔의 기계적 성질.” 조선대학교 석사논문, 2000
10. 김진우. “GFRP 복합재료의 섬유 배향과 함유율이 인장강도와 고속충격 흡수에너지에 미치는 영향.” 조선대학교 박사논문, 2008
11. 정연권. “유리섬유강화플라스틱(GFRP) 가드레일 거동연구.” 계명대학교 석사논문, 2010
12. 이기호. “ GFRP-Aluminum Honeycomb 하이브리드 적층판의 파괴거동과 음향방출 해석에 대한 연구.” 한양대학교 석사논문, 2009

Collection @ chosun

조선대학교
CHOSUN UNIVERSITY

13. 이용택. “GFRP 록볼트의 인장 및 전단성능에 관한 연구.” 한양대학교 석사 논문, 2009
14. 이상동, 김혁, 이동기, 한길영, "섬유배향각 분포측정에 있어서 농도법의 정밀도에미치는 섬유종횡비와 면적비의 영향." 『대한기계학회논문집(A)』 Vol.22, No.4, 953-959, 1998
15. 임재규, 신재훈, 박한주, T.ShojiandH.Takeda. "자동차용 고강도 폴리머 복합재료의 변형과 강도에 관한 연구."『대한기계학회논문집(A)』,Vol.22, No.4, 1082-1088, 2001
16. 신익재, 이동주, 김홍건, "고속압밀법에 의해 제작된 유리섬유강화 PET 기지 복합 재료의 최적제작조건."『대한기계학회논문집(A)』,Vol.26, No.5 813-821, 2002
17. 김혁, 이동기, 한길영, 김이곤, "장섬유강화 고분자 복팝판의 섬유배향각 분포측정에 있어서 농도법의 정밀도."『한국복합재료학회지』, Vol.9, No.2, 23-34, 1996
18. 최홍섭, J.D.Achenbach, "횡방향 전단하중을 받는 단일방향 복합재료의 미시역학적 거동연구."『대한기계학회논문집(A)』, Vol.21, No.11, 1896-1911, 1998
19. 변준형, 이상관, 엄문광, 김태원, "TwistedYarn복합재료의 물성치 시험 및 탄성계수예측."『한국복합재료학회지』, Vol.15, No.6 30-37, 2002
20. F.Ozdil, L.A.Carlsson, "Beam analysis of angle-ply laminate DCB specimen", CompositesScienceandtechnology, Vol.59, No.2, pp.305-315, 1999.
21. S.Bennati, M.Colleluori, D.Corigliano, P.s.Valvo, "An enhanced beam theory model of the assymmetric double cantilever beam test for composite laminates" ,Composite Science and Technology, Vol.69, pp.1735-1745, 2009

Collection @ chosun