

전산해석 결과보고서

제 목	루프가드 방수패널의 구조해석				
기 간	2021년 12월 13일 ~ 2022년 1월 12일				
전산해석 수행	기 관 명		(주)태성씨앤디		
	수행 담당자	직위	대표이사	연락처	053-753-2658
		성명	송태성	E-mail	tssong@tscnd.kr

위와 같이 루프가드 방수패널의 구조해석관련 결과보고서를 제출합니다.

2022년 1월 13일



(주)태성씨앤디 대표이사 송태성



한국화학융합시험연구원 귀하

목 차

제 1 장 서 론

1-1. 개요	1
1-2. 해석 대상	1
1-3. 해석 목표	2
1-4. 해석 장비	4

제 2 장 해석 이론

2-1. CFD의 개요	5
2-2. 지배 방정식	5
2-3. 난류 모델	6
2-4. 유한 체적법	6
2-5. 유한요소해석의 개요	8
2-6. 이상화된 구조물의 종류와 유한요소	8
2-7. 2차원 평면응력 요소	12

제 3 장 신청기업(오웰스틸)의 루프가드 방수패널 유동해석

3-1. 해석 모델의 구성	17
3-2. 유동 해석 조건	19
3-2. 유동 해석 결과	20

제 4 장 신청기업(오웰스틸)의 루프가드 방수패널 구조해석

4-1. 해석 모델의 구성	24
4-2. 구조해석 조건	26
4-3. 구조해석 결과	28

제 5 장 결론

5-1. 해석 결과 요약	33
5-2. 제언	33

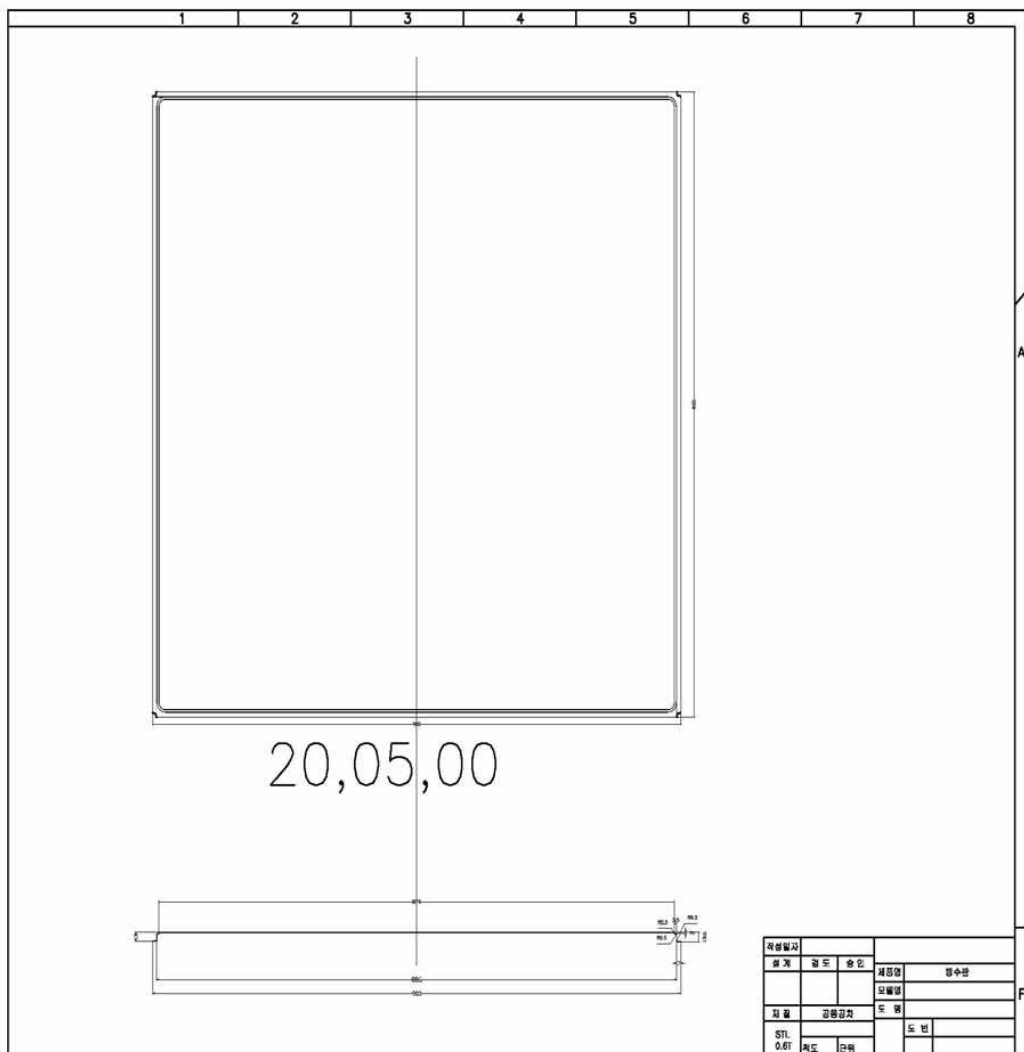
제 1장 서 론

1-1. 개요

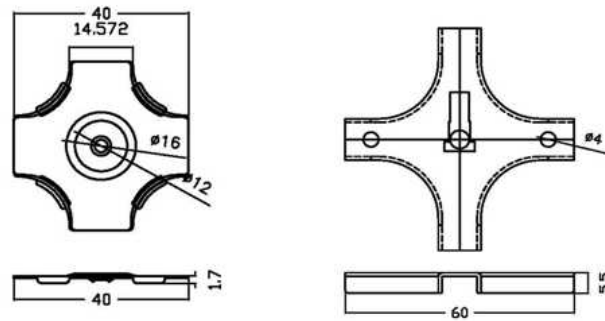
- 제 목 : 루프가드 방수패널의 구조해석
- 해석분류 : 유동해석/구조해석
- 설계/해석장비 : SpaceClaim / ANSYS

1-2. 해석 대상

- 제품명 : 루프가드 방수패널
- 구성 품(모델명, 규격, 사진 등)

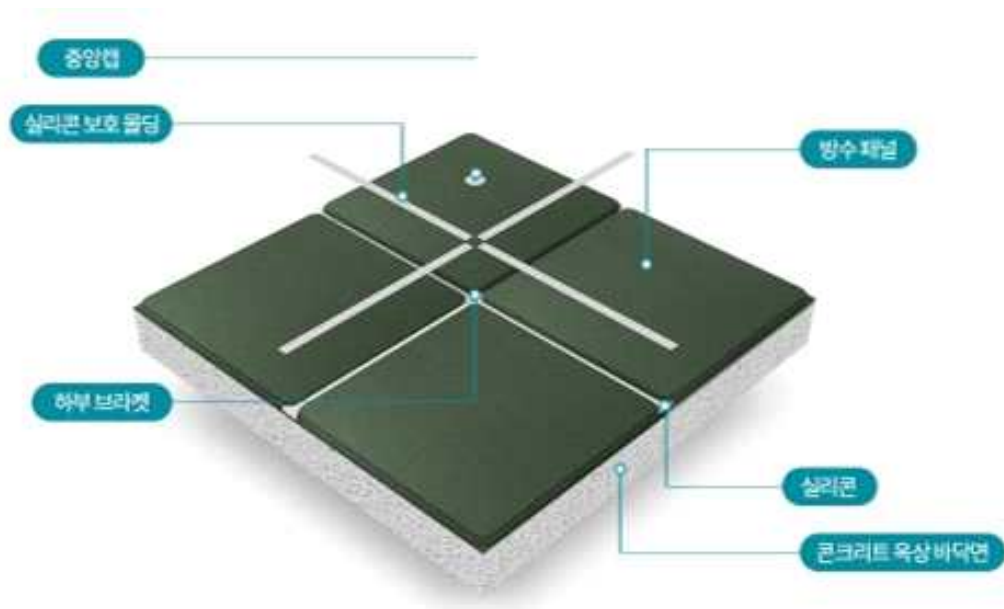


<신청기업(오웰스틸)의 루프가드 방수패널 2D 도면>



<신청기업(오웰스틸)의 루프가드 방수패널 연결 브라켓 2D 도면>

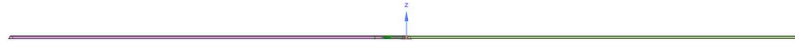
- 신청기업(오웰스틸)의 루프가드 방수패널은 콘크리트 바닥면 위에 기본 4장의 패널과 패널 내부 삽입 발포 폴리스티렌 폼, 플렌지 너트(연결브라켓)를 통한 패널 연결, 이음새로의 실리콘 충진으로 설치되는 제품임.



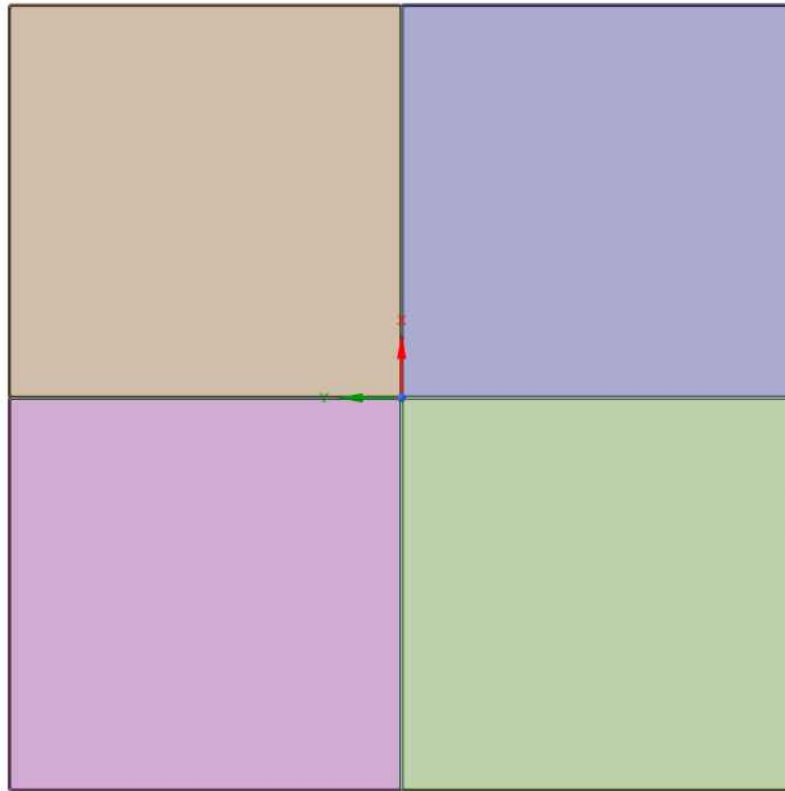
<신청기업(오웰스틸)의 루프가드 방수패널 설치 구조도>

1-3. 해석 목표

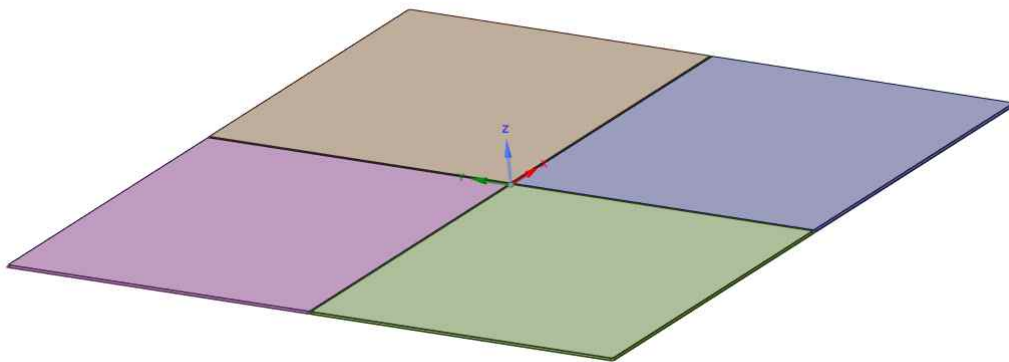
- 신청기업(오웰스틸)의 루프가드 방수 패널 설치 모델을 대상으로 유동-구조 복합물리 해석을 통하여 풍압 60m/s에 대한 구조적 안전성을 검토하고자 함.



Front View

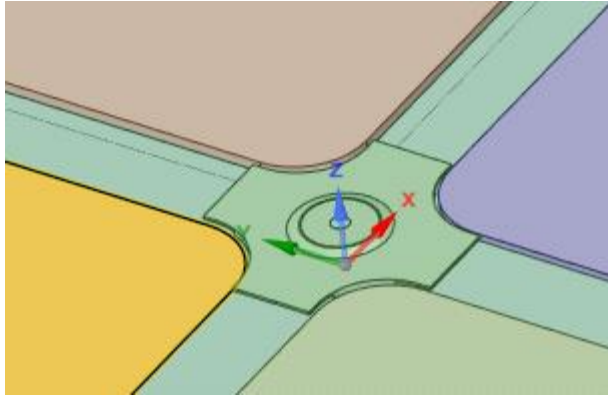


Plane View

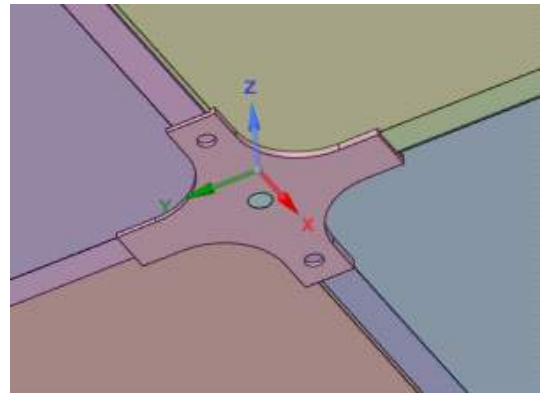


ISO View

<신청기업(오웰스틸)의 루프가드 방수패널 설치 모델>



연결 브라켓 (상)



연결 브라켓 (하)

<루프가드 방수패널 연결 브라켓>

1-4. 해석 장비

- SpaceClaim
 - 3차원 모델링
- ANSYS (CFX)
 - 유동해석
- ANSYS (Mechanical)
 - 구조해석

제 2장 해석 이론

2-1. C.F.D(Computational Fluid Dynamics)의 개요

- 유체역학에서는 계산 영역을 정하고서 그 영역에 대해서 질량, 운동량, 에너지 등의 보존 법칙을 적용함으로써 밀도, 속도, 압력, 온도 등의 물리량들을 얻게 됨. 그러나 이렇게 유도된 지배방정식은 비선형 편미분 방정식이므로, 매우 간단한 문제에 대해서도 수작업으로 계산하는 것은 거의 불가능함. 이에 대한 대안으로서 전산유체역학(Computational Fluid Dynamics)이 대두됨. 전산유체역학은 관심 영역을 수많은 작은 영역으로 나누고, 각각의 작은 영역에 보존법칙들을 적용하여 비선형 편미분 방정식을 선형화하여 수치적 근사해를 얻는 방법으로써 컴퓨터 하드웨어/소프트웨어 발전에 힘입어 급속히 발전하고 있는 분야임.

2-2. 지배 방정식

- 전산유체역학에서는 유체 입자 하나하나를 추적하면서 푸는 Lagrangian 관점으로는 유동해석이 어려운 때가 많으므로 보통 관심이 있는 영역을 정하고서 그 영역에 대해서 질량, 운동량, 에너지 등의 보존 법칙을 적용함으로써 밀도, 속도, 압력, 온도 등의 물리량들을 얻게 됨. 그러나 이러한 Eulerian 관점에 의해 방정식을 유도하면서 나타나는 비선형(nonlinear)항 때문에, 형상이 아주 간단한 문제를 제외하고서는 해석적인 해(analytic solution)를 얻기는 거의 불가능함. 따라서 전산유체역학(Computational Fluid Dynamics) 방법에서는 관심 영역을 수많은 작은 영역으로 나누고, 각각의 작은 영역에 보존법칙들을 적용하여 수치적 근사해를 얻는 방법을 적용하고 있는데, 최근 컴퓨터 하드웨어/소프트웨어, 특히 비정렬 격자계(unstructured grid)의 도입으로 인하여 산업체 현장에서의 적용이 매우 활발해지고 있는 분야임.
- 유체 및 에너지의 이동현상의 해석에 필요한 방정식은 질량, 운동량, 에너지 보존법칙을 미소의 체적에 적용하여 얻어진 비선형 연립 편미분방정식임. 운동량 해석에 있어서는 난류 유동의 해석을 위한 방정식을 포함하여야 하며, 또한 복사 열전달 및 화학 반응을 위한 방정식들을 포함하여야 하므로 이에 대하여 요약하면 다음과 같음.
- 난류를 동반하는 유동장의 특성을 지배하는 방정식을 텐서(tensor) 형식으로 표현하면 다음과 같음.

$$\text{질량보존} : \frac{\partial(\rho u_i)}{\partial x_j} = 0$$

$$\text{운동량 보존} : \frac{\partial(\rho u_i u_j)}{\partial x_j} = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right] + \rho g_i$$

$$\text{스칼라 보존} : \frac{\partial(\rho u_i \Phi)}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\Gamma \frac{\partial \Phi}{\partial x_j} \right) + S_\Phi$$

- 상기 방정식에서 종속변수 는 난류의 해석을 위한 난류운동에너지, 난류운동에너지의 소멸율, 엔탈피 및 화학종 등을 나타냄.

2-3. 난류 모델

- 본 연구에서 난류 모델은 k-ε 모델을 이용하여 해석을 수행하였다. k-ε 모델은 제한된 적용성에도 불구하고 난류 모델의 대표적 모델이며, 모델 자체가 단순하면서도 예측 성능이 뛰어나고, 경제적이며 수치 안정성 면에서 우수하기 때문에 현재 공학적인 난류 유동장에서 많이 사용되어지고 있음.

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i k) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\frac{\mu_t}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial x_i} \right) + G_k + G_b - \rho \epsilon$$

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho \epsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i \epsilon) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\frac{m_t}{\sigma_\epsilon} \frac{\partial \epsilon}{\partial x_i} \right)$$

$$+ C_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} (G_k + (1 - C_{3\epsilon}) G_b) - C_{2\epsilon} \rho \frac{\epsilon^2}{k}$$

$$C_{1\epsilon} = 1.44, C_{2\epsilon} = 1.92, \sigma_k = 1.0, \sigma_\epsilon = 1.3$$

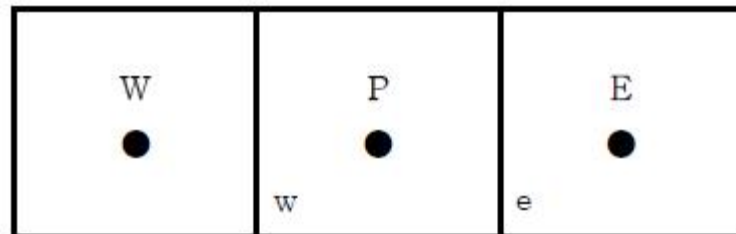
$$G_k = \mu_t \left(\frac{\partial u_j}{\partial x_i} + \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right) \frac{\partial u_j}{\partial x_i}$$

$$G_b = -g_i \left(\frac{\mu_t}{\rho \sigma_k} \cdot \frac{\partial p}{\partial x_i} \right)$$

2-4. 유한 체적법

- 위의 방정식에 대하여, 앞에서 언급하였듯이, 계산 영역은 여러 개의 작은 영역으로 분할됨. 이 분할된 모양을 격자라고 하며 각각의 작은 영역을 제어체적(control volume 또는 cell)이라고 함. 3차원일 경우 제어체적들은 보통 육면체이거나 사면체의 형상을 가지며, 모든 물리량들은 이 제어체적들의 중심에 저장됨. 이렇게 각 제어체적

에 보존법칙을 적용하기 때문에 이 방법을 유한체적법이라고 함. 여기에서는 아래의 개략도와 같은 1차원 제어체적에 대하여 유한체적법을 이용해 방정식을 이산화 하는 과정을 보이고자 함.



<1차원 제어 체적>

- 위에서 보듯이 각 제어체적의 중심은 W, P, E이며 제어체적 사이의 인접면은 w와 e 임. 1차원, 정상상태(steady state)일 경우 스칼라 Φ 의 보존식은 다음과 같으며 질량, 운동량 등의 보존방정식은 모두 이 형태로 볼 수가 있음.

$$\frac{\partial(\rho u \Phi)}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\Gamma \frac{\partial \Phi}{\partial x} \right) + S_{\Phi}$$

- 이 식을 제어체적 P에 적용하여 적분하고 divergence theorem을 적용함. 왼쪽의 convection term의 경우는

$$\int_{Volume V} \frac{\partial(\rho u \Phi)}{\partial x} dV = \int_{surface A} \rho u \Phi dA = (\rho u \Phi A)_e - (\rho u \Phi A)_w$$

- 오른쪽의 diffusion term과 source term은

$$\int_{Volume V} \left[\frac{\partial}{\partial x} \left(\Gamma \frac{\partial \Phi}{\partial x} \right) + S_{\Phi} \right] dV = \left(\Gamma \frac{\partial \Phi}{\partial x} A \right)_e - \left(\Gamma \frac{\partial \Phi}{\partial x} A \right)_w + S_{\Phi} \Delta V$$

- 모든 변수는 제어체적의 중심인 P, W, 그리고 E에 저장되어 있기 때문에 e와 w에서의 값은 center 값으로부터 계산해야만 함. 이 값들을 계산하는 방법으로 1) first order upwind scheme, 2) power-law scheme, 3) second order-scheme 등이 있음.

- 이렇게 만들어진 적분식을 각 제어체적에 대해 계산하고서 조합하면 다음과 같은 대수 방정식으로 표현됨. 즉, 컴퓨터 또는 matrix solver가 인식할 없는 편미분방정식에서, matrix solver를 이용할 수 있는 대수방정식으로 변환된 것임.

$$a_P \Phi_P = \sum_{nb} a_{nb} \Phi_{nb} + b$$

- 여기서 nb는 제어체적 P의 이웃 제어체적들을 나타낸다. 이차원 사각형 격자의 경우 P의 이웃 셀은 모두 4개이며 3차원 육면체의 경우는 6개가 됨. 그리고 a_P 와 a_{nb} 가 Φ 의 함수이므로, 즉 비선형 방정식이므로 반복계산법에 의해서 해를 얻어야만 함.

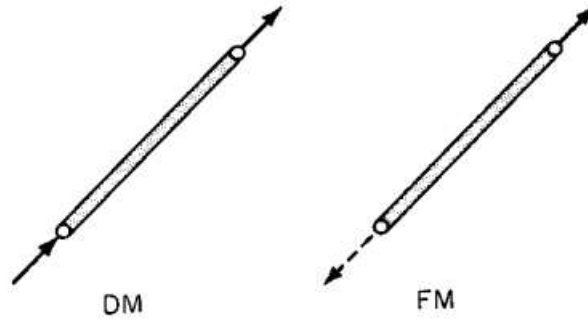
2-5. 유한요소해석의 개요

- 유한요소법(Finite Element Method)은 넓은 범위의 공학문제를 수치적으로 해결할 수 있는 강력한 방법 중의 하나임. 이 해석방법에서는 연속체로 정의하는 복잡한 형상을 유한요소라는 간단한 기하형상의 집합으로 이산화 시킴. 재료상수와 지배방정식을 이산화 된 유한요소들에 적용하기 위하여 이 방법은 요소의 여러 점에서 정의되는 미지수들을 이용하여 표현함. 여기에 하중과 구속조건을 적절하게 고려하여 조화과정을 거치면 몇 개의 방정식을 얻게 됨. 이 방정식들을 풀면 연속체의 거동을 근사적으로 결정할 수 있음.
- 유한요소법은 1930년대에 개발된 Matrix이론을 사용하여 1960연대에 영국과 미국에서 개발되어 이론화 및 상용화가 이루어진 것은 컴퓨터의 발전이 이루어진 1970년대 이후이며 이러한 유한요소법은 공학과 물리학에서 많이 사용되었으며 컴퓨터 하드웨어의 발전과 더불어 급속히 발전하고 있는 중이며 유한요소법의 장점으로서는 복잡한 기하학적 구조에 적용이 용이하다는 점임.

2-6. 이상화된 구조물의 종류와 유한요소

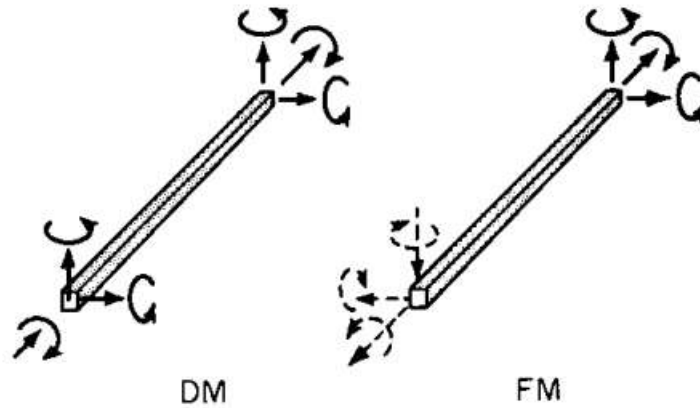
1) Bar : 축방향 압축·인장을 지지함 (트러스 구조물) => Bar 요소

- 축방향 변위
- 축방향 인장과 압축력

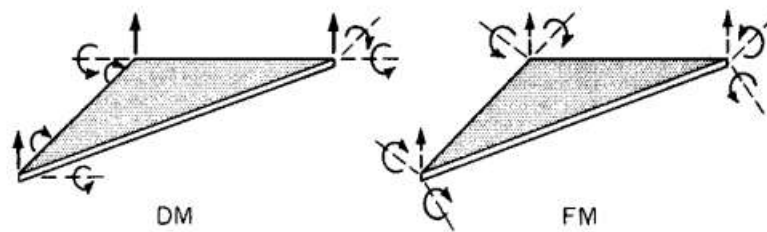


2) 보 : 굽힘 모멘트를 지지함 => 보 요소

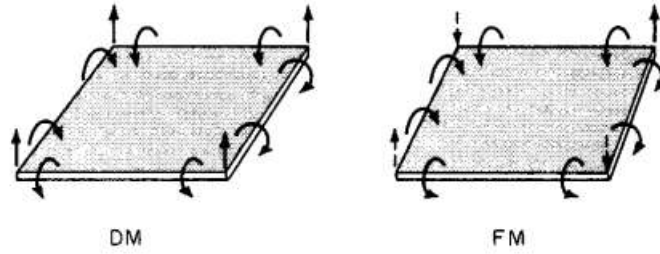
- 전단변위 및 굽힘기울기
- 전단력 및 굽힘 모멘트



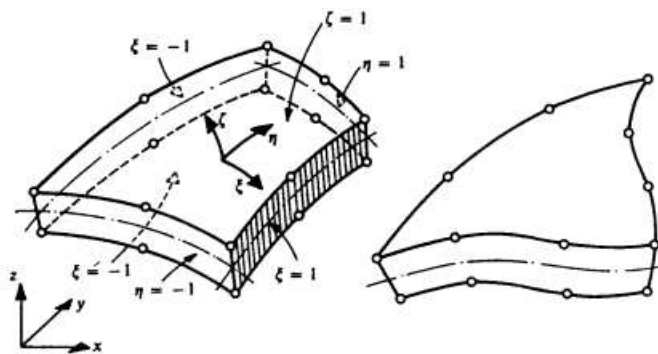
3) 평판 : 굽힘강성을 가지며 주로 휨모멘트, 비틀림 모멘트를 지지 => 평판요소



- 전단 변위 및 굽힘면 기울기
- 전단력 및 굽힘 모멘트

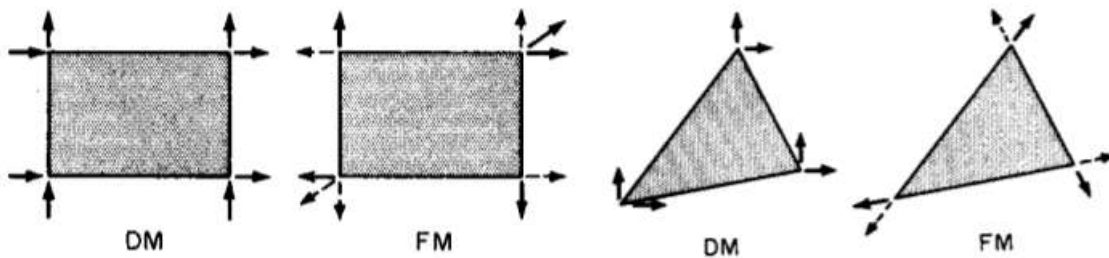


4) 각(Shell) : 굽힘강성 및 면내강성을 가지며 특히 곡률의 영향으로 큰 하중을 면내 강성으로 지지함.(압력용기 등) => 각(Shell) 요소



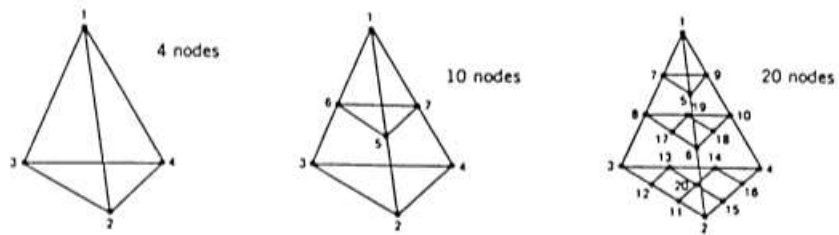
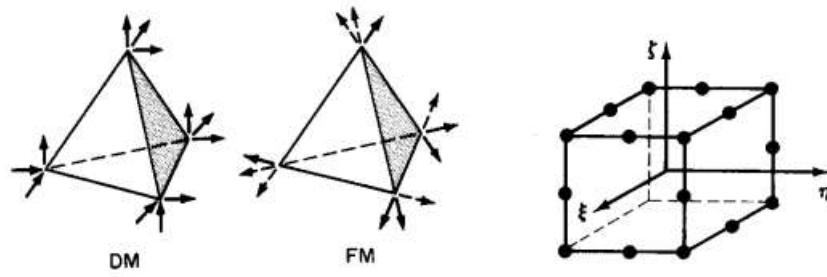
5) 2차원 고체 : 평면응력/변형도 상태 => 2차원 평면응력/변형도 유한요소

- 2방향 변위
- 2방향 힘

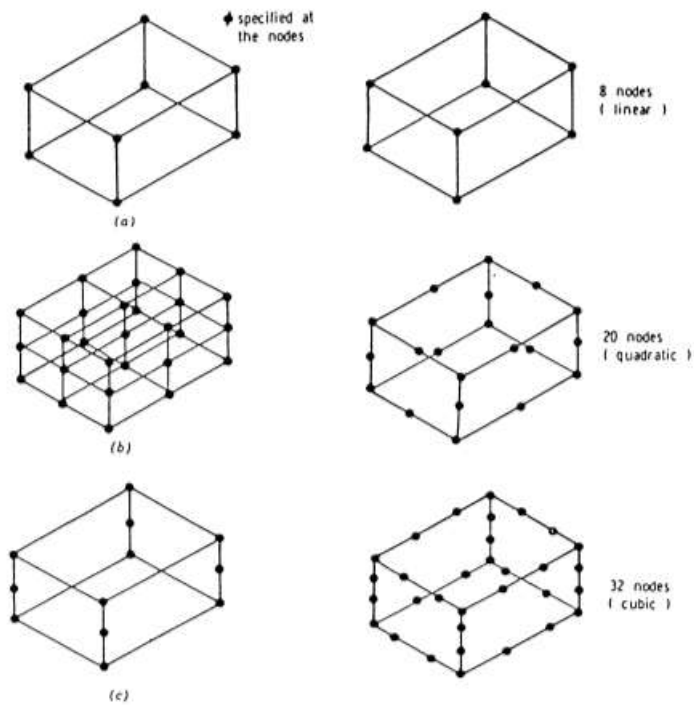


6) 3차원 고체 => 3차원 고체 유한요소

- 3방향 변위
- 3방향 힘

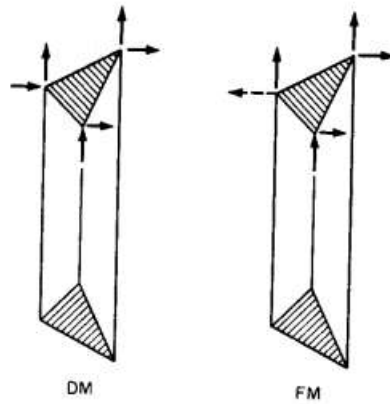


<사면체 요소>

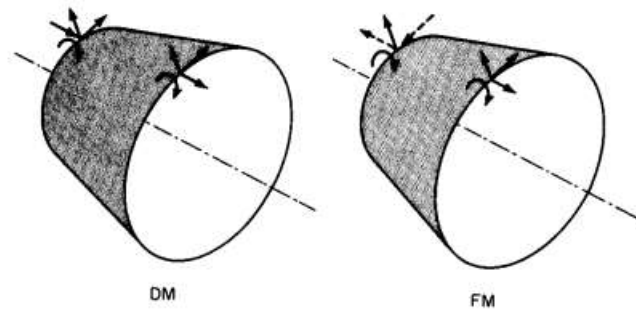


<육면체 요소>

7) 기타 요소



<축대칭 링 요소>



<축대칭 각(Shell) 요소>

2-7. 2차원 평면응력 요소

- 이벤 쉘터 해석에 사용될 2차원 평면응력 요소에 대하여 알아보기 위하여 z방향 응력을 0이라 가정함.

[strain(변형도)]

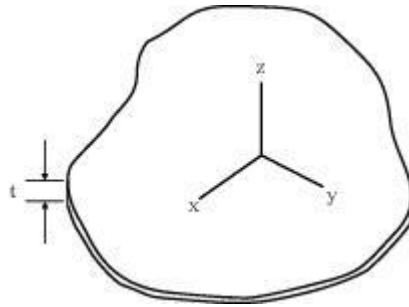
$$\varepsilon_{xx} = \frac{\partial u}{\partial x} \quad , \quad \varepsilon_{yy} = \frac{\partial v}{\partial y} \quad , \quad \gamma_{xy} = \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y}$$

$$\begin{Bmatrix} \varepsilon_{xx} \\ \varepsilon_{yy} \\ \gamma_{xy} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \frac{\partial u}{\partial x} \\ \frac{\partial v}{\partial y} \\ \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial}{\partial x} & 0 \\ 0 & \frac{\partial}{\partial y} \\ \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial x} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u \\ v \end{Bmatrix}$$

[stress-strain relation]

$$\begin{Bmatrix} \sigma_{xx} \\ \sigma_{yy} \\ \sigma_{xy} \end{Bmatrix} = \frac{E}{1-\nu^2} \begin{bmatrix} 1 & \nu & 0 \\ \nu & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1-\nu}{2} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \varepsilon_{xx} \\ \varepsilon_{yy} \\ \gamma_{xy} \end{Bmatrix}$$

$$\sigma = C \epsilon$$



[Strain Energy]

- Stress-Strain 관계를 이용하면 Strain Energy는 다음과 같음.

$$A(\epsilon) = \frac{1}{2} \int_{\Omega} \sigma(\epsilon) \epsilon \, d\Omega = \frac{1}{2} \int_{\Omega} C_{ijkl} \epsilon_{ij} \epsilon_{kl} \, d\Omega$$

[변분 정식화 : Total Potential Energy Minimization]

- 앞의 Strain Energy를 이용하면 Total Potential Energy는 다음과 같음.

$$\Pi = \frac{1}{2} \int_{\Omega} C_{ijkl} \epsilon_{ij} \epsilon_{kl} \, d\Omega - \int_{\Omega} u_i f_i \, d\Omega - \int_{\partial\Omega_M} u_i \bar{t}_i \, d\Gamma$$

- 여기서 f 는 body force, $\bar{t}$ 는 traction임.
- 여기에 Total Potential Energy Minimization Principle을 적용하면

$$\begin{aligned} \delta\Pi &= \int_{\Omega} C_{ijkl} \delta\epsilon_{ij} \epsilon_{kl} \, d\Omega - \int_{\Omega} \delta u_i f_i \, d\Omega - \int_{\partial\Omega_M} \delta u_i \bar{t}_i \, d\Gamma \\ &= \int_{\Omega} \delta \epsilon^T C \epsilon \, d\Omega - \int_{\Omega} \delta \mathbf{u}^T \mathbf{f} \, d\Omega - \int_{\partial\Omega_M} \delta \mathbf{u}^T \bar{\mathbf{t}} \, d\Gamma = 0 \end{aligned}$$

[유한요소 이산화]

$$\begin{Bmatrix} u \\ v \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \phi_1 & 0 & \phi_2 & 0 & \phi_3 & 0 & \phi_4 & 0 \\ 0 & \phi_1 & 0 & \phi_1 & 0 & \phi_3 & 0 & \phi_4 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} U_1 \\ V_1 \\ U_2 \\ V_2 \\ U_3 \\ V_3 \\ U_4 \\ V_4 \end{Bmatrix} = \Phi U$$

$$\begin{Bmatrix} \epsilon_{xx} \\ \epsilon_{yy} \\ \gamma_{xy} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \frac{\partial u}{\partial x} \\ \frac{\partial v}{\partial y} \\ \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \end{Bmatrix} = \sum_{i=1}^4 \begin{Bmatrix} \frac{\partial \phi_i}{\partial x} U_i \\ \frac{\partial \phi_i}{\partial y} V_i \\ \frac{\partial \phi_i}{\partial x} V_i + \frac{\partial \phi_i}{\partial y} U_i \end{Bmatrix} = \sum_{i=1}^4 \begin{bmatrix} \frac{\partial \phi_i}{\partial x} & 0 \\ 0 & \frac{\partial \phi_i}{\partial y} \\ \frac{\partial \phi_i}{\partial y} & \frac{\partial \phi_i}{\partial x} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} U_i \\ V_i \end{Bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} \frac{\partial \phi_1}{\partial x} & 0 & \frac{\partial \phi_2}{\partial x} & 0 & \frac{\partial \phi_3}{\partial x} & 0 & \frac{\partial \phi_4}{\partial x} & 0 \\ & 0 & \frac{\partial \phi_1}{\partial y} & 0 & \frac{\partial \phi_2}{\partial y} & 0 & \frac{\partial \phi_3}{\partial y} & 0 \\ \frac{\partial \phi_4}{\partial y} & \frac{\partial \phi_1}{\partial y} & \frac{\partial \phi_1}{\partial x} & \frac{\partial \phi_2}{\partial y} & \frac{\partial \phi_2}{\partial x} & \frac{\partial \phi_3}{\partial y} & \frac{\partial \phi_3}{\partial x} \\ \frac{\partial \phi_4}{\partial y} & \frac{\partial \phi_4}{\partial x} & \frac{\partial \phi_4}{\partial y} & \frac{\partial \phi_4}{\partial x} & \frac{\partial \phi_4}{\partial y} & \frac{\partial \phi_4}{\partial x} & \frac{\partial \phi_4}{\partial y} & \frac{\partial \phi_4}{\partial x} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} U_1 \\ V_1 \\ U_2 \\ V_2 \\ U_3 \\ V_3 \\ U_4 \\ V_4 \end{Bmatrix} = B U$$

- 위의 이산화 식을 다시 표현하면

$$\mathbf{u} = \boldsymbol{\phi} \mathbf{U}$$

$$\boldsymbol{\epsilon} = \mathbf{B} \mathbf{U}$$

$$\delta \mathbf{u} = \boldsymbol{\phi} \delta \mathbf{U}$$

$$\delta \boldsymbol{\epsilon} = \mathbf{B} \delta \mathbf{U}$$

$$\delta \mathbf{u}^T = \delta \mathbf{U}^T \boldsymbol{\phi}^T$$

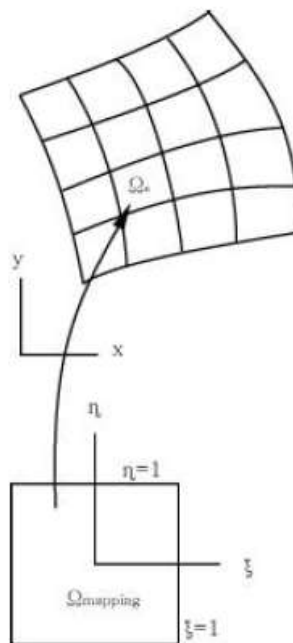
$$\delta \boldsymbol{\epsilon}^T = \delta \mathbf{U}^T \mathbf{B}^T$$

- 이를 대입하면 다음과 같은 식을 얻을 수 있음.

$$0 = \delta \mathbf{U}^T \int_A \mathbf{B}^T \mathbf{C} \mathbf{B} dA \mathbf{U} - \delta \mathbf{U}^T \int_A \boldsymbol{\phi}^T \mathbf{f} dA - \delta \mathbf{U}^T \int_{\partial A_M} \boldsymbol{\phi}^T \bar{\mathbf{t}} d\Gamma$$

- 이는 다시 쓰면 다음과 같음.

$$\delta \mathbf{U}_e^T \{ \mathbf{K}^{(e)} \} \mathbf{U}_e = \delta \mathbf{U}_e^T \{ \mathbf{F}_b^{(e)} \} + \delta \mathbf{U}_e^T \{ \mathbf{F}_t^{(e)} \}, \quad \forall \delta \mathbf{U}_e$$



- 즉,

$$\delta \mathbf{U}_e^T \{ \mathbf{K}^{(e)} \} \mathbf{U}_e = \delta \mathbf{U}_e^T \{ \mathbf{F}_b^{(e)} + \mathbf{F}_t^{(e)} \}, \quad \forall \delta \mathbf{U}_e$$

- 모든 δU_e 에 대하여 만족하므로 결국 각 유한요소마다 다음 식을 얻을 수 있음.

$$\{K^{(e)}\}U_e = F_b^{(e)} + F_t^{(e)}$$

여기서,

$$K^{(e)} = \int_A B^T C B dA$$

$$F_b^{(e)} = \int_A \Phi^T f dA$$

$$F_t^{(e)} = \int_{\partial A_M} \Phi^T \bar{t} d\Gamma$$

- 이를 조립하면

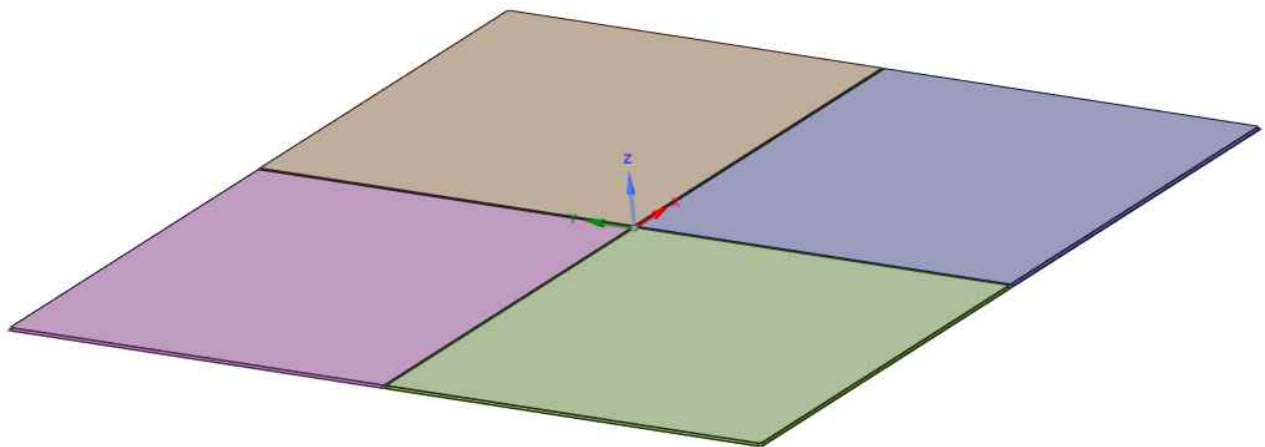
$$KU = F$$

제 3 장 신청기업(오웰스틸)의 루프가드 방수패널 유동해석

3-1. 해석 모델의 구성

- 해석 방안

- 본 모델은 루프가드 방수패널 설치 모델의 풍압 60 m/s 환경에서 구조적 안전성 여부에 관한 해석으로 유동해석 및 구조해석을 위해 설치 상황을 반영한 루프가드 방수패널에 대한 모델링을 진행함



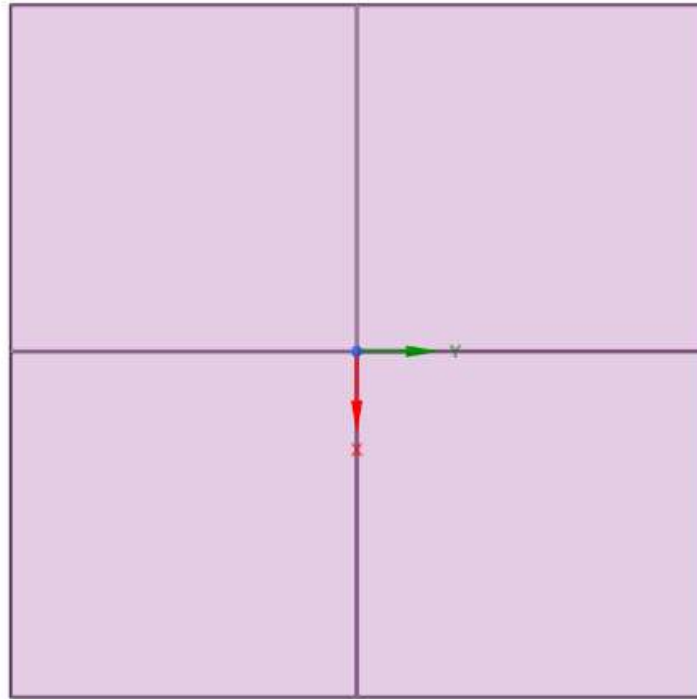
<루프가드 방수패널 설치 모델>

- 해석 모델 구성

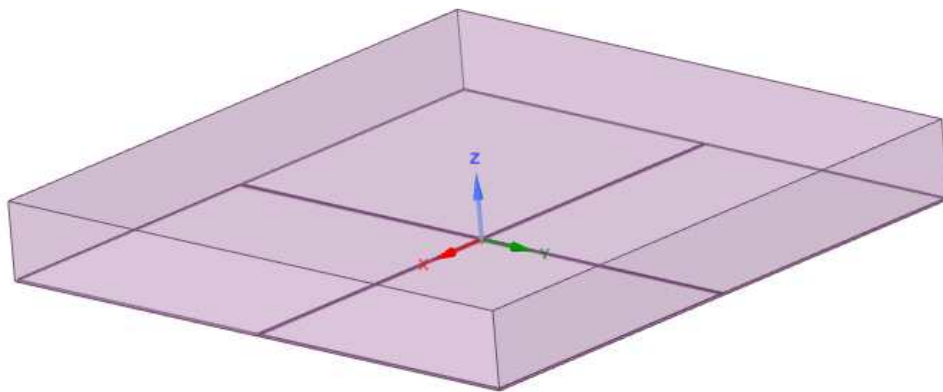
- 해석용 모델은 형상을 고려하여 유동장 모델을 생성하고 유동장에 격자를 생성함.



Front View

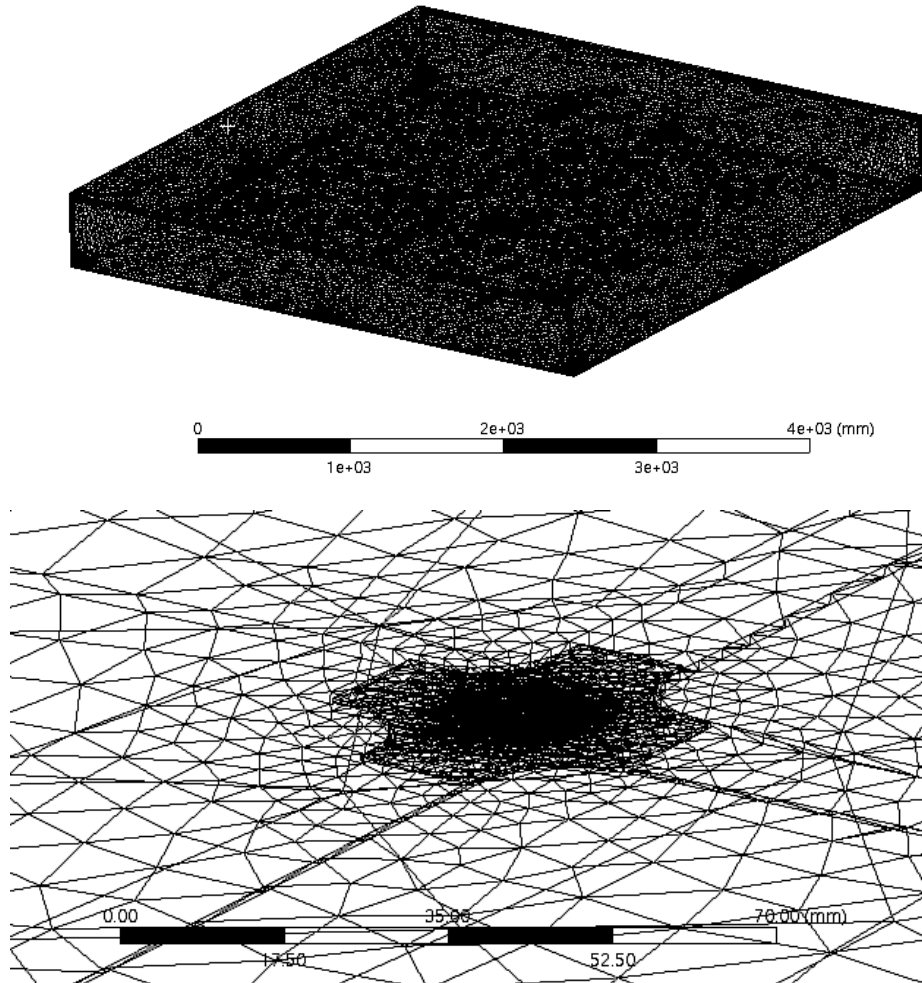


Plane View



ISO View

<3D 모델 구성>



<격자생성 상세 모델>

- Node : 144,660 EA
- Element : 484,322 EA

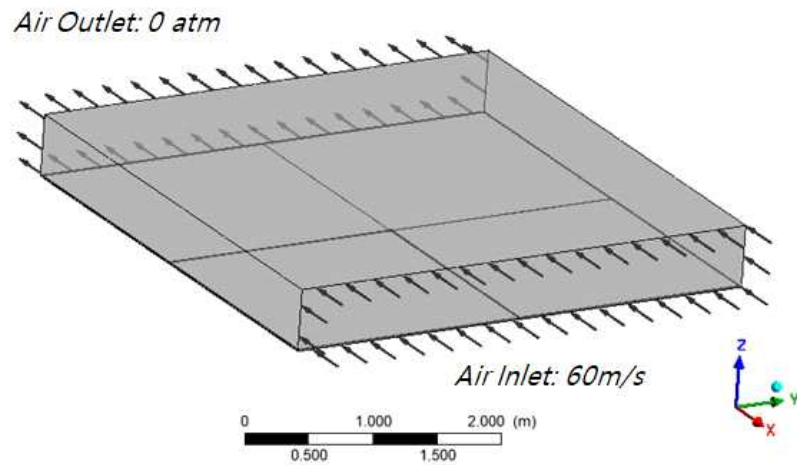
3-2. 유동 해석 조건

▪ 물성재료

- 유입 유체(Inlet)는 Air 로 가정함. 이때 유체 온도는 상온인 25도로 가정함.
- 기준 압력은 1 atm 으로 설정함

▪ 정면 방향 경계 조건

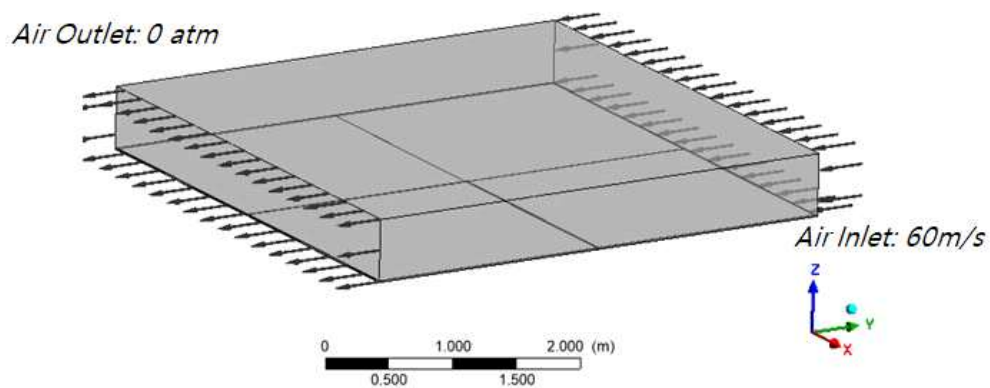
- 루프가드 패널 모델의 정면 방향으로 입력 유속은 60 m/sec 로 적용함
- 루프가드 패널 모델의 정면 반대 방향으로 출력 유압을 Average Static Pressure 0 atm으로 설정함



<정면 방향 경계 조건>

■ 측면 방향 경계 조건

- 루프가드 패널 모델의 측면 방향으로 입력 유속은 60 m/sec 로 적용함
- 루프가드 패널 모델의 측면 반대 방향으로 출력 유압을 Average Static Pressure 0 atm으로 설정함



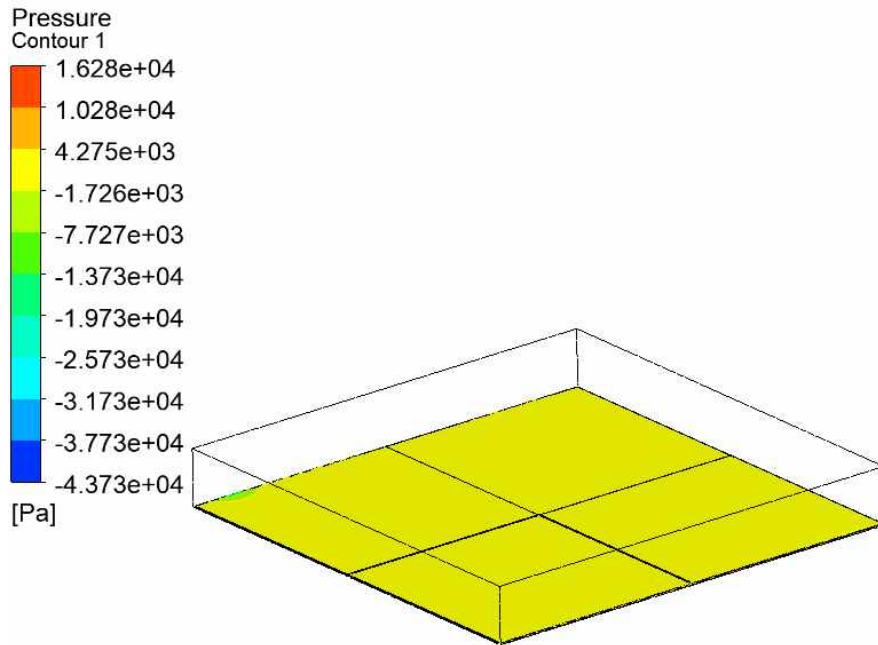
<측면 방향 경계 조건>

3-2. 유동 해석 결과

1) 정면 방향 유동해석 결과

■ 압력 분포

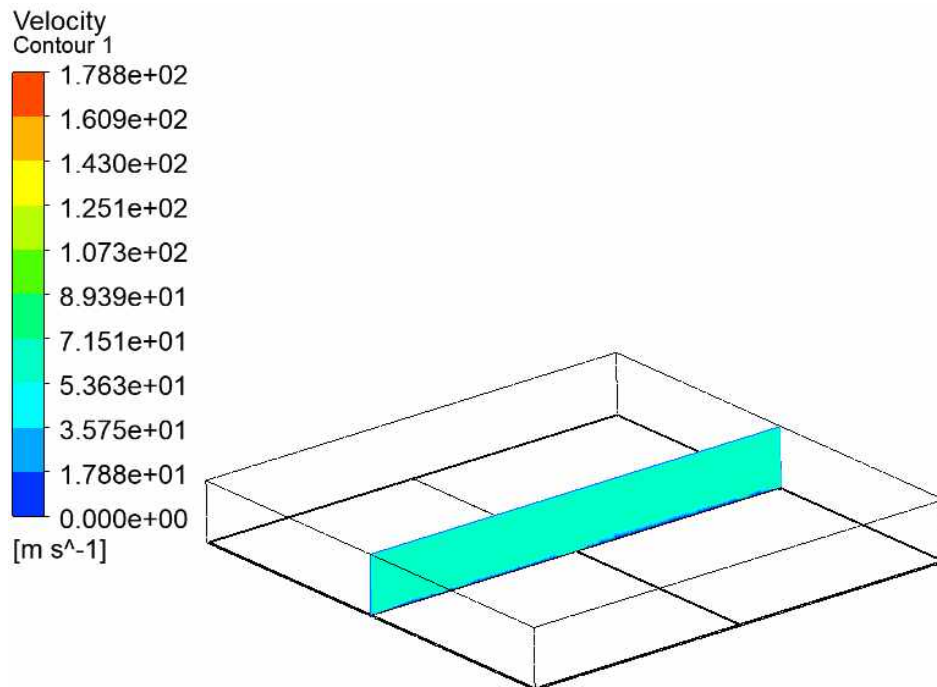
- 루프가드 패널 모델의 정면 방향에 작용하는 최대 압력은 0.001628 MPa로 나타남.



<정면 방향 압력분포>

▪ 속도 분포

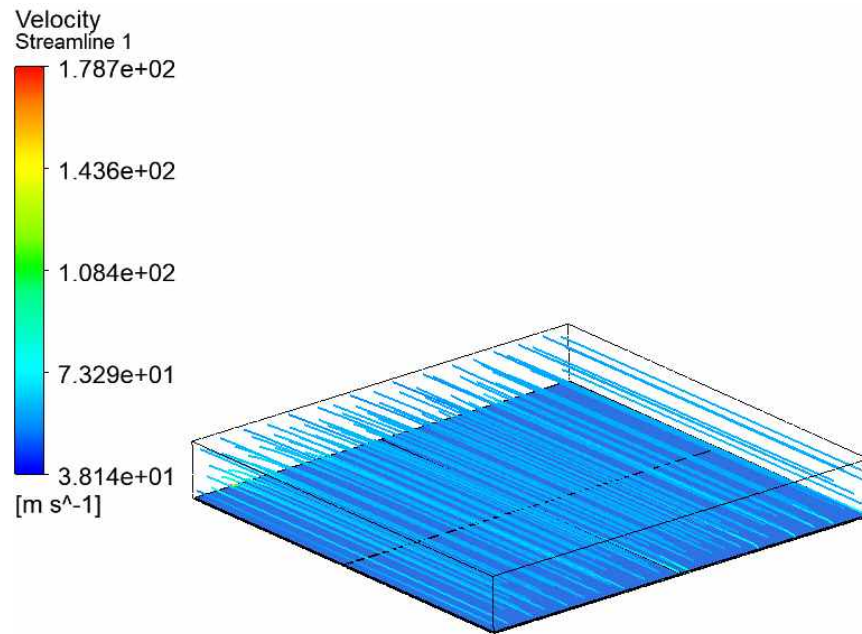
- 루프가드 패널 모델의 정면 방향 단면에서의 최대 속도는 178.8m/s 으로 나타남.



<정면 방향 속도분포>

▪ 와류 분포

- 루프가드 패널 모델의 정면 방향에 작용하는 와류는 없는 것으로 나타남.

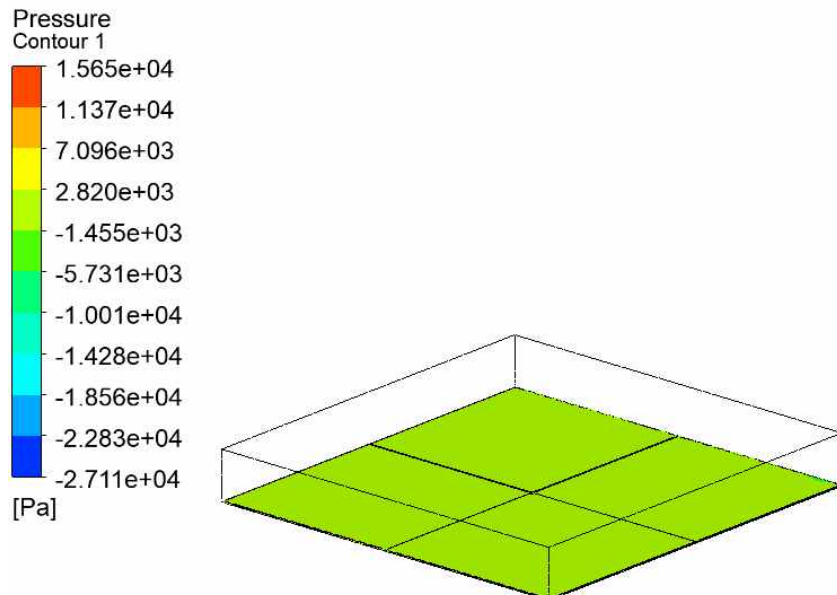


<정면 방향 와류 분포>

2) 측면 방향 유동해석 결과

■ 압력 분포

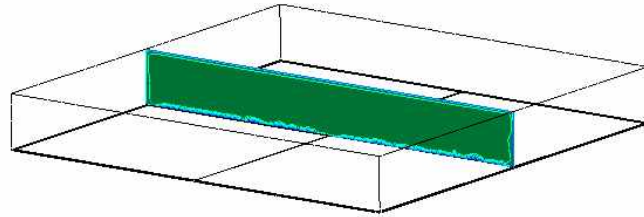
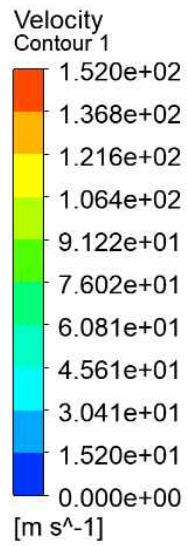
- 루프가드 패널 모델의 측면 방향에 작용하는 최대 압력은 0.001565 MPa로 나타남.



<측면 방향 압력분포>

■ 속도 분포

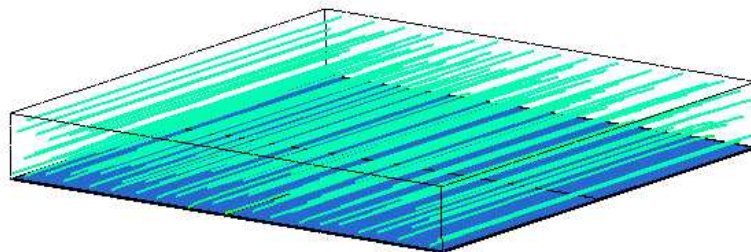
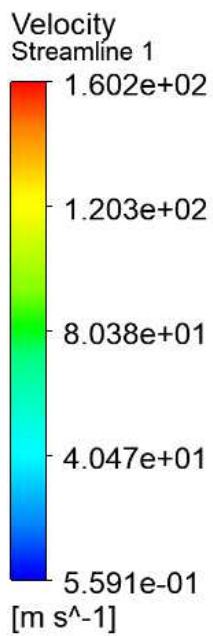
- 루프가드 패널 모델의 측면방향 단면에서의 최대 속도는 152.0m/s으로 나타남.



<측면 방향 속도분포>

▪ 와류 분포

-루프가드 패널 모델의 측면 방향에 작용하는 와류는 없는 것으로 나타남.

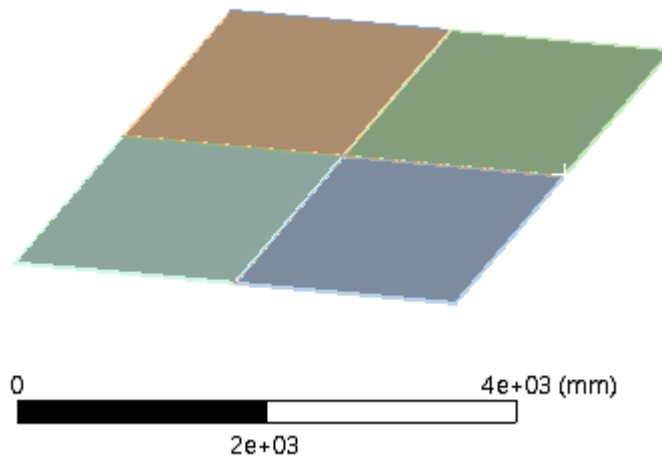


<측면 방향 와류 분포>

제 4 장 신청기업(오웰스틸)의 루프가드 방수패널 구조해석

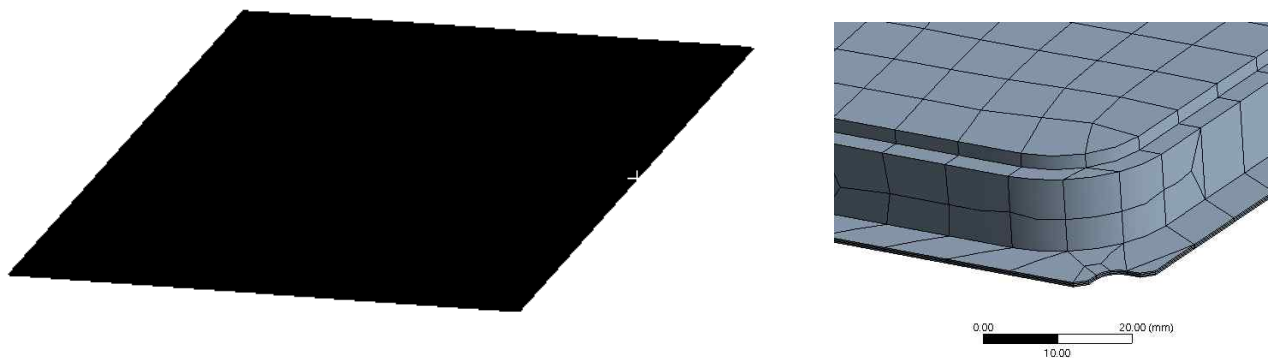
4-1. 해석 모델의 구성

- 3D 모델을 통해 FEM 모델용 지오메트리를 생성함



<해석용 모델 구성>

- 전산해석을 위해 격자를 생성함.



<해석을 위한 격자 생성>

- 노드수 : 3,679,127 EA
- 요소수 : 1,063,670 EA

- 해석을 위한 물성값은 패널과 브라켓은 일반강을 적용하고, 패널 삽입 폼은 폴리스티렌 폼을 적용함. 실리콘은 실리콘 재질을 적용함.

– 일반강



Structural Steel

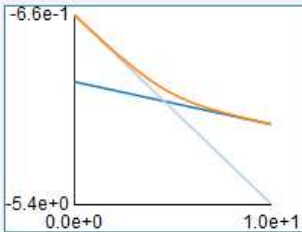
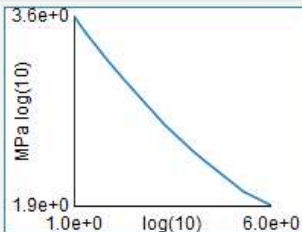


Fatigue Data at zero mean stress comes from 1998 ASME BPV Code, Section 8, Div 2, Table 5-110.1

Density 7.85e-06 kg/mm³

Structural

▼ Isotropic Elasticity

Derive from	Young's Modulus and Poisson's Ratio
Young's Modulus	2e+05 MPa
Poisson's Ratio	0.3
Bulk Modulus	1.6667e+05 MPa
Shear Modulus	76923 MPa
Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion	1.2e-05 1/°C
Compressive Ultimate Strength	0 MPa
Compressive Yield Strength	250 MPa
Strain-Life Parameters	
S-N Curve	
Tensile Ultimate Strength	460 MPa
Tensile Yield Strength	250 MPa

– 폴리스티렌 폼



Foam, expanded polystyren...



Data compiled by the [Granta Design](#) team at ANSYS, incorporating various sources including JAHM and MagWeb.

ANSYS Inc. provides no warranty for this data.

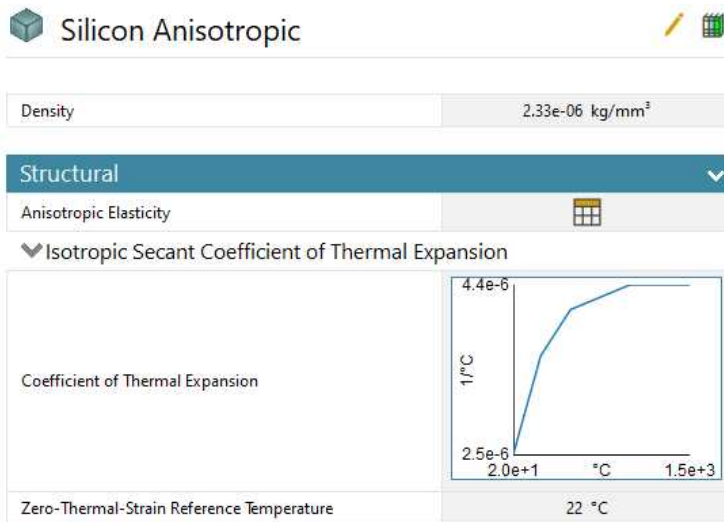
Density 2.993e-08 kg/mm³

Structural

▼ Isotropic Elasticity

Derive from	Young's Modulus and Poisson's Ratio
Young's Modulus	9.328 MPa
Poisson's Ratio	0.2739
Bulk Modulus	6.876 MPa
Shear Modulus	3.6612 MPa
Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion	5.916e-05 1/°C
Tensile Ultimate Strength	0.3795 MPa
Tensile Yield Strength	0.2236 MPa

– 실리콘

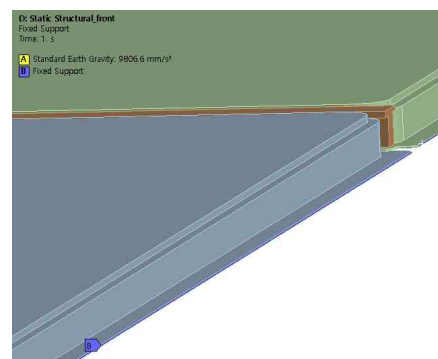
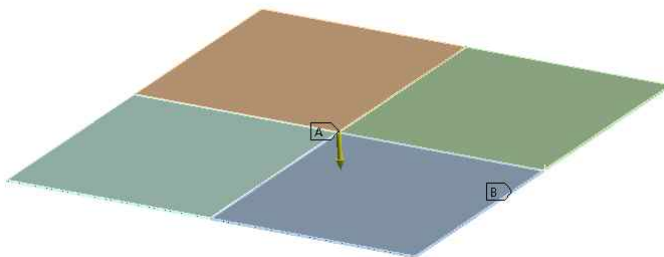


4-2. 구조해석 조건

1) 정방향 풍압에 의한 구조해석 경계 조건

- 구조해석을 위한 구속조건은 정면방향 바람이 불어오는 반대면 패널 끝단에 FIX 조건을 적용함
- 중력가속도를 방수 패널 설치 모델의 아래 방향으로 적용함

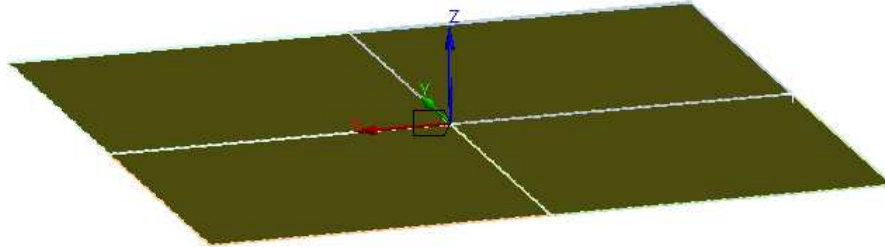
D: Static Structural_front
Fixed Support
Time: 1. s
A Standard Earth Gravity: 9806.6 mm/s²
B Fixed Support



<구속조건 설정 1>

- 콘크리트 바닥면 설치를 고려하여 품의 바닥면을 수직방향으로만 구속함.
- 정면 방향 유동해석을 통해 얻어진 풍압을 방수패널 설치 모델의 표면에 적용함

D: Static Structural_front
Displacement
Time: 1. s
Displacement
Components: Free,Free,0. mm



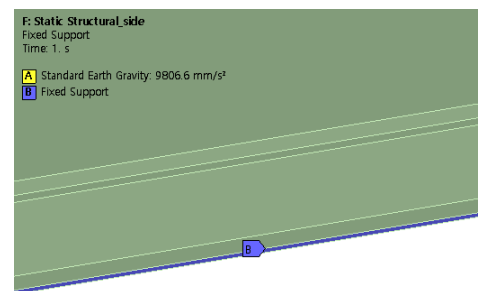
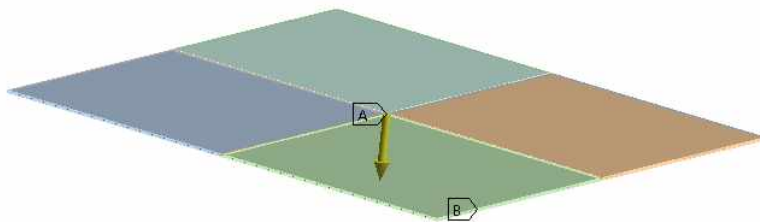
<구속조건 2>

- 정면방향 방수패널 설치 모델에 작용하는 최대 풍압은 0.001628 MPa 임.

2) 측면방향 풍압에 의한 구조해석 경계 조건

- 구조해석을 위한 구속조건은 측면방향 바람이 불어오는 반대면 패널 끝단에 FIX 조건을 적용함
- 중력가속도를 방수 패널 설치 모델의 아래 방향으로 적용함

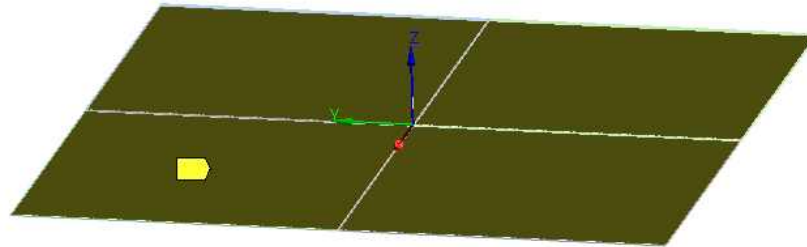
F: Static Structural_side
Fixed Support
Time: 1. s
Standard Earth Gravity: 9806.6 mm/s²
Fixed Support



<구속조건 설정 1>

- 콘크리트 바닥면 설치를 고려하여 품의 바닥면을 수직방향으로만 구속함.
- 측면 방향 유동해석을 통해 얻어진 풍압을 방수패널 설치 모델의 표면에 적용함

F: Static Structural_side
Displacement
Time: 1. s
Displacement
Components: Free,Free,0. mm



- 측면방향 방수패널 설치 모델에 작용하는 최대 풍압은 0.001565 MPa임.

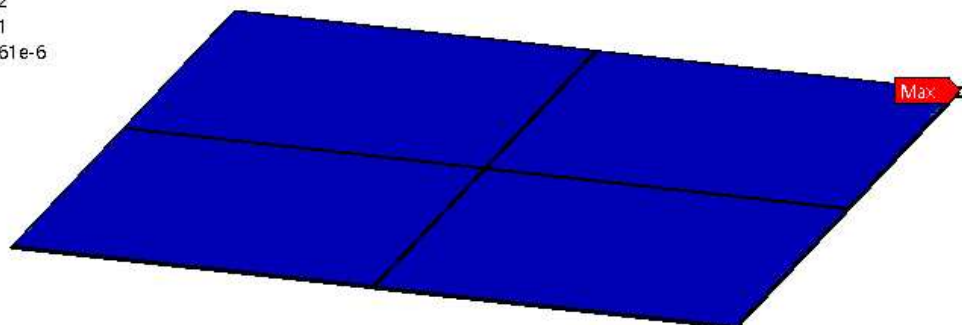
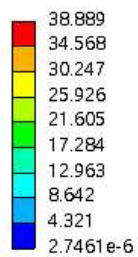
4-3. 구조해석 결과

1) 정면 방향 풍압에 의한 구조해석 결과

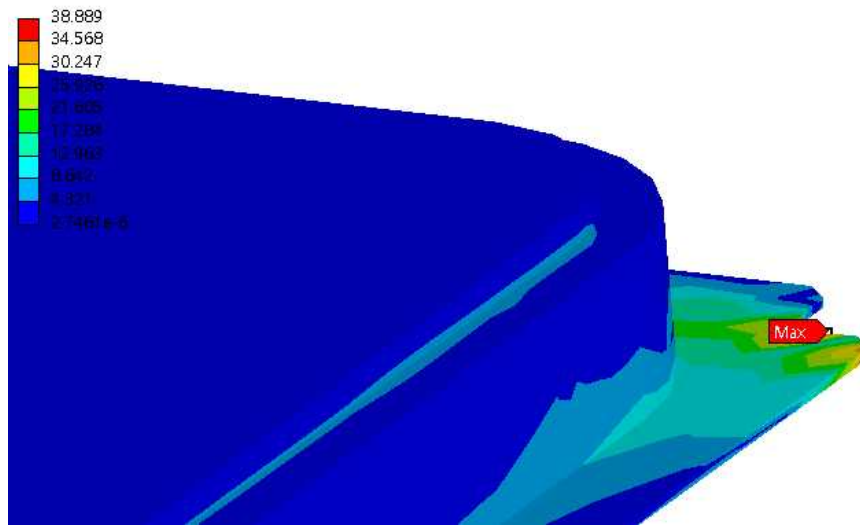
■ 응력분포

- 최대응력은 방수패널이 고정되는 끝단부 부위에서 38.889 MPa이 발생하고 있으며, 일반강의 항복강도인 250 MPa보다 낮기 때문에 구조적으로 안전한 것으로 판단됨.

D: Static Structural_front
Equivalent Stress
Type: Equivalent (von-Mises) Stress
Unit: MPa
Time: 1
Max: 38.889
Min: 2.7461e-6



D: Static_Structural_front
 Equivalent Stress
 Type: Equivalent (von-Mises) Stress
 Unit: MPa
 Time: 1
 Max: 38.889
 Min: 2.7461e-6

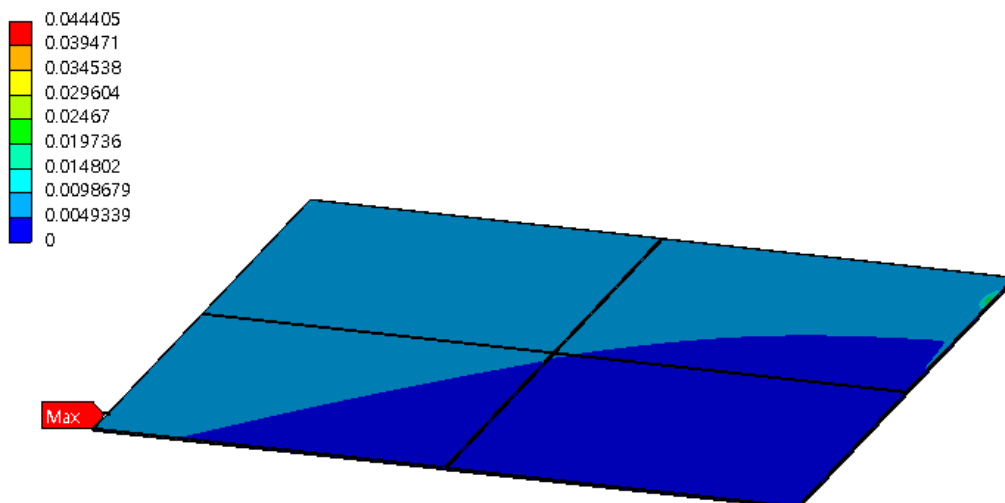


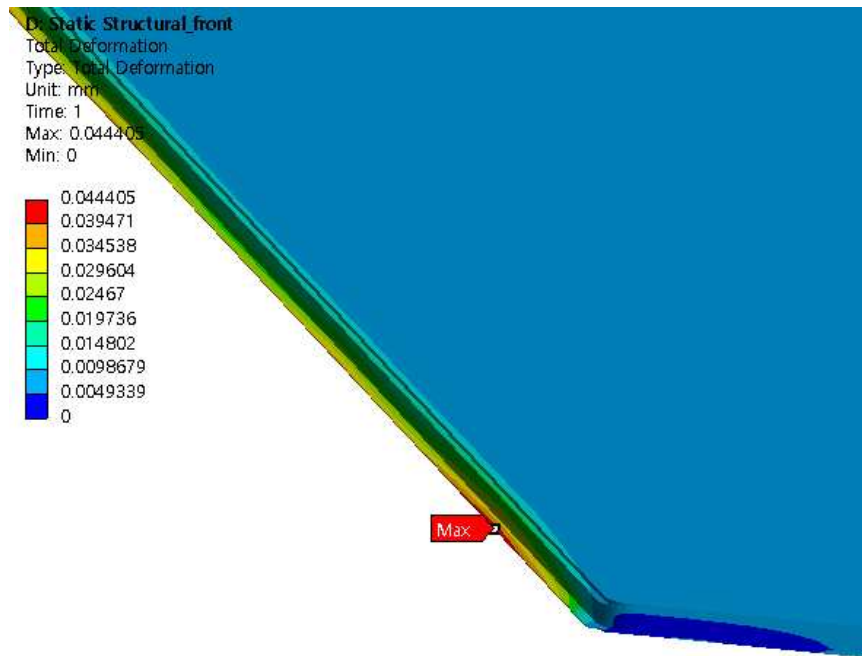
<Von-Mises 응력 분석>

■ 변형량 분포

- 정면 방향 풍압에 의한 변형량은 정면방향 풍압이 작용하는 패널 앞단 부위에서 0.04405mm로 나타남.

D: Static_Structural_front
 Total Deformation
 Type: Total Deformation
 Unit: mm
 Time: 1
 Max: 0.044405
 Min: 0



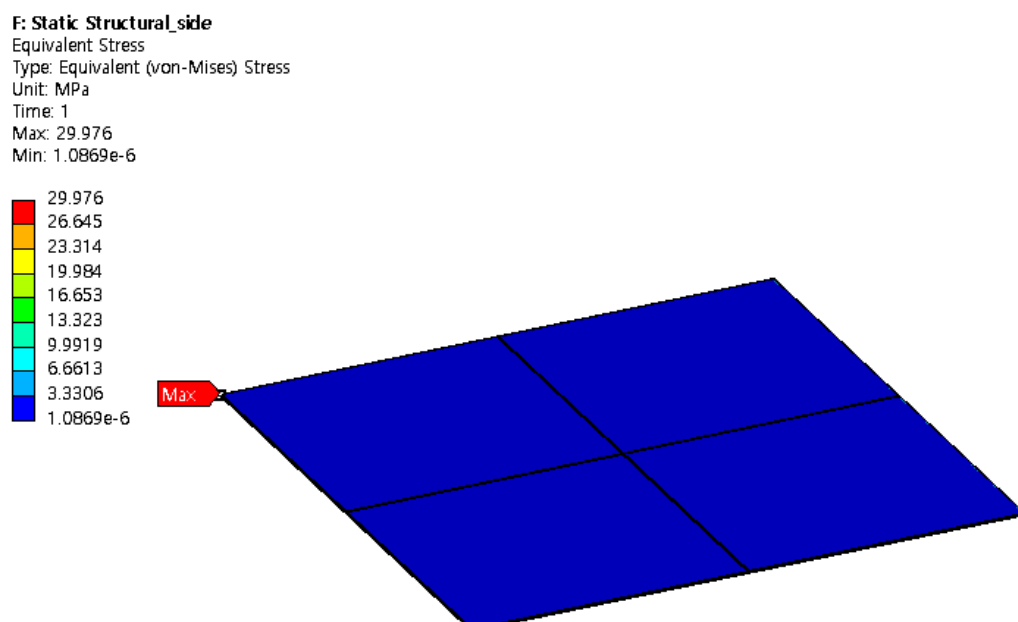


<변형량 분포>

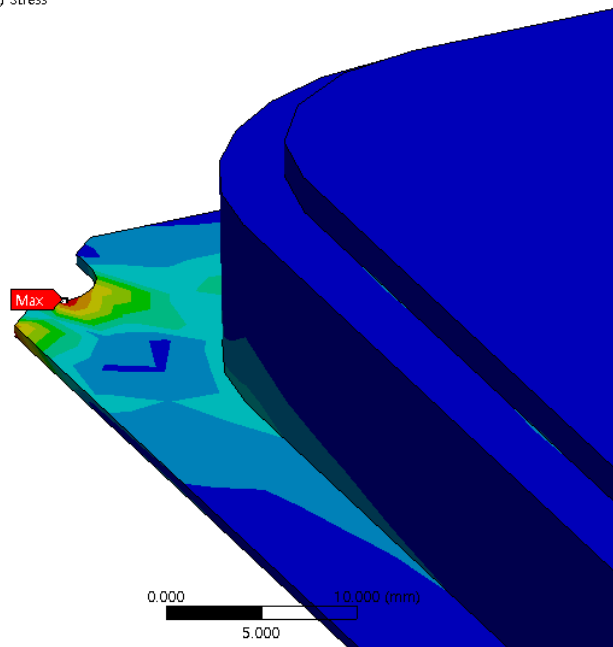
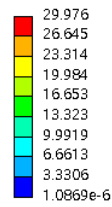
2) 측면 방향 풍압에 의한 구조해석 결과

■ 응력분포

- 최대응력은 방수패널이 고정되는 끝단부 부위에서 29.976 MPa이 발생하고 있으며, 일반강의 항복강도인 250 MPa보다 낮기 때문에 구조적으로 안전한 것으로 판단됨.



F: Static_Structural_side
 Equivalent Stress
 Type: Equivalent (von-Mises) Stress
 Unit: MPa
 Time: 1
 Max: 29.976
 Min: 1.0869e-6

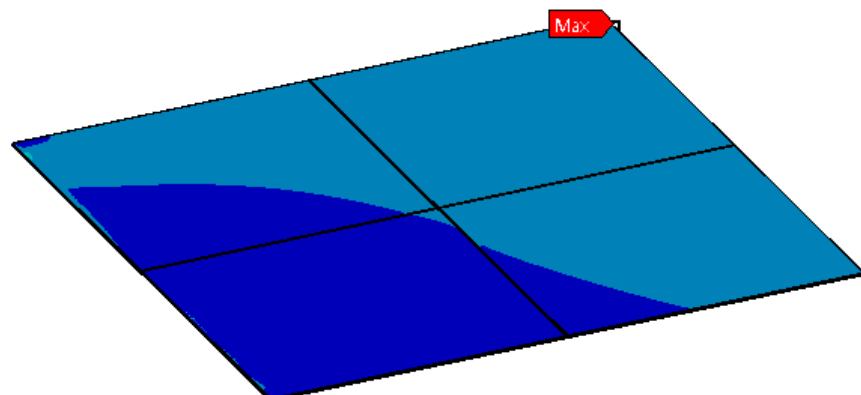
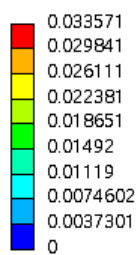


<Von-Mises 응력 분석>

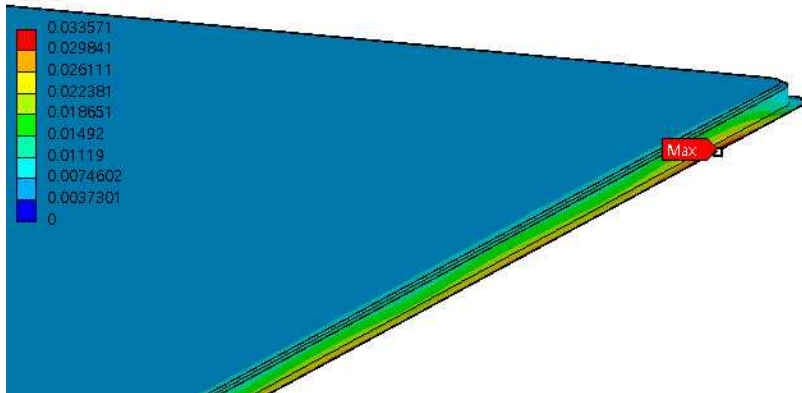
■ 변형량 분포

- 측면 방향 풍압에 의한 변형량은 측면방향 풍압이 작용하는 패널 앞단 부위에서 0.033571mm로 나타남.

F: Static_Structural_side
 Total Deformation
 Type: Total Deformation
 Unit: mm
 Time: 1
 Max: 0.033571
 Min: 0



F: Static Structural_side
Total Deformation
Type: Total Deformation
Unit: mm
Time: 1
Max: 0.033571
Min: 0



<변형량 분포>

제 5 장 결론

5-1. 해석 결과 요약

- 본 해석에서는 신청기업(오웰스틸)의 루프가드 방수 패널 설치 모델을 대상으로 유동-구조 복합물리 해석을 통하여 풍압 60m/s에 대한 구조적 안전성을 검토하였음.
- 신청기업(오웰스틸)의 루프가드 방수 패널 설치 모델의 유동해석 결과,
 - 루프가드 패널 모델의 정면 방향에 작용하는 최대 압력은 0.001628 MPa, 루프가드 패널 모델의 측면 방향에 작용하는 최대 압력은 0.001565 MPa로 나타남.
 - 루프가드 패널 모델의 정면 방향 단면에서의 최대 속도는 178.8m/s, 루프가드 패널 모델의 측면방향 단면에서의 최대 속도는 152.0m/s으로 나타남.
 - 루프가드 패널 모델의 정면 및 측면방향에 작용하는 와류는 없는 것으로 나타남.
- 신청기업(오웰스틸)의 루프가드 방수 패널 설치 모델의 구조해석 결과
 - 패널 설치 모델에 대한 유동해석 결과를 이용하여 풍압력과 자중을 고려하였을 때 정면 방향 설치모델에 발생하는 최대 응력은 방수패널이 고정되는 끝단부 부위에서 38.889 MPa, 측면 방향 설치모델에 발생하는 최대 응력은 방수패널이 고정되는 끝단부 부위에서 29.976 MPa이 발생하고 있으며, 일반강의 항복강도인 250 MPa보다 낮기 때문에 구조적으로 안전한 것으로 판단됨.
 - 정면 방향 풍압에 의한 변형량은 정면방향 풍압이 작용하는 패널 앞단 부위에서 0.04405mm, 측면 방향 풍압에 의한 변형량은 측면방향 풍압이 작용하는 패널 앞단 부위에서 0.033571mm로 나타남.

5-2. 제언

- 신청기업(오웰스틸) 제품의 경우 60m/s의 풍압력에서 작용하는 최대 응력이 항복강도보다 낮기 때문에 구조적인 측면에서 안전할 뿐만 아니라 변형량도 미미하여 우수한 제품으로 판단됨.

<끝>