

## 전선작업용 고소작업차의 복합재 절연붐 개발

강동명<sup>\*,#</sup>, 조규춘<sup>\*</sup>, 황택주<sup>\*</sup>, 심기중<sup>\*</sup>, 국호영<sup>\*\*</sup>, 김진수<sup>\*\*</sup>, 박문호<sup>\*\*\*</sup>

<sup>\*</sup>군산대학교 기술혁신센터, <sup>\*\*</sup>전주대학교, <sup>\*\*\*</sup>(주)진우에스엠씨

## A Study on the Composite Insulation Boom Development of the Aerial Work Platform for Electric Work

Dongmyeong Kang<sup>\*,#</sup>, Kyuchun Cho<sup>\*</sup>, Taekju Hwang<sup>\*</sup>, Kijoong Sim<sup>\*</sup>, Ho-Hyeong Guk<sup>\*\*</sup>,  
in-Soo Kim<sup>\*\*</sup>, Moon-ho Park<sup>\*\*\*</sup>

<sup>\*</sup>Kunsan Technology Innovation Center, <sup>\*\*</sup>Jeonju University, <sup>\*\*\*</sup>JinwooSMC Company

(Received 6 March 2018; received in revised form 1 April 2018; accepted 5 April 2018)

### ABSTRACT

This study describes the 3D design and analysis of a composite insulation boom of an aerial work platform for electric work. Structural analysis of the composite insulation boom was performed using ANSYS and the total deformation, equivalent stress, and normal elasticity were investigated at 150 mm, 500 mm, 1,000 mm, and 1,500 mm using a mounted strain gauge. The results of the analysis and test were similar in a linearly increasing slope and the difference in the strain value was about 10%. This difference depends on the compressive force in the manufacturing process.

**Key Words** : Insulation Boom(절연붐), Composite(복합재), Aerial Work Platform(고소작업차), Structural Analysis(구조해석), Equivalent Stress(등가 응력), Normal Elasticity(변형률)

### 1. 서 론

최근 고층 건물들이 산업의 발달함으로 늘어나고 있는 추세이다. 특히 산업에 발달에 비례하여 많은 전력을 사용하게 되는데 이에 따라 많이 사용하는 만큼 정기적인 점검과 보수도 중요시 되고 있다. 또한 많은 전력을 소비하는 고층건물 산업단지 등의 경우 고전압으로 인해 일반 적인 고소작업 차량으로는 감전 사고나 인적 피해 및 화재로 이어질 수 있다.

이런 문제를 해결하기 위해 현재 절연 고소작업차를 개발하고 있는 추세이며, 그에 따른 수요가 매년 증가하고 있다.<sup>[1-2]</sup> 절연 고소작업차는 작업 진행 시 감전과 화재에 관한 피해를 미연에 방지할 수 있는 차량이다. 일반 고소작업차는 붐 버킷에 작업자를 태운 상태에서 작업을 진행하고 고층 배관 및 고압 전선 전기공사의 작업은 감전의 위험에 노출되어 있으며 이에 따른 대책이 매우 시급하다. 이러한 상황을 미연에 방지하기 위하여 국내에서는 절연 고소작업차가 관심을 받고 있으며, 많은 절연 고소작업차 선진국의 절연 붐을 전량 부품 수입에 의존하고 있다. 본 연구는 절연 붐을 성공적인 국산화 개발을 위하여 개발 절연 붐과 선진국의 수입

# Corresponding Author : kdmgogogo@kunsan.ac.kr

Tel: +82-63-462-4865, Fax: +82-63-462-4868



Fig. 1 The aerial work platform of the Electric Work

절연 붐과 CAE해석과 시험을 통하여 성능 비교 분석을 하고자 한다.<sup>[3-4]</sup> 절연붐의 성능 평가 시험규격은 영국의 EN 280-2013 및 일본의 JIS 9690\_2013으로 고소작업차 (MEWPs)에 대한 기술상의 안전 요구 사항 및 방호 수단 점검 방법에 대해 규정한다. EN 280-2013 및 JIS 9690\_2013 두 시험 방법 모두 붐의 안전에 관한 내용을 가지고 있으며, 실제 붐의 설치된 상태인 시험 지그로 붐을 감싸는 형태로 선진국 절연 붐과 국산화 절연 붐의 성능 평가를 진행하여 성공적인 개발을 진행하고자 한다. 또한 개발 전 미리 안전성을 파악하기 위해 3차원 CAD 프로그램 CATIA를 사용하여 붐을 모델링 하였고, 구조해석 프로그램 ANSYS를 이용하여 붐의 정적 구조해석을 수행한다. Fig. 1은 30m급 고소작업차 형상을 보여주고 있다.

## 2. 시험편

Fig. 2 는 시험에 사용할 붐의 형상을 보여주고 있다. 선진사 제품과 개발 제품의 시험편 붐 모델은 242mm × 242mm 정사각형의 길이는 6m의 1단 붐이며 미국의 WACO BOOM(Specimen1) 시험편은 두께가 16mm, WACO BOOM의 벤치마킹하여 제작한 시험편(Specimen2)은 두께가 18mm로 두께를 제외한 모든 제원은 같으나, GFRP특성상 적층수(Ply)가 많고 적은 두께인 제품이 기술력이 뛰어난 것으로 시험편 1과 시험편 2를 비교하기 위해 WACO BOOM과 개발 시험편을 준비하였으며, 붐의 재료는 GFRP(glass fiber reinforced plastics)로서 유리 섬유

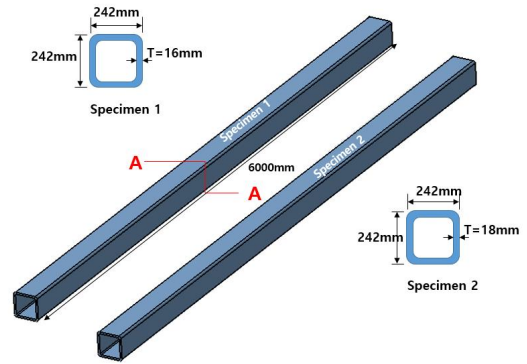


Fig. 2 The composite insulation boom size

유로 보강된 강화플라스틱으로써 고유가 시대에 경량화와 고강도의 재료로서 스틸을 대체하는 재료로 사용되고 있다.

Table 1은 본 실험에 사용한 붐 재료의 기계적 성질을 보여주고 있다. Table 2 WACO BOOM 시험편 와인딩 과 Table 3은 개발시험편 와인딩을 보여주고 있다. Table 2의 Ply는 GFRP제품 제작시 재료인 유리섬유의 적층수를 말하며 Ply angle는 적층시 적층 각도를 의미한다. Ply 수가 많을수록 강도에 영향을 주고 많은 Ply수를 적은 두께로 제작하는 것에 따라 기술력이 판가름 된다.

Table 1 Mechanical property of glass fiber UD

Material		Glass UD
Density	$\rho$	1,900kg/m <sup>3</sup>
Modulus of elasticity	$E_1$	40 GPa
	$E_2, E_3$	8 GPa
Poisson's Ratio	$U_{12}, U_{13}$	0.25
	$U_{23}$	0.42
Tensile strength	$S_{11T}$	1,000 MPa
	$S_{22T}, S_{33T}$	30 MPa
Compressive strength	$S_{12C}$	600 MPa
	$S_{13C}, S_{23C}$	110 MPa
Shear strength	$S_{12C}$	40 MPa
	$S_{13C}, S_{23C}$	22 MPa
Shear modulus	$G_{12}, G_{13}$	4 GPa
	$G_{23}$	3.2 GPa

**Table 2 Ply angle of WACO boom (46ply)**

Layer	1	2	3	4	5	6	7
Angle	-25	22	-25	22	-25	26	-25
Layer	8	9	10	11	12	13	14
Angle	22	-25	19	-28	22	-27	20
Layer	15	16	17	18	19	20	21
Angle	-27	50	-46	47	-45	23	-27
Layer	22	23	24	25	26	27	28
Angle	18	-30	19	-30	24	-25	23
Layer	29	30	31	32	33	34	35
Angle	-22	25	20	35	-30	35	-30
Layer	36	37	38	39	40	41	42
Angle	35	34	34	-30	30	-30	30
Layer	43	44	45	46			
Angle	-30	59	80	-80			

**Table 3 Ply angle of development boom (31ply)**

Layer	1	2	3	4	5	6	7
Angle	-25	22	-25	22	-25	26	-25
Layer	8	9	10	11	12	13	14
Angle	22	-25	19	-28	22	-27	20
Layer	15	16	17	18	19	20	21
Angle	-27	50	-46	47	-45	23	-27
Layer	22	23	24	25	26	27	28
Angle	18	-30	19	-30	24	-25	23
Layer	29	30	31				
Angle	-22	25	20				

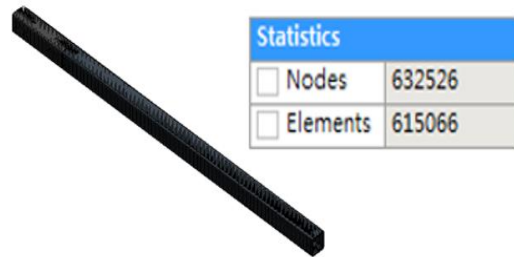
### 3. 해석

#### 3.1 메쉬 및 경계조건

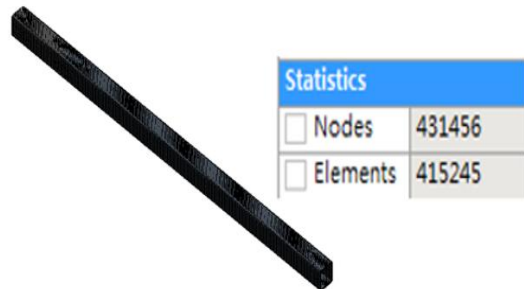
본 해석은 시험편1 (Specimen1) 과 시험편2 (Specimen2) 2가지의 모델로 해석을 진행하였으며, 시험을 진행하기 전에 변형률(Strain) 값을 통하여 취약부를 확인하였다. 확인된 취약부에 스트레인

게이지를 부착한 시험을 통하여 해석에 대한 신뢰성을 확인하는 동시에 시험편에 대한 안전성을 검증할 예정이다. 해석에 사용한 프로그램은 ANSYS R16을 진행하였다. 해석의 메쉬 크기(Mesh Size)는 10mm로 선정하였으며, Fig. 3은 메쉬(Mesh) 조건인 Nodes와 Elements를 보여주고 있다.

Fig. 4는 시험편 모델에 대한 경계 조건으로 시험편 끝 부분 부터 1000mm 부분으로 고정하고 선단에 시험 적용 하중인 450kgf(4410N)을 적용하여 시험편1 (Specimen1) 과 시험편2(Specimen2) 의 총 변형량(Total Deformation), 등가응력(Equivalent Stress), 탄성변형(Normal Elastic Strain)을 확인하고 제품 비교 분석을 진행하겠다.<sup>[5~8]</sup>



(a)Mesh Size 10mm(Specimen1)



(b)Mesh Size 10mm(Specimen2)

**Fig. 3 Mesh information of the boom**

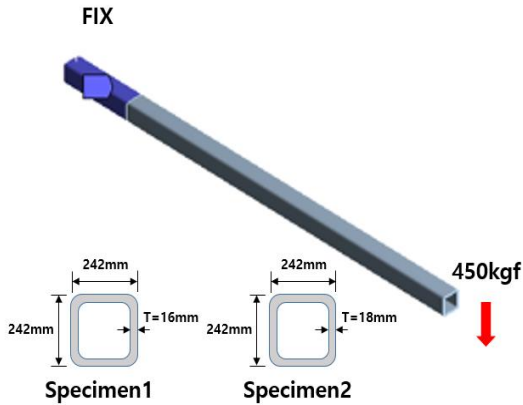


Fig. 4 Boundary conditions of the boom

### 3.2 해석 진행

두 시험편을 비교하고 구조적 안전성을 파악하기 위해 해석을 진행하였으며, 시험편1(Specimen1)은 GFRP의 적층 수가 46 Ply으로 개발 제품보다 15Ply 적층 수가 많으며, 두께는 16mm로 개발 제품보다는 2mm 정도 적다. 해석 결과 총 변형량 (Total Deformation) 의 최대로 발생한 부분은 BOOM의 끝단부에서 발생되고 값은 136.18mm 이였으며, 등가응력 (Equivalent Stress)는 고정부에서 가장 최대로 발생하였고 값은 140MPa이다. Fig. 5 는 두 모

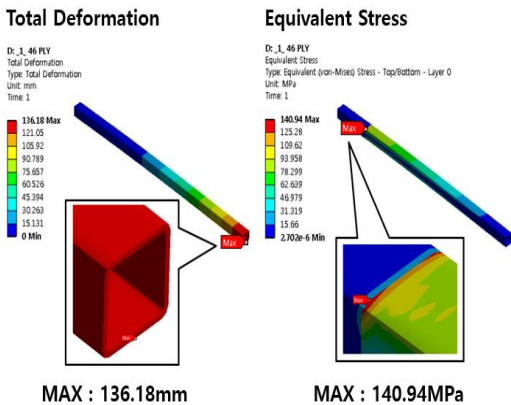


Fig. 5 Specimen1 structural analysis results

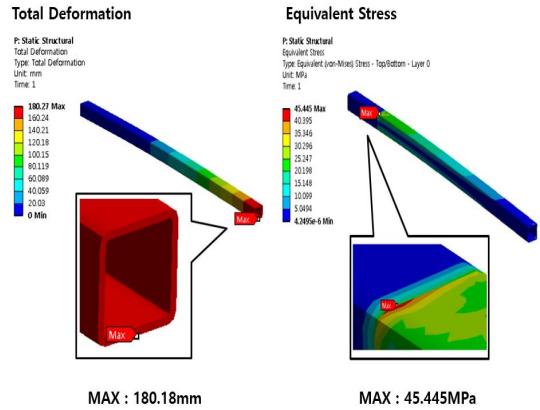


Fig. 6 Specimen2 structural analysis results

델링 중 시험편1(Specimen1)의 총변형량(Total Deformation), 등가응력(Equivalent Stress) 해석결과 값을 나타낸 것이다.

시험편2(Specimen2)는 GFRP의 적층 수가 31Ply으로 시험편1(Specimen1) 제품보다 15Ply 적층 수가 적은, 두께는 18mm로 개발 제품보다는 2mm 정도 두꺼우며, 제품 제작 시 압축 과정이 아직 미흡한 것으로 판단되며 해석결과 총변형량(Total Deformation)은 180.27mm 이였으며, Specimen1 과 같이 BOOM의 끝단부에서 발생하였고, 등가응력 (Equivalent Stress)는 180MPa 고정부에서 최대로 발생하였다. Fig. 6은 두 시험 편 중 시험편2 (Specimen2)의 총변형량 (Total Deformation), 등가응력(Equivalent Stress) 값을 나타낸 것이다.

시험편1(Specimen1) 과 시험편2(Specimen2)의 3D 모델링을 해석 통해 탄성변형(Normal Elastic Strain) 값을 확인하고 시험 값을 비교하고 경향성을 판단 하기 위한 방법으로 시험에서 진행할 변형량 측정기(Strain Gauges)의 부착 위치인 150mm, 500mm, 1000mm, 1500mm 구간의 탄성변형(Normal Elastic Strain) 값을 확인하고 시험 값과 비교하여 현재 해석진행 방법에 대한 신뢰정도를 확인하기 위하여 다음과 같이 해석을 하였다. Fig. 7은 시험편 (Specimen1)의 탄성변형(Normal Elastic Strain) 결과 값을 Table 4에 구간 별로 나타낸다.

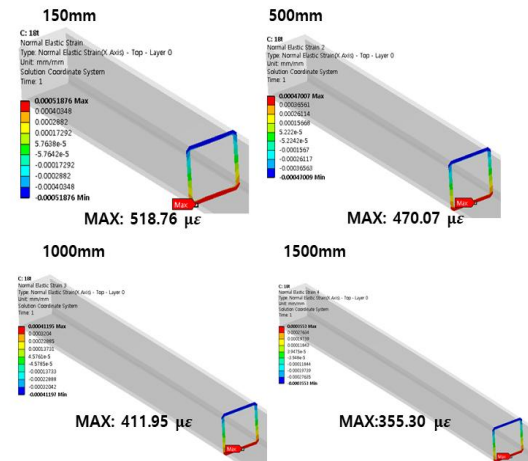
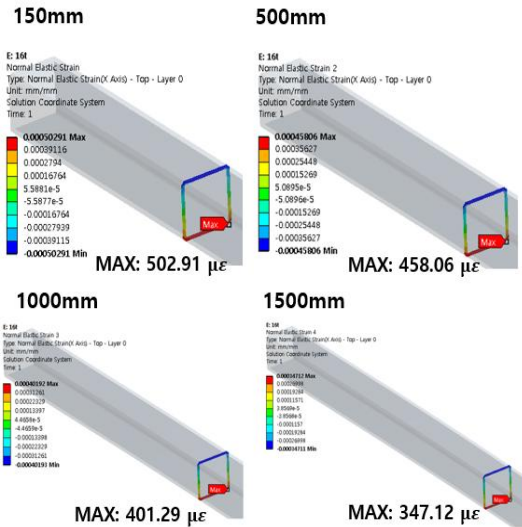
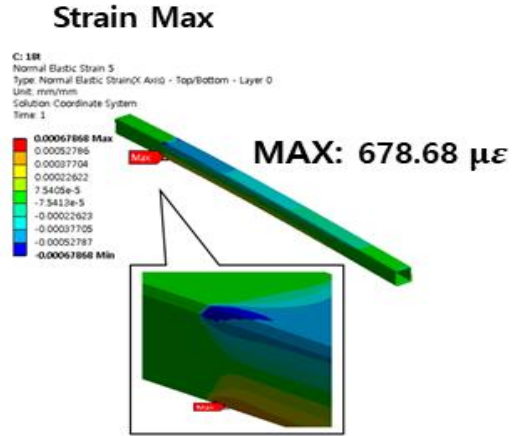
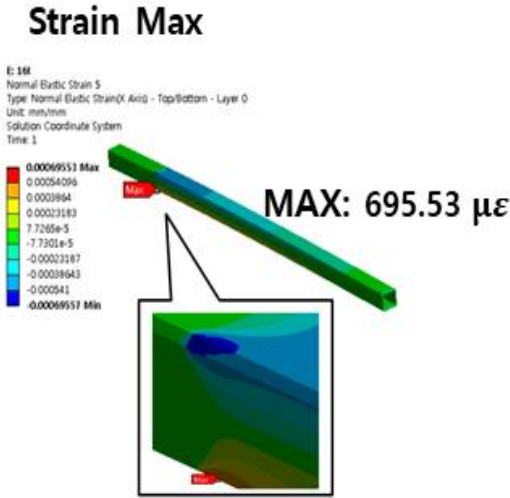


Fig. 7 Specimen1 strains according to distance

Fig. 8 Specimen2 strains according to distance

Table 4 Specimen1,2 normal elastic strain

Section	Strain1	Strain2
MAX	695.53 $\mu\epsilon$	678.68 $\mu\epsilon$
150mm	502.91 $\mu\epsilon$	518.76 $\mu\epsilon$
500mm	458.06 $\mu\epsilon$	470.07 $\mu\epsilon$
1000mm	401.92 $\mu\epsilon$	411.95 $\mu\epsilon$
1500mm	347.12 $\mu\epsilon$	355.30 $\mu\epsilon$

Fig. 8은 시험편2(Specimen2)의 탄성변형(Normal Elastic Strain) 값을 구간 별로 확인하였고, Table.4는 시험편1(Specimen1) 과 시험편2(Specimen2)의 탄성변형(Normal Elastic Strain) 결과 값을 정리하였다. 값을 확인해보면 두 가지 모두 탄성변형(Normal Elastic Strain)이 고정부에 최대로 나타났고, 끝단부에 가장 낮은 부분으로 나타났다.



### 3.2.4 해석 진행 결과

본 해석은 2가지 모델로 시험편1(Specimen1)과 개발 시험편인 시험편2(Specimen2)의 2가지 모델로 해석을 진행한 결과 시험편1(Specimen1) 총변형량(Total Deformation), 등가응력(Equivalent Stress) 값은 Fig.5 과 같이 총 변형량(Total Deformation) 136.18mm 등가응력(Equivalent Stress) 140.94MPa 확인하였고, 시험편2(Specimen2) 총변형량(Total Deformation), 등가응력(Equivalent Stress) 값은 Fig.6 과 같이 총변형량(Total Deformation) 180.27mm, 등가응력(Equivalent Stress) 45.44MPa으로 확인하였다. 탄성변형(Normal Elastic Strain) 구간별 값은 Fig. 7 과 Fig. 8 에서 확인 하였고, Table 4 에 정리 하였다. Fig. 7과 Fig. 8은 고정되는 부분으로 가까울수록 탄성변형(Normal Elastic Strain) 값이 증가하는 것을 알 수 있으며, 그 부분이 변형이 많은 만큼 등가응력(Equivalent Stress)값도 같은 부분에서 최고값이 나오는 것을 확인 할 수 있었다. 이는 시험지그와 볼이 겹침 구간 때문에 등가응력(Equivalent Stress)와 탄성변형(Normal Elastic Strain) 값이 높은것으로 확인된다.

## 4. 시 험

### 4.1 시험 장치 및 set-up

본 시험에서 절연 볼에 준정적 하중을 가하기 위해서 선형 내구 시험기를 사용하였다. 계측 장비는 e-DAQ Plus를 사용하였으며, 변형량 측정기(Strain Gauge) 종류는 KYOWA KFG-5-350을 사용하였다.

시험은 Fig. 9와 같이 선형 내구 시험기와 지그를 이용하여 진행하였다. 시험 방법은 시험편인 절연 볼을 완전히 볼과 볼이 겹치는 구간을 고정하고, 하중은 볼의 최대 적재 하중인 450kgf로 설정 후 변형량 측정기(Strain Gauges)를 그림과 같은 위치이다.

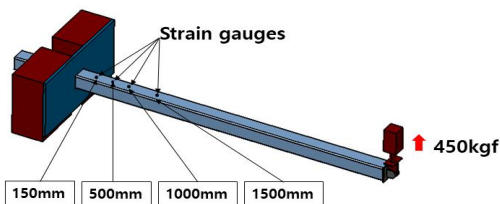


Fig. 9 Schematic diagram of the test equipment

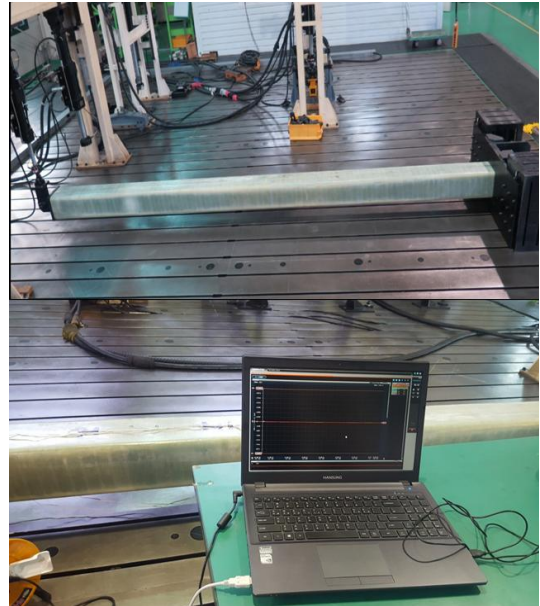


Fig. 10 Strain measurement of the boom test

고정부로부터 150mm, 500mm, 1000mm, 1500mm의 거리에 부착하였다. 부착한 변형량측정기 (Strain Gauges)로부터 변형(Strain) 값, 선형 내구 지그로부터 하중 이력과 변위 이력을 계측하였다.

### 4.2 시험 결과

Fig. 10과 같이 시험편1(Specimen1), 시험편 2(Specimen2)의 고정점으로부터 각각 150mm, 500mm, 1000mm, 1500 mm의 위치에 변형량 측정기(Strain Gauge)를 부착하여 그 값을 측정 하였다. Fig. 11은 시험편1(Specimen1) 시험에서 탄성변형(Normal Elastic Strain)의 측정값과 해석한 결과의 탄성변형(Normal Elastic Strain)을 그래프로 나타내었다. Fig. 11 와 Fig. 12 의 그래프를 보면 변형량 측정기(Strain Gauge) 와 탄성변형(Normal Elastic Strain)의 마지막 측정값 중 가장 큰 차이를 보이는 150mm를 비교해보면 시험편1(Specimen1)의 해석 값은  $502 \mu \epsilon$  시험 값은  $450 \mu \epsilon$  으로 약 10%의 차이를 볼 수 있었고 변형(Strain)구간의 길이가 길어 질수록 오차는 범위는 줄어드는 것으로 확인 되었다.

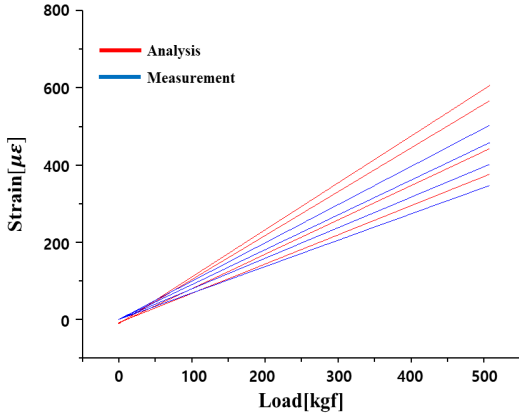


Fig. 11 Specimen1 comparison of test and analysis results

## 5. 결론

본 논문에서는 절연봉 시험 기준으로 EN 280\_2013 및 JIS 9690\_2013을 바탕으로 절연 고소작업차에서 사용하는 2가지 GFRP 봉의 구조해석 진행과 변형량 측정기(Strain Gauge)를 부착하여 변형(Strain) 측정시험 통하여 상호 비교를 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

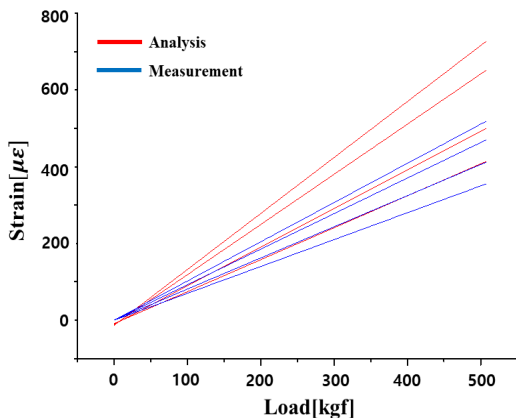


Fig. 12 Specimen2 comparison of test and analysis results

1) 해석 결과 Specimen2가 Specimen1보다 Equivalent Stress를 더 적게 영향을 받는 것으로 나타났다. Specimen2의 Ply가 Specimen1보다 적은 관계로 Ply 수가 적은 만큼 수지가 부족한 부분을 차지하게 되어 차이가 있는 것으로 보이며, 이를 보강하기 위해서는 Ply수를 높이고 가공 과정에서 압력을 더하는 방향으로 설계 및 제작 시에 고려할 필요가 있다.

2) Specimen1과 Specimen2의 스트레인 값은 해석 결과와 시험 모두 최대 strain 값은 고정부에서 나타났으며, 이 부분은 봉과 봉을 연결해주는 부위를 토대로 지그를 제작하였기 때문에 부문의 강도 높이는 설계 변경이 필요하다.

3) 해석 결과와 시험 결과 값을 보면 선형적으로 증가하는 경향과 비슷한 기울기를 보여주고 있으며, strain 값의 비교 결과 약 10% 차이가 있었다. 결과 비교 값의 오차범위가 약 10%인 것으로 보아 해석방법이 어느 정도 정확성을 가지고 있으며, 또한 약 10%의 오차는 봉 제작 시 작업자나 금형을 압축력에 따라 제품의 강도 강성에 변수가 작용하는 것으로 판단되고 많은 Ply 수의 GFRP 봉의 제작 시 압축 기술력을 높인다면 충분히 비교 제품인 WACO BOOM의 봉과 대등한 제품이 제작 가능하다.

## 후 기

“본 연구는 산업통상자원부와 한국산업기술진흥원이 지원하는 경제협력권산업 육성사업으로 수행된 연구 결과입니다.(과제번호: R0004626)”

## REFERENCES

1. Jia, Y. A., Qiu, X., Zhou, Z., Fu, Y., Xing, F., Zhao, E., “Buckling failure analysis of all-terrain crane telescopic boom section”, Engineering

- Failure Analysis Vol. 57 pp. 105-117, 2015
2. Hiroki, F., Hiroyuki, S., “Development of flexible telescopic boom model using absolute nodal coordinate formulation sliding joint constraints with LuGre friction”, THEORETICAL & APPLIED MECHANICS LETTERS 2, 2012
  3. Kim, J. S., Kuk, H. H., “A Study on Durability of Refracted Telescopic Boom in 30m Class with the Property of Working Range Insulation”, J. Korean Soc. Mech. Technol, 19(3) pp. 372-378, 2017
  4. Kim, K. E., Chang, B. C., Kim, Y. K., No, Y. S., So, S. H., “A Study of the Design on Multi-joint Demolition Water Vehicle with ADAMS/ANSYS”, Journal of the Korean Society of Mechanical Technology, Vol. 16, No.3, pp. 1435-1439, 2014
  5. Jeong, S. H., “Development of a Vehicle Loading Lift for Various Aerial Works”, Journal of the Korean Society of Mechanical Technology, Vol. 12, No. 3, pp. 141-146, 2010.
  6. Hong, D. P., “Stress analysis for 46kV insulated boom design of 20m-class high place operation car”, Pro. of the KSNVE, pp. 528-529, 2012.
  7. Yi, C. S., Chin, D. P “Numerical Analysis of the Development of an Air Conditioning Duct for Marine and Oil Drilling Ships”, Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, pp.50-55, 2017.
  8. Choi, D. H., Lee, K. H., “Structural Analysis and Optimization of a Pedestal for Deck Crane” Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 11, No. 1, pp. 95-100, 2012