生物生産施設環境(J. Bio. Fac. Env.) 4(2) : 167~174, 1995

施設園藝용 플라스틱 하우스의 태풍피해에 關한 연구

尹龍喆 · 徐元明 · 尹忠燮
慶尙大學校 農科大學 農工學科

A Study on the Typhoon Disaster of Greenhouse

Yoon, Yong-Cheol · Suh, Won-Myung · Yoon, Choong-Sup
Department of Agricultural Engineering, Collage of Agriculture,
Gyeogsang National University

Abstract

This study was carried out to find a way of improving the windproof capability of greenhouse foundations. Generally, greenhouses are often collapsed due to the strong winds, because they are very light weight structures. In such a critical situations, the foundations are very often subjected to uplift and vibration at the same time.

This paper discribes both the wind disaster of greenhouses by the typhoon FAEY and the uplift resistance of greenhouse foundations.

Followings are the results obtained from this study ; Judging from the view point of year round cultural aspects, it is recommended that some measures be taken for the preventions of greenhouse film ruptures because greenhouse structural damages are found to be directly associated with the local rupture of cover film. In the case of surveyed area, movable pipe-houses or pipe-houses of 1-2W type were found to be completely destoryed when the maximum instantaneous wind velocity was over 30m/sec or so. In the case of movable pipe-houses, the uplift resistance of greenhouse was expected to increase with the increase of pipe diameter and/or the embedment pipe length. But at present situations there is a limitation in raising the uplift resistance of movable pipe-house, because pipe diameters as well as pipe lengths customarily selected by farmers are quite a much limited.

키 워 드 : 하우스, 태풍, 풍하중, 자연재해, 인발저항력
Key words : greenhouse, typhoon, wind load, wind disaster, uplift capacity

Ⅰ. 緖 論

1995년 7월 23일 오후 5시경, 강한 비바람을 동반한 제3호 태풍 페이호가 남해안의 광양만으로 上陸하면서 남해안 일대에 많은 피해를 가져왔다. 이번 태풍은 중심기압 940hPa의 A급태풍으로 중앙재해대책본부에 의하면, 재산피해는 1천55억4천8백만원에 달하는 것으

로 최종집계되었다. 이러한 재산피해 중 하우스의 피해에 대해서 알아 보면, 피해면적 2천 30Ha에 피해액이 366억원으로 전체 피해액의 약 35%를 차지하였다. 그리고 전체 재산피해액을 道別로 보면, 경남이 7백 70억으로 가장 큰 것으로 나타났다. 이 중 하우스의 피해면적은 1천2백52Ha로, 전국에서 발생한 피해면적의 약 60%를 차지했다. 또 이 피해면적은 경남 전체 시설면적의 약 20%에 해당된다.

최근 국민소득의 向上에 따른 식품소비의 고급화 및 다양화로 식량작물의 소비는 감소하는 반면, 시설원예 작물소비는 급속하게 증가하여 왔다. 이에 따라 시설원예의 재배면적과 생산량도 지속적으로 증가하고 있는 실정이다. 또 시설원예 농업의 현대화로 시설이 대형화되고 자동화 되면서 주년생산을 위한 년중재배체계가 도입되고 있는 실정이다. 그리고 농업 총 생산액 중에서 시설원예가 차지하는 비중은 1989년에 4.3%, 1992년에 7.1%로 점차적으로 증가하는 추세에 있다. 이와 같이 시설원예 하우스는 우리 농가에 있어서 농업시설물의 일부로 그 중요성이 높아지고 있는 실정이다. 따라서 최근 시설원예, 즉 시설의 구조, 시설내 환경, 장치 및 기기, 작물재배 등에 관한 연구가 활발히 진행되고 있고, 이미 연구결과가 다수 발표되어 농가보급형 표준온실 및 온실구조설계기준[1]이 마련되어 보급되어 있는 실정이다. 그러나 이번과 같은 태풍이 내습하면, 앞에 기술한 것 같이 많은 피해가 발생한다.

그러므로 본 연구에서는 시설원예용 하우스의 설계, 시공 및 관리에 대한 기초자료를 얻기위하여 태풍 페이호에 의하여 발생한 하우스 피해의 조사결과를 분석하고, 이를 근거로 시설원예용 하우스의 풍해에 대한 문제점을 검토하였다.

피해조사대상지역은 연동(고정식)파이프 연질필름 하우스의 피해가 큰 거제도와 남해, 그리고 이동식 파이프 하우스의 피해가 큰 하동과 3/4지붕형 피해가 발생한 진주지역으로 하였다. 그리고 피해정도면에서는 하우스 피복(필름)의 피해에 대한 것보다 구조적으로 全破 또는 半破된 시설에 대하여 검토하였다.

Ⅱ. 태풍의 通過經路 및 피해면적

1. 태풍의 통과경로

태풍 페이호는 순간최대풍속 46.6m/sec(경남 통영), 최대풍속이 43m/sec로 1959년 우리나라에 사상최대의 피해를 가져온 사라호에 육박하는 위력을 보였다. 7월23일 09:00시의 천기도는 Fig. 1과 같고, 태풍 페이호가 남해안에 상륙한 지역은 Fig. 2와 같다.

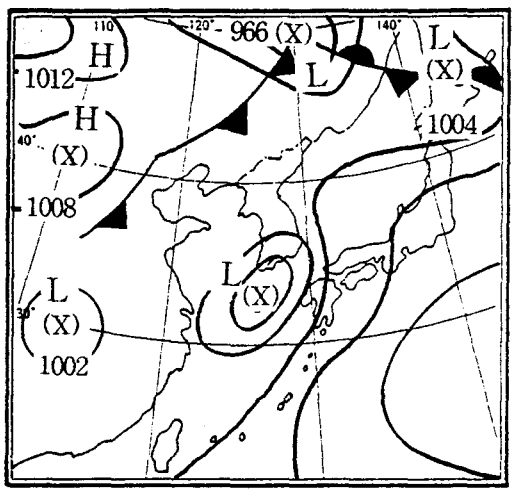

Fig. 1. Weather map(1995. 7.23. 09:00).

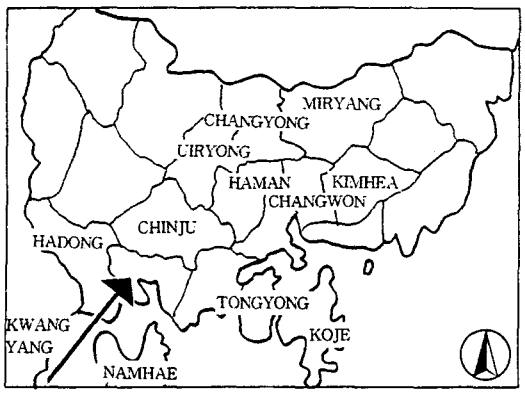

Fig. 2. Approaching route of typhoon FAEY.

2. 피해면적과 복구비

농림수산부 통계자료[2]에 의하면, 우리나라의 시설원예 설치면적은, 1994년말 현재 약 37,800ha이다. 이를 면적만으로 비교하여 본다면, 일본에 이어 세계 제2위국이다. 이 중에 경남지역의 시설면적은 우리나라 전체 시설면적의 약 45%에 해당하는 8,500ha로, 경남지역이 차지하는 시설원예의 비중은 아주 크다. 따라서 이번 태풍으로 인한 시설원예의 피해가 경남지역의 농가에 미치는 영향은 아주 클 것으로 판단된다.

본 조사대상지역 부근의 관측소에서 관측된 순간최대 및 최대풍속은 Table 1과 같다.

Table 1. Maximum instantaneous or maximum wind speed in location of surveyed area[3]

Wind speed Location	Maximum instantaneous (m/sec)	Maximum (m/sec)	Occurrencetime of maximum instantaneous	Observation station
KOJE	26.00	15.10	19:20	TONGYONG
NAMHAE	28.95	18.40	15:20	NAMHAE
HADONG	27.10	–	–	CHINJU
CHINJU	28.30	18.70	–	CHINJU

Table 1에서 알수 있듯이 조사대상지역에 관계없이 순간최대풍속이 30m/sec이하, 최대풍속이 20cm/sec이하였다. 그리고 농어촌진흥공사가 마련한 온실구조 설계기준안[1]에 따른 지역별 설계풍속과 재현기간을 이번 태풍과 비교하여 보면 다음과 같다. 즉, 거제, 남해 및 진주의 설계풍속은 각각 26.2m/sec, 28.4m/sec 및 28.2m/sec이고, 재현기간은 각각 8년, 22년 및 57년이다. 이와 같이 순간최대풍속이 재현기간에 따른 설계풍속과 비슷함에도 불구하고 1-2W형 파이프 하우스에 피해가 발생되었다. 이 점에 대해서는 재해의 문제점에서도 記述하였지만, 피복재의 훼손과 시공상의 문제점 때문인 것으로 판단된다. 즉 피복재 훼손에 의하여 강한 바람이 하우스 내부로 유입하게 되면, 구조물 전체가 上方向으로 강한 부력을 받음과 동시에 구조물 전체가 고유진동수로 진동하기 때문에 기초지반은 교란된다. 이러한 결과로 인하여 기초의 인발저항력이 급격히 감소되면, 구조물의 기초가 인발되어 전파되는 것으로 판단할 수 있다.

그리고 Table 2는 경남지역 전체와 조사대상지역에 있어서 시설의 피해면적, 피해액 및 복구에 필요한 경비(복구비)를 나타낸 것이다. 괄호안의 수치는 피복재의 피해이다.

Table 2에서 알 수 있듯이 전파한 경우는 전체 피해면적(1,251.82ha)의 약 30%인 360ha에 불과하지만, 피해액은 전체 피해액(20,583,640원)의 약 85%를 차지하고 있다. 이와 같이 하우스가 전파한 경우에는 평당 약 20,000원의 철거비와 자재비를 고려하면, 복구비는 그 만큼 많아지게 되고, 결국 농가는 많은 경비를 부담해야 한다.

거제도 경우, 평당 철거비 20,000원에 재건축비 20,000원을 포함해서 인건비만 평당 40,000원이었다. 이는 신축당시 평당 81,000원이었던 것에 비교하면, 약 50%에 해당되는 금액이다. 또 파손정도에 따라서 다르겠지만, 자재비를 포함하면 실제 비용은 이보다 많다.

Table 2. Damaged area, amount of damage and restroration expenditure

Classification	Damaged area (ha)	Amount of damage (thousand won)	Restoration expenditure (thousand won)
KOJE	41.16(30.14)	1,540,877(115,677)	2,276,974(115,677)
NAMHAE	16.46(6.62	703,543(10,550)	1,053,881(10,550)
HADONG	80.81(54.37)	1,138,130(151,637)	1,721,874(151,637)
CHINJU	73.96(00.00)	5,033,472(00.00)	8,080,002(00.00)
Total	1,251.82(890.81)	20,583,640(3,181,137)	31,184,703(3,181,137)

Ⅲ. 피해유형 및 시설형태별 피해

1. 피복재의 피해

하우스가 태풍과 같은 강풍하에 놓이게 되면 하우스의 각 부위에 작용하는 풍하중은 바람 및 하우스의 설치 방향에 따라 다르다. 연구결과 가장 큰 풍하중을 받는 부분은 하우스의 지붕면 둘레, 용마루 및 벽면의 모서리 부분으로, 설계시 국부풍압을 고려하는 부분이다. 따라서 일본 등 외국에서는 이 부분을 보강하여 강풍의 피해를 줄이고 있다. Fig. 3에서 알 수 있듯이 이번 조사에서도 이 부분의 피복이 훼손된 경우를 많이 볼 수 있었다.

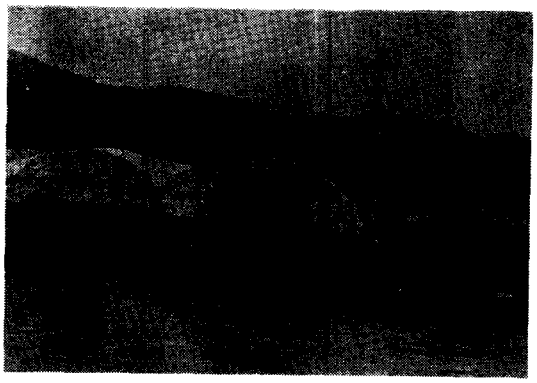

Fig. 3. Damaged greenhouse at chinju.

만약 하우스내에 재배작물이 없고 피복을 매년 교체한다면, 이러한 피복의 피해는 앞에서 기술한 것 같이 전파 또는 반파하는 구조적인 파괴에 비하여 농가에 미치는 영향은 크지 않을 것으로 판단된다. 조사결과 실제로 몇몇 농가를 제외하고는 작물을 재배하고 있는 하우스는 그렇게 많지 않았다. 그러나 피복피해가 전파 또는 반파되는 구조적 피해의 직접적인 원인이 될 수 있고, 또 주년재배라는 관점에서 볼 때, 이러한 피복피해도 반드시 고려되어야 할 것으로 판단된다. 현재 1-2W형 하우스의 피복교체를 시공업체에 의뢰할 경우, 인건비만 평당 4,000~5,000원이 필요하다.

2. 이동식 파이프 하우스

이상과 같은 피복피해 이 외에 가장 큰 문제로 지적할 수 있는 것은 하우스가 전파 또는 반파하는 경우이다. Fig. 4는 하동지역에서 발생한 이동식 단동 파이프하우스의 피해상황이다. 이들 하우스내에는 수박 및 고추 등의 작물이 재배되고 있는 곳도 있었다. 이들 하우스 중 태풍이 來襲하기 전에 피복을 제거하여 전파 또는 반파하는 구조적인 피해를 예방한 경우도 있었다. 그러나 이동식 파이프 하우스가 아직 우리나라 전체 시설면적의 60% 이상을 차지하고 있는 점을 고려하면, 여기에 대한 대책도 반드시 수립되어야 할 것으로 판단된다.

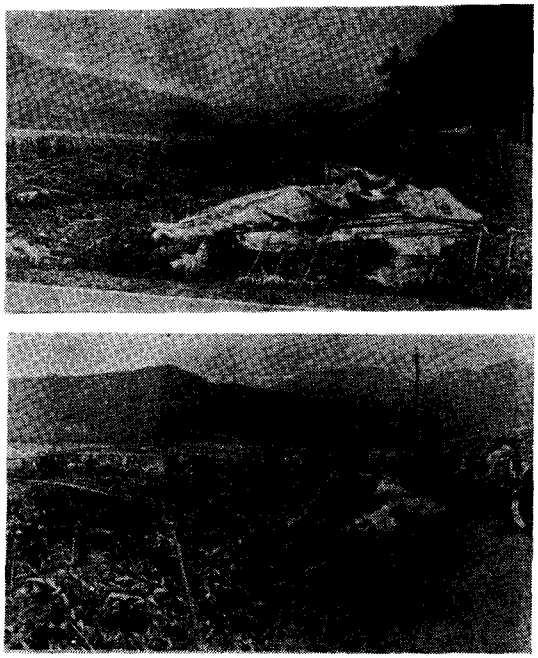

Fig. 4. Damaged greenhouse at Hadong.

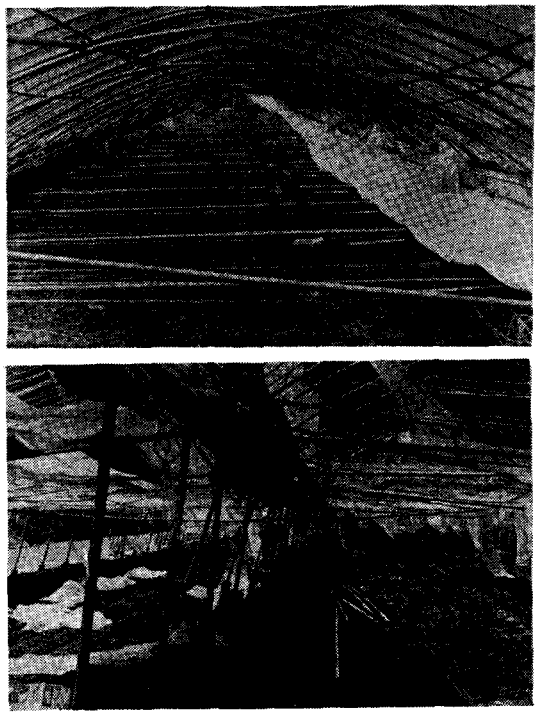

Fig. 5. Damaged greenhouse at Koje.

3. 1-2W형 파이프 하우스

Fig. 5는 거제지역의 1-2W형 하우스의 피해상황을 나타낸 것이다.

거제시 사등면 오량리에는 길이 70!100m에 2~4연동의 1-2W형 하우스가 약 30,000평정도 설치되어 있었다. 이 시설들은 1994년 7월에 완공된 것이고, 이번 태풍에 설치면적의 약 90%정도가 전파하는 피해를 입었다. 태풍에 의한 전체 하우스의 수평 이동량은 약 1.5m전후였으며, 하우스 기초가 완전히 引拔되어 파괴되었다. 또 태풍이 내습하기전 피복은 원형대로 잘 보존되어 있었고, 재배작물은 없었다.

이들 하우스의 기초에 대해서 살펴보면, 직경 15~18cm, 길이 50~60cm, 매입길이 40~50cm의 원형기초와 윗변 15cm, 밑변 25cm, 높이 40cm, 매입길이 40cm 전후의 사다리꼴 기초로 되어 있었고, 기초의 종류 및 크기에 관계없이 완전히 인발된 것을 알 수 있었다.

Ⅳ. 피해의 문제점 및 기초의 인발저항력에 대한 검토

1. 피복재의 피해 및 이동식 파이프 하우스

1) 피복재의 피해

1-2W형의 경우는, 국부풍압이 작용하는 부분 중에 대체로 보강방법이 쉬운 지붕의 양끝단에 폭 2~3m정도의 그물천 등으로 보강하면, 국부풍압을 감소시킬 수 있기 때문에 국부풍압에 의한 피복재의 피해를 어느 정도 줄일 수 있을 것으로 판단된다. 그러나, 조사대상지역에서 이와 같이 보강된 하우스는 전혀 볼 수 없었다. 또 시설을 관리할 때 피복이 조금이라도 훼손된 부분은 때때로 수리를 하여야 함은 물론, 특히 피복의 고정부분(패드)이 국부풍압을 받는 경우가 많으므로 이에 대한 각별한 유의를 하여야 할 것으로 판단된다.

2) 이동식 파이프 하우스

이동식 파이프 하우스의 경우는 파이프 자체의 인발저항력을 높혀 보강하는 방법을 고려할 수 있다. 이것은 결국 파이프와 지반과의 마찰력을 높이거나 매입깊이를 증가시켜야 한다.

일반적으로 마찰력은 지반의 종류 및 상태에 따라서 크게 좌우되지만, 건조한 모래지반에 있는 콘크리트 말뚝기초의 경우, 지반의 밀도가 1.1배 증가함에 따라 인발저항력은 약 4배정도 증가한다고 하였고[4], 인발저항력과 매입길이와는 대략 2차함수 관계가 있는 것으로 발표된 적이 있다[5].

그러나 이상의 방법으로 펜타이트 파이프 하우스의 인발저항력을 증가시키는 것은 좀 고려해 보아야 할 것으로 판단된다. 현재 보급되고 있는 펜타이트 파이프는 길이 8~10m, 직경 9~25mm로 각각 3종류이고, 매입길이를 45cm로 하는 것이 일반적이기 때문에 매입길이 및 직경을 증가시키는 것은 한계가 있는 것으로 생각할 수 있다. 그리고 실제로 이번과 같이 태풍이 내습할 경우, 태풍은 많은 비를 同伴하기 때문에 시설의 형태에 관계없이 하우스의 基礎地盤은 거의 포화상태에 달하는 것으로 생각할 수 있고, 또 파이프 自體의 固有振動數 때문에 하우스 전체가 고유진동수로 振動하게 되어, 지반과 기초와의 마찰력은 거의 기대할 수 없을 정도로 감소하게 된다.

연동하우스에 관한 실측 및 연구결과[5]에 의하면, 하우스의 부재별 고유진동수는 다르지만, 대략 20Hz前後이고, 또 건조한 모래지반에 있는 콘크리트 기초를 一定 진동수로 진동시키면 인발저항력은 90%이상 감소하는 경우도 있었다.

Table 3은 一般農家에서 주로 사용하는 펜타이트 파이프에 대해서 인발저항력을 概略的으로 계산한 결과이다. 조사대상지역 중 하동지역은 사질토지반에 속하므로 Table 3에서 가정한 내부마찰각 및 단위 체적중량은 사질토인 경우로 하였다. 또 마찰계수는 日本建築學會 "建築基礎構造設計基準·同解說에 규정된 방법을 이용하였고, 측압계수는 인발저항력을 계산할 때 주로 이용하는 靜止土壓係數를 사용하였다. 그리고 인발저항력 계산에 이용한 식[4]은 식(1)과 같으며, 파이프의 자중은 고려하지 않았다.

$$Q=\frac{L}{2}\mu K\gamma A_s \quad \cdots\cdots (1)$$

여기서, μ: 마찰계수($\mu=\tan(\frac{1}{2}\sim\frac{3}{4})\phi$)

K: 측압계수

γ : 지반의 단위체적 중량(t/m^3)

L : 매입길이(m)

A_s : 파이프의 周面積(m^2)

ϕ : 內部摩擦角

Table 3에서 알 수 있듯이 파이프의 매입길이가 10%정도 증가(45mm→50mm)하면, 직경 및 내부마찰각에 관계없이 인발저항력은 약 20% 정도 증가하는 것을 알 수 있지만, 인발저항력은 1.2~5.5kg내외로 아주 적은 것을 알 수 있다. 만약 점착력이 어느 정도 있는 기초지반이라면, 인발저항력은 Table 3에 나타나 있는 값보다는 대단히 크게 된다. 예를 들면, 매입길이 50cm, 파이프 직경 25mm인 경우, 점착력을 2t/m^2 ~ 3t/m^2 정도라고 가정하면, 인발저항력은 약 80kg ~ 120kg으로 Table 3의 5.52kg에 비해 대단히 큰 것을 알 수 있다. 그러나 이와 같은 인발저항력은 기초지반이 교란되지 않고, 파이프 및 기초가 연직방향으로 인발력을 받을 경우에만 적용이 가능하므로 앞에서 記述한 것같이 예기치 못한 돌풍이나 태풍이 내습할 경우에는 시설 및 지반의 擧動을 고려한 후 인발저항력을 산정하여야 할 것으로 판단된다.

2. 1-2W형 파이프 하우스

거제지역의 경우도 피복이 없었던 시설에서는 구조적 피해가 없었다. 피복이 있는 경우, 피복의 어느 한 부분이 훼손되면 하우스는 치명적인 피해를 입는 것으로 보고되어 있다.

Table 3. Uplift capacity of pipe(D=diameter).

L(cm)	D(mm)		μ			
			$\phi=30°$		$\phi=35°$	
			$\tan(\frac{\phi}{2})$ 0.268	$\tan(\frac{3}{4}\phi)$ 0.414	$\tan(\frac{\phi}{2})$ 0.315	$\tan(\frac{3}{4}\phi)$ 0.493
45	22	①	1.20kg	1.85kg	1.41kg	2.21kg
		②	2.14	3.30	2.51	3.93
	25	①	1.36kg	2.10kg	1.60kg	2.51kg
		②	2.43	3.75	2.85	4.46
50	22	①	1.48kg	2.29kg	1.74kg	2.73kg
		②	2.64	4.08	3.11	4.86
	25	①	1.69kg	2.60kg	1.98kg	3.10kg
		②	3.00	4.64	3.53	5.52

① $\gamma=1.6t/m^3$, K=0.4, ② $\gamma=1.9t^3$, K=0.6

조사결과 最初에 출입구 윗쪽의 피복이 훼손되면서 일차적으로 내측 터널이 파괴되고 곧이어 기초가 인발되어 하우스는 전파하였다. 이와 같이 피복의 훼손이 구조적 파괴의 직접적인 원인이 되는 만큼 피복재의 관리에 많은 관심을 기울어야 할 것으로 판단된다. 이와 동일한 피해양상을 진주지역 및 남해지역에서도 볼 수 있었다.

이상과 같은 피복의 훼손도 문제이지만, 이 지역의 경우는 시공상 문제점도 있었다. 즉 하우스의 진동억제에 유효하게 작용하는 것으로 생각할 수 있는 내·외측 기둥의 브레싱(가새), 기둥지지대(사재) 및 지붕의 다이아몬드형 지지대가 전혀 설치되어 있지 않았고, 또 기둥과 지붕의 접합부분에 피스의 일부분이 없는가 하면, 인발저항력을 증가시킬 수 있는 기둥의 기초부분이 전혀 다져지지 않는 상태로 방치되어 있었다.

이러한 구조 및 시공상의 문제도 파괴의 직접적인 원인이 될 수 있기 때문에 철저한 시공관리도 따라야 할 것으로 판단된다.

Table 4는 거제지역에서 주로 사용하고 있는 원형기초로 전체 길이 60cm, 직경 15cm 및 18cm, 매입길이 40cm 및 50cm인 콘크리트 기초에 대한 인발저항력을 계산한 것이다. 이 지역의 기초지반은 평균입경 0.42mm, 함수비 31%, 습윤밀도 1.56t/m³, 내부마찰각 8~10°, 점착력 0.01t/m² 정도이고, 입도곡선은 Fig. 6에 나타낸 것과 같다.

인발저항력의 계산방법은 앞에서 기술한 것과 동일하지만, 정지토압(K)은 점성토의 경우 일반적으로 0.4~0.8[8] 정도이기 때문에 여기서는 중간정도인 0.6으로 하고, 마찰계수는 콘크리트 기초에 일반적으로 사용되는 $\mu=\tan(3/4\sim1)\phi$[5]를 이용하였다. 또 점착력이 거의 없는 지반이기 때문에 점착력은 고려하지 않았다.

그리고 Table 4의 비고란에 있는 기초의 자중 24kg와 35kg은, 직경을 15cm 및 18cm, 콘크리트의 단위중량을 2.4t/m³로 한 경우이다.

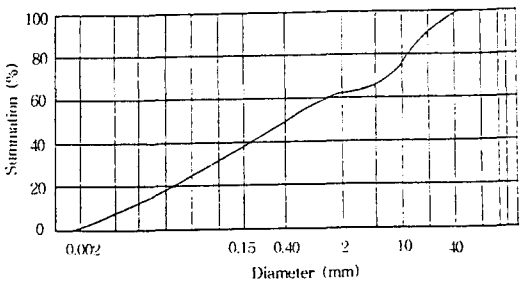

Fig. 6. Grain size distribution curve.

Table 4. Uplift capacity of concrete pile(D=diameter;K=0.6;γ=1.56T/M³)

L(cm)	D(mm)	μ		remarks
		ψ=10°		
		$\tan(\frac{3}{4}\psi)$	$\tan\psi$	
		0.131	0.176	
40	150	4.6kg	6.2kg	24kg
	180	5.5	7.1	34kg
50	150	7.2kg	9.7kg	
	180	8.7	11.7	

Table 4에서 알 수 있듯이 기초의 자중을 제외하면, 인발저항력은 약 5~12kg정도이다. 이는 Table 3의 페타이트 파이프에 비해 직경이 약 7배정도 증가하지만, 인발저항력은 약 2~3배정도 증가하는 것을 알 수 있다. 이와 같이 직경의 증가에 비해 인발저항력의 증가율이 적은 것은 기초지반의 다짐이 불량하기 때문인 것으로 생각할 수 있다.

그리고 남해 및 진주지역의 諸般與件은 거제지역과 거의 비슷하지만 남해지역의 경우, 골조부분이 시공도중 파괴되고 기초가 인발되는 피해는 골조부분의 시공순서에 문제점이 있는 것으로 판단된다. 또 진주지역의 3/4형 하우스의 피해는 지붕위에 올려 놓은 섬피가 파괴의 직접적인 원인으로 판단된다.

V. 結　論

본 연구에서는 태풍 페이호가 남해안 지역의 하우스에 미친 피해에 대해서, 조사결과를 토대로 분석하였으며, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 하우스의 형태에 관계없이 피복이 없는 하우스가 전파한 예는 거의 볼 수 없었다.

2. 피복재의 피해가 전파하는 직접적인 원인이 될 수 있고, 주년재배라는 관점에서 볼 때, 앞으로 피복피해에 대한 대책이 있어야 할 것으로 판단되었다.

3. 이동식 파이프 하우스의 경우, 순간 최대풍속이 30m/sec 정도가 되면 전파하는 것으로 판단되었다.

4. 1-2W형 파이프 하우스도 이동식 파이프 하우스와 같이 순간 최대풍속 30m/sec정도에서 전파하는 것으로 볼 수 있으나, 시공상의 문제점을 보완하면 피해를 줄일 수 있을 것으로 판단되었다.

5. 이동식 파이프 하우스의 경우, 직경 및 매입길이를 증가시키면, 인발저항력은 증가하지만, 현재로서는 한계가 있는 것으로 판단되었다.

引用文献

1. 농림수산부, 농어촌진흥공사. 1995. 온실구조설계기준.
2. 농림수산부. 1995. '94채소생산실적.
3. 진주기상대, 1995. 순산업기상정보 제95-21호.
4. ○和夫. 1990. Shear Keyを付けた異形短杭の引抜き抵抗力に關する實驗的研究. 農業土木學會論文集 147. 61-67.
5. 尹龍喆, ○和夫, 松本伸介, 玉井佐一. 1992. 水平方向に加振した短抗の引抜き抵抗力に關する實驗的研究. 農業土木學會論文集 166. 25-33.
6. 日本建築學會編. 1974. 建築基礎構造設計基準・同解說. 日本建築學會. p.282.
7. 장효완, 주성문. 1995. 기초공법. 탐구문화사. p.163.
8. 강재순. 1995. 기초구조물의 설계와 해석. 엔지니어스. p.364.