

태풍에 의한 파이프 골조 온실의 변형도

The Strain of Pipe Framed Greenhouse by Typhoon

윤 용 철*^a · 서 원 명*

Yoon, Yong Cheol · Suh, Won Myung

Abstract

This research was performed to study the actual behavior of 1-2W type pipe greenhouse under the influence of typhoon by measuring the various strains in structural materials. These results can eventually be utilized in the design criteria as well as in the modification of conventional equation for calculating more realistic wind loads.

The first data under the influence of Typhoon Olga arrived in Jinju on Aug. 1999 were obtained by strain gage with 10 sensor points. According to the data obtained, the typical variation of strain depending on wind pattern could be observed. The strains in structural frame were fluctuated very sensitively depending on the direction and magnitude of wind velocity. But some of the data were lost or missed by system's failure. A kind of inherent vibration pattern of greenhouse pipe frame was observed from the plotted data, but this phenomenon is not so clear as to be separated from the overall fluctuation so far.

This experimental research is expected to be continued as a long term project to measure and analyze the strain pattern of structural frame depending on the various locations and section characteristics by way of adopting more efficient instrument with sufficient number of measuring points and accuracy.

Keywords : Pipe greenhouse, Natural disaster, Wind load, Strain, Typhoon Olga

I. 서 론

현재 농가에 많이 보급되어 있는 플라스틱피복 파이프 온실은 폭설이나 돌풍을 비롯한 강풍하에 놓이게 되면, 피복재의 파손이나 구조적인 붕괴현

상으로 인하여 온실내 재배작물이 치명적인 피해를 입는 경우가 발생하게 된다. 실례로 1994년 2월 12일의 폭설과 1995년 7월 23일의 태풍 등 2년을 연속하여 폭풍이나 강풍으로 막대한 피해를 경험한 바 있으며, 1997년 11월 12일의 나주 돌풍, 1998년 1월 8일 서부 경남지역의 강풍을 동반한 폭설, 1999년 8월 3일에 상륙한 태풍 올가, 2000년 8월말~9월 중순경 태풍에 의한 피해를 들 수 있다. 이 외에도 2001년 1월 7~9일에 경기, 강원 및 충청지방을 중심으로 내린 폭설로 3,418ha의

* 경상대학교 농과대학 농업시스템공학부
(농업생명과학연구원)

*a Corresponding author. Tel.: +82-55-751-5435
fax: +82-55-752-0884

E-mail address: ychyoon@nongae.gsnu.ac.kr

온실이 파손되어 2,228억원의 피해를 입는 등(남, 2000) 거의 매년 온실의 안전을 크게 위협하고 있으나, 이에 대한 연구나 피해사례를 검토한 것은 매우 미흡한 실정이다.(남, 2000, 윤 등, 1995).

지금까지 온실의 설계는 기존의 설계 이론식을 바탕으로 관습적으로 이루어져 왔다. 물론 이러한 이론식들이 갖는 타당성을 무시할 수는 없으나, 실제 상황과 상당한 차이가 있음은 분명하며, 특히 불확실한 요인들을 감안하는 과정에서 안전도를 지나치게 고려함으로써 과잉 설계되는 경향이 있었다.

본 연구에서는 온실의 설계를 보다 경제적이고 안전하게 수행하기 위하여 폭설이나 태풍하에서 온실구조의 역학적인 거동을 측정하고, 측정된 자료를 바탕으로 관행적으로 활용되어 온 이론식을 보다 현실적으로 보완하는 데 목적을 두고 있다.

따라서 본 연구에서는 이와 같은 문제점을 보완하기 위한 일환으로 우선 태풍 올가에 의한 온실의 피해상황을 소개하고 그 당시 온실의 주요 구조재의 변형도를 실측하여 그 결과를 분석하였다.

II. 태풍의 통과경로 및 피해상황

1. 태풍의 통과경로

제7호 태풍 올가(OLGA)는 1999년 8월 3일 09시경 제주도에 상륙한 후, 동일 24시경 인천 앞 바다를 지나갈 때까지 중심기압 975~980 hPa, 중심부근 최대순간풍속 26~30 m/s(43m/s; 마라도)를 유지하면서 우리나라에 많은 피해를 입혔다.

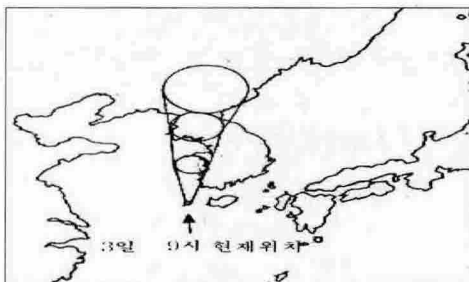


Fig. 1 Path of the typhoon OLGA

실험 온실에서 약 4 km 거리에 있는 진주기상대의 측정에 의하면, 당시 진주지역의 최대풍속은 15.8 m/s(15:40경)이었고, 최대순간풍속은 31.2 m/s(15:30경)이었으며, 태풍 올가의 진로는 Fig. 1과 같았다.

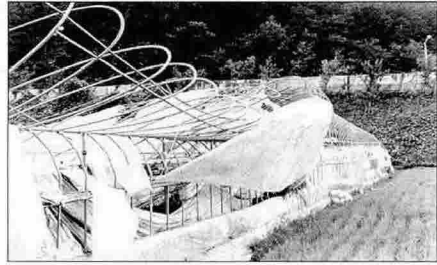
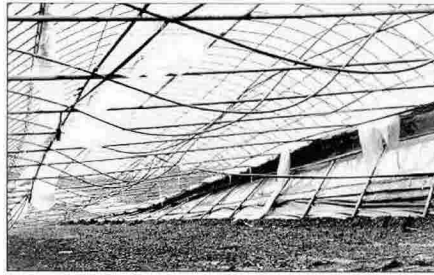
2. 피해상황

태풍 올가에 의한 온실의 피해면적이나 피해액에 대하여 그 당시 각 도의 재해본부에서 조사한 결과에 의하면(경상남도, 1999), 제주도, 전남 및 경남의 온실 피해면적은 각각 약 108 ha, 770 ha(11,839동) 및 97 ha(1,905동)이고, 피해액은 각각 약 46억, 582억 및 69억원. 단, 이상의 자료에는 7월 23일~7월 30일에 발생하였던 폭우피해도 포함되어 있다.

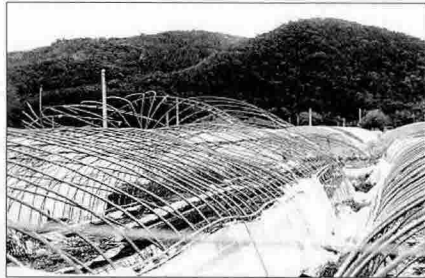
Fig. 2는 올가에 의하여 발생된 전형적인 온실의 피해현상을 촬영한 것이다.

하절기 강풍에 의한 온실피해는 주로 피복재의 파손과 구조의 붕괴이다(윤 등, 1995). Fig. 2의 (a), (b)와 같이 하절기에 작물이 재배되지 않을 경우, 피복재 자체의 피해는 구조적으로 붕괴되는 피해에 비하면 큰 문제가 되지 않는다. 그러나 구조적으로 붕괴된 온실의 대부분은 피복된 상태로 방치되어 있는 점을 고려한다면, 태풍피해가 예상되는 지역의 온실에 대해서는 미리 피복재를 제거하는 것도 구조적인 피해예방에 도움이 될 것으로 판단된다. 반면에 하절기에도 작물이 재배되거나 피복재를 그대로 보존할 필요가 있는 경우는 적극적인 방풍대책을 세워야 할 것으로 판단된다. 거제 지역에서는 강풍에 의한 피해가 매년 발생하기 때문에 온실의 곡부 전체를 그물 망 등으로 덮어두는 경우도 있다.

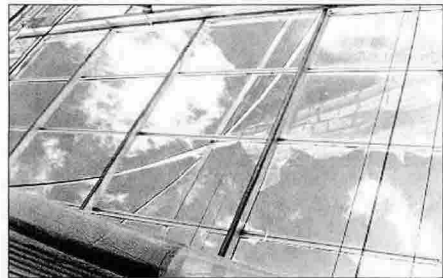
Fig. 2 (b)와 같은 단동 파이프 골조 온실의 피해유형은 지난 1995년 7월 23일의 페이호 태풍 때와 큰 차이가 없었다(윤 등, 1995). Fig. 2의 (c)는 진주 인근 지역에 위치한 유리온실(7연동,



(a) 1-2W pipe greenhouses



(b) Pipe greenhouse



(c) Glass greenhouse

Fig. 2 Damaged greenhouses in Gyeongnam

1,500평)의 피해를 나타낸 것으로서 두께 4 mm의 유리가 100여장 파손되었다. 현장 조사 결과로 미루어 볼 때, 강풍으로 인하여 어느 특정 부위의 유리가 파손되면, 온실내로 바람이 유입되면서 연속적으로 파손되는 것으로 판단되었다. 특히 이 때, 유리의 고정상태가 불량할 경우에는 피해정도가 더욱 클 것으로 예상된다.

Ⅲ. 실험장치 및 방법

1. 실험장치

실험에 이용된 온실은 경상대학교내에 설치된 폭 5.4 m, 길이 20 m, 측고 3 m, 동고 5 m인 1-2W형 2연동 플라스틱 파이프 온실로서 변형도 측정시 온실의 출입문과 모든 환기창은 닫힌 상태였다. 온실의 기초는 콘크리트 연속기초로 되어있다. 그리고 본 실험에 사용된 계측장치의 구성은 센서부(스트레인 게이지), 데이터 처리부 및 컴퓨터로 이루어져 있다.

어려 있다.

실험에 사용된 스트레인 게이지(FLA-5·120-11-1L)는 연강용이고, 게이지의 길이 및 폭이 각각 5 mm, 1 mm 인 것으로 게이지 선단에는 1 m 정도의 리드선이 연결되어 있다. 그리고 Bridge회로의 구성은 인장 및 압축에 대한 변형도를 제거하고 휨 변형도만을 측정하는 2 게이지법을 사용하였다(Window, 1992).

데이터 처리부로 사용한 계측장치는 NEC 사의 AH1100-1 AMP 와 OMNIACE(RT3216N)으로 구성되어 있고, 여기서 측정된 데이터가 컴퓨터로 전송되도록 하였다.

게이지에서 데이터 처리 장치인 AMP까지의 리드선은 2선식 2개조의 쉴드선을 사용하였으며, 이때 연장된 리드선의 길이는 35 m 이다.

2. 실험방법

풍하중 하에서 온실 구조재의 변형도를 측정하기

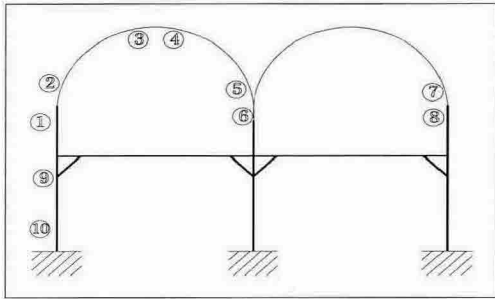


Fig. 4 Location of strain gauges

위하여 Fig. 4와 같이 위치별로 10개소를 우선 선정하여 스트레인 게이지를 부착하고, 1m의 리드선 끝에 설드된 리드선으로 연장(35m)하여 브릿지 박스에 연결하였다. 그림에서 ①, ②, ⑤, ⑥, ⑦, ⑧, ⑨ 및 ⑩번은 온실길이 방향의 기둥 및 서가래 연결부 인근이고 ③번과 ④번은 국부풍압력이 비교적 크게 작용하는 온실의 천정부이다. 그리고 온실 곡부의 서가래와 기둥재의 내경은 각각 19.8 mm 및 44.0 mm이고, 그 두께는 각각 1.2 mm 및 2.1 mm 이다.

IV. 결과 및 고찰

Fig. 5는 실험에 이용된 스트레인 게이지를 검증한 결과로서 재하중을 서로 다르게 한 두 경우에 대해서 나타낸 것이다. 검증시험은 길이 1m의 서가래에 대하여 2 게이지법 캔틸레버 하중시험법으로 하였다(한국농업기계학회, 1987). 단, 아연도강관의 탄성계수(E)는 $1.73 \times 10^6 \text{ kgf/cm}^2$ 이므로 이 값을 이용하여 이론적인 스트레인을 계산하였고, 이용한 이론적 계산식은 식 (2) 와 같다.

$$f = \frac{M}{I} y = E \epsilon \dots\dots\dots(1)$$

$$\epsilon = \frac{Pl}{EI} y \dots\dots\dots(2)$$

여기서, f 는 응력(kgf/cm²), M 은 모멘트(kgf ·

cm), I 는 단면 2차모멘트(cm⁴), y 는 중립축까지 거리(cm)이다.

Fig. 5의 두 그림을 보면, 재하하중 약 8.5~10.5 kgf (변형도 $1,030 \times 10^{-6}$) 정도까지는 이론적인 변형도와 시험결과가 거의 직선적으로 변화하고, 그 이상의 하중단계에서는 실험치의 변형도가 이론값 보다 점점 증가하는 양상을 보이고 있다. 본 시험의 경우, 이 하중 범위에서 재료의 휨응력을 식 (1)를 이용하여 계산하면, 약 1,940~2,390 kgf/cm² 정도이다. 이 값은 강관의 항복응력 22,000~2,400 kgf/cm² 보다는 다소 작게 나타났지만, 단기하중시 허용응력은 항복강도의 67%인 1,600 kgf/cm² 정도(이, 1995, 남, 2001)를 고려하면 본 시험의 대상온실에 사용한 구조재의 강도에는 큰 결함이 없는 것으로 판단된다.

Fig. 6은 태풍 올라기에 의한 온실 구조재의 변형도를 실측한 결과를 나타낸 것으로 변형도 측정은 8월 3일 09:00부터 18:00까지 총 9시간 동안 하였다.

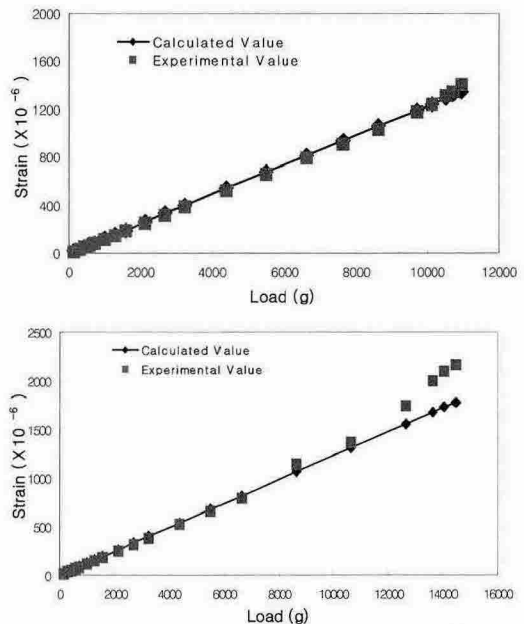
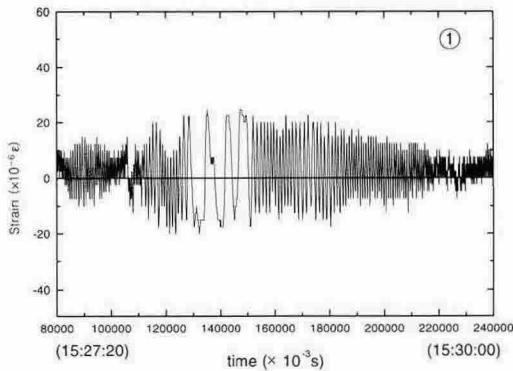
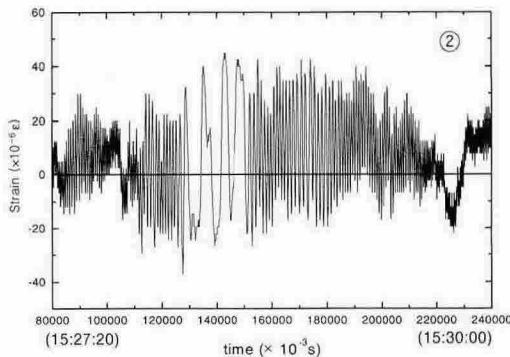


Fig. 5 Calibration curve of load-strain measured by strain gauge



(a) Strain of frame ①



(b) Strain of frame ②

Fig. 6 Variation of strain in greenhouse frames

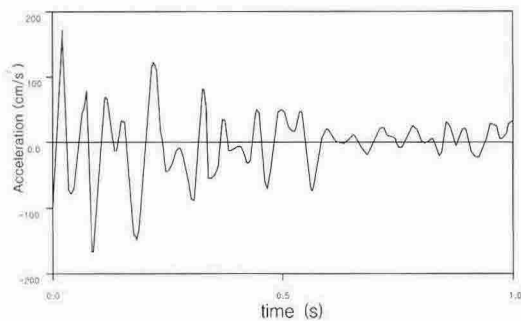


Fig. 7 Natural frequency of greenhouse

구조재의 부위별 실측결과를 전부 그림으로 나타내지 않았지만, 변형도의 변화양상은 구조재의 위치에 관계없이 거의 유사하게 나타났다. Fig. 6에서 ①은 온실측벽 기둥의 상단부로서 상대적으로

작은 변형도를 보인 반면에 ②는 곡부의 시작부로서 부재가 가는 만큼 상대적으로 큰 변형도를 보이고 있다. Fig. 6을 보면, 전반적으로 풍향에 따라 정·부의 변형도를 연속적으로 보이면서 어떤 고유의 진동현상을 동반하고 있음을 추정할 수 있다. 즉, 어떤 구조물을 수평 진동한 경우와 같이 변형도가 마치 어떤 주파수 범위를 나타내는 듯한 양상이다. 이것은 풍하중이 순간적이고 반복적으로 작용했음은 물론 비록 현재로서는 단정하기가 어렵지만, 온실 자체가 가지고 있는 고유진동수도 어느 정도 영향을 받은 것으로 생각된다. 특히, Fig. 6에서 15시 28분 전후($140,000 \times 10^{-3}$ s) 변형도가 정에서 부 혹은 이와 역의 방향으로 전환되는 주기가 다른 시간대에 비해 상당히 길게 나타났다.

Fig. 7은 윤(1994)에 의하여 측정된 1-2W형 2연동 온실의 내측 기둥의 고유진동수를 나타낸 것으로 내측 기둥의 고유진동수는 20Hz 전후인 것을 알 수 있다. 이 조사에 의하면 온실의 외측기둥, 중방 및 내부 서가래의 고유진동수는 각각 10Hz, 30~35Hz, 35~40Hz 전후인 것으로 나타났다. 그러나 이와 같은 고유진동수가 풍하중에 의한 부재의 진동과 어떠한 관계에 있는지에 대해서는 앞으로 연구의 대상이다.

Fig. 8은 변형도의 변화를 태풍이 내습하기 전후와 직접 영향을 받을 때로 나누어 시간대별로 나타낸 것이다. Fig. 8에서 알 수 있듯이 태풍의 영향을 받기 전후에는 변형도가 전혀 없고, 태풍의 영향권에 접어들면서 조금씩 변형도가 증가하여 최대가 되었다가 태풍의 영향권에서 멀어지면서 변형도가 서서히 소멸된다. 태풍 올라의 경우, 변형도가 최대치에 머무르는 시간은 20초 전후로서 극히 짧은 것을 알 수 있다. 이 결과로부터 온실의 기초가 뾰허거나 온실전체가 부력에 의하여 부상하면서 전파되는 현상은 지극히 짧은 순간에 발생될 것임을 유추할 수 있을 것 같다. 이러한 현상은 반복된 풍하중이 기초 주변의 지반강도를 점차 저하시키기 때문인 것으로 판단된다.

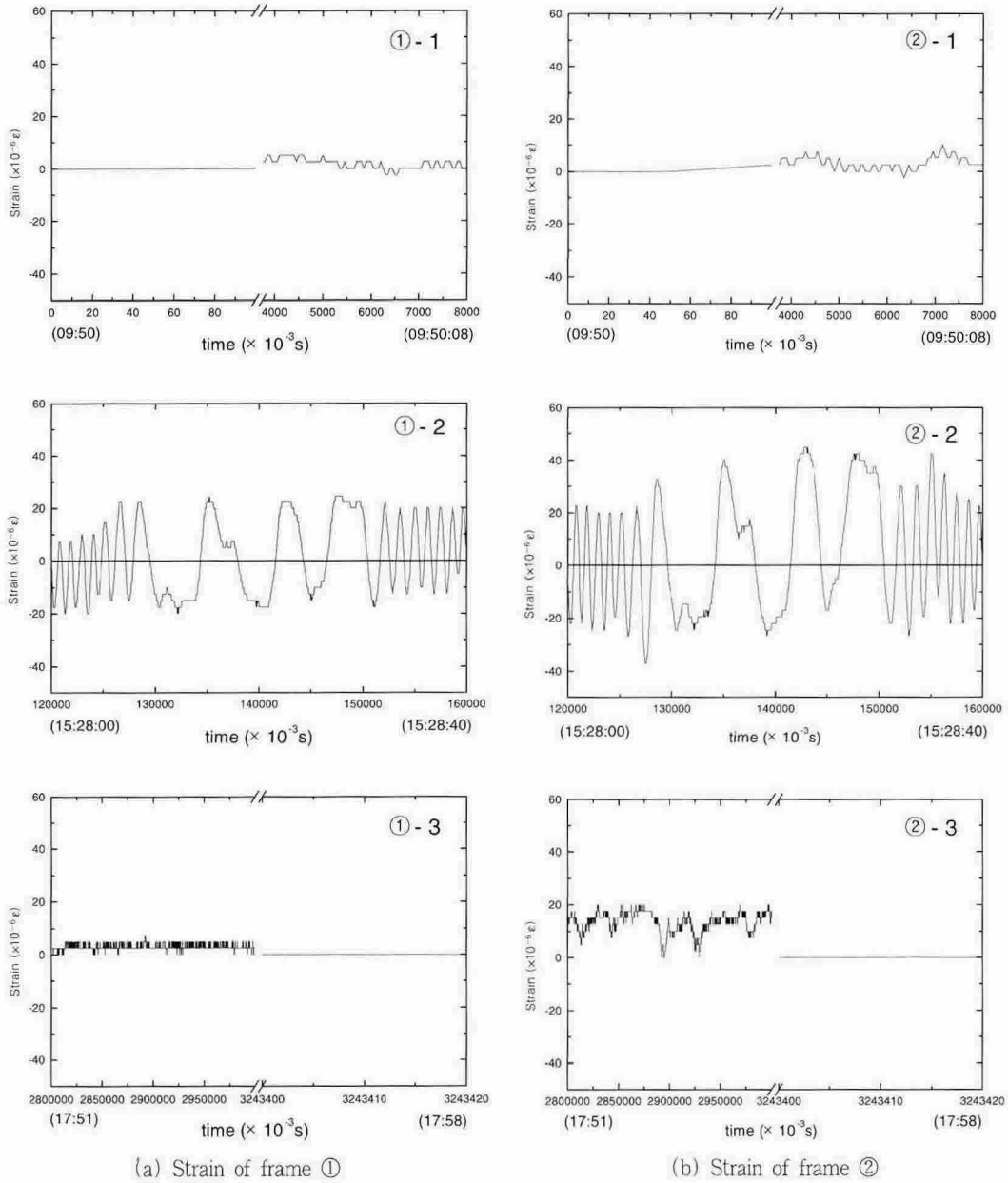


Fig. 8 Variation of strain in greenhouse frames

Table 1은 실측한 변형도와 식 (1)을 이용하여 계산한 응력을 요약한 것으로서, ②번 위치에서 최대 변형도 범위인 약 82×10^{-6} 을 보였고, ①번 위치에서는 최소 변형도 범위인 45×10^{-6} 을 나타냈

다. 전체적으로 최대 변형도가 발생된 곳은 ③번 위치로서 60×10^{-6} 이었다. 이 때 응력은 104 kgf/cm^2 정도로서 강관의 항복강도인 $2,000 \sim 2,600 \text{ kgf/cm}^2$ 및 허용하중인 $1,600 \text{ kgf/cm}^2$ 과

Table 1 Strain of greenhouse frames

Gauge	Minus		Plus		Range
	strain ($\times 10^{-6}$)	stress (kgf/cm ²)	strain ($\times 10^{-6}$)	stress (kgf/cm ²)	
①	-20	-34.6	25	43.3	45
②	-37	-64.0	45	77.9	82
③	-15	-30.0	60	103.8	74
④	-18	-31.1	43	74.4	60
⑤	-25	-43.3	25	43.3	50
⑥	-35	-60.6	37	64.0	72
⑦	-48	-83.0	20	34.6	65
⑧	-38	-65.7	25	43.3	62

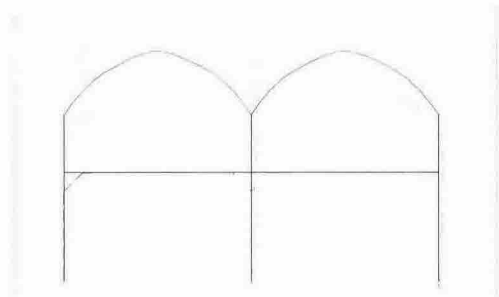


Fig. 9 Estimated deflection of strain in greenhouse frames

비교하면 극히 적은 것을 알 수 있다.

따라서 이번 측정결과로 미루어 볼 때, 강풍시 온실 구조재의 강도가 충분히 확보되어 있어도 풍하중에 의해서 온실의 구조가 Fig. 2와 같이 파괴되는 것이다. 이것은 풍해 조사결과(윤 등, 1995, 이, 1995)에서도 알 수 있듯이 구조재 파괴의 주된 원인은 온실 출입구의 개방이나, 피복재의 파괴 등으로 인하여 온실내·외부에 작용하는 부압이 급증하여 시설전체가 부상하기 때문이다.

이상의 결과는 제한된 측정용 채널 수 때문에 다양한 위치별 측정이 어려웠고 특히, 최대 휨 모멘트를 기대했던 측정 ⑩과 온실붕괴시 주로 절단되는 것으로 잘 알려져 있는 측정 ⑨에서 센서 및 기계적인 오작동으로 인하여 원하는 자료를 확보할 수가 없었다. 따라서 좀 더 다양한 측점에 대하여

여러 가지 상이한 태풍 하에서의 변화를 지속적으로 측정하고 분석해야 할 것으로 판단된다.

Fig. 9는 SAP90에 의한 해석결과를 나타낸 것으로서 최대순간풍속 31.2 m/s 일 때, 온실측면에서의 풍상측 풍향을 0° 인으로 가정하고 해석한 것이다. 실제로 측정한 최대 변형도가 나타나는 측정 부위와 거의 일치하는 것을 알 수 있다.

V. 결 론

본 연구는 자연재해로부터 온실의 구조적인 피해를 최대한 줄임은 물론, 안전하고 경제적인 온실설계를 위한 연구의 일환으로 태풍 올라기의 영향 하에서 온실의 주요 구조재에 발생하는 변형도를 연속적으로 실측한 후, 결과를 분석하였다.

측정결과 스트레인 게이지의 위치에 관계없이 구조재의 변형도는 순간적으로 정에서 부의 방향 혹은 부에서 정의 방향으로 진동하는 변화양상을 보였다. 또한 태풍의 영향권에 접어들기 전후, 그리고 태풍의 영향권 하에서의 변형도의 변화양상을 명확히 관찰할 수 있었으며, 부재의 단면크기는 물론 게이지의 부착위치에 따른 변형도의 차이를 발견할 수 있었다.

앞으로 충분한 측정수를 확보함은 물론 구조재 위치별로 변형도를 측정하여 비교분석할 필요가 있으며, 특히 중장기적으로 다양한 태풍을 대상으로 지속적인 검토가 이루어져야 할 것으로 판단된다.

References

1. Gyeongsangnam-do. 1999. Support plan for agricultural disaster. (in Korean)
2. Lee, S. G.. 1995. Structural design of plastic greenhouse for prevention of meteorological disaster. 5-7. Gyeongbuk: Agricultural Research and Extension Services. (in Korean)
3. Nam, S. W.. 2001. A study on the standard durable years of pipe framed greenhouses. *J*

- of *KSAE* 43(1) : 96-101. (in Korean)
4. Nam, S. W. 2001. Experimental analysis on yield strength of pipe connectors and joints for pipe framed greenhouses. *J. of KSAE* 43(6) : 113-119. (in Korean)
 5. J. of KSAM. 1987. *Measurement and Utilization Technology of Microcomputer*. J. of KSAM. (in Korean)
 6. Window, A. L.. 1992. *Strain Gauge Technology*. London. Elsevier applied science.
 7. Yoon, Y. C.. 1994. The experimental study on uplift resistance of greenhouse individual piles. Ph. D. Japan. Ehime University.
 8. Yoon, Y. C.. W. M. Shu and Y. S. Yoon. 1995. A study on the typhoon disaster of greenhouse. *J. of Biological Production Facilities & Environmental Control* 4(2) : 167-174. (in Korean)