유리구조 설계 및 유지관리 가이드라인

국토교통부

목 차

I. 유리구조 설계 가이드라인 ····· 1

1. 배경 및 목적 ····· 2

2. 유리구조 설계기준 (KDS 41 80 20 : 2022) ····· 4

2.1 유리구조 설계 개요 및 절차 ····· 4

2.2 유리구조 설계 개념 ····· 5

2.3 접합유리의 설계 ····· 5

3. 유리구조 설계사례 ····· 6

3.1 유리바닥 ····· 6

3.2 유리벽체 ····· 12

3.3 유리난간 ····· 15

3.4 볼트접합부 ····· 17

3.5 휨 부재 ····· 22

3.6 유리기둥 ····· 25

3.7 구조용 실란트 ····· 28

II. 유리구조 유지관리 가이드라인 ····· 31

1. 일반사항 ····· 32

1.1 배경 및 목적 ····· 32

1.2 점검절차의 구분 ····· 32

2. 유리부재의 노후화 및 파손 유형 ····· 33

2.1 유리부재의 노후화 유형 ····· 33

2.2 유리부재의 파손 원인 ····· 33

3. 수시점검 및 유지관리 ····· **34**
3.1 수시점검 및 유리관리의 목적 및 범위 ····· 34
3.2 수시점검을 위한 인력 ····· 35
3.3 수시점검의 유리관리 작업 ····· 35
3.4 수시점검 및 유지관리 기록 ····· 35
4. 정기점검 및 유지관리 ····· **35**
4.1 정기점검 및 유리관리의 목적 및 범위 ····· 35
4.2 정기점검을 위한 인력 ····· 36
4.3 정기점검의 유리관리 작업 ····· 36
4.4 정기점검 및 유지관리 기록 ····· 36
5. 유리구조 점검 체크리스트 및 주요 점검사례 ····· **37**
5.1 유리구조 점검 체크리스트 ····· 37
5.2 주요 점검사례 ····· 39

[참고문헌] ····· 42
[별첨] 유리구조 점검 체크리스트 서식 ····· 43

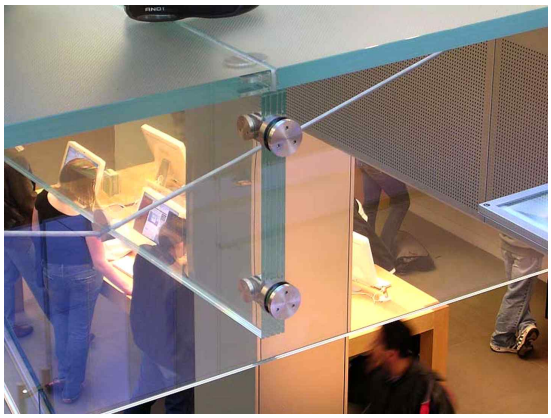
I. 유리구조 설계 가이드라인

1. 배경 및 목적

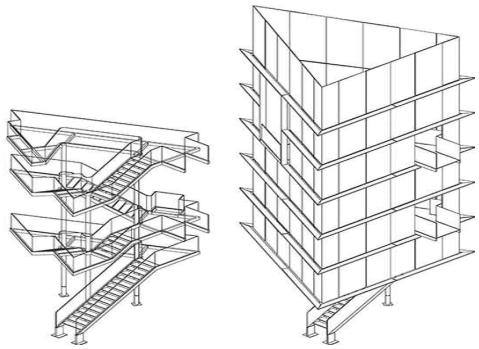
유리는 투명성을 이용한 건축재료로서 널리 활용되어 왔으며, 기존의 적용방식인 비구조재(Infill or Non-structural Infill, 채움식 부재)로서 뿐만 아니라 최근에는 점차 구조재(Free-standing or Self-supporting, 자립형 부재)로서도 활용도가 커지고 있다. 특히 유리재료의 재활용성 및 건축물 에너지 절감기술의 발전에 따라 유리는 지속가능한 재료로서 인정받고 있으며(Kozlowski et al. 2019), 이에 따라 세계적으로 구조용 유리의 시장규모도 점차 커지고 있다. Global Structural Glazing Market Research Report 2022 보고서에 따르면, 전 세계 구조용 유리의 시장규모는 2022년 102.4억 달러로 추정되며 2022~2028년 연평균 성장률 4.8%를 기록하여 2028년에는 135.6억 달러에 이를 것으로 전망되었다.

유리가 구조재로서 활용된 최초의 사례는 1950년대 독일 Glasbau-Hahn 전시장으로 알려져 있으며(Jozwik 2022), 최근에는 애플스토어를 통해 유리구조의 혁신성을 확인할 수 있다. 국내에서는 2017년 롯데월드타워 118층에 문을 연 서울스카이 유리바닥 전망대가 대표적이다.

Apple store 5th avenue glass cube, New York, Bohin Cywinski Jackson



Apple Store Glass Stair/Bridge



Glass Stair at Deutsche Post, Bonn, Germany (James Carpenter)

유리는 그 재료적 성질이 탄성적이고 등방성의 재료이며 압축강도가 높지만, 인장강도가 낮고 취성적이며 특히 열강화유리의 경우 자파현상(Spontaneous Breakage)이 발생할 우려가 있어 구조재로서의 적용은 특정 내력부재에만 제한적으로 이뤄지고 있다. 특히 유리산업 및 전산구조해석(유한요소해석)의 발전에 비해, 관련 설계지침 및 기준의 발전은 뒤처져 있는 실정이다(Froling 2013, Jozwik 2022).

이러한 점을 감안하여 유럽에서는 2010~2014년에 유럽과학기술협력활동의 일환으로 TU0905라는 연구프로젝트가 진행되었으며, 유럽표준화위원회(CEN: European Committee for Standardization) 기술위원회인 CEN/TC 250(Structural Glass)에서는 위임을 받아 기술시방서인 CEN/TS 19100(Design of glass structures)을 2021년 발간하였다. 이를 바탕으로, 유리구조는 전통적 재료에 기반한 1세대 Eurocode 1～9에 추가되어 2024년 Eurocode 10으로 발간될 예정이다.

Eurocode에 비해 규범적 내용보다는 기술적 내용이 주로 담긴 CEN/TS 19100은 총 3개의 Part로 구성되었다(Feldmann & Di Biase 2018). Part 1: Basis of design and materials, Part 2: Design of out-of-plane loaded glass components, Part 3: Design of in-plane loaded glass components and their mechanics joints. 특히 CEN/TS 19100에서는 기존의 고전적 한계상태인 Serviceability Limit State(SLS)와 Ultimate Limit State(ULS) 이외에도, 유리재료의 취성적 특징을 반영하여 유리구조의 파괴시 및 파괴후의 안전에 대한 Fracture Limit State(FLS)와 Post Fracture Limit State(PFLS)가 추가로 반영되었다. 이러한 설계철학은 추후 국내 설계기준에도 반영될 필요가 있다.

국내에서도 건축물의 외벽을 구성하는 커튼월, 유리난간 외에도 유리지붕, 전망대 및 유희시설의 유리바닥을 비롯하여 다양한 형태의 구조용 유리 시스템을 이용한 건축물이 설계·시공되고 있으나, 그동안에는 유리구조에 대한 설계기준이 부재하여 유리자재 업체를 중심으로 경험 및 실험에 기반한 설계 또는 해외기준 차용 등의 방법으로 설계가 이루어지고 있어 최소기준에 대한 관리가 필요하였다. 이에 건축물에 사용되고 있는 다양한 유리구조의 안전확보를 위해,「KDS 41 80 20 : 2022 유리구조 설계기준」이 신규 제정되었다.

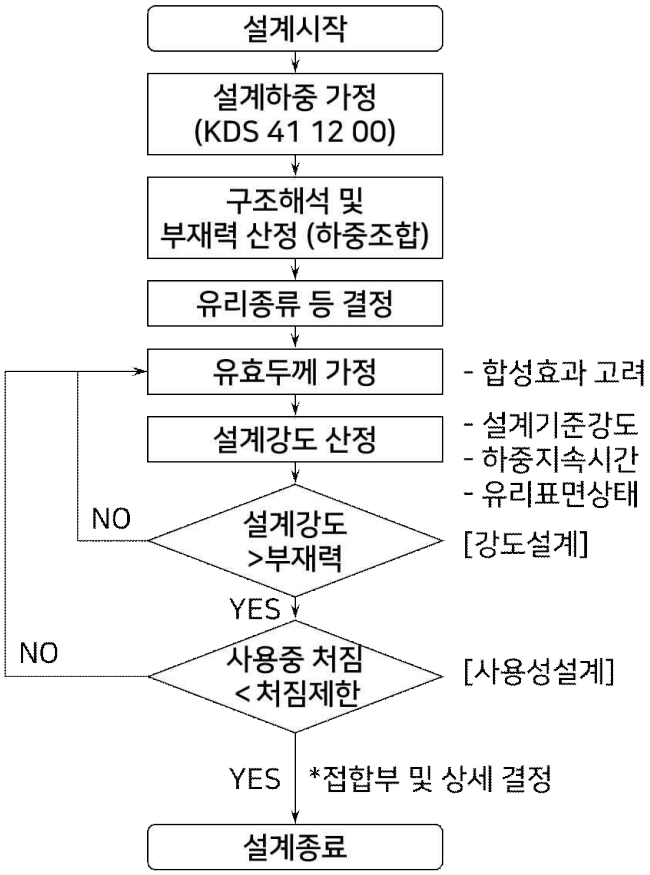
본 가이드라인에서는 KDS 41 80 20에서 정하는 유리구조요소의 범위와 설계에 대한 개념, 주요 유리구조부재에 대한 설계예제를 제공함으로써 실무자들의 이해를 돕고 설계기준의 효율적인 제도 운용을 도모하고자 한다.

2. 유리구조 설계기준 (KDS 41 80 20 : 2022)

2.1 유리구조 설계 개요 및 절차

유리구조는 건축구조물의 구조체에 부착되어 바람과 눈 및 자중을 지지하는 유리와 유리고정물을 포함한 구조로서, 유리바닥, 유리벽, 유리지붕, 유리난간, 유리문 등을 포함한다.

KDS 41 80 20은 이러한 유리구조 설계의 일반적인 요구사항과 설계방법에 따른 기술적 사항들을 규정함으로써 건축구조물에 적용되는 유리구조의 안전성과 사용성, 내구성을 확보하는 것을 그 목적으로 하며, 건축구조물 내부와 외부에 설치되어 KDS 41 12 00에서 규정한 건축구조물의 구조설계에 적용되는 설계하중이 작용하는 유리구조의 안전성 확보를 위하여 재료, 설계기준, 시공품질 및 시험방법을 규정하고 있다. KDS 41 80 20에 따른 유리구조의 기본적 설계순서를 도식화하면 아래와 같다.



유리구조 설계 흐름도

2.2 유리구조 설계 개념

유리구조설계는 유리재료의 취성특성을 고려하여 콘크리트와 강구조 설계에 적용하는 강도설계의 단면으로 발휘되는 강도값과 비교하는 대신 최대응력도의 크기로 안전성을 검토한다.

- 강도검토

$$\sigma_{\max} \leq f_{gd}$$

f_{gd}는 설계기준강도에 강도저감계수로 저감한 설계강도에 해당한다. 주요한 저감계수로는 하중지속시간에 따라 돌풍와 같은 5초이내의 단기하중의 경우 최대 1.0에서 고정하중와 같은 하중이 작용하는 비강화유리의 경우 0.29 사이의 값을 사용한다.

- 사용성 검토

$$w_{\max} \leq w_d$$

사용성은 유리구조의 테두리구조와 유리판 자체의 각각 처짐값이 기준 제한 값을 만족해야 한다.

2.3 접합유리의 설계

접합유리는 2장 이상의 유리판을 PVB 필름과 같은 중간막으로 전면 접착한 유리로서 합성효과의 정도를 고려하여 유효단면두께를 산정하는 절차가 필요하다. 이 때 접합유리의 재료특성은 중간막 재료의 전단강성계수 및 개별적인 유리판의 단면2차모멘트로 정해진다.

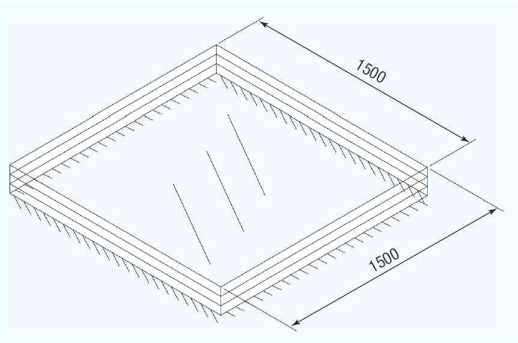
3. 유리구조 설계사례

이 장의 예제는 KDS 41 80 20 : 2021에 따라 설계하는 것으로 작성되었으며, 온도에 따른 물성변화는 별도로 고려하지 않았다.

3.1 유리바닥

아래와 같이 강재 격자보에 의해 4변이 단순지지된 1.5×1.5m의 유리바닥이 있다. KDS 41 80 20 에 따라, (1) 등분포 활하중(3.5kN/m^{2}의 중기하중)을 받는 경우와 (2) 집중 활하중(3.0kN의 단기하중)을 받는 경우에 대하여 유리바닥을 설계하라.

단, 집중하중은 유리바닥 정중앙에 있는 반지름 $r_o = 10\,\mathrm{mm}$의 작은 면적에 작용하는 것으로 가정하여 설계한다.



[설계조건] 3중 접합유리

최상층 유리판은 미끄럼방지를 위해 요철 처리하되, 사용 중 마모 등을 고려하여 강도 설계 시에는 고려하지 않고,

하부 2개 층 유리판은 배강도유리로 설계한다.

적용기준	↘ 계산 및 해설
	(1) 설계용 상수
표 3.1-1	① 재료물성 유리 탄성계수 $E = 7 \times 10^4\,\mathrm{MPa}$ 유리 푸아송비 $\nu = 0.22$ 유리 밀도 $\rho = 2.5 \times 10^{-6}\,\mathrm{N/mm^3}$
표 3.1-2 표 3.1-3 표 3.1-4	② 강화유리 설계강도 강화유리의 설계기준강도 $f_{gk} = 80\,\mathrm{MPa}$, 하중지속시간에 따른 강도감소계수는 1.0(단기), 0.81(중기), 0.66(장기), 유리표면상태에 따른 강도감소계수는 1.0(일반)이므로, 강화유리의 설계강도는 단기하중의 경우 $f_{gd-\text{단기}} = 80 \times 1.0 \times 1.0 = 80\,\mathrm{MPa}$ 중기하중의 경우 $f_{gd-\text{중기}} = 80 \times 0.81 \times 1.0 = 64.8\mathrm{MPa}$,

적용기준	⇲ 계산 및 해설

장기하중의 경우 $f_{gd-장기} = 80 \times 0.66 \times 1.0 = 52.8\text{MPa}$로 산정된다.

③ 가정 및 자중(장기 고정하중)

각 유리판의 두께는 $t = 12\,\text{mm}$, 중간막 재료의 전단탄성계수 및 두께는 각각 $G_i = 0.69\text{MPa}$ 및 $t_i = 1.52\text{mm}$로 가정한다. 중간막의 자중을 무시하면, 접합유리의 자중은 다음과 같이 계산된다.

$q_D = \rho\, t = (2.5 \times 10^{-6})(3 \times 12) = 9 \times 10^{-5}\,\text{MPa}$

(2) 등분포 활하중($q_L = 3.5\,\text{kN/m}^2$의 중기하중)을 받는 경우

① 강도설계(최상층 유리판 무시): 최대응력 $\sigma_{\max} \le f_{gd}$

단기하중이 아니므로 접합유리의 합성작용은 고려하지 않으며, 주어진 조건에 따라 강도설계 시 최상층의 유리판은 무시한다. 하부 2개 층 각 유리판의 하중분담은 다음과 같다.

식 4.2-1

$$k_{pane} = \frac{t_{pane}^3}{\sum_i^n t_i^3} = \frac{12^3}{12^3 + 12^3} = 0.5$$

유리판의 최대처짐이 허용처짐을 초과하지 않을 정도로 작아, 탄성거동한다고 가정하였다. 이 예제에서는 Roark's Formulas for Stress and Strain (9th) (Budynas and Sadegh 2020)에 따라 4변 단순지지된 유리판이 등분포하중을 받는 경우의 최대응력 및 최대처짐을 산정하였다($a/b = 1$, 여기서 a는 장변의 길이, b는 단변의 길이.)

$$\sigma_{\max} = \frac{\beta q b^2}{t^2},\ \delta_{\max} = \frac{\alpha q b^4}{E t^3}$$

a/b	1	1.2	1.4	1.6	1.8	2	3	4	5	∞
β	0.2874	0.3762	0.453	0.5172	0.5688	0.6102	0.7134	0.7410	0.7476	0.7500
α	0.0444	0.0616	0.077	0.0906	0.1017	0.1110	0.1335	0.1400	0.1417	0.1421

각 유리판의 자중(장기 고정하중)에 의한 효과

$$\sigma_{\max,D} = \frac{\beta q b^2}{t^2} = \frac{(0.2874)(5.40 \times 10^{-5})(1500)^2}{12^2} = 0.243\,\text{MPa}$$

여기서, $q = (k_{pane})(1.2 q_D) = (0.5)(1.2)(9 \times 10^{-5}) = 5.40 \times 10^{-5}\text{MPa}$

1.2은 고정하중에 대한 하중계수

적용기준	⇲ 계산 및 해설
	각 유리판의 등분포하중(중기 활하중)에 의한 효과 $\sigma_{\max,L} = \dfrac{(0.2874)(2.8\times10^{-3})(1500^2)}{12^2} = 12.57\,\mathrm{MPa}$ 여기서, $q = (k_{pane})(1.6q_D) = (0.5)(1.6)(3.5\times10^{-3}) = 2.8\times10^{-3}\mathrm{MPa}$ 1.6은 활하중에 대한 하중계수 탄성해석의 가정에 따라, 각 유리판에 발생하는 최대응력은 $\sigma_{\max} = \sigma_{\max,D} + \sigma_{\max,L} = 12.813\mathrm{MPa}$이다. 하중지속시간이 다른 조합하중에 대한 안전성 검토 $\left(\dfrac{Q}{R}\right)_{장기} + \left(\dfrac{Q}{R}\right)_{중기} \le 1.0$ $\left(\dfrac{\sigma_{\max,D}}{f_{gk-장기}}\right) + \left(\dfrac{\sigma_{\max,L}}{f_{gk-중기}}\right) = \left(\dfrac{0.243}{52.8}\right) + \left(\dfrac{12.57}{64.8}\right) = 0.19 < 1.0$이므로 적합 ② 사용성설계: 최대처짐 $\delta_{\max} \le \delta_a$ 강도설계와 마찬가지로, 단기하중이 아니므로 접합유리의 합성작용은 고려하지 않는다. 다만 사용성 설계 시에는 최상층 유리판의 기여를 고려한다.
식 4.2-1	$k_{pane} = \dfrac{t_{pane}^3}{\sum_i^n t_i^3} = \dfrac{12^3}{12^3+12^3+12^3} = 0.333$ $\delta_{\max} = \dfrac{\alpha q b^4}{Et^3} = \dfrac{(0.0444)\times(11.95\times10^{-4})(1500)^4}{(70000)\times(12)^3} = 2.22\mathrm{mm}$ 여기서,
4.2.3.1	$q = (k_{pane})(q_D + q_L) = (0.333)(9\times10^{-5} + 3.5\times10^{-3}) = 11.95\times10^{-4}\mathrm{MPa}$ 4변 단순지지의 경우 처짐제한은 단변길의의 1/60을 초과할 수 없으므로 $\delta_a = \dfrac{b}{60} = \dfrac{1500}{60} = 25\,\mathrm{mm}$ $\delta_{\max} \le \delta_a$이므로 적합

적용기준	↘ 계산 및 해설
	(3) 집중 활하중($P_L = 3.0\,\mathrm{kN}$의 단기하중)을 받는 경우 ① 강도설계(최상층 유리판 무시): 최대응력 $\sigma_{\max} \le f_{gd}$ 자중(장기 고정하중)에 대해서는 (2)와 동일하다: $\sigma_{\max,D} = 0.283$ MPa. 반면 집중 활하중은 단기하중이므로, 합성작용의 효과를 고려할 수 있다. 강도설계시 주어진 조건에 따라 최상층의 유리판은 무시하며, 이에 따라 접합유리의 등가두께는 다음과 같이 $t_{eq} = 23.75\,\mathrm{mm}$로 계산된다.
식 4.3-8	$t_{eq} = \sqrt[3]{\dfrac{12I_s(1+\alpha+\pi^2\alpha\beta)}{b(1+\pi^2\beta)}}$ $= \sqrt[3]{\dfrac{12(1.65\times10^6)(1+0.262+\pi^2\times0.262\times0.412)}{1500(1+\pi^2\times0.412)}} = 23.75\,\mathrm{mm}$ $I_s = b(t_1z_1^2+t_2z_2^2) = 1500\,[\,(12)(6.76)^2+(12)(6.76)^2\,] = 1.65\times10^6\,\mathrm{mm}^4$ $\alpha = \dfrac{I_1+I_2}{I_s} = \dfrac{2\times(1500)(12)^3/12}{1.65\times10^6\mathrm{mm}^4} = 0.262$ $\beta = \dfrac{t_i}{G_i a(z_1+z_2)^2}\dfrac{EI_s}{L_{cr}^2}$ $= \dfrac{1.52}{(0.69)(1500)(6.76+6.76)^2}\dfrac{(70000)(1.65\times10^6)}{(1500)^2}$ $= 0.412$ $z_1 = z_2 = 1.52/2+12/2 = 6.76\,\mathrm{mm}$ 여기서, z_1, z_2 : 전단면의 도심으로부터 각 유리판의 도심까지의 거리이며, 유리두께는 12mm, 중간막 두께는 1.52mm이다. (2)와 마찬가지로 유리판의 최대응력과 최대처짐은 Roark's Formulas for Stress and Strain (9th) (Budynas and Sadegh 2020)에 따라 산정하였다($a/b=1$, $r_o' = r_0 = 12.8\,\mathrm{mm}$, $t = t_{eq}$ 여기서 a는 장변의 길이, b는 단변의 길이, r_o'는 집중하중 작용영역의 반지름, t는 유리판 두께.) $\sigma_{\max} = \dfrac{3P}{2\pi t^2}\left[(1+\nu)\ln\left(\dfrac{2b}{\pi r_o'}\right)+\beta\right]$, $\delta_{\max} = \dfrac{\alpha P b^2}{Et^3}$ $r_o' = \sqrt{16r_o^2+t^2}-0.675t$, $r_o < 0.5t$인 경우

적용기준	⇲ 계산 및 해설

$r_o{}' = r_o$, $r_o \geq 0.5t$인 경우

a/b	1	1.2	1.4	1.6	1.8	2	∞
β	**0.4350**	0.6500	0.7890	0.8750	0.9270	0.9580	1.0000
α	**0.1267**	0.1478	0.1621	0.1715	0.1770	0.1805	0.1851

집중하중(단기 활하중)에 의한 효과

$$\sigma_{\max,L} = \frac{3P}{2\pi t^2}\left[(1+\nu)\ln\left(\frac{2b}{\pi r_o{}'}\right)+\beta\right]$$

$$= \frac{3(4.8\times10^3)}{2\pi(23.75)^2}\left[(1+0.22)\ln\left(\frac{2(1500)}{\pi(12.8)}\right)+0.435\right] = 23.16\ \text{MPa}$$

여기서, $P = 1.6(P_L) = 1.6(3.0\times10^3) = 4.80\times10^3\text{N}$

1.6은 활하중에 대한 하중계수

탄성해석의 가정에 따라, 접합유리에 발생하는 최대응력은

$\sigma_{\max} = \sigma_{\max,D} + \sigma_{\max,L} = 0.243 + 23.16 = 23.403\,\text{MPa}$이다.

하중지속시간이 다른 조합하중에 대한 안전성 검토

$$\left(\frac{Q}{R}\right)_{\text{장기}} + \left(\frac{Q}{R}\right)_{\text{단기}} \leq 1.0$$

$$\left(\frac{\sigma_{\max,D}}{f_{gk-\text{장기}}}\right)+\left(\frac{\sigma_{\max,L}}{f_{gk-\text{단기}}}\right) = \left(\frac{0.243}{52.8}\right)+\left(\frac{23.403}{80.0}\right) = 0.30 < 1.0\text{이므로 적합}$$

② 사용성설계: 최대처짐 $\delta_{\max} \leq \delta_a$

자중(장기 고정하중)에 대해서는, 단기하중이 아니므로 접합유리의 합성작용은 고려하지 않는다. 다만 사용성 설계 시에는 최상층 유리판의 기여를 고려한다.

식 4.2-1

$$k_{pane} = \frac{t_{pane}^3}{\sum_i^n t_i^3} = \frac{12^3}{12^3+12^3+12^3} = 0.333$$

$$\delta_{\max,D} = \frac{\alpha q b^4}{Et^3} = \frac{(0.0444)(3.00\times10^{-5})(1500)^4}{(70000)(12)^3} = 0.06\,\text{mm}$$

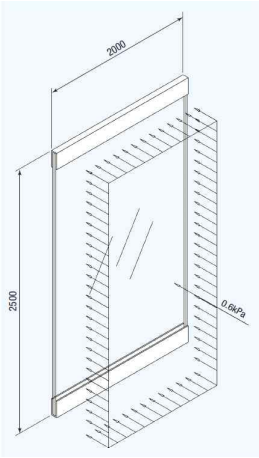
여기서, $q = (k_{pane})(q_D) = (0.333)(9\times10^{-5}) = 3.00\times10^{-5}\text{MPa}$

집중하중(단기 활하중)에 대해서는, 접합유리의 합성작용을 고려한다. 사용성설계시 최상층의 유리판을 고려하면, 접합유리의 등가두께는

적용기준	⇲ 계산 및 해설
식 4.3-8	다음과 같이 $t_{eq} = 20.18\,\mathrm{mm}$로 계산된다. $t_{eq} = \sqrt[3]{\dfrac{12I_s(1+\alpha+\pi^2\alpha\beta)}{b(1+\pi^2\beta)}}$ $= \sqrt[3]{\dfrac{12(6.58\times10^6)(1+0.098+\pi^2\times0.098\times1.645)}{1500(1+\pi^2\times1.645)}} = 20.18\,\mathrm{mm}$ $I_s = 2bt_1z_1^2 = 2(1500)(12)(13.52)^2 = 6.58\times10^6\,\mathrm{mm}^4$ $\alpha = \dfrac{2I_1+I_2}{I_s} = \dfrac{3\times(1500)(12)^3/12}{6.58\times10^6\mathrm{mm}^4} = 0.098$ $\beta = \dfrac{t_i}{G_i b z_1^2}\dfrac{EI_s}{L_{cr}^2}$ $= \dfrac{1.52}{(0.69)(1500)(13.52)^2}\dfrac{(70000)(6.58\times10^6)}{(1500)^2}$ $= 1.645$ $z_1 = 1.52+12 = 13.52\,\mathrm{mm}$ $\delta_{\max,L} = \dfrac{\alpha Pb^2}{Et^3} = \dfrac{(0.1267)(3.0\times10^3)(1500)^2}{(70000)(20.18)^3} = 1.49\,\mathrm{mm}$ 여기서, $P = P_L = 3.0\times10^3\mathrm{N}$
4.2.3.1	탄성해석의 가정에 따라, 접합유리에 발생하는 최대처짐은 $\delta_{\max} = \delta_{\max,D} + \delta_{\max,L} = 0.06 + 1.49 = 1.55\,\mathrm{mm}$이다. 4변 단순지지의 경우 처짐제한은 단변길의의 1/60을 초과할 수 없으므로 $\delta_a = \dfrac{a}{60} = \dfrac{1500}{60} = 25\,\mathrm{mm}$ $\delta_{\max} \le \delta_a$이므로 적합

3.2 유리벽체

아래와 같이 2변이 단순지지된 2m×2.5m의 유리벽체가 자중에 의한 축력(2.0kN의 장기하중)과 횡방향 풍압(0.6kN/m^{2}의 중기하중)을 받고 있다. KDS 41 80 20 : 2021에 따라, 유리벽체를 설계하라.



[설계조건]
- 2중 접합유리
- 강화유리

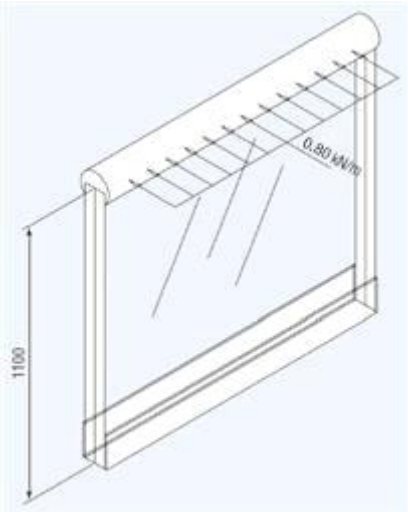
적용기준	↘ 계산 및 해설
	(1) 설계용 상수
표 3.1-1	① 재료물성
	유리 탄성계수 $E = 7 \times 10^4$ MPa
	유리 푸아송비 $\nu = 0.22$
	유리 밀도 $\rho = 2.5 \times 10^{-6}$ N/mm^3
표 3.1-2 표 3.1-3 표 3.1-4	② 강화유리 설계강도
	강화유리의 설계기준강도 $f_{gk} = 80$ MPa, 하중지속시간에 따른 강도감소계수는 1.0(단기), 0.81(중기), 0.66(장기), 유리표면상태에 따른 강도감소계수는 1.0(일반)이므로, 강화유리의 설계강도는
	단기하중의 경우 $f_{gd-단기} = 80 \times 1.0 \times 1.0 = 80$ MPa
	중기하중의 경우 $f_{gd-중기} = 80 \times 0.81 \times 1.0 = 64.8$MPa
	장기하중의 경우 $f_{gd-장기} = 80 \times 0.66 \times 1.0 = 52.8$MPa로 산정된다.
	③ 가정 및 자중(장기 고정하중)
	각 유리판의 두께는 $t = 12$ mm, 중간막 재료의 전단탄성계수 및 두께는 각각 $G_i = 0.69$ MPa 및 $t_i = 1.52$mm로 가정한다. 자중은 문제에서 주어지므로 별도로 산정하지 않는다.

적용기준	↘ 계산 및 해설
	(2) 횡방향 풍압($q_W = 0.6\,\mathrm{kN/m^2}$의 중기하중)
4.2.2.1	단기하중이 아니므로 접합유리의 합성작용은 고려하지 않으며, 각 유리판의 하중분담은 다음과 같다.
식 4.2-1	$k_{pane} = \dfrac{t_{pane}^3}{\sum_i^n t_i^3} = \dfrac{12^3}{12^3 + 12^3} = 0.5$
	유리판의 최대처짐이 허용처짐을 초과하지 않을 정도로 작아, 탄성거동한다고 가정하였다. 2변 단순지지되었으므로 단순보로 가정하여 최대응력 및 최대처짐을 산정하였다.
	$\sigma_{\max,W} = \dfrac{M_{\max}}{W} = \dfrac{wb^2/8}{at^2/6} = \dfrac{(0.6)(2500)^2/8}{(2000)(12)^2/6} = 9.77\,\mathrm{MPa}$
	여기서, $w = k_{pane} q_W a = (0.5)(1.0)(0.6\times10^{-3})(2000) = 0.6\ \mathrm{N/mm}$ 1.0은 풍하중에 대한 하중계수
	$\delta_{\max,W} = \dfrac{5pa^4}{32Et_{eff}^3} = \dfrac{5(0.3\times10^{-3})(2500)^4}{32(70000)(12)^3} = 15.1\,\mathrm{mm}$
	여기서, $p = k_{pane} q_W = (0.5)(0.6\times10^{-3}) = 0.3\times10^{-3}\mathrm{MPa}$, $a = 2000$ mm, $b = 2500\,\mathrm{mm}$, $t_{eff} = t = 12\,\mathrm{mm}$. 참고로 식 4.3-3은 단순보 가정에 기반하여 아래와 같이 유도된 공식이다.
	$\delta_{\max,W} = \dfrac{5wb^4}{384EI} = \dfrac{5(p\times a)b^4}{384E\times at^3/12} = \dfrac{5pb^4}{32Et^3}$
	(3) 축력($N_D = 2.0\,\mathrm{kN}$의 장기하중)에 의한 2차효과 고려
	2차효과가 고려된 중앙부 최대처짐은 다음과 같이 산정된다. 아래 식에서 축하중의 편심거리는 $e = 0$, 중앙부 초기처짐은 $\delta_0 = \delta_{\max,W}$, 좌굴길이는 $L_{cr} = b$ (양단 단순지지), 축하중은 $N = N_D$이다.
식 4.3-6	$I_s = a(t_1 z_1^2 + t_2 z_2^2) = 2000\,[\,(12)(6.76)^2 + (12)(6.76)^2\,] = 2.20\times10^6\mathrm{mm}^4$
	$\alpha = \dfrac{I_1 + I_2}{I_s} = \dfrac{2\times at^3/12}{I_s} = \dfrac{2(2000)(12)^3/12}{2.20\times10^6} = 0.262$
	$\beta = \dfrac{t_i}{G_i a(z_1 + z_2)^2}\dfrac{EI_s}{L_{cr}^2}$ $= \dfrac{1.52}{(0.69)(2000)(6.76+6.76)^2}\dfrac{(70000)(2.20\times10^6)}{(2500)^2}$ $= 0.148$

적용기준	↘ 계산 및 해설
	$z_1 = z_2 = 1.52/2 + 12/2 = 6.76\text{mm}$ 여기서, z_1, z_2 : 전단면의 도심으로부터 각 유리판의 도심까지의 거리이며, 유리두께는 12mm, 중간막 두께는 1.52mm이다.
식 4.3-5	$N_{cr} = \dfrac{\pi^2(1+\alpha+\pi^2\alpha\beta)}{1+\pi^2\beta}\dfrac{EI_s}{L_{cr}^2}$ $= \dfrac{\pi^2(1+0.262+\pi^2(0.262)(0.148)}{1+\pi^2(0.148)}\dfrac{(70000)(2.20\times10^6)}{(2500)^2}$ $= 1.625\times10^5\ \text{N}$
식 4.3-1	$\delta_{\max} = \dfrac{e}{\cos\left(L_{cr}/2\sqrt{N/N_{cr}}\right)} + \dfrac{\delta_0}{1-N/N_{cr}} = 15.3\,\text{mm}$ $\delta_{\max} = \dfrac{e}{\cos\left(L_{cr}/2\sqrt{N/N_{cr}}\right)} + \dfrac{\delta_0}{1-N/N_{cr}} =$ $= 0 + \dfrac{15.1}{1-(2.0\times10^3)/(1.625\times10^5)}$ $= 15.3\ \text{mm}$
4.2.3.1	4변 단순지지의 경우 처짐제한은 단변길의의 1/60을 초과할 수 없으므로 따라서 $\delta_a = \dfrac{b}{60} = \dfrac{2500}{60} = 41.7\ \text{mm}$이고, $\delta_{\max} \le \delta_a$이므로 적합
식 4.3-4	축력과 모멘트 및 2차효과에 의해 추가되는 중앙부 응력은 다음과 같다. $\sigma_b = \dfrac{N}{A} \pm \dfrac{M}{S} = \dfrac{k_{pane}(1.2)N_D}{A} \pm \dfrac{k_{pane}(1.2)N_D}{S}\delta_{\max} \pm \sigma_{\max,W}$ $= \dfrac{(0.5)(1.2)(2.0\times10^3)}{(2000)(12)} \pm \dfrac{(0.5)(1.2)(2.0\times10^3)}{(2000)(12)^2/6}(15.1) \pm (1.0)(9.77)$ $= 10.2\ \text{MPa}$ 여기서, 식 4.1-4에 따라 하중계수는 고정하중의 경우 1.2, 풍하중의 경우 1.0 따라서 풍압, 축력, 2차효과에 의해 중앙부에 발생하는 최대응력이 강화유리의 설계강도 f_{gd} = 64.8MPa(중기) 또는 52.8MPa(장기)보다 작으므로 적합.

3.3 유리난간

아래와 같이 하부 클램프에 의해 단변이 고정지지된 2×1.1m의 유리난간이 높이 1.1m 지점에 KDS 41 10 15 에 따른 유사활하중 손스침하중 0.8kN/m(기타구조물의 경우, 단기하중)을 받고 있다. 횡방향 하중에 대하여 자중은 고려하지 않는다. KDS 41 80 20 에 따라, 유리난간을 설계하라. 단, 클램프 연결부 등 유리설계 이외의 부분은 고려하지 않는다.



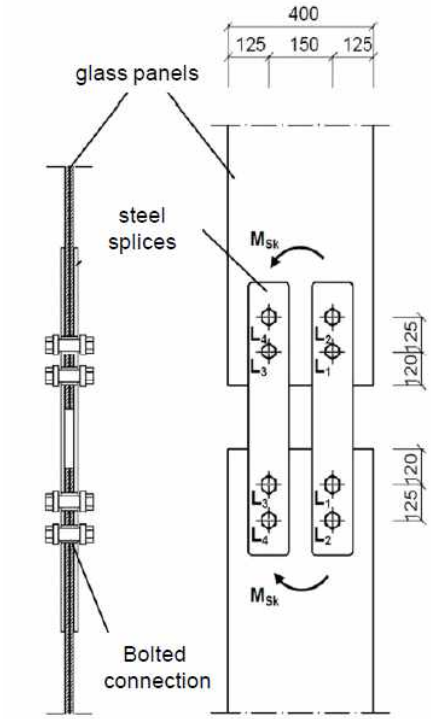
[설계조건]
- 2중 접합유리
- 강화유리

적용기준	↘ 계산 및 해설
	(1) 설계용 상수
표 3.1-1	① 재료물성 유리 탄성계수 $E = 7 \times 10^4$ MPa 유리 푸아송비 $\nu = 0.22$ 유리 밀도 $\rho = 2.5 \times 10^{-6}$ N/mm^3
표 3.1-2 표 3.1-3 표 3.1-4	② 강화유리 설계강도 손스침하중을 단기하중으로 고려하면, 강화유리의 설계기준강도 $f_{gk} = 80$ MPa, 하중지속시간에 따른 강도감소계수는 1.0(단기), 유리 표면상태에 따른 강도감소계수는 1.0(일반)이므로, 강화유리의 설계강도는 $f_{gd-\text{단기}} = 80 \times 1.0 \times 1.0 = 80$ MPa로 산정된다.
	③ 가정 및 자중(장기 고정하중) 각 유리판의 두께는 $t = 12$mm, 중간막의 두께는 1.52mm로 가정한다. 지지조건을 감안해 자중은 고려하지 않도록 한다.

적용기준	⇲ 계산 및 해설
	(2) 유사활하중($q_s = 0.8\text{kN/m}$의 단기하중) ① 강도설계: 최대응력 $\sigma_{\max} \le f_{gd}$ 등분포 선하중은 단기하중이므로 합성작용의 효과를 고려할 수 있다. 주어진 조건에 따라 강도설계 시 접합유리의 등가두께는 다음과 같이 $t_{eq} = 21.25\,\text{mm}$로 계산된다.
식 4.3-8	$I_s = b(t_1 z_1^2 + t_2 z_2^2) = 1100\,[\,(12)(6.76)^2 + (12)(6.76)^2] = 1.21 \times 10^6\,\text{mm}^4$ $\alpha = \dfrac{I_1 + I_2}{I_s} = \dfrac{2 \times (2000)(12)^3/12}{1.21 \times 10^6\text{mm}^4} = 0.476$ $\beta = \dfrac{t_i}{G_i a(z_1 + z_2)^2} \dfrac{EI_s}{L_{cr}^2}$ $= \dfrac{1.52}{(0.69)(1500)(6.76 + 6.76)^2} \dfrac{(70000)(1.21 \times 10^6)}{(1500)^2}$ $= 0.302$ $z_1 = z_2 = 1.52/2 + 12/2 = 6.76\,\text{mm}$ 여기서, z_1, z_2 : 전단면의 도심으로부터 각 유리판의 도심까지의 거리이며, 유리두께는 12mm, 중간막 두께는 1.52mm이다.
	유리판의 최대처짐이 허용처짐을 초과하지 않을 정도로 작아, 탄성거동한다고 가정하였다. 단변이 고정지지 되었으므로 캔틸레버보로 가정하여 최대응력을 산정하였다. $\sigma_{\max,S} = \dfrac{M_{\max}}{W} = \dfrac{(1.6 \times P_s)b}{at^2/6} = 18.7\text{MPa}$ 여기서, $P_s = q_s \times a$, $a = 2000$, $b = 1100\,\text{mm}$, $t = 21.25\text{mm}$. 1.6은 활하중에 대한 하중계수
4.2.3.1	② 사용성설계: 최대처짐 $\delta_{\max} \le \delta_a$ 강도설계와 마찬가지로, 캔틸레버보로 가정하여 최대처짐을 산정하였다. $\delta_{\max,S} = \dfrac{P_s \times b^3}{3EI} = \dfrac{P_s \times b^3}{3E \times at^3/12} = 6.34\text{mm}$ $\delta_a = \dfrac{b}{30} = 36.7\text{mm}$ $\delta_{\max} \le \delta_a$이므로 적합.

3.4 볼트접합부

아래와 같이 볼트 접합에 의해 연결된 유리구조가 있다. 볼트와 유리판 사이에는 알루미늄 판이 설치되어 있다. 단기 하중인 순수 휨을 받는(전단력=0) 접합부의 한 지점에 휨 모멘트(2.3kN・m, 극한하중)가 작용되고 있다. KDS 41 80 20 : 2021에 따라 접합부 유리 두께를 설계하라. (알루미늄 판에 의한 작용은 고려하지 않는다.)



[설계조건]
- 상하부 유리판의 크기 0.4×0.8m
- 2중 접합유리
- 접합부 상세 치수는 해설 참조

적용기준	⇲ 계산 및 해설
	(1) 설계용 상수
표 3.1-1	① 재료물성
	유리 탄성계수 $E = 7 \times 10^4$ MPa
	유리 푸아송비 $\nu = 0.22$
	유리 밀도 $\rho = 2.5 \times 10^{-6}$ N/mm^3
	② 접합부 상세 치수
	볼트 구멍 직경 $d_o = 30mm$
	볼트 직경 $d_{\mathrm{Bolt}} = 16$mm

③ 강화유리 설계강도

표 3.1-2
표 3.1-3
표 3.1-4

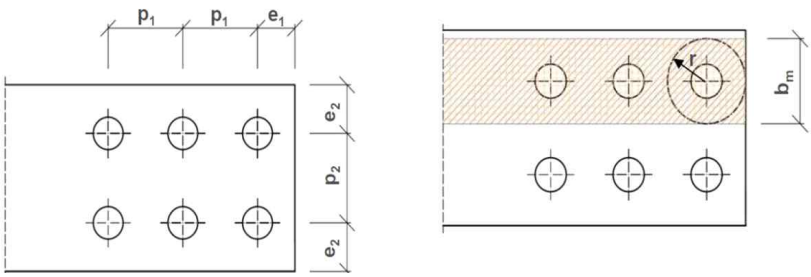
강화유리의 설계기준강도 $f_{gk} = 80\,\text{MPa}$, 하중지속시간에 따른 강도감소계수는 1.0(단기), 유리표면상태에 따른 강도감소계수는 1.0(일반)이므로, 강화유리의 설계강도는 $f_{gd} = 80 \times 1.0 \times 1.0 = 80\,\text{MPa}$(단기하중)로 산정된다.

(2) 휨 모멘트(2.3kNm)를 받는 경우

① 설계 공식

KDS 41 80 20 : 2021에 볼트 접합부 설계에 관한 상세가 없으므로, 본 예제에서는 Guidance for European Structural Design of glass Components (2020)의 8.2.4에 명시된 근사식을 참조해 설계를 진행하였다.

$$\sigma_{\max} = \left(\prod_{i=1}^{6} k_i\right)\left(0.40 + 1.50\frac{a \times K_m}{b_m}\right)\frac{P_d}{a \times t} \le f_{gd}$$

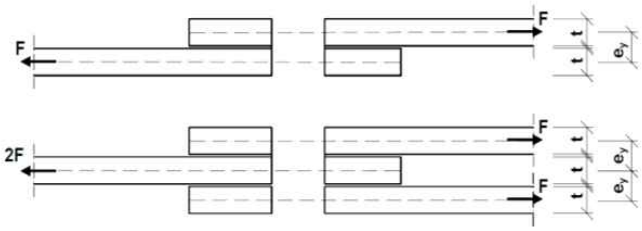


[너비에 관한 기호 상세]

② 계수 산정

- k_1 (압력 불균형을 고려하기 위한 두 유리패널의 중간 거리)

e_y	[mm]	0	10	15	20	30	45
k_1	[-]	1.0	3.5	4.8	6.1	8.7	12.6



- k_2 (유효 폭 고려 계수) , $b_m \geq 3d_o$일 경우 ($b_m = 2e_1, 2e_2, p_1, p_2$ 중 작은 값)

b_m	$b_m \geq 5d_o$	$3d_o \leq b_m < 5d_o$
k_2	1.0	1.1

- k_3 (가장자리 거리를 고려하기 위한 계수), $e_1 \neq e_2$일 경우 1.0

$e_1 = e_2$	$1.5d_o$	$2.5d_o$	$3.5d_o$	$> 3.5d_o$
k_3	1.21	1.09	1.03	1.0

- k_4 (p_1을 고려하기 위한 계수)

p_1	$3d_o$	$5d_o$	$7d_o$	$9d_o$	$> 9d_o$
k_4	1.23	1.10	1.06	1.04	1.0

- k_5 (유리 종류에 따른 변위를 고려하기 위한 계수)

유리 종류	2중 접합유리	단일 유리
k_5	1.2	1.0

- k_6 (간극, 편심을 고려하기 위한 계수)

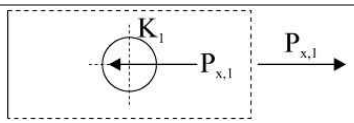
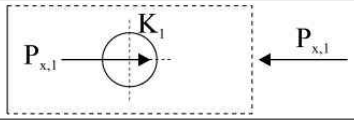
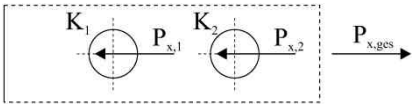
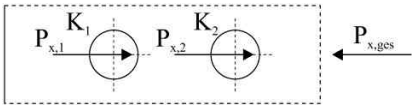
$22\text{mm} \leq d_o \leq 60\text{mm}$ $0.5 \leq d_{\text{bolt}}/\text{d}_\text{o} \leq 0.77$ (위의 경우에 사용)	$k_6 = 1.5$

- K_m (볼트 구멍 개수에 따른 부하 밸런스 고려 계수)

$$K_m = 2\frac{\sum_{i=1}^{m}|P_{x,i}|}{|P_{x,m}|} - 1$$

적용기준

계산 및 해설

Equilibrium system	K_m-value
	$K_1 = 1$
	$K_1 = -1$
	$(P_{x,1} = P_{x,2})$ $K_1 = 1$ $K_2 = 3$
	$(P_{x,1} = P_{x,2})$ $K_1 = -1$ $K_2 = -3$

- P_d (설계 하중)

$P_d = M_u/d = 2.3\text{kNm}/0.15\text{m} = 15.3\text{kN}$

$P_1 = P_2 = \frac{1}{2}15.3\text{kN} = 7.65\,\text{kN}$

※ 사용 계수

$d_o = 30\text{mm}$ (a는 d_o의 반지름)

$$b_m = \min\begin{cases} 2e_1 = 2\times120 = 240\text{mm} \\ 2e_2 = 2\times125 = 250\text{mm} \\ p_1 = 125\text{mm} \\ p_2 = 150\text{mm} \end{cases}$$

$\Rightarrow b_m = 125\text{mm} = 4.2\,d_o$

$K_1 = 1 \qquad K_2 = 3$

$K_3 = -1 \qquad K_4 = -3$

$k_1 = 1.0$

$k_2 = 1.1$

$k_3 = 1.0\,(e_1 \neq e_2)$

$k_4 = 1.15(p_1 = 4.2\,d_o)$

$k_5 = 1.2$

$k_6 = 1.5(d_o = 30\text{mm})$

식 4.3-8

$$\Rightarrow t = 1.1\times1.15\times1.2\times1.5\times\left(0.40 + 1.50\frac{15\text{mm}\times3}{125\text{mm}}\right)\times\frac{7650\text{N}}{15\text{mm}\times\sigma_{\max}}$$
$$= 13.6\,\text{mm},\ (\sigma_{\max} = 80\,\text{Mpa})$$

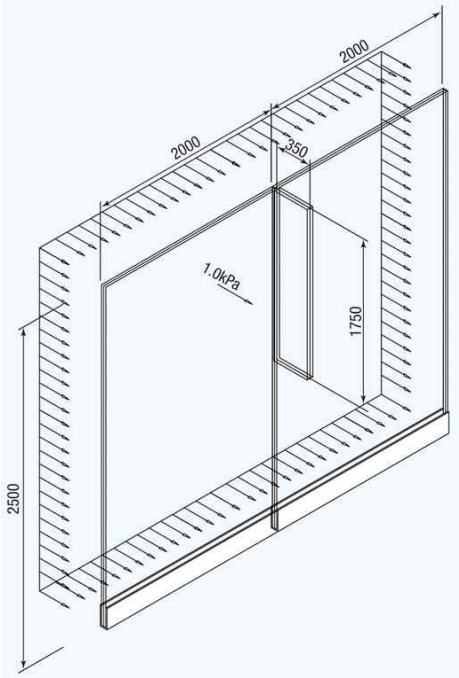
$$\Rightarrow t = 1.1\times1.15\times1.2\times1.5\times\left(0.40 + 1.50\frac{15\text{mm}\times3}{125\text{mm}}\right)\times\frac{7650\text{N}}{15\text{mm}\times\sigma_{\max}}$$
$$= 13.6\,\text{mm}\ (\sigma_{\max} = 80\,\text{MPa})$$

접합유리의 등가두께가 13.6mm 이상이 되도록 상세를 결정해야 한다.

적용기준	↘ 계산 및 해설
	본 예제에서는 유리두께 15mm, 중간막 두께 1.52mm를 가정하였으며, 접합유리의 등가두께는 다음과 같이 15.926mm로 산정되었다. $t_{eq} = \sqrt[3]{\dfrac{12I_s(1+\alpha+\pi^2\alpha\beta)}{b(1+\pi^2\beta)}}$ $= \sqrt[3]{\dfrac{12(1.64\times10^6)(1+0.137+\pi^2\times0.137\times3.62)}{800(1+\pi^2\times3.62)}} = 15.926\,\mathrm{mm}$ $I_s = b(t_1z_1^2+t_2z_2^2) = 800\,[\,(15)(8.26)^2+(15)(8.26)^2] = 1.64\times10^6\,\mathrm{mm}^4$ $\alpha = \dfrac{I_1+I_2}{I_s} = \dfrac{2\times(400)(15)^3/12}{1.64\times10^6\mathrm{mm}^4} = 0.137$ $\beta = \dfrac{t_i}{G_i a(z_1+z_2)^2}\dfrac{EI_s}{L_{cr}^2}$ $= \dfrac{1.52}{(0.69)(400)(8.26+8.26)^2}\dfrac{(70000)(1.64\times10^6)}{(800)^2}$ $= 3.62$ $z_1 = z_2 = 1.52/2+15/2 = 8.26\,\mathrm{mm}$ (3) 볼트 설계
KDS 14 31 25 4.1-6	① 볼트 상세 KS B 1002에 따른 강도 구분 4.6에 해당하는 M16의 일반 볼트를 사용한다. 볼트는 전단파괴가 이루어진다고 가정하였다. ② 설계 공식 KDS 14 31 25 : 2017에 볼트 접합부와 고정용 판재 사이의 마찰을 고려한 계수가 없으므로, Structural use of glass in Buildings (2015)를 참조해 마찰 계수 μ를 적용하였다. (장기하중의 경우 0.1, 단기하중의 경우 0.2 사용)
KDS 14 31 25 4.1.3.3	$R_n = 0.4F_yA_b = 0.4\times400\times201 = 32.2\,\mathrm{kN}$ $\phi R_n = 24.1\,\mathrm{kN}$ (볼트 전단의 경우 $\phi = 0.75$) $\phi M_n = 2(\text{2면전단})\times0.2\times[2(\mathrm{row})\times\phi R_n\times0.15] = 2.90\,\mathrm{kN}\cdot\mathrm{m}$ $\phi M_n \geq M_u$ 이므로 적합.

3.5 휨 부재

아래 그림과 같이 1.75m 길이의 캔틸레버식 유리 핀이 1kN/m^{2}의 측면 설계 바람 작용을 받는 벽을 지지하고 있다. 보는 깊이가 350 mm이고, 10 mm 두께의 유리 2겹으로 이루어진 적층 강화 유리 핀(fin)이다.
(단, 예제는 KDS 41 80 20 : 2021을 기초로 풀이되었으며, 예제 풀이에 필요한 수식이 KDS 41 80 20 : 2021에 없는 경우, 적절한 참고문헌을 인용하였음.)



[설계조건]
- 2중 접합유리
- 열처리 강화유리
- 표면처리, 즉 샌드블라스팅 되지 않음
- 단기 하중

적용기준	↘ 계산 및 해설
	(1) 설계용 상수
표 3.1-1	① 재료물성 유리 탄성계수 $E = 7 \times 10^4$ MPa 유리 전단계수 $G = 2.87 \times 10^4$ MPa
표 3.1-2 표 3.1-3 표 3.1-4	② 강화유리 설계강도 강화유리의 설계기준강도 $f_{gk} = 80$ MPa, 하중지속시간에 따른 강도감소계수는 1.0(단기), 0.81(중기), 0.66(장기), 유리표면상태에 따른 강도감소계수는 1.0(일반)이므로, 강화유리의 설계강도는 $f_{gd} = 80 \times 1.0 \times 1.0 = 80$ MPa(단기하중)으로 산정된다.

적용기준	⇲ 계산 및 해설

(2) 요구 유리 두께 결정

① 설계 휨 모멘트

강도감소계수 0.67 적용

$$M_{ULT} = \left(1\text{kN/m}^2 \times 0.67 \times 2\text{m} \times 1.75\text{m} \times \frac{1.75\text{m}}{2}\right) = 4.6\ \text{kN·m}$$

핀의 좌굴 효과를 무시하고 적층된 판유리 중 하나의 핀만이 휨응력에 저항한다고 가정할 때 휨모멘트 강도는 다음과 같다.

휨모멘트 강도

$$= \frac{t \times d^2}{6} \times f_{gd} = \frac{10\text{mm} \times (350\text{mm})^2}{6} \times 80\text{N/mm}^2 = 16.3\ \text{kN·m}$$

(3) 좌굴 강도 결정

① 약축에 대한 단면2차 모멘트

$$I = \frac{bt^3}{12} = \frac{0.35\text{m} \times (0.01\text{m})^3}{12} = 2.92 \times 10^{-8}\ \text{m}^4$$

여기서 b는 유리 핀의 폭, t는 유리 두께이다.

② 비틀림 계수

(Structural use of glass in buildings (2015), 식 (8.2) 사용)

$$J = \frac{db^3}{3}\left(1 - 0.63\frac{b}{d}\right)$$

$$\therefore\ J = \frac{0.35\text{m} \times (0.01\text{m})^3}{3} \times \left(1 - 0.63 \times \frac{0.01\text{m}}{0.35\text{m}}\right) = 1.146 \times 10^{-7}\ \text{m}^4$$

여기서 d는 유리 핀의 길이이다.

③ 임계 탄성 좌굴 모멘트

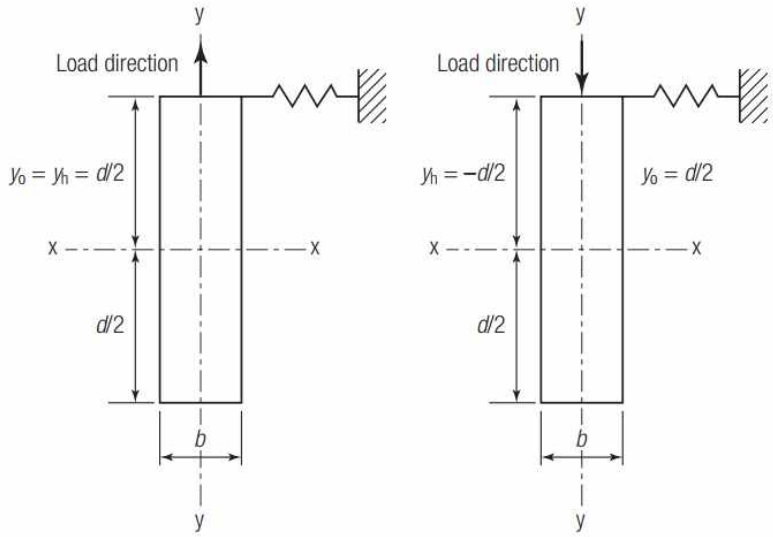
핀은 길이를 따라 구속되어 있으므로, 임계 탄성 좌굴 모멘트(M_{CR})은 다음과 같다. (Structural use of glass in buildings (2015), 식 (8.1) 사용)

$$M_{CR} = \frac{\left(\frac{\pi}{L_{ay}}\right)^2 (EI)_y \left(\frac{d^2}{12} + y_0^2\right) + GJ}{(2y_0 + y_h)})$$

적용기준	⇲ 계산 및 해설

$$M_{CR}=\frac{\left(\frac{\pi}{1.75\text{m}}\right)^2(70\times10^6\text{kN/mm}^2\times2.92\times10^{-8}\text{m}^4)\left(\frac{(0.35\text{m})^2}{12}+(0.175\text{m}\right.}{(2\times0.175\text{m}+0.175\text{m})}$$
$$+\frac{28.7\times10^6\text{kN/m}^2\times1.146\times10^{-7}\text{m}^4}{(2\times0.175\text{m}+0.175\text{m})}=6.78\ \text{kN}\cdot\text{m}$$

여기서 L_{ay}는 강체 회전 구속점 사이의 거리, $(EI)_y$는 약축에 대한 휨의 유효강성, E는 탄성계수, I는 단면2차 모멘트, GJ는 유효 비틀림 강성, G는 전단계수, J는 비틀림 상수, y_0는 하중 요소의 중립축까지의 구속 거리, y_h은 하중점의 중립축으로부터의 거리



[y_0와 y_h의 정의]

(4) 설계 모멘트

① 기둥에 대한 강도감소계수 (ϕ=0.88)

② 설계 모멘트

$\phi M_{cr} \geq M_{ULT}$이므로, $0.88\times6.78=5.97$ kN·m > 4.6 kN·m.

따라서 핀의 가장자리가 구속될 때 휨에 대해서는 만족한다. 반대 방향의 풍하중으로 인해 핀이 뒤집힌 경우에도 유사한 점검이 필요하다.

(5) 처짐 검토

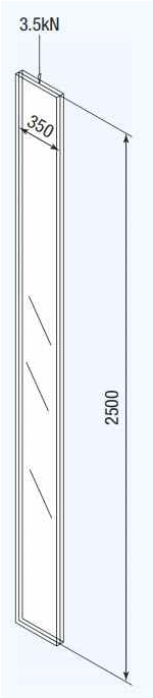
① 강축에 대한 단면2차모멘트 계산

$$I=\frac{tb^3}{12}=\frac{(10)(350)^3}{12}=35.7\times10^6\text{mm}^4$$

적용기준	↘ 계산 및 해설
	② 처짐 계산 ; 등분포하중을 받는 캔틸레버로 가정 $\Delta = \frac{wl^4}{8EI} = \frac{1000\mathrm{N/m^2} \times 2\mathrm{m} \times 1.75\mathrm{m} \times (1750\mathrm{mm})^3}{8 \times 70{,}000\mathrm{N/mm^2} \times 35.7 \times 10^6 \mathrm{mm}^4} = 0.9\ \mathrm{mm}$

3.6 유리기둥

그림과 같이 2.5 m 길이의 유리 기둥은 자중 및 지붕 패널로 인해 3.5kN의 축력이 작용하고 있다. 여기서, 기둥은 양단 핀 지지되어 있다. 기둥의 단면적은 350 mm × -25.52 mm이며, 12 mm 강화 PVB 접합 유리 2겹으로 이루어져 있다.



[설계조건]
- 2중 접합유리
- 수평방향으로 열처리 강화
- 표면처리, 즉 샌드블라스팅 되지 않음
- 장기 하중

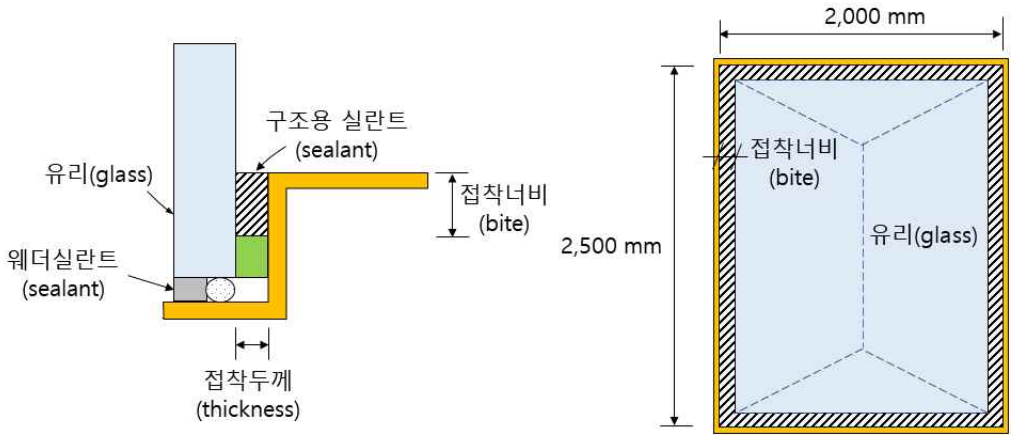
적용기준	⇲ 계산 및 해설
	(1) 설계용 상수
표 3.1-1	① 재료물성 유리 탄성계수 $E = 7 \times 10^4$ MPa 유리 전단계수 $G = 2.87 \times 10^4$MPa
표 3.1-2 표 3.1-3 표 3.1-4	② 강화유리 설계강도 강화유리의 설계기준강도는 $f_{gk} = 80$ MPa, 이 예제가 영구적인 하중 조건 하에 있으므로, 하중지속시간에 따른 강도감소계수는 1.0(단기), 0.81(중기), 0.66(장기), 유리표면상태에 따른 강도감소계수는 1.0(일반)이므로, 유리의 설계강도는 $f_{gd} = 80 \times 0.66 \times 1.0 = 52.8$ MPa로 산정된다.
식 (4.3-5)	(2) 기둥의 좌굴하중 (N_{cr}) 결정 장기 하중의 특성으로 인해 적층은 합성물로 간주될 수 없으며 12mm 두께의 유리판 중 하나만 지지 요소로 작용하는 것으로 간주할 수 있다. 그러므로 양단 핀으로 지지된 단일판 유리 기둥의 좌굴하중은 다음과 같이 계산된다. $N_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L_{cr}^2} = \frac{\pi^2 \times 70{,}000\text{N/mm}^2 \times [(350\text{mm} \times (12\text{mm})^3)/12]}{(2500\text{mm})^2} = 5.6\text{kN}$ 여기서, L_{cr}은 기둥의 좌굴길이이다.
	(3) 약축에 대한 탄성 단면계수 결정 $S = \frac{bt^2}{6} = \frac{350\text{mm} \times (12\text{mm})^2}{6} = 8400\ \text{mm}^3$
	(4) 유리 기둥 중앙부 초기처짐 w_0의 결정 w_0는 유리 내부의 결함에 따른다. 결함의 하한은 다음과 같이 결정된다. (Structural use of glass in buildings (2015), Section 8.4.3 참조) • 강화 열처리일 경우: $L/300$ 여기서, L은 기둥의 길이이다. 이 예제에서는 수평방향으로 열처리 및 강화되었으므로, 유리 기둥 중앙

적용기준	⇲ 계산 및 해설
	부 초기처짐은 다음과 같이 구할 수 있다. $w_0 = \frac{L}{300} = \frac{2500\text{mm}}{300} = 8.3\ \text{mm}$ (5) 기둥의 최대 처짐 ($w_{\max}$) 기둥의 최대 처짐은 다음 식으로 구할 수 있다.
식 (4.3-1)	$w_{\max} = \frac{e}{\cos\left(L_{cr}/2\sqrt{N/N_{cr}}\right)} + \frac{w_o}{1-N/N_{cr}}$ 여기서, e는 편심거리이다. 편심이 없다고 가정한다면 $e=0$이다. 따라서, $w_{\max} = \frac{8.3\text{mm}}{\left[1-\frac{3.5\text{kN}\times10^3}{5.6\text{kN}\times10^3}\right]} = 22.1\ \text{mm}$
	(6) 최대 압축응력 유리 표면에서 발생하는 최대 압축응력($\sigma_{\max}$)은 다음 식으로 구할 수 있다.
식 (4.3-4)	$\sigma_{\max} = \frac{N}{A} \pm \frac{N}{S}\left(w_{\max} + w_0 + e\right)$ 여기서, N은 작용 축력, A는 기둥의 단면크기, S는 기둥의 탄성 단면 계수이다. 편심이 없다고 가정한다면 ($e=0$), 최대 압축응력은 다음과 같이 구할 계산된다. $\sigma_{\max} = \frac{1.2\times3.5\text{kN}\times10^3}{350\text{mm}\times12\text{mm}} \pm \frac{1.2\times3.5\text{kN}\times10^3}{8400\text{mm}^3}\times22.1\text{mm} = 12.1\ \text{N/mm}^2$ 여기서, 1.2는 고정하중에 대한 하중계수 따라서 축력, 초기처짐에 의해 중앙부에 발생하는 최대응력이 강화유리의 설계강도 f_{gd} = 52.8MPa(장기)보다 작으므로 적합.

3.7 구조용 실란트

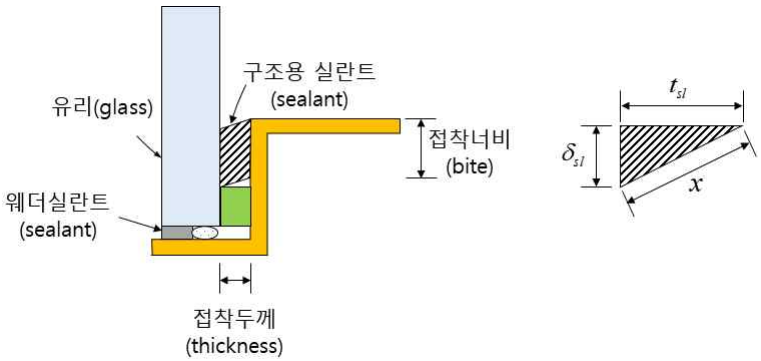
그림과 같이 2000 mm × 2500 mm × 10 mm 두께의 2겹으로 이루어진 적층 강화유리가 알루미늄 프레임에 구조용 실란트로 4변 접합되어 있다. 구조용 실란트의 접착너비(바이트, bite)를 구하고, 아래 조건에 따라 변형능력을 검토하시오. (단, 예제는 KDS 41 80 20 : 2021을 기초로 풀이되었으며, 예제 풀이에 필요한 수식이 KDS 41 80 20 : 2021에 없는 경우, 적절한 참고문헌을 인용하였음.)

[설계조건]
- 2중 접합유리
- 구조용 실란트의 허용부착강도 = 138 kPa
- 2kN/m^{2}의 측면 설계 바람 작용
- 실란트의 접착너비 - 두께 비 = 1:1



[구조용 실란트 접합 예제]

적용기준	↘ 계산 및 해설
식 4.4-1	(1) 실란트의 최소접착너비 4변 실란트 지지의 경우, 실란트의 최소접착너비 $b_i = \dfrac{0.5pL_s}{p_b}$ 여기서, b_i : 최소 실란트 접착너비 (mm) L_s : 각형 유리창의 단변길이 (mm) p : 유리창에 작용하는 허용풍압 (kPa) p_b : 허용부착강도 (kPa) 각형 유리창의 단변길이가 2,000 mm, 유리창에 작용하는 허용 풍합이

적용기준	⇲ 계산 및 해설
	2kPa (2kN/m^2), 그리고 허용부착강도가 138 kPa (138kN/m^2)이므로, 이 예제에서 구하고자 하는 4변 실란트의 최소접착너비는 다음과 같이 계산할 수 있다. $b_i = \frac{0.5pL_s}{p_b \times 2} = \frac{0.5 \times 2\text{kN/m}^2 \times 2\text{m}}{138\text{kN/m}^2 \times 2} = 0.0072\text{m} = 7.2\text{mm} > 6\text{mm}$ 적합 따라서, 실란트의 최소접착너비 = 7.2 mm
4.4.4.1	(2) 실란트의 변형(δ_{sl}) 구조용 실란트의 변형능력은 25%이상 확보해야 하므로, 주어진 조건 하의 변형(δ_{sl})을 구하면 다음과 같다.  [실란트의 변형]
4.4.1	전단변형에 의한 실란트의 변형길이는 다음과 같다. $x = t_{sl}^2 + \delta_{sl}^2$ 구조용 실란트의 변형능력을 25%이상 확보해야하므로 아래 식과 같이 변형길이 x를 접착두께의 함수로 구할 수 있다. 단, 이 예제에서는 변형능력을 25%으로 가정하였다. $x = t_{sl}(1 + 0.25) = 1.25t_{sl}$ 따라서, $(1.25t_{sl})^2 = t_{sl}^2 + \delta_{sl}^2$ $\delta_{sl}^2 = (1.25^2 - 1^2)t_{sl}^2 = 0.563t_{sl}^2$ 여기서, 실란트의 접착너비 - 두께 비가 1:1이므로, 실란트의 두께는 $t = 7.2\text{mm}$. 따라서, 접착두께 7.2 mm일 경우, 구조용 실란트의 변형은 $\delta_{sl} = 5.4\text{mm}$이다.

II. 유리구조 유지관리 가이드라인

1. 일반사항

1.1 배경 및 목적

일반적인 국내 건축물의 유지관리 및 점검은「건축물관리법」에 따른 하위 지침 및 매뉴얼인「건축물 관리점검 지침」및「건축물 정기점검 매뉴얼」등과 같은 법령체계에 따라 이루어지고 있다.

유리구조는 연직하중, 풍하중 등에 견디는 구조부재로서 스카이워크 등 불특정 다수가 이용하는 장소에서 다양한 형태로 활용되는 경우가 점차 증가하고 있음에도 불구하고, 아직 유지관리 가이드라인이 마련되어 있지 않다. 따라서 국내 정기점검 매뉴얼과 홍콩과 영국 등 해외에서 제안된 유리구조의 유지관리와 관련한 기준 등을 참고하여 가이드라인을 마련하고, 이를 활용하여 유리구조의 안전하고 경제적인 사용을 도모하고자 한다.

< 주요 해외 참고자료 >

- Code of Practice 2018 for Structural Use of Glass 2018 : Annex D. Inspection, Maintenance and Repair 및 Institution of Structural Engineers (Buildings Department of Hong Kong, 2018),
- Structural Use of Glass in Buildings(2nd ed., The Institute of Structrual Engineers) : 12. Procurement, construction, and maintenance of glass structures (C. O'Regan, 2014)

이 가이드라인은 유리구조의 점검 및 유지관리에 대한 일반적인 사항과 점검 및 유지관리의 절차, 항목, 방법, 체크리스트 등을 포함하며, 건축물관리자 등의 상시적인 수시점검과 건축물관리법 등 관계법령에 따른 정기점검에서 참고로 활용할 수 있다. 정기점검 활용 시에는 창호, 마감재 등과 같은 비구조부재가 아닌 구조부재에 해당되는 경우에 대해 '구조안전' 대항목 내 '구조부재 육안점검' 소항목 수준에서 검토할 것을 권장한다.

1.2 점검절차의 구분

유리구조의 점검 및 유지관리는 수시점검과 정기점검의 두 종류로 구분하여 상호 보완적인 방법으로 수행한다.

(1) **수시점검**은 관련 분야의 경험이 있는 인력 및 유리공사와 관련된 경험이 있는 도급업자, 건축물관리자, 또는 지정된 담당자가 필요에 따라 수시로 실시하는 육안점검으로서 주요한 유리구조 부재에 대하여 체크리스트를 활용하여 수행한다.

(2) **정기점검**은 관련 분야의 경험이 있는 전문가에 의해 정기적으로 수행되며, 관계법령 등에 따른 건축물 정기점검에서 이 가이드라인을 참고할 수 있다.

2. 유리부재의 노후화 및 파손 유형

유리구조에 나타나는 특정한 노후화 및 파괴 메커니즘은 일반적인 구조부재와는 다른 중요한 의미를 가질 수 있기 때문에, 유리구조를 점검하고 관리하는 자는 유리구조에 발생할 수 있는 노후화 및 파손에 대한 지식이나 경험을 갖추고 있는 것이 중요하다.

이 가이드라인에서는 아래에서 나열하고 있는 노후화 및 파손 유형 등에 유의하여 점검 절차에 따라 체크리스트 항목을 검토한다.

2.1 유리부재의 노후화 유형

일반적으로 노후화는 다음과 같은 유형 등으로 분류할 수 있다.

(1) 유리판의 균열, 파손, 헐거워짐 또는 탈락
(2) 심각한 긁힘, 이빠짐, 흠집 또는 기타 결함
(3) 유리판의 배부름, 휨, 박리, 회전, 또는 변형
(4) 금속부속품의 부식, 특히 수분과 이물질이 쌓이거나 서로 다른 금속이 접촉하여 나타나는 부식
(5) 복층유리 유리판 사이의 결로 및 김서림
(6) 접합유리의 박리
(7) 부식, 화학약품 또는 수분으로 인한 얼룩
(8) 고정장치의 탈락, 손상, 느슨해짐, 또는 노후화
(9) 가스켓의 노후화, 탈락 또는 변형
(10) 실란트의 탈락, 불량시공, 손상 또는 노후화
(11) 커튼월, 창문 또는 유리벽 뒤쪽의 누수 또는 습기
(12) 상기 정의에 포함되지 않은 기타 노후화 현상

2.2 유리부재의 파손 원인

유리의 파손은 특히 고층건물에서 상당한 위험을 야기할 수 있으므로, 전문가의 원인 파악과 함께 필요한 시정조치를 즉시 취해야 한다. 일반적인 유리파손은 아래와 같은 원인으로 발생한다.

(1) 풍하중이나 기타 하중으로 인한 과도한 응력 또는 불충분한 유리 두께
(2) 유리판 내 서로 다른 부위의 온도차에 의한 열응력
(3) 좌굴 하중을 초과하는 압축력에 의한 변형
(4) 표면 또는 테두리 손상
(5) 깊은 긁힘 또는 패임
(6) 과도한 용접 스플래터
(7) 바람에 의한 파편 충격
(8) 알루미늄 창호 프레임 등에서 금속과의 직접 접촉
(9) 황화니켈(NiS)에 의한 강화유리의 자파

3. 수시점검 및 유지관리

3.1 수시점검 및 유지관리의 목적 및 범위

안전 및 기능에 위험을 초래하는 단기적 문제를 시정하고 추가조사가 필요한 장기적 문제를 인지하기 위해서는 수시로 수행하는 점검과 이에 따른 유지관리가 반드시 수행되어야 한다. 또한 주요 구조요소 및 고정장치의 검사를 방해하는 외피가 있는 경우에는 검사를 위해 해당 외피의 제거를 고려해야 한다. 수시점검 단계에서 육안점검으로 주요 사안들은 유리구조 점검 체크리스트에 제시한 부재에 대하여 다음과 사항을 검토한다.

(1) 파손된 부품의 수리 및 교체
(2) 누수가 가능할 정도로 느슨해진 부품의 확인 및 고정
(3) 청소 관리, 특히 배수 시스템에 문제를 일으킬 만한 이물질의 제거
(4) 부식과 누수의 조짐이 보이는 얼룩의 식별
(5) 위에 제시되지 않았으나 수시점검 단계에서 필요한 기타 사항

자주 발생하거나 여러 위치에서 발견되는 문제의 경우에는 설계, 재료 또는 부품에 대한 검토가 필요하며, 특히 파손되었거나 느슨해지거나 건물로부터 탈락할 가능성이 있는 부품에 대해서는 주의를 기울여 확인할 필요가 있다. 위와 같은 상황 또는 쉽게 해결되지 않는 문제의 경우에는 관련 경험이 있는 전문가로부터 추가적인 검사나 자문을 받아야 한다.

3.2 수시점검을 위한 인력

수시점검의 범위는 기본적인 결함의 파악 및 시정이므로, 관련 분야 유경험자를 포함하여 지정된 담당자 누구나 수행할 수 있다. 다만, 특정 문제의 조기 발견과 효율적인 해결방안의 제시를 위해서는 관련 분야의 경험이 있는 전문가가 담당할 수 있다.

3.3 수시점검의 유지관리 작업

수시점검으로 행해지는 유지관리 작업은 일반적으로 공통적인 업무에 해당하므로 유리구조에 대한 경험이 있고 자격을 갖춘 도급업자에 의해서 육안점검으로 수행될 수 있으며, 원칙적으로 유지관리 작업은 원설계를 유지하고, 기존 및 교체 제품에 대한 제조업체의 유지관리와 관한 요구사항을 준수해야 한다. 다만, 원설계를 수정할 필요가 있거나 일반적인 업무에서 다루어지지 않는 경우에는 관련 경험이 있는 전문가에게 자문을 구해야 한다.

3.4 수시점검 및 유지관리 기록

수시점검 및 유지관리에 대해서는 간단한 보고서(기록지)를 남겨야 하며, 점검이 완료되는 시점과 유지관리 작업이 완료되는 시점의 두 단계로 나누어 수행한다.

수시점검 및 유지관리에 대한 책임이 있는 건축주, 법인, 자산관리회사 등은 적절한 관리시스템을 갖추어, 모든 작업에 해당 기록을 남기고 관리자에게 승인된 모든 기록은 통합 기록물로 보관될 수 있도록 한다. 또한, 기존 제품 및 교체 제품 관련 업체의 유지관리와 관한 요구사항이 있는 경우 이를 함께 보관할 수 있도록 한다.

4. 정기점검 및 유지관리

4.1 정기점검 및 유지관리의 목적 및 범위

정기점검 및 유지관리는 수시로 행해지는 수시점검과 이에 따른 즉각적인 조치와는 다르게, 정기적인 주기에 따라 점검하고 이에 따른 최적의 장기적인 조치를 제공하는데 목표를 두고 실행된다. 유리구조의 정기점검은 관련 경험이 있는 전문가에 의해 수행되며 장기적인 관점의 문제들을 확인하게 된다. 이러한 정기점검 및 유지관리는 일반적으로 다음과 같은 범위의 업무를 수행한다.

(1) 이전의 점검 및 유지관리 보고서와 기타 관련 문서의 검토

(2) 시험(비파괴 시험 및 실란트 등에 대한 선별 파괴 시험)을 포함한 상세 조사
(3) 관련 사진 및 기울기 및 기준에서 제시한 허용 처점을 측정한 데이터가 포함된 종합 조사 보고서 및 추후 유지관리 조치에 대한 권고사항
(4) 유지관리 작업의 설계, 비용산출 및 계획
(5) 유지관리 작업의 감독

주요 구조요소 및 고정장치의 검사를 방해하는 외피가 있는 경우에는 철저한 검사를 위해 해당 외피의 제거를 고려해야 한다. 검사 결과, 별도의 유지관리가 필요 없거나 사소한 유지관리만 필요하다고 판단되는 경우에는 위의 마지막 두 업무를 생략할 수 있다.

4.2 정기점검을 위한 인력

정기점검은 유리구조의 점검과 관련된 경험이 있는 전문가가 수행해야 한다. 필요한 경우, 전문가는 건축주 또는 관리자에게 검사 중에 확인된 구조적 문제에 대해 고지하여 자격을 갖춘 구조기술사 등으로부터 자문을 받을 수 있다.

4.3 정기점검의 유지관리 작업

정기점검을 통해 제안되는 유지보수 작업은 3.3절에서 다루는 유지관리 작업부터 상세설계 작업까지의 모든 작업을 포함할 수 있다. 공통적인 유지관리 작업 이외의 작업에 대해서는 관련 경험을 가진 유리설계 및 시공 전문가가 지정하도록 한다.

4.4 정기점검 및 유지관리 기록

정기점검 및 유지관리에 대해서는 상세한 보고서를 남겨야 하며, 점검이 완료되는 시점과 유지관리 작업이 완료되는 시점의 두 단계로 나누어 수행한다. 정기점검 및 유지관리에 대한 책임이 있는 건축주, 법인, 자산관리회사 등은 적절한 관리시스템을 갖추어, 모든 작업에 해당 기록을 남기고 관리자에게 승인된 모든 기록은 통합 기록물로 보관될 수 있도록 한다. 또한, 기존 제품 및 교체 제품 관련 업체의 유지관리와 관한 요구사항이 있는 경우 이를 함께 보관할 수 있도록 한다.

5. 유리구조 점검 체크리스트 및 주요 점검사례

5.1 유리구조 점검 체크리스트

수시점검 및 정기점검시 체크리스트는 [별첨]의 서식을 활용할 수 있으며, [별첨]의 서식 중 주요내용은 아래 표에서 확인할 수 있다.

체크리스트는 부재의 위치 등을 고려하여 중요도와 필요에 따라 층별 또는 호별 등 점검공간을 구획하여 비슷한 유형의 부재에 대해 통합하여 작성할 수 있다. 통합하여 작성하는 경우 해당부재의 치수는 대표부재로 기록한다.

점검은 기울어짐 등 일반 안전성과 관리에 관한 구조안전 사항, 유리판과 접합부 등 주요 구조재에 관한 세부 점검사항, 지지구조물이 있는 경우 이에 대한 사항으로 구분하며, 점검항목별로 현황사진과 개선의견을 작성한다.

또한 별첨의 점검 세부항목과는 별도로 유리구조부재 관련업체의 유지관리 요구사항 등에 따라 추가의 점검 세부항목이 존재하는 경우에는 서식을 추가하여 점검한 결과를 기타의견에 기록하고, 유리구조 설계기준(KDS 41 80 20)에 따라 설계된 경우에도 이를 참조하여 점검하고 기타의견에 해당 기준에 대한 적정 또는 부합 여부를 기록한다.

종합의견에는 점검 세부항목에 따라 점검한 결과를 종합하여 향후 점검 및 유지관리 계획, 시정조치 등을 기록한다.

< 유리구조 수시, 정기점검 체크리스트 주요 내용 >

건축물 개요	- 건축물 주소: - 건축물 구조형식/층수: / 지상 ( )층, 지하 ( )층 - 건축물 대지면적/건축면적/연면적: ( )㎡ / ( )㎡ / ( )㎡ - 건축물 주용도/사용승인일: /
유리 구조 개요	- 해당부재 위치(층/호실/호실내 위치): - 해당부재 구분 ☐ 유리기둥 ☐ 유리벽 ☐ 유리보 ☐ 유리바닥/천장 ☐ 유리칸막이 ☐ 유리난간 ☐ 유리마감재 ☐ 기타 - 해당부재 유리종류/KS규격품 여부: ☐ 확인 ☐ 미확인 ☐ 판단불가 - 해당부재 치수: 폭 ( )m, 너비 ( )m, 두께 ( )mm - 구조계산서/구조안전확인서 제출 여부: ☐ 확인 ☐ 미확인 ☐ 판단불가
점검 기관	- 점검자 : - 점검기간 :
점검 결과	- 종합의견 : - 기타의견 :

점검 내용	- 점검항목별 내용

점검구분	점검항목	세부항목
전반적 구조안전	일반 안전성	흔들림이 없는 전체 구조의 견고함 여부 ☐ 예 ☐ 아니요 ☐ 해당없음
		주위에 위험 또는 변형을 유발할 수 있는 시설, 장비, 장치 유무 ☐ 예 ☐ 아니요 ☐ 해당없음
		전체 구조의 기울어짐(L/150 이상이거나 육안인지) 여부 ☐ 예 ☐ 아니요 ☐ 해당없음
	일반 관리	점검 및 관리를 위한 접근가능성 여부 ☐ 예 ☐ 아니요 ☐ 해당없음
		파손된 부품의 수리 또는 교체 여부 ☐ 예 ☐ 아니요 ☐ 해당없음
		풀려있는 부품의 고정 여부 ☐ 예 ☐ 아니요 ☐ 해당없음
		누수 및 부식의 조짐이 보이는 얼룩의 관리 여부 ☐ 예 ☐ 아니요 ☐ 해당없음
		유리 끼우는 부분의 이물질 제거 등 청소 여부 ☐ 예 ☐ 아니요 ☐ 해당없음
주요 구조재	유리판	육안점검에 의한 유리의 탈락 가능성 여부 ☐ 예 ☐ 아니요 ☐ 해당없음
		균열, 파손, 긁힘 등 유리의 손상 여부 ☐ 예 ☐ 아니요 ☐ 해당없음
		배부름, 휨, 박리 등 유리의 변형 여부 ☐ 예 ☐ 아니요 ☐ 해당없음
		결로 및 김서림 여부 ☐ 예 ☐ 아니요 ☐ 해당없음
	접합부	고정장치의 탈락, 손상, 풀림, 노후화 여부 ☐ 예 ☐ 아니요 ☐ 해당없음
		가스켓의 노후화, 탈락, 변형 여부 ☐ 예 ☐ 아니요 ☐ 해당없음
		실란트의 탈락, 불량시공, 손상, 노후화 여부 ☐ 예 ☐ 아니요 ☐ 해당없음
지지 구조물	지지구조	균열 등 지지구조의 손상 여부 ☐ 예 ☐ 아니요 ☐ 해당없음
		뒤틀림 등 지지구조의 변형 여부 ☐ 예 ☐ 아니요 ☐ 해당없음

5.2 주요 점검사례

수시점검 및 정기점검에서 참고할 수 있도록, 점검항목별로 유의해서 점검해야 할 대표 사례와 유리구조 노후화 및 파손 사례를 점검분야별로 다음과 같이 수록하였다.

- 전반적 구조안전

'일반 안전성' 점검항목의 경우, 아래 표의 점검사례와 같이 수직 또는 수평으로 설치된 유리부재 기울어짐을 확인하되, 육안점검에서 기울어짐이 우려되는 경우는 레이저 측정기 등 점검기구를 활용하여 L/150 이상 여부를 확인하여 기록하기를 권장한다. 이외에도 전체 구조가 흔들림이 없이 견고하게 세워져 있는지, 주위에 위험 도는 변형을 유발할 수 있는 시설이나 장비, 장치 등이 존재하는지의 여부를 확인하여 기록한다.

'일반 관리' 점검항목에서는 점검이나 관리를 위해 유리구조에 접근이 가능한지, 부재의 전반적인 파손상태 등을 확인하여 수리 또는 교체가 적정하게 이뤄지고 있는지, 풀려있는 부품의 고정여부 등 관리현황에 대해 기록한다.

아래는 전체 구조가 기울어져 있는지 확인이 필요한 사례와 파손된 부품의 사례이다.

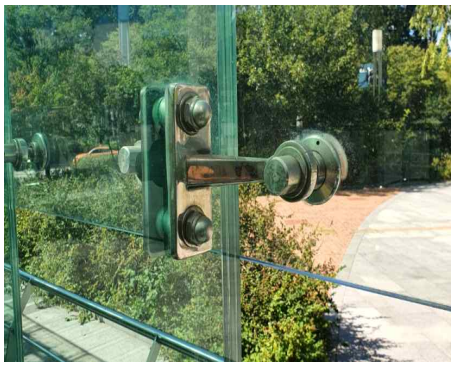
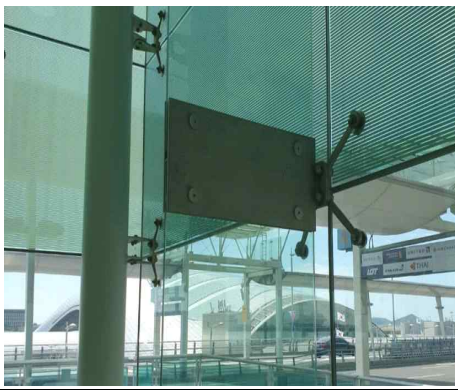
점검항목	일반 안전성	일반 관리
점검사례	전체 구조의 기울어짐 여부 	파손된 부품의 수리 또는 교체여부

- 주요 구조재

주요구조재는 유리판과 접합부로 나누어 점검하며, 유리판은 점검사례와 같이 균열 등 손상여부 외에도 탈락 가능성, 변형, 결로 및 김서림 여부 등 노후화 상태와 파손 우려 여부에 관해서 점검한다.

점검항목	주요 구조재 : 유리판	
점검사례	균열 등 유리의 손상 여부 	결로 및 김서림 여부

'접합부'에서는 고정 장치의 탈락, 손상, 풀림, 노후화 여부와 가스켓의 노후화, 탈락, 변형 여부, 실란트의 탈락, 불량시공, 손상, 노후화 여부 등을 점검한다. 아래 점검사례는 고정장치 중 접합요소 풀림 여부의 확인이 필요한 경우와 실란트의 갈라짐, 풍화, 균열, 경화, 불량접합 등으로 인해 손상이 발생한 경우의 예시 사례이다.

점검항목	주요 구조재 : 접합부	
점검사례	고정장치의 탈락, 손상, 풀림, 노후화 여부  	실란트의 탈락, 불량시공, 손상, 노후화 여부

-지지 구조물

유리구조를 지지하고 있는 구조물이 있는 경우에는 지지구조의 손상이나 변형으로 인해 유리구조에 파손이 발생하지 않도록 해당 지지구조의 변형 여부 등에 관해서도 함께 점검하여 기록한다. 점검사례에서는 유리구조의 하단부를 지지하고 있는 석재 난간 등의 손상 및 변형 여부를 점검하여 기록한다.

점검항목	지지구조물 : 지지구조
점검사례	뒤틀림 등 지지구조의 변형 여부

참고문헌

1. Buildings Department of Hong Kong (2018). Code of Practice for Structural Use of Glass.
2. CEN/TS 19100-1: 2021, Design of glass structures - Part 1: Basis of design and materials, European Committee for Standardization.
3. CEN/TS 19100-2: 2021, Design of glass structures - Part 2: Design of out-of-plane loaded glass components, European Committee for Standardization.
4. CEN/TS 19100-3: 2021, Design of glass structures - Part 3: Design of in-plane loaded glass components and their mechanics joints, European Committee for Standardization.
5. EN 16612: 2019, Glass in building - Determination of the lateral load resistance of glass panes by calculation, European Committee for Standardization.
6. M. Feldman, R. Kasper, et al. (2014), Guidance for European Structural Design of Glass Components, Joint Research Centre.
7. M. Feldmann, P. Di Biase (2018), The CEN-TS "Structural Glass - Design and Construction Rules" as pre-standard for the Eurocode, ce/papers, 2, 71-80.
8. M. Froling (2013), "Strength Design Methods for Glass Structures", Doctoral Thesis, Division of Structural Mechanics, Lund University, Sweden.
9. A. Jozwik (2022), "Introduction to structural design of glass according to current European standards", Archives of Civil Engineering, 68(2), 147-170.
10. J. Kuntsche, M. Schuster, J. Schneider (2019), "Engineering design of laminated safety glass considering the shear coupling: a review", Glass Structural Engineering, 4, 209-228.
11. C. O'Regan (2014), Structural Use of Glass in Buildings (2nd), The Institution of Structural Engineers.
12. 국내 안전유리 산업현황 및 건축물 안전설계 방향, (사)한국판유리창호협회, 한국세라믹기술원, 2021.
13. (사)한국판유리창호협회 홈페이지
14. Glass Facade Design Guidebook, HANGLAS, ISBN 979-11-965307-0-9, 2019
15. https://eurocodes.jrc.ec.europa.eu/news/cents-191002021-design-glass-structures
16. www.themarketreports.com/report/global-structural-glazing-market-research-report
17. Structural Glass - Novel design methods and next generation products: www.cost.eu/actions/TU0905/
18. https://eurocodes.jrc.ec.europa.eu/news/cents-191002021-design-glass-structures

별첨 : 유리구조 점검 체크리스트 서식

유리구조 [ ]수시, [ ]정기점검 체크리스트

1. 점검개요

1.1 유리구조 개요

건축물 개요	건축물 주소					
	구조 형식			층수	지상 ( )층, 지하 ( )층	
	대지면적	m^2	건축면적	m^2	연면적	m^2
	주용도			사용승인일		
유리구조 개요	부재위치					
	부재구분	☐ 유리기둥 ☐ 유리벽 ☐ 유리 휨부재 ☐ 유리바닥/천장 ☐ 유리칸막이 ☐ 유리난간 ☐ 유리마감재 ☐ 기타				
	유리종류 (KS 규격)	☐ 확인 ☐ 미확인 ☐ 판단불가				
	부재치수	폭 ( ) m 너비 ( ) m 두께 ( ) m				
	구조계산/ 구조안전확인서	☐ 확인 ☐ 미확인 ☐ 판단불가				

1.2 점검기관 및 종합결과

점검기관	점검자	(서명)
	점검기간	년 월 일 ~ 년 월 일
점검결과 (종합)	기타의견	
	종합의견	

2. 유리구조 점검내용

2.1 구조안전점검 전반

<table>
<tr><th>점검항목</th><th colspan="2">점 검 내 용</th></tr>
<tr><td rowspan="9">2.1.1
일반안전성</td><td>세부 항목 ①</td><td>점검 결과</td></tr>
<tr><td>전체 구조의 견고함 여부
(흔들림이 있는지 등)</td><td>☐ 예 ☐ 아니오 ☐ 해당없음</td></tr>
<tr><td>세부 항목 ②</td><td>점검 결과</td></tr>
<tr><td>주위에 위험 또는 변형을 유발할 수 있는 시설, 장비, 장치 등이 있는지</td><td>☐ 예 ☐ 아니오 ☐ 해당없음</td></tr>
<tr><td>세부 항목 ③</td><td>점검 결과</td></tr>
<tr><td>전체 구조의 기울어짐 여부
(L/150 이상이거나 육안인지)</td><td>☐ 예 ☐ 아니오 ☐ 해당없음</td></tr>
<tr><td colspan="2">현황 사진</td></tr>
<tr><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td colspan="2">개선 의견</td></tr>
<tr><td colspan="2"></td></tr>
</table>

점검항목	점 검 내 용	
2.1.2 일반관리	세부 항목 ①	점검 결과
	점검 및 관리를 위한 접근가능성 여부	□ 예 □ 아니오 □ 해당없음
	세부 항목 ②	점검 결과
	파손된 부품의 수리 또는 교체 여부	□ 예 □ 아니오 □ 해당없음
	세부 항목 ③	점검 결과
	풀려있는 부품의 고정 여부	□ 예 □ 아니오 □ 해당없음
	세부 항목 ④	점검 결과
	누수 및 부식의 조짐이 보이는 얼룩의 관리 여부	□ 예 □ 아니오 □ 해당없음
	세부 항목 ⑤	점검 결과
	유리 끼우는 부분의 이물질 제거 등 청소 여부	□ 예 □ 아니오 □ 해당없음
	현황 사진	
	개선 의견	

2.2 주요 구조재 점검

<table>
<tr><th>점검항목</th><th colspan="2">점 검 내 용</th></tr>
<tr><td rowspan="10">2.2.1
유리판</td><td>세부 항목 ①</td><td>점검 결과</td></tr>
<tr><td>유리의 탈락 가능성 여부
(육안점검 결과)</td><td>☐ 예 ☐ 아니오 ☐ 해당없음</td></tr>
<tr><td>세부 항목 ②</td><td>점검 결과</td></tr>
<tr><td>균열, 파손, 긁힘 등 유리의 손상 여부</td><td>☐ 예 ☐ 아니오 ☐ 해당없음</td></tr>
<tr><td>세부 항목 ③</td><td>점검 결과</td></tr>
<tr><td>배부름, 휨, 박리 등 유리의 변형 여부</td><td>☐ 예 ☐ 아니오 ☐ 해당없음</td></tr>
<tr><td>세부 항목 ④</td><td>점검 결과</td></tr>
<tr><td>결로 및 김서림 여부</td><td>☐ 예 ☐ 아니오 ☐ 해당없음</td></tr>
<tr><td colspan="2">현황 사진</td></tr>
<tr><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td colspan="2">개선 의견</td></tr>
<tr><td colspan="2"></td></tr>
</table>

점검항목	점 검 내 용	
2.2.2 접합부	세부 항목 ①	점검 결과
	고정장치의 탈락, 손상, 풀림, 노후화 여부	☐ 예 ☐ 아니오 ☐ 해당없음
	세부 항목 ②	점검 결과
	가스켓의 노후화, 탈락, 변형 여부	☐ 예 ☐ 아니오 ☐ 해당없음
	세부 항목 ③	점검 결과
	실란트의 탈락, 불량시공, 손상, 노후화 여부	☐ 예 ☐ 아니오 ☐ 해당없음
	현황 사진	
	개선 의견	

2.3 지지 구조물 점검

<table>
<tr><th>점검항목</th><th colspan="2">점 검 내 용</th></tr>
<tr><td rowspan="6">2.3.1
지지구조</td><td>세부 항목 ①</td><td>점검 결과</td></tr>
<tr><td>균열 등 지지구조의 손상 여부</td><td>☐ 예 ☐ 아니오 ☐ 해당없음</td></tr>
<tr><td>세부 항목 ②</td><td>점검 결과</td></tr>
<tr><td>뒤틀림 등 지지구조의 변형 여부</td><td>☐ 예 ☐ 아니오 ☐ 해당없음</td></tr>
<tr><td colspan="2">현황 사진</td></tr>
<tr><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td colspan="2">개선 의견</td></tr>
<tr><td colspan="2"></td></tr>
</table>