



(주)시티월 ENG
대표이사
신흥 대학교 건축과
검임교수(공학박사)
한국 풍공학회 이사
원종호



(주)시티월 ENG
구조팀 대리
한양대학교 공학석사
(건축구조해석연구실)
김길요

PVC창호 구조검토 자동화 프로그램의 개발과 활용방안

1. 들어가는 글

풍하중 및 자중에 대하여 PVC창호(P.V.C Punched Window)의 멀리언(Mullion)과 트랜섬(Transom)의 보강재 구조 검토와 PVC 창호를 지지하기 위한 Anchor system(bracket + stud anchor)을 설계하기 위하여 보다 신속하고 정확한 도구를 마련할 필요성이 대두되었다.

PVC 창호는 오피스나 아파트 등 건축물에 가장 많이 쓰이는 외장재 중 하나이다. 현장에서 다양한 크기와 형태가 쓰이기 때문에 신속하고 정확한 대처가 필요하다. 기존 구조검토 방식은 주어진 조건에 대하여 풍하중을 산정하고 이를 MIDAS 또는 유한요소 프로그램을 이용하여 반력, 모멘트 및 처짐을 산출하여 이를 토대로 구조검토 보고서를 작성하는 형태로 진행 되어왔다. 하지만 현장의 신속한 대응 및 설계·시공 변경, 하중 조건의 변경으로 인하여 구조검토 보고서를 새롭게 변경해야 하는 번거러움이 있다.

PVC창호 구조 자동화 프로그램은 풍하중 산정과 창호 및 보강재와 브라켓 입력, 검토 및 보고서까지가 하나의 프로세스로 이루어지기 때문에 즉각적인 결과 확인이 용이할 뿐 아니라 설계 및 시공 변경 사항에도 쉽게 대응할 수 있다. 또한 거래처와 협의 과정에서 즉시 결과를 공유할 수 있으므로 사전 협의에도 유용하게 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

본 구조 자동화 프로그램은 Java 언어로 개발되었다. Java는 함수 중심의 언어가 아닌 객체 지향 언어로써 개발 완료 이후에도 유지보수가 용이할 뿐 아니라 추가적인 모듈 확장성이 뛰어나다. 그리고 Window 운영체제 뿐만 아니라 Linux나 Mac OS에서도 컴파일을 하면 즉시 호환이 가능한 장치 독립성의 우수한 장점을 가지고 있다.

2. 몸 글

2.1 범위

본 자동화 프로그램은 다음 4가지 타입의 창호를 검토할 수 있다.

2W PVC 창호

3W PVC 창호

모
델
링

2W PVC 창호 모델링 다이어그램. 전체 높이를 H, 두 개의 창호 단위를 각각 W1과 W2로 나눈다. 창호 프레임은 파란색으로 표시되어 있다.

3W PVC 창호 모델링 다이어그램. 전체 높이를 H, 세 개의 창호 단위를 각각 W1, W2, W3로 나눈다. 창호 프레임은 파란색으로 표시되어 있다.

요
약
서

▷ Summary

- Window (1790×2190) ~ 분할 2W(895×895-1100×1090)

1) Anchor Installation

2W PVC 창호 앵커 설치 상세도. 창호 프레임의 각 모서리와 중앙에 앵커가 설치된 위치를 표시한다. 앵커의 종류와 설치 위치는 오른쪽 표에 명시되어 있다.

AT-D	~1-D	A-D	L	WPS	AT-Flangeless	A-D-Flangeless	Flangeless
------	------	-----	---	-----	---------------	----------------	------------

POS	DIM	WSA	EDGE(mm)	N(EA)	Ratio-Br	Ratio-An	CHK
Top	~1-D(100 × 90 × 3t × 50L.G)	WSA M8	250.0	3	26.44%	18.72%	O.K.
Side	~1-D(100 × 90 × 3t × 50L.G)	WSA M8	250.0	4	50.98%	36.22%	O.K.
Bottom	A-T-D(70 × 90 × 100 × 4t × 80L.G)	WSA M8	250.0	3	18.94%	14.76%	O.K.

※ T-Support is installed on the bottom

3300x2250

▷ Summary

- Window (3300×2250) ~ 3W(900×1500×900)

1) Anchor Installation

3W PVC 창호 앵커 설치 상세도. 창호 프레임의 각 모서리와 중앙에 앵커가 설치된 위치를 표시한다. 앵커의 종류와 설치 위치는 오른쪽 표에 명시되어 있다.

AT-D	~1-D	A-D	L	WPS	AT-Flangeless	A-D-Flangeless	Flangeless
------	------	-----	---	-----	---------------	----------------	------------

POS	DIM	WSA	EDGE(mm)	N(EA)	Ratio-Br	Ratio-An	CHK
Bottom	A-T-D(70 × 100 × 100 × 4t × 80L.G)	WSA 3/8"	200.0	5	42.33%	23.36%	O.K.
Top	~1-D(100 × 90 × 3t × 50L.G)	WPS M8	200.0	2	29.07%	26.33%	O.K.
Top	WPS M8	-	950.0	3	21.46%	21.46%	O.K.
Side	WPS M8	-	200.0	2	0.62%	0.62%	O.K.
Side	A-D(100 × 100 × 4t × 80L.G)	WSA 3/8"	700.0	2	25.47%	12.91%	O.K.

분할 2W PVC 창호

분할 3W PVC 창호

모델링

요약서

pvc 예제

2300x1850

▷ Summary

- Window (2300×1850) ~ 분할 2W(1200×1100-1560×290)

1) Anchor Installation

POS	DIM	WSA	EDGE(mm)	N(EA)	Ratio-Br	Ratio-An	CHK
Top	A-T-D(70 × 90 × 100 × 4t × 80L.G)	WSA 3/8"	200.0	4	66.29%	38.54%	O.K.
Bottom	~1-D(100 × 90 × 3t × 50L.G)	WSA 3/8"	200.0	4	69.68%	6.75%	O.K.
Side	WPS M8	-	200.0	4	48.62%	48.62%	O.K.
Side	A-D(90 × 100 × 4t × 80L.G)	WSA M8	600.0	2	72.4%	49.24%	O.K.

※ T-Support is installed on the bottom

3300x2250

▷ Summary

- Window (3300×2250) ~ 분할 3W(950×1399×950-1100×1150)

1) Anchor Installation

POS	DIM	WSA	EDGE(mm)	N(EA)	Ratio-Br	Ratio-An	CHK
Bottom	A-T-D(70 × 100 × 100 × 4t × 80L.G)	WSA 3/8"	200.0	5	46.02%	20.71%	O.K.
Top	~1-D(100 × 90 × 3t × 50L.G)	WPS M8	200.0	2	26.31%	23.83%	O.K.
Top	WPS M8	-	950.0	3	15.2%	15.2%	O.K.
Side	WPS M8	-	200.0	2	4.16%	4.16%	O.K.
Side	A-D(100 × 100 × 4t × 80L.G)	WSA 3/8"	700.0	2	53.69%	27.25%	O.K.

창의 크기와 각 타입 별로 모듈 사이즈를 입력하고 나면 하중 산정 및 보강재와 앵커 등을 정의하여 구조검토를 수행한다.

2.1.2 프로그램 수행 기능

(1) 풍압 산정 (KBC 2009)

KBC 2009 건축구조 기준의 외장재 설계용 풍하중 기준에 대하여 풍압을 산정 할 수 있다.

The image shows a 'Wind Pressure Calculator' window with the following sections and fields:

- Wind Velocity:** Location (dropdown), V_0 (0.0 m/sec).
- Factors:**
 - Category: A (dropdown, note: $H < 20m$ 인 경우 지표면 조도는 C를 적용)
 - Importance factor: 1 (dropdown)
 - Sealing: 밀폐형 건축물 (dropdown)
 - Exposure factor: 1.0 (input)
- Height & Roof Angle:**
 - Mean roof height: 0.0 m
 - Roof angle: less than 10° (dropdown, note: 경사지붕의 경사 각도)
- Pressure Face Area:**
 - Area: 0.0 m
 - Width: 0.0 m
- RESULT:**
 - Roof:**
 - Positive: Typical, Edge, Corner (each with a kPa input field)
 - Negative: Typical, Edge, Corner (each with a kPa input field)
 - Wall:**
 - Positive: Typical, Edge (each with a kPa input field)
 - Negative: Typical, Edge (each with a kPa input field)
- Buttons:** Calculate, Apply

설계 풍하중 산정 윈도우

- ① **기본풍속(Wind Velocity)**: 건축물의 지리적 위치로 검토 대상 지역을 선택하여 결정하는 방법과 풍동 실험 등의 방법으로 풍속을 측정하여 직접 입력하는 방법이 있다.
- ② **지표면 조도(Category)**: 풍속의 높이 분포에 큰 영향을 주는 지표면의 거칠기이다. 주변 지역의 지표면의 상태가 반영된다.
- ③ **중요도 계수(I_w)**: 건축 용도의 중요도에 따라 설계 하중을 할증하는 계수이다. 재해시에 기능을 유지해야 할 건물, 위험물 등을 저장하는 건물, 사회적으로 영향이 큰 건물 등이 대상이 된다.
- ④ **밀폐의 구분 (Sealing)**: 외장재 설계용 피크내압계수를 산정하기 위하여 결정한다.
- ⑤ 유효 수압 면적
- ⑥ 건축물 또는 PVC 창호의 높이
- ⑦ **결과**: 정압과 부압 그리고 각각에 대한 지붕과 벽면에 대하여 10가지 경우에 대하여 산정되고 설계하고자 하는 조건에 맞는 값을 선택하면 최종 풍압으로 반영된다.



(2) 멀리언 보강재 구조 검토

The screenshot shows the Mullion software interface. On the left, under 'Section Property', there are input fields for f_{sy} (235.0 MPa), E (205000.0 MPa), f_x (0.0 mm⁴), and y_c (0.0 mm). On the right, under 'Output', there are fields for 'bending stress (%)' (0.0 N.G.) and 'deflection (mm)' (0.0 N.G.), with a red label '< Height / 100' next to the deflection field. A 'Calculate Mullion' button is at the bottom. Red dashed lines with arrows point from Korean text labels to specific fields: '멀리온의 x축에 대한 단면 2차 모멘트' points to f_x , 'x축에서부터 최대 연단 거리' points to y_c , '멀리온 구조 검토 여부 (체크시 구조검토 하고 보고서에 추가)' points to the 'enable' checkbox, and '멀리온 구조 검토 결과' points to the 'bending stress (%)' and 'deflection (mm)' output fields.

멀리온의 x축에 대한 단면 2차 모멘트

x축에서부터 최대 연단 거리

enable

Section Property

f_{sy} 235.0 MPa

E 205000.0 MPa

f_x 0.0 mm⁴

y_c 0.0 mm

Output

bending stress (%)

0.0 N.G.

deflection (mm) < Height / 100

0.0 N.G.

Calculate Mullion

멀리온 구조 검토 여부 (체크시 구조검토 하고 보고서에 추가)

멀리온 구조 검토 결과

임의 단면에 대하여 풍하중에 대하여 멀리언 보강재의 단면 성능과 최대 연단거리를 입력하면 굽힘 모멘트와 처짐에 대하여 구조 검토를 수행한다. 보강재의 강종은 SS400의 항복강도 235 MPa가 적용되며, 처짐제한은 멀리언의 길이에 대하여 1/100 로 허용여부를 결정한다.

(3) 트랜섬 보강재 구조 검토

트랜섬 보강재 구조 검토 입력부

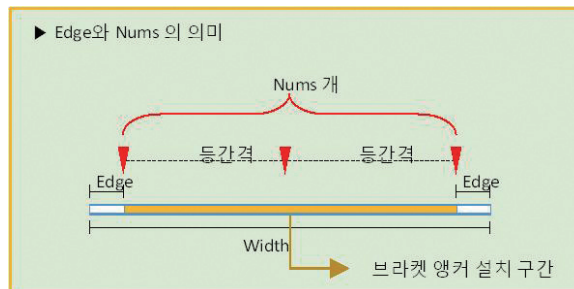
트랜섬 보강재는 풍하중과 유리 무게에 대한 자중에 대하여 검토한다. 임의 단면에 풍압 방향과 자중방향에 대하여 각각 2차 모멘트와 최대 연단 거리, 그리고 보강재 단면의 면적을 입력하면 구조 검토를 수행하여 굽힘 모멘트와 처짐을 산정한다.

(4) 브라켓 & 앵커 시스템 구조 검토

브라켓과 앵커를 구조 검토를 하기 위해서 다음 입력 툴을 이용한다.

브라켓 & 앵커 시스템 입력부

우선, 브라켓이 설치될 위치 Position을 선택을 하고 브라켓의 종류를 선택을 하고 Edge와 브라켓 개수 Nums를 입력한다.

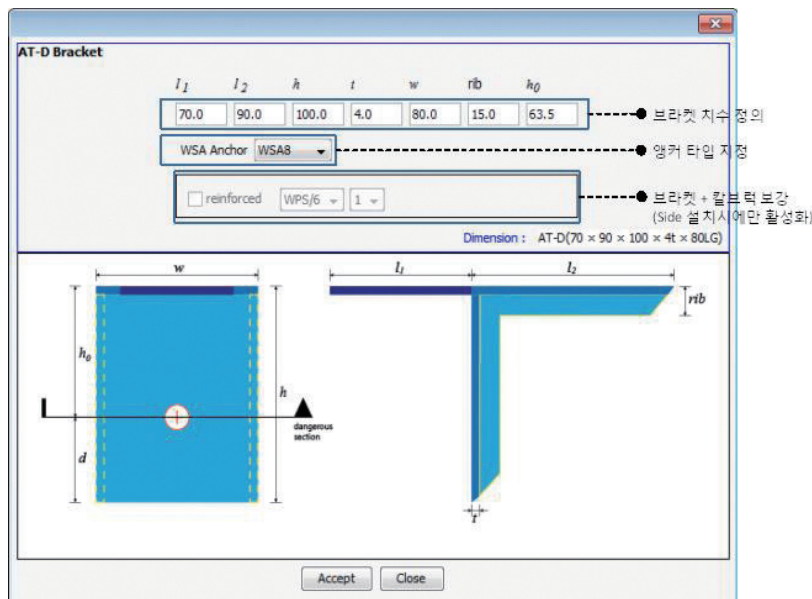


Edge와 Nums는 위 그림과 같이 Edge만큼 떨어진 거리에 동일한 간격으로 배치된다.

Add 버튼을 이용하여 추가하면 Workspace 테이블에 추가된다. 그리고 브라켓과 앵커를 정의하기 위해 Workspace 테이블에서 하나의 아이템을 선택하고 Bracket 버튼을 이용하면 브라켓과 앵커 입력창에 의해 브라켓 치수와 앵커 타입을 결정한다.

Workspace													
Bracket	Position	Edge(mm)	Count	Dimension(mm)	WSA	F _{dead} (N)	F _{wind} (N)	IsReinforced	WPS	WPS Count	P _k (N)	Bracket Ratio(%)	Anchor Ratio(%)
A-T-D	Bottom	200.0	5	A-T-D(70 × 100 × 100 × 4t × 80LG)	WSA 3/8"	773.47	2072.0	X	-	0	0.0	133.6	75.04
L	Top	200.0	2	L(100 × 90 × 3t × 50LG)	WPS M8	0.0	328.8	X	-	0	0.0	115.8	104.91
WPS	Top	950.0	3	WPS M8	-	0.0	1966.22	-	-	0	0.0	85.49	85.49
WPS	Side	200.0	2	WPS M8	-	0.0	56.74	-	-	0	0.0	2.47	2.47
A-D	Side	700.0	2	A-D(100 × 100 × 4t × 80LG)	WSA 3/8"	0.0	1506.31	X	-	0	0.0	101.48	51.5

브라켓 & 앵커 시스템 작업 테이블



브라켓 & 앵커 시스템 부재 정의 입력 윈도우

위의 입력과정을 거치고 나서 구조 검토를 수행하면 Workspace에 반력과 응력에 대해 구조검토를 수행하고 OK/NG 여부와 응력비를 확인할 수 있다.

(5) 구조계산서의 출력

모든 구조검토를 수행하고 나면 이에 대한 구조계산서를 출력할 수 있다. 구조계산서에는 창 모듈의 크기와 치수 그리고 앵커 설치도와 구조 검토 결과가 포함되어 있으며, 멀리언 / 트랜섬의 구조 검토 보고서와 브라켓 앵커 등의 결과가 포함된다. 그리고 별개로 검토 참조 자료를 개별적으로 출력하여 첨부할 수 있다.

① 외장재 설계용 풍하중 산정 구조검토서

2090x2190

Calculate Wind Pressure

$P_w = 0.92 \text{ kPa}$

input info.

V_0	basic wind speed	25.0	m/sec
category	ground roughness	B	
I_w	importance factor	1.0	
K_{zt}	Topographic	1.0	
K_{ex}	velocity pressure exposure coefficient	1.1	
sealing	밀폐형 건축물		
h	height for calculation	58.7	m
A_{eff}	effect pressure area	4.58	m ²

calculation procedure

V_z design velocity = $V_0 \times K_{zt} \times K_{ex} \times I_w = 27.56 \text{ m/sec}$

q_z design velocity pressure at a elevation of z = $1/2 \rho V_z^2 = 0.46 \text{ kPa}$

calculation result

P_e design wind pressure = $q_z (GC_{pe} - GC_{pi})$

Typical

Positive(+)	0.92	kPa
Negative(-)	-0.76	kPa

Edge

Positive(+)	0.92	kPa
Negative(-)	-1.74	kPa

③ 멀리온 구조 검토서

2090x2190

Mullion

1) Distributed load zoning

- W.L	= 0.92	kPa
- a_1	= $W_1 / 2.0$	450.0 mm
- a_2	= $W_2 / 2.0$	595.0 mm
- w_1	= $P_w \cdot a_1$	0.41 N/mm
- w_2	= $P_w \cdot a_2$	0.55 N/mm

2) Bending stress

- S_x	= I_x / y_c	2417.62 mm ³
- M_{max}	= $\{ w_1 \cdot (3 \cdot L^2 - 4 \cdot a_1^2) + w_2 \cdot (3 \cdot L^2 - 4 \cdot a_2^2) \} / 24$	530099.94 N-mm
- M_{max1}	= $M_{max} / 2.0$	265049.97 N-mm
- f_b	= M_{max1} / S_x	109.63 MPa
- f_{fy}	(SS400)	235.0 MPa
- F_b	= $f_{fy} / 1.5 \cdot 1.33$	208.37 MPa
- f_b / F_b		0.53 < 1.0 ∴ O.K.

3) Deflection

- δ_{max}	= $\{ w_1 \cdot (5 \cdot L^2 - 4 \cdot a_1^2)^2 + w_2 \cdot (5 \cdot L^2 - 4 \cdot a_2^2)^2 \} / (2 \cdot 1920 \cdot E \cdot I_x)$	15.13 mm
- δ_{allow}	= $L / 100$	21.9 mm
- $\delta_{max} < \delta_{allow}$		15.13 mm < 21.9 mm ∴ O.K.

② 요약(Summary) 구조 검토서

2090x2190

Summary

● Window (2090×2190) ~ 2W(900×1190)

1) Anchor Installation

POS	DIM	WSA	EDGE(mm)	N(EA)	Ratio-Br	Ratio-An	CHK
Bottom	A-T-D(70 × 75 × 100 × 4t × 80LG)	WSA M8	200.0	4	26.71%	19.9%	O.K.
Top	WPS M8	-	200.0	4	18.24%	18.24%	O.K.
Side	L(75 × 90 × 3t × 50LG)	WPS M8	200.0	2	31.93%	28.93%	O.K.
Side	T-D(75 × 90 × 3t × 50LG)	WSA 3/8"	800.0	2	37.26%	19.75%	O.K.

④ 트랜섬 구조 검토서

파트 1

트랜섬 1

Transom

1) Bending stress

(1) for Dead Load

- actual moment	= 0.05	kN.m
- section modulus (S_x)	= 8834.17	mm ³
- actual bending stress ($\sigma_{b,d}$)	= M_{max} / S_x	5.38 MPa
- allowable bending stress ($f_{b,d}$)	= $F_y / 1.5$	156.67 MPa
- bending stress ratio	= $\sigma_{b,d} / f_{b,d}$	0.03 < 1.0 ∴ O.K.

(2) for Wind Load

- actual moment	= 0.49	kN.m
- section modulus (S_y)	= 16586.81	mm ³
- actual bending stress ($\sigma_{b,w}$)	= M_{max} / S_y	29.66 MPa
- allowable bending stress ($f_{b,w}$)	= $F_y / 1.5 \cdot 1.33$	208.37 MPa
- bending stress ratio	= $\sigma_{b,w} / f_{b,w}$	0.14 < 1.0 ∴ O.K.

(3) Combined Stress

- $\sigma_{b,d} / f_{b,d} + \sigma_{b,w} / f_{b,w}$	= 0.18	∴ O.K.
---	--------	--------

2) Deflection

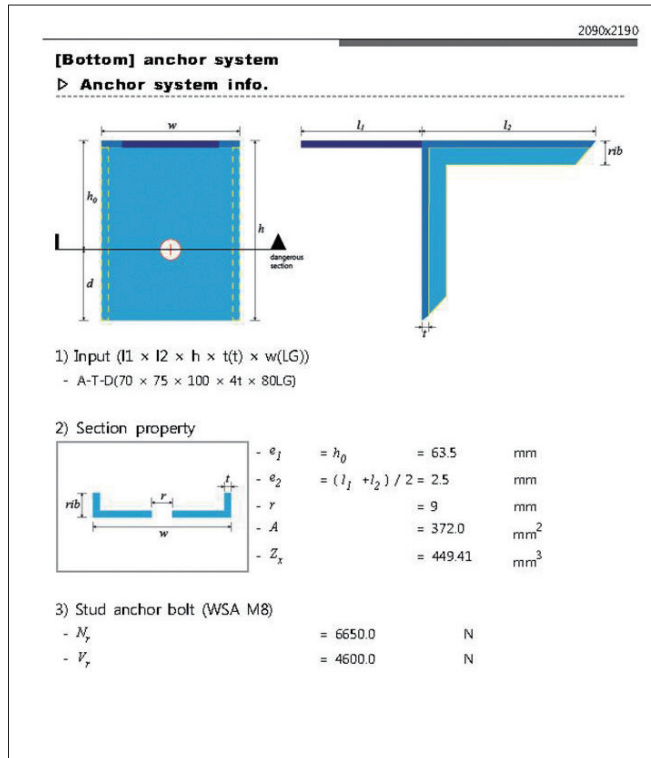
(1) for Dead Load(Bottom window is fixed)

- allowable deflection (δ_{allow})	= 3.0	mm
- actual deflection (δ_{max})	= 0.04	mm
- refer to <AAMA MCWM-1-89>	$\delta_{max} < \delta_{allow}$	∴ O.K.

(2) for Wind Load

- allowable deflection (δ_{allow})	= $L \cdot (\text{length of transom}) / 150$	11.93 mm
- actual deflection (δ_{max})	= 0.76	mm
- refer to <KS F 3117:2009>	$\delta_{max} < \delta_{allow}$	∴ O.K.

⑤ 브라켓 & 앵커 시스템 구조 검토서-1



⑤ 브라켓 & 앵커 시스템 구조 검토서-3

2090x2190

▷ Anchor [WSA M8]

1) Acting force

- $F_{t,act} = P_w$	$= 419.63$	N
- $F_{v,act} = P_d$	$= 556.06$	N

2) Pull-out force of anchor bolt

- $N_{sd1} = F_{t,act} \cdot (e_1 + 0.85d) / (0.85d)$	$= 1278.51$	N
- $N_{sd2} = F_{v,act} \cdot e_2 / (0.85d)$	$= 44.81$	N
- $N_{sd} = N_{sd1} + N_{sd2}$	$= 1323.32$	N
- $N_R = N_{sd} \cdot 1.33$	$= 6650.0$	N
- N_{sd}/N_R	$= 0.2 < 1.0$	∴ O.K.

3) Shear force of anchor bolt

- $V_{sd} = F_{v,act}$	$= 556.06$	N
- V_R	$= 4600.0$	N
- V_{sd}/V_R	$= 0.12 < 1.0$	∴ O.K.

3. 마치는 글

⑤ 브라켓 & 앵커 시스템 구조 검토서-2

2090x2190

▷ Steel Bracket [A-T-D(70 × 75 × 100 × 4t × 80LG)]

1) Acting force

- $F_{t,act} = P_d$	$= 556.06$	N
- $F_{v,act} = P_w$	$= 419.63$	N

2) Actual stress

- $M_{x1} = F_{v,act} \cdot e_1$	$= 26646.64$	N-mm
- $M_{x2} = F_{t,act} \cdot e_2$	$= 1390.15$	N-mm
- $f_b = M_{x1} / Z_x + M_{x2} / Z_x$	$= 62.39$	MPa
- $f_t = F_{t,act} / A$	$= 1.49$	MPa
- $f_v = \{ \sqrt{(F_{v,act})^2 + (F_{t,act})^2} \} / A$	$= 1.87$	MPa

3) Allowable stress

- F_y	$= 235.0$	MPa
- $F_b = (F_y / 1.3) \cdot 1.33$	$= 240.42$	MPa
- $F_t = (F_y / 1.5) \cdot 1.33$	$= 208.37$	MPa
- $F_v = (F_y / 1.5\sqrt{3}) \cdot 1.33$	$= 120.3$	MPa

4) Stress ratio

- $F_r = \sqrt{(f_b / F_b)^2 + (f_t / F_t)^2 + (f_v / F_v)^2}$	$= 0.27 < 1.0$	∴ O.K.
--	----------------	--------

현재 개발된 PVC 구조검토 자동화 프로그램은 특정업체의 브라켓과 앵커 그리고 PVC Frame에 구조검토를 수행할 수 있다. 하지만 브라켓과 앵커 또는 기성 멀리언 / 트랜섬 보강재에 대한 단면정보 등을 프로그램 내에 데이터 베이스화하여 일반적으로 활용할 수 있는 범용 프로그램이 될 것으로 기대되며, 개정될 2014 건축구조기준 (KBC 2014)에 대한 품압 산정식을 추후에 적용하면 좀 더 폭넓게 활용할 수 있을 것으로 사료된다.

또한 본 자동화 프로그램을 실무에 사용할 경우, 구조를 전공하지 않은 비전문가 일지라도 기초적인 구조 지식과 사용 매뉴얼만 숙지한다면 정확하고 신속하게 구조계산서를 작성하는 능력을 갖추게 될 것으로 확신한다.

참고 문헌

1. 대한건축학회, 국토해양부 고시 건축구조기준 2009
2. Java SE(Standard Edition) 1.7 (<http://www.oracle.com/technetwork/java/index.html>)