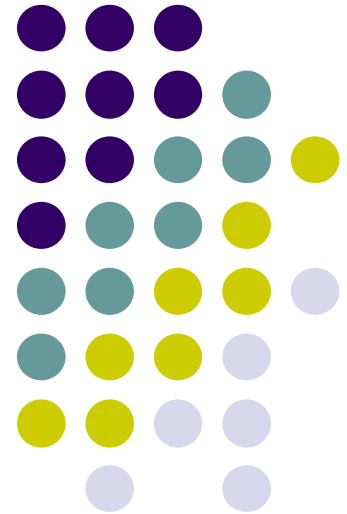
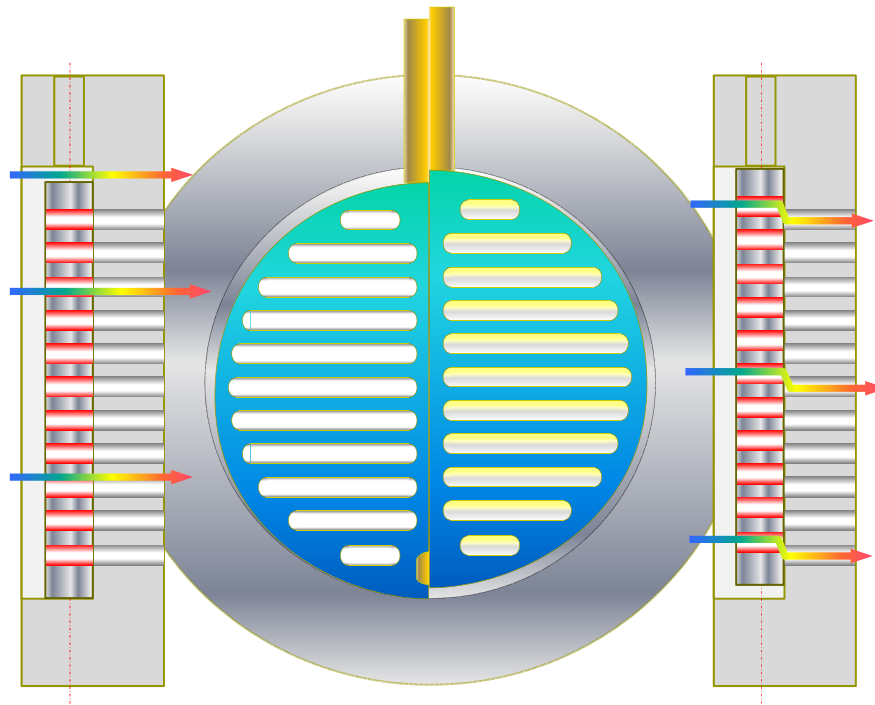




CFD Simulation of Variable Orifice KSO-SVS Model, 34" (DN850)-2500Lbs for Reactor Coolant Pump Test

2013.12.30





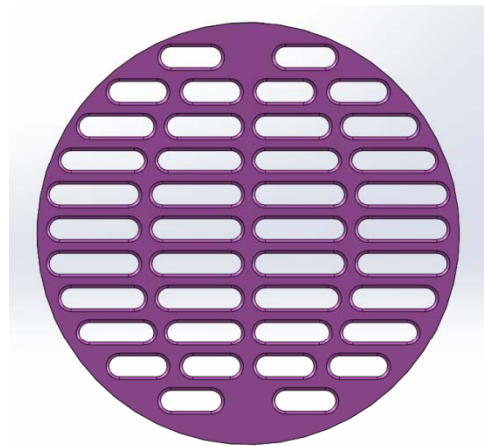
Simulation CAD Model & Objective

- 기존 키밸브기술에서 제작된 Variable orifice valve는 실제 실험 결과 최소유량($6.7\text{m}^3/\text{s}$)은 문제가 되지 않았고, 최대 유량 실험 결과는 $9.4\text{m}^3/\text{s}$ 로 목표 유량인 $10.2\text{m}^3/\text{s}$ 에 약 8%정도 부족한 유량을 얻었다.

- 최소/최대 유량을 제어할 수 있도록 하고, 구조적인 문제가 발생하지 않도록 하는 장치로 개선하기 위해 적합한 구조를 찾고자 한다.

Model	Slot height (mm)	Stroke (mm)		Flow area (mm ²)			
		at min. flow rate	at max. flow rate	at min. flow rate	Each revision per act. test model	at max. flow rate	Each revision per act. test model
Actual test model	36	15.49	0	98,481	-	180,107	-
Revision_1	37.5	22	0	83,883	85%	209,698	116%
**Revision_2	37.5	22	0	84,410	86%	210,973	117%
Revision_3	38	22	0	86,479	88%	212,823	118%

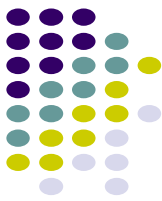
**Revision_2는 Slot의 가로 길이를 조정하여 Revision_1보다 약 1%정도 개선된 유로 면적을 가진 모델이다.



Actual test model



Revision model



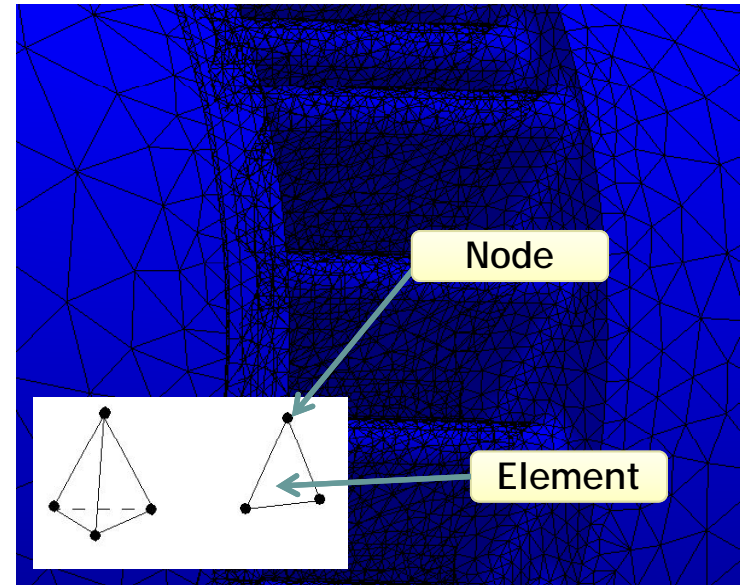
Simulation Method & Boundary Condition

- 해석은 실제 연구소에서 실험하여 얻은 결과를 바탕으로 최소 유량을 얻은 Stroke에서의 차압과 최대 유량을 얻었을 때의 차압을 개선된 모델의 차압과 손실을 비교하여 목표한 유량을 얻을 수 있는지 예상하였다.

Solver Process

1. Read in geometry, boundary conditions, and analysis data
2. Create data structures
3. Solve x-momentum equation
4. Solve Y-momentum equation
5. Solve Z-momentum equation
6. Solve pressure equation and correct velocities
7. Solve energy equation
8. Solve turbulent kinetic energy equation
9. Solve turbulent energy dissipation equation
10. Check convergence (go to step 3)
11. Perform output calculations
12. Write out data
13. Exit

Mesh Shape

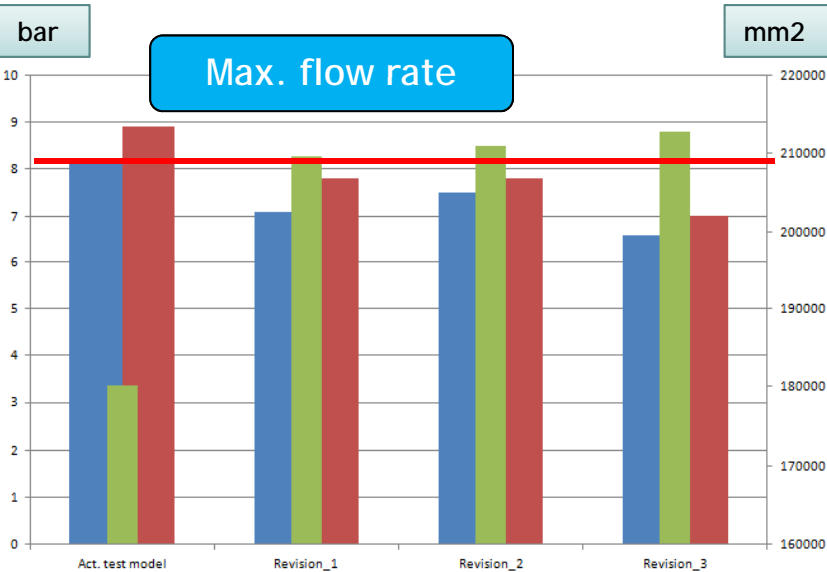
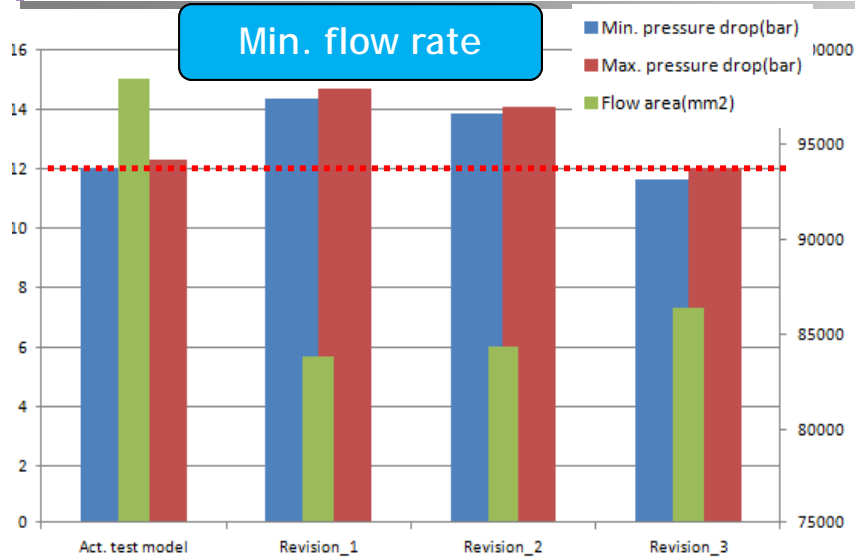


Boundary Condition

	Inlet		Outlet
	Flow rate(m ³ /s)	Temperature(°C)	Pressure(barg)
Min. flow rate	6.86(fully developed)	290.3	140
Max. flow rate	9.4(fully developed)	290.3	140



Results



아래 표의 유량은 실제 실험하여 얻어진 유량을 기준으로 계산 된 값이다.

Min. flow rate model	Slot height (mm)	Stroke (mm)	Simulated pressure drop range (bar)	Loss coefficient (dimensionless)	Estimated average /flow rate (m3/s)
Actual test Model	36	15.49	12~12.3	14.7~15	6.86
Revision_1	37.5	22	14.4~14.7	17.6~18	6.27
Revision_2	37.5	22	13.9~14.1	17~17.2	6.39
Revision_3	38	22	11.6~12.1	14.2~14.7	6.96

Max. flow rate model	Slot height (mm)	Stroke (mm)	Simulated pressure drop range (bar)	Loss coefficient (dimensionless)	Estimated average flow rate (m3/s)
Actual test Model	36	0	8.2~8.9	5.3~5.8	9.4
Revision_1	37.5	0	7.1~7.8	4.6~5.1	10.07
Revision_2	37.5	0	7.5~7.8	4.9~5.1	9.94
Revision_3	38	0	6.6~7	4.3~4.6	10.54

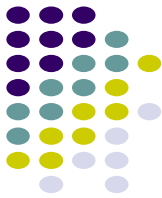
----- OK for minimum flow ———— OK for Maximum flow

- 해석 결과 Max. flow rate 제어 시 최대 유동 면적을 갖는 Revision_3모델은 Min. flow rate 제어 시 기존 모델보다 적은 손실이 예상 되고 더 많은 유량을 흘려 보낼 것으로 판단되므로 개선 안으로 부적합하다.

- Revision_2 모델은 최대 유량의 여유를 주기 위해 Revision_1모델 보다 약 1%정도 증가 된 유동 면적으로 설계하였다. 해석 결과 Min. flow rate 제어 시는 면적 증가 만큼 손실이 줄었지만, Max. flow rate 제어 시는 더 큰 손실을 가지는 것으로 판단 된다.

-Max. flow rate 제어는 입구 유동 면적이 1% 증가한 만큼 두 플레이트(200t)의 두께에 비례하여 내부 유동 마찰 면적도 증가 하였다. 따라서 증가 된 입구 유동 면적 만큼 늘어 난 마찰 손실을 상쇄 할 만큼 입구 유동 면적이 충분하지 못하면 플레이트를 통과할 때 발생하는 마찰 손실이 압력 손실에 더 큰 영향을 주는 것으로 판단 된다. Min. flow rate 제어 시는 Moving plate가 이동하여 Fixed plate와 겹쳐지는 유동 면적이 압력 손실에 큰 영향을 주는것으로 판단 된다.

- 위 해석 결과로 볼 때 최소 유량을 반드시 만족하고, 최대 유량을 최대한 늘릴 수 있는 구조는 Revision_1 모델로 판단된다.



- 해석 결과 Revision_1 모델이 최소/최대 유량을 만족한다고 판단되어 해석 결과를 검증하고자 유량 조건을 달리하여 실제 실험 최대 유량인 10.2m³/s 값으로 해석을 진행하고 정리한 결과는 다음과 같다.

Model	Boundary condition			Slot height/ Stroke (mm)	Flow area (mm ²)	Flow area ratio (Revision per Act. test model)	Simulated pressure drop range (bar)	Loss coefficient (dimensionless)	Estimated average flow rate (m ³ /s)
	Inlet		Outlet						
	Flow rate (m ³ /s)	Temperature (°C)	Pressure (barg)						
Actual test Model	9.4 (fully developed)	290.3	140	36/0	180,107	-	8.2~8.9	5.3~5.8	**9.4
	10.2 (fully developed)	290.3	140				9.5~10.5	5.3~5.8	**9.4
Revision_1	9.4 (fully developed)	290.3	140	37.5/0	209,698	116%	7.1~7.8	4.6~5.1	***10.07
	10.2 (fully developed)	290.3	140				8.2~8.8	4.5~4.9	***10.2

** 9.4 m³/s는 연구원에서 실제 실험하여 측정한 유량이다.

*** 계산 된 유량은 해석 차압 범위에 대하여 평균 값으로 산출 된 값이다.

- 입구 측 유량 조건을 달리하여 해석 한 결과로부터 실제 실험 된 모델의 손실 계수 값은 5.3~5.8 사이의 값을 가질 것으로 예상 된다.

- 개선 된 Revision_1 모델의 최대 유량 제어 범위는 10.07~10.2 m³/s 정도로 판단 되어진다.

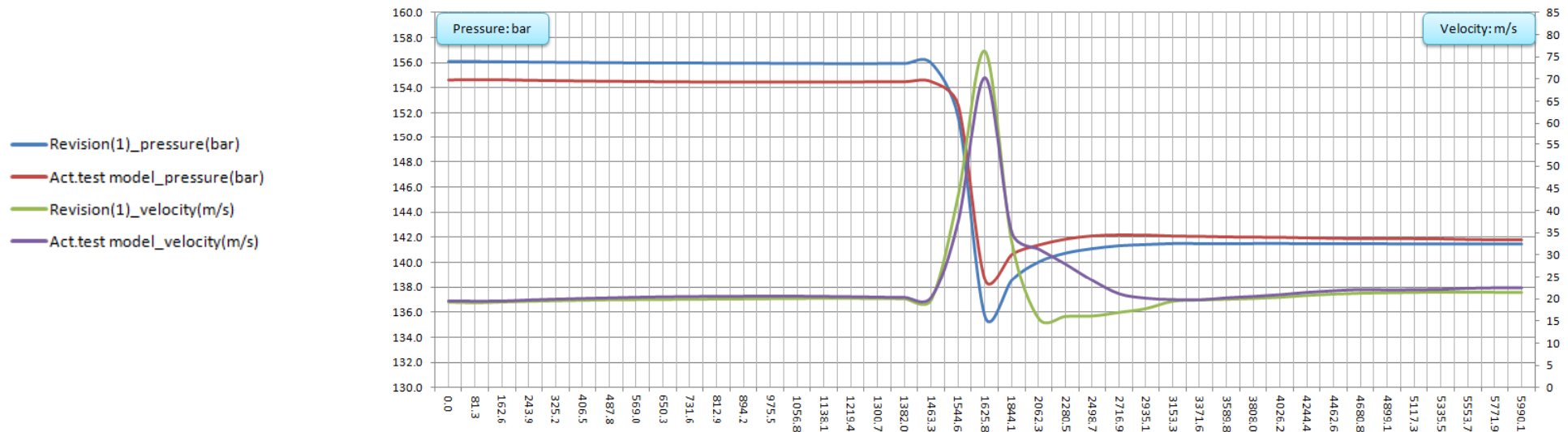
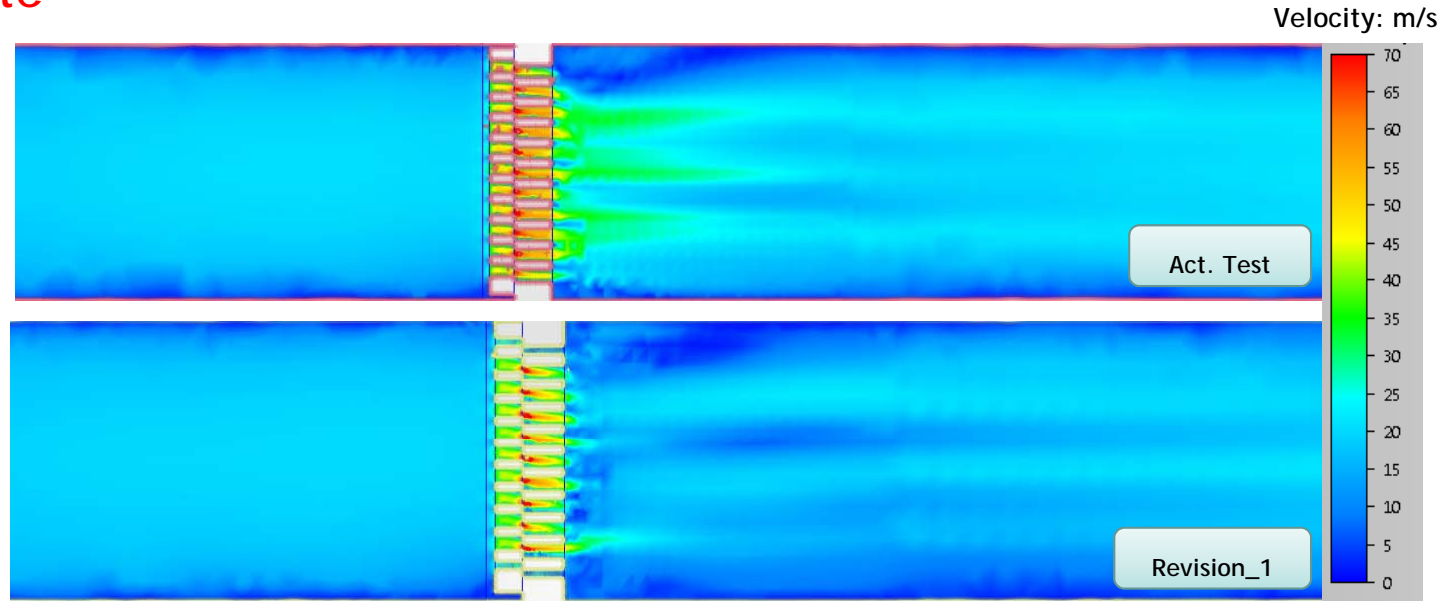
-해석 결과를 보면 유동 면적 증가에 따라 유량이 비례적으로 증가하지 않는다. 이유는 증가 된 입구 유동 면적 만큼 내부의 유동 마찰 면적도 증가하였고, 좁은 Orifice plate의 두께(200t)를 감안해 볼 때 증가 된 입구 유동 면적의 효과가 Orifice를 통과 할 때 마찰 손실로 인하여 상쇄 되는 것으로 판단 되어진다.



Results on Cut Plane(1)

- Velocity field at min. flow rate

Model	Boundary condition			Slot height/ Stroke (mm)
	Inlet		Outlet	
	Flow rate (m³/s)	Temperature (°C)	Pressure (barg)	
Actual test Model	6.86 (fully developed)	290.3	140	36/15.49
Revision_1	6.86 (fully developed)	290.3	140	37.5/22

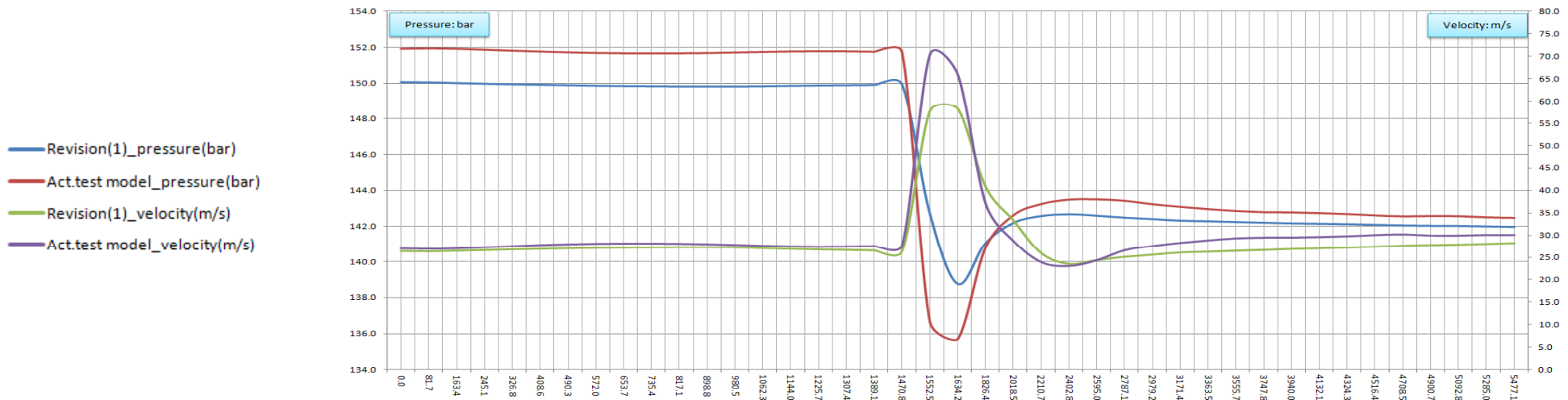
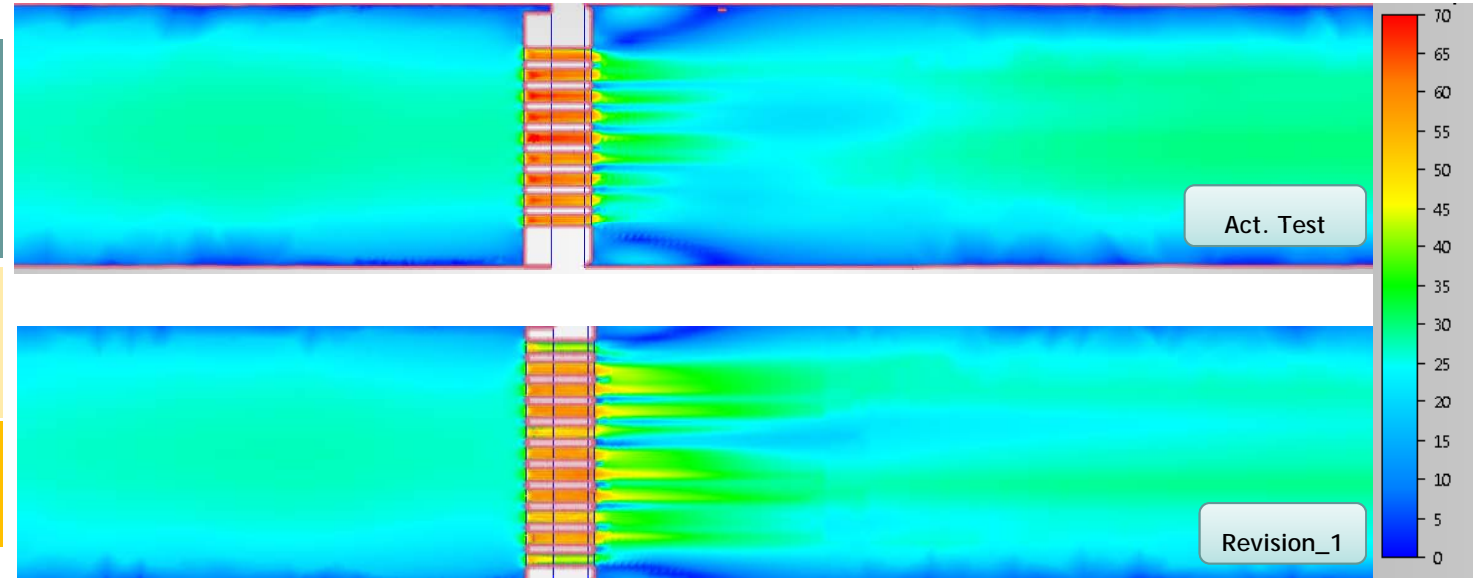




Results on Cut Plane(2)

- Velocity field at max. flow rate

Model	Boundary condition			Slot height/ Stroke (mm)
	Inlet		Outlet	
	Flow rate (m³/s)	Temperature (°C)	Pressure (barg)	
Actual test Model	9.4 (fully developed)	290.3	140	36/0
Revision_1	9.4 (fully developed)	290.3	140	37.5/0

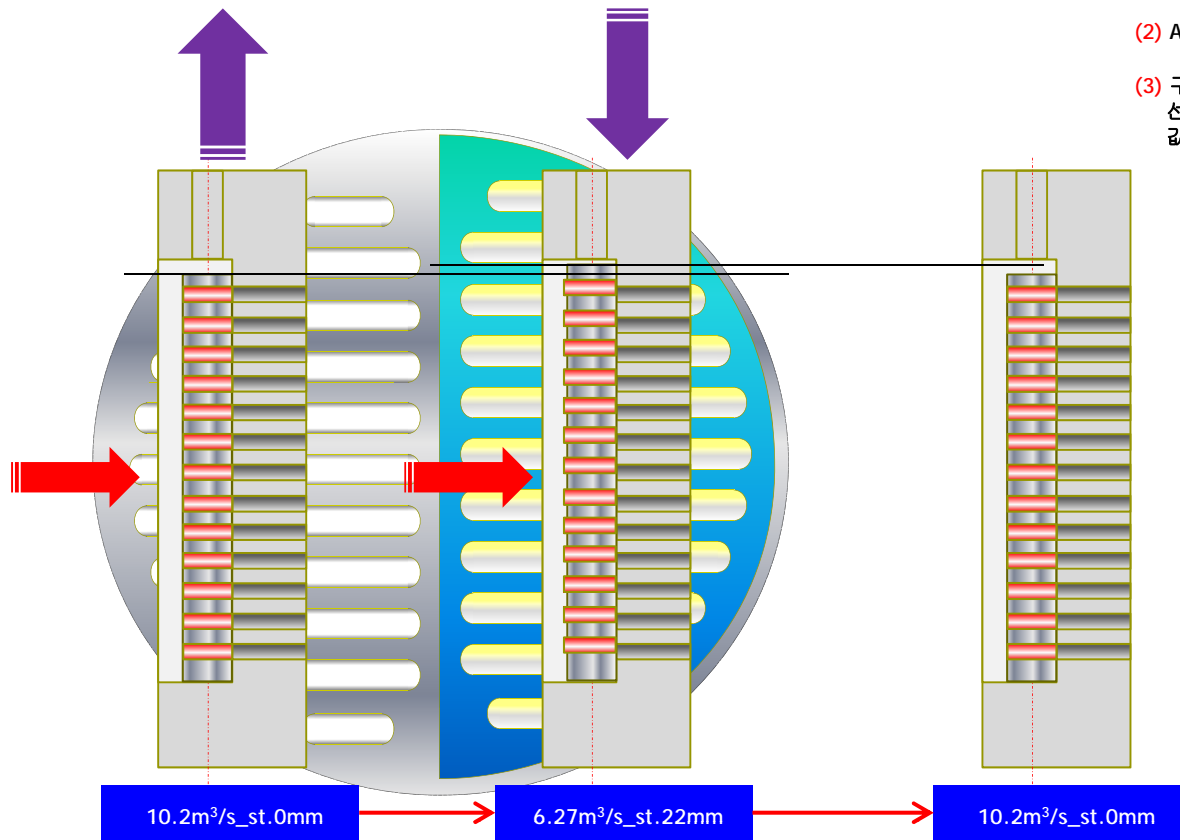




Structure Analysis Data

- 구조해석에 필요한 사항을 아래 표와 같이 정리하였다.

Model	Flow rate (m ³ /s)	Slot height/ Stroke (mm)	Temperature (°C)/ Density (kg/m ³)	Inlet pressure (bar)	Simulated pressure drop range (bar)	Loss coefficient (dimensionless)	Average velocity in pipe (m/s)	Max. velocity in orifice (m/s)	⁽¹⁾ Required Friction force (kgf)	⁽²⁾ Selected Actuator force (kgf)	⁽³⁾ Required Analysis force (kgf)
Revision_1	6.27	37.5/22	290.3/722	150	12.1~12.3	17.7~17.9	17.7	67.6	26,670	34,700	41,000
	10.2	37.5/0			8.2~8.8	4.5~4.9	28.7	63.5	16,649		

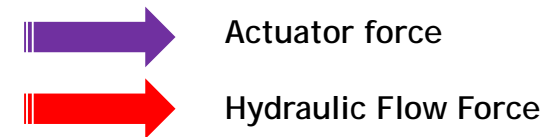


- (1) 마찰 계수(μ)는 0.3으로 적용하였으며, Stem의 Packing friction도 포함된 값이다.
- (2) Actuator는 Required Force의 1.3배의 안전율을 적용하여 선정되었다.
- (3) 구조해석 시 적용하여야 할 값이다.
선정된 구동기의 약 1.2배에 해당하는 값으로 적용된 감속기의 최대 Trust Force 값에 해당하는 값이다.

-구조 해석 시 유체의 유동장이 형성되어 있는 상태에서 플레이트를 상하(수직)로 움직이는데 작용하는 힘의 최대 크기는 ⁽³⁾Required Analysis force를 적용하여 해석하여야 한다.

-만일 이 값이 너무 커서 문제가 될 경우, 적어도 ⁽²⁾Selected Actuator force를 적용하였을 경우 문제가 발생하는 지 추가 해석하여야 한다.

위 두 조건을 모두 만족하지 못할 경우 플레이트 구조를 다시 검증하여야 한다.





- 해석 결과 기존 모델의 개선안으로 적합한 모델은 Revision_1이다.
- Revision_1은 기존 모델 최대 유량 제어시 면적보다 약 16%로 증가 된 면적으로 설계 되었고, 유량은 실제 실험 결과 ($9.4 \text{ m}^3/\text{s}$) 기준으로 $10.07 \sim 10.2 \text{ m}^3/\text{s}$ 사이의 유량을 소화할 수 있다고 판단 된다.
- Revision_1은 기존 모델 최소 유량 제어시 면적보다 약 15%로 감소 된 면적으로 설계 되었고, 유량은 실제 실험 결과 ($6.86 \text{ m}^3/\text{s}$) 기준으로 $6.27 \sim 6.3 \text{ m}^3/\text{s}$ 사이의 유량을 Stroke 22mm에서 소화할 수 있다고 판단 된다.
- Revision_1은 최소 유량의 제어는 21mm 전후에서 이뤄 질것으로 판단된다. 그러나 최대 유량을 무리 없이 제어할 수 있다고 판단하기 어렵다.

다만 최소 유량제어를 절대적으로 반영하여야 하고, 최대 유량제어를 최대한 할 수 있는 구조여야하며, 기존 제품에서 개선이라는 점, 그리고 구조적인 안정성을 반영하여야 한다는 점등을 복합적으로 고려 하였을 때 가장 만족할만한 결과를 기대할 수 있다고 판단된다.

- 따라서 유동에서 수력에 의해 플레이트에 수직으로 작용하는 하중을 상하 조작되어야 함으로, 개선된 밸브가 구조적으로 문제되지 않은지 해석 검증 후 적용 여부를 판단하여야 한다.