

폭설에 의한 파이프하우스의 붕괴 원인 분석 및 하중지지능력 평가

Actual Collapse Cause and Evaluation Load Carrying Capacity of Pipe-house with the Heavy Snow

최 재 혁* · 정 시 정** · 이 세 준***

Choi, Jae-Hyounk · Jeong, Si-Jeong · Lee, Se-Jun

요 약

시공의 용이성과 저렴한 시공비로 간단하게 설치가능한 단동형 파이프하우스는 기상이변으로 인하여 농업생산에 큰 피해를 발생시키며 동시에 농업 생산기반 자체를 위협하고 있는 실정이다. 따라서 폭설에 의한 파이프하우스의 피해를 줄이기 위해서는 실제 붕괴된 피해사례의 정확한 원인분석이 필요하다. 따라서 본 논문에서는 간략화법을 이용한 극한해석을 통해 파이프하우스의 붕괴원인 분석 방법을 개발하여 실제 폭설에 의한 피해사례를 적용하여 실제 붕괴하중을 검토하였다.

keywords : Pipe-house, Compact Procedure Method(CPM), 극한해석, 폭설, 하중지지능력

1. 서 론

단동형 파이프하우스는 시공의 용이성과 저렴한 시공비로 간단하게 설치하여 사용할 수 있는 이점이 있어, 한국의 농업시설 전체 면적의 79.3%를 차지하고 있는 대표적인 농업시설이다. 최근, 기후변동의 폭이 커지고 잦은 기상이변으로 인한 기상재해가 빈발하여 농업시설의 피해는 매년 반복되어 시설농가의 생산기반이 파괴되고 있어 농업생산에 큰 영향을 줄 뿐만 아니라 피해 복구에 소요되는 예산은 농가의 큰 부담이 되고 있다. 따라서 이러한 손실을 줄이기 위해서는 실제 붕괴된 피해사례의 정확한 원인분석이 필요하다. 본 연구에서는 파이프하우스의 폭설에 의한 붕괴원인을 파악하기 위하여 간략화법을 이용한 극한해석을 통해 파이프하우스의 붕괴원인 분석 방법을 개발하고, 실제 붕괴사례에서 발생한 붕괴하중을 추정하여 비교 분석하였다. 또한, 파이프하우스 구조물의 붕괴거동을 분석하여 실제 붕괴사례와 비교하였다.

2. CPM을 이용한 붕괴원인 분석

Livesley에 의해 제안된 Compact Procedure Method(CPM)은, 극한 해석의 하계정리를 기본으로 선형계획법을 이용한 극한해석법이다. 평형조건과 소성조건을 동시에 만족하는 정적허용상태에서 하중계수를 최대화하여 얻어진 하중값은 실제의 붕괴하중보다 항상 작거나 같게 된다.

CPM에서 구조물의 휨모멘트 및 축력 등의 응력성분은 내력성분으로 선택된다. 이 응력성분의 소성조건은 제약조건식으로서 이용된다. CPM을 정식화 하면 다음과 같다.

* 정회원 · 조선대학교 건축학부(건축공학전공) 조교수 jh_choi@chosun.ac.kr

** 학생회원 · 조선대학교 건축공학과 석사과정 purityj@nate.com

*** 조선대학교 건축공학과 학부과정 sebaljjang@hanmail.net

$$\text{Maximize } \lambda \tag{1}$$

$$\text{Subject to } \lambda \{P_o\} = [\text{Con.}] \bullet \{M\} \tag{2}$$

$$\text{소성조건 } |M_{ij}| \leq M_{pj} \tag{3}$$

λ : 붕괴하중계수, $\{P_o\}$: 절점하중벡터의기저치, $[\text{Con.}]$: 접속메트릭스, $\{M\}$: 부재력(내력)벡터, M_{pj} : 부재의 내력.

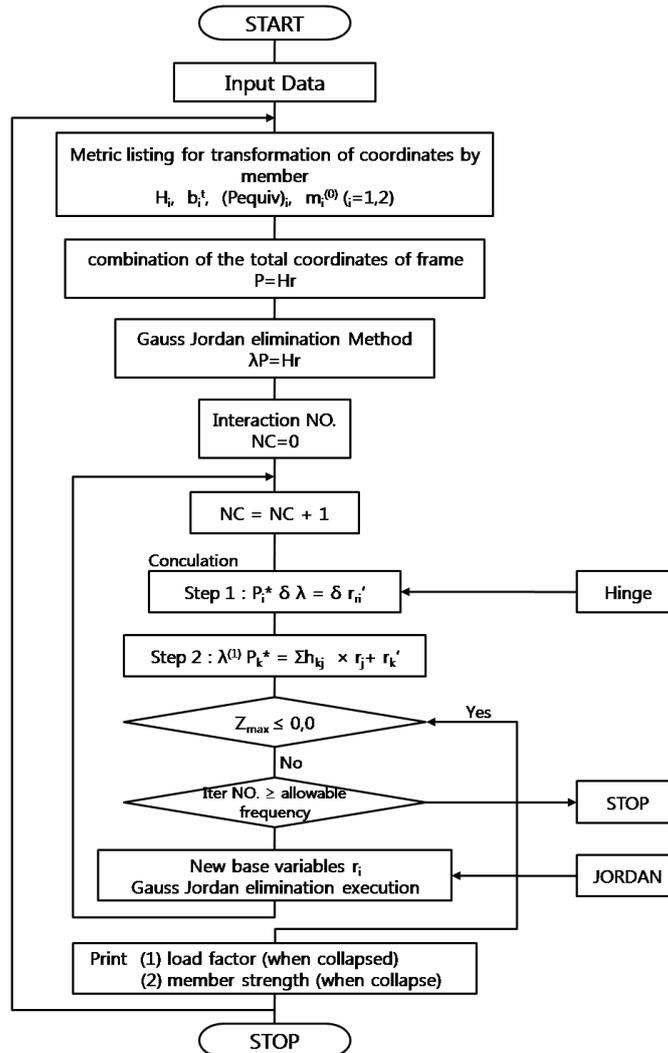


그림 1 CPM의 flow chart

3. 실제 피해사례 검토

3.1. 과거피해사례개요 및 재료적 특성

표 1은 적설하중으로 인한 파이프하우스의 실제 붕괴사례 중에서 대표적인 5가지 사례를 나타내었다. 또한, 파이프하우스의 골조는 일반적으로 농업용 파이프하우스 아연도금 구조용 강관을 사용하고 있다. 표 2에는 파이프하우스에 사용된 파이프의 재료적 특성을 나타낸다.

표 1 파이프하우스 피해사례 개요

Classification	Region	Dates	SIZE			Material characteristics	Rafter	
			Snow depth (mm)	Width (m)	Height (m)		Pipe size	Spacing (mm)
Collapse case A	Namyangju in Gyeonggi	2001.02	370	5.3	2.5	SPVH	∅5.4×1.5t	700
Collapse case B	Seongju in Gyeongbuk	2001.01	300	5.2	2.2			900
Collapse case C	Hwaseong in Gyeonggi	2001.01	286	6.5	3.0			800
Collapse case D	Nonsan in Chungnam	2004.03	450	5.4	2.3			700
Collapse case E	Yecheon in Gyeonggi	2004.03	490	8.0	3.0	SPVHS	∅1.8×1.5t	900

* Korea meteorological administrantion (2004)

표 2 파이프의 재료적 특성

Pipe material	Cross-section size	Yield strength F_y (N/mm ²)	Ultimate strength F_u (N/mm ²)	Cross-section area (mm ²)	Elastic Section modulus-S (mm ³)	Plastic Section modulus-Z (mm ³)
SPVH	∅5.4×1.5t	205	270	113	635	858
SPVHS	∅1.8×1.5t	295	400	143	1033	1378

3.2. 붕괴하중 산정

3.2.1 CPM에 의한 붕괴하중(P_u) 산정

CPM해석에 있어서 적용된 하중은 그림 2~3에서 보는 바와 같이 각 절점에 집중하중(P_0)이 작용하는 것으로 산정하였다. 지붕경사도에 따른 적설하중의 변동은 고려하지 않고 그림 2~3과 같이 일정한 크기의 집중하중이 작용하는 것으로 하였다.

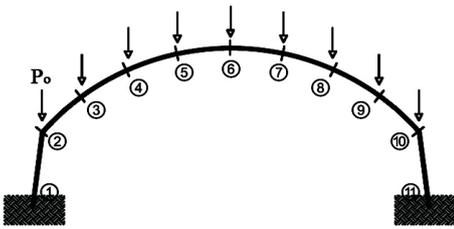


그림 2 11절점의 파이프하우스

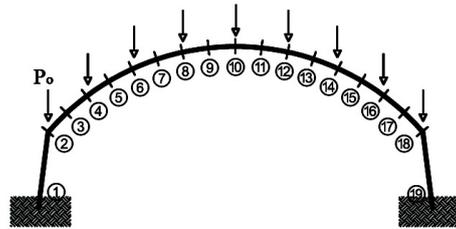


그림 3 19절점의 파이프하우스

$$P_u = \lambda \times P_0 \tag{4}$$

P_u : CPM에 의한 붕괴하중, λ : 하중계수, P_0 : 설정하중

식 (4)는 CPM에 의한 붕괴하중 계산법으로 설정하중(P_0 =단위하중(1kN))에 CPM에 의해 얻어진 붕괴하중 계수(λ)를 곱하여 붕괴하중을 산정하였다. 또한, 지점의 조건은 고정으로 하였다.

3.2.2 적설하중에 따른 붕괴하중(P_r) 산정

식 (5)는 피해가 발생한 파이프하우스의 실제의 적설하중을 구하기 위하여 추정 적설심에 눈의 평균 단위중량(KBC2005)을 곱하여 실제 적설하중으로 산정하였다.

$$P_r = \alpha \times \{ (P \times W \times T_1) / N \} \tag{5}$$

P_r : 실제붕괴하중, P : 눈의 단위중량, W : 폭, T_1 : 서까래간격, α : 구조체의 자중(=1.1), N : 적용된 하중갯수

3.3. 절점수에 따른 CPM 해석결과

아치 구조물을 구성하는 부재의 절점수에 따른 영향을 알아보기 위해 해석모델을 11개 절점과 19개 절점으로 나누었다. 표 4는 절점수에 따른 CPM 해석결과이다. 분석 결과, 절점수에 따른 하중계수의 차이는 거의 나타나지 않아 그에 따른 추정붕괴하중(P_u)값 또한 차이가 없는 것으로 판단된다.

표 4 절점수에 따른 CPM 해석결과 비교 [() : 절점수]

Classifications	P_r (kN)	$P_{u(11)}$ (kN)	$P_{u(19)}$ (kN)	P_r/P_u
Collapse case A	0.168	0.206	0.206	0.82
Collapse case B	0.172	0.225	0.225	0.76
Collapse case C	0.182	0.167	0.167	1.09
Collapse case D	0.208	0.196	0.196	1.06
Collapse case E	0.431	0.284	0.284	1.52

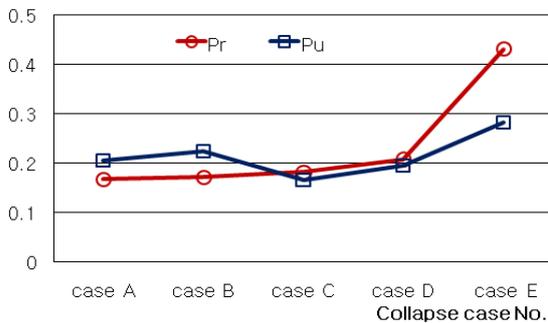


그림 5 실제붕괴하중과 CPM에 의한 붕괴하중 비교

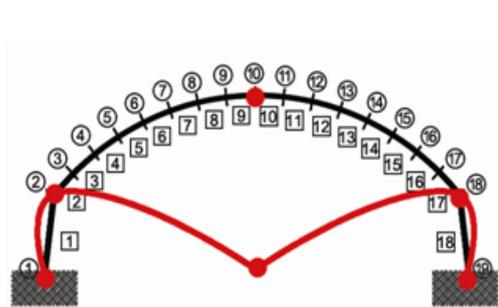


그림 4 Collapse Case C의 소성힌지 발생지점

4. 결과

본 논문에서는 극한붕괴해석을 수정하여 파이프하우스의 추정붕괴하중을 계산하였다. 해석결과의 분석을 통하여 과도한 적설로 인한 파이프하우스의 붕괴를 확인하였다. 따라서, 기존 파이프하우스의 보강방법 제안이 요구된다. 반면에, 재료적으로 충분히 추정 적설심의 설하중을 지지할 수 있음에도 불구하고 붕괴된 경우가 있다. 그 원인은 강재의 아치형태로 가공시 부재의 내력저하, 편심하중으로 작용, 기상청 제공 추정적설심의 오차 등으로 추정할 수 있다. 향후 실제 재하실험을 통한 정밀한 붕괴하중 산정이 요구된다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 지역기술혁신사업의 연구비 지원(과제번호#08지역기술혁신 B01-02)에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다. 또한 본 연구는 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단(No. 2009-0070499)의 지원을 받아 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

- 김보경, 이수현, 신경재 (2008) 폭설시 프리텐션타이를 이용한 비닐하우스 보강방법연구, 한국강구조학회 학술대회 발표집, pp.445~448
- 정시정, 박주영, 김현수, 장호주, 최재혁 (2008) CPM을 이용한 비닐하우스 붕괴원인 분석에 관한 연구, 구조물진단학회 추계학술발표대회 논문집, pp.185~189
- 폭설에 의한 피해사례 원인 및 분석, 농촌진흥청, 국립원예특작과학원 자료, 2001