

육공복합무인기 형상 모델링 및 유동해석 자동화 프로세스 개발

The parametric modeling and flow analysis automation for COMVE

이보성 (Rescale)

김민우 (항공우주연구원) / 여홍구 (넥스트폼) / 황인성 (항공우주연구
원)

Contents

- 연구 배경 및 내용
- 매개변수 기반 3차원 형상 모델링
- 파트별 3차원 형상 STL을 이용한 유동해석 격자 생성
- 다양한 유동 조건에 대한 공력 해석
- 고성능 컴퓨팅 기반 공력해석 서비스 플랫폼 구현
- 고성능 클라우드 컴퓨팅을 활용한 DoE 해석
- 클라우드 컴퓨팅 환경에서 대용량 해석 결과 가시화
- 결론 및 향후 연구 방향

연구 배경 및 내용

- 자율지능 무인이동체의 개발을 위한 형상 및 해석 연계 자동화 프레임워크 개발 필요
 - 매개변수를 통한 무인이동체 형상정의부터 유동해석까지의 전과정 자동화
 - 자율지능 무인이동체 관련 다양한 분야의 연구자들이 형상정의부터 유동해석을 수행할 수 있는 환경 필요
- 매개변수 기반 형상 모델링 및 유동해석 자동화
 - 파라미터 기반 무인이동체 형상 설계 자동화 모듈
 - 3차원 형상에 대한 유동해석 격자 생성 모듈
 - 경계 조건 및 유동 조건 설정 자동화 모듈
 - 로터/프로펠러 해석을 위한 **Actuating disk** 모듈
 - 유동해석 결과 추출 등 후처리 모듈
- 고성능 컴퓨팅 기반 공력해석 서비스 플랫폼 구현
 - 고성능 클라우드 컴퓨팅 환경에서 다양한 형상 및 유동 조건에 대한 신속한 해석 수행

매개변수 기반 3차원 형상 모델링

- 개념 설계 단계의 잦은 형상 변경에 필요한 수작업 CAD 작업의 자동화
- 육공복합 무인기의 주요 모듈에 대한 매개변수 입력을 통한 3차원 형상 모델링 자동화 및 주요 파트별 STL

ComVe Input Parameters

Position	X	Y/Z	Z	U4	Attack Angle	0	Span	Sweepback	Dihedral	Buffer zone	Neutral chord
Root	airfoil	79	149	0	0						29%
Mid	airfoil2	486	75	0	453	29	0	5			29%
Tip	airfoil3	311	30	0	1300	0.3	0				29%

NUM	Location (%)	Angle	Location (%)	Angle
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				

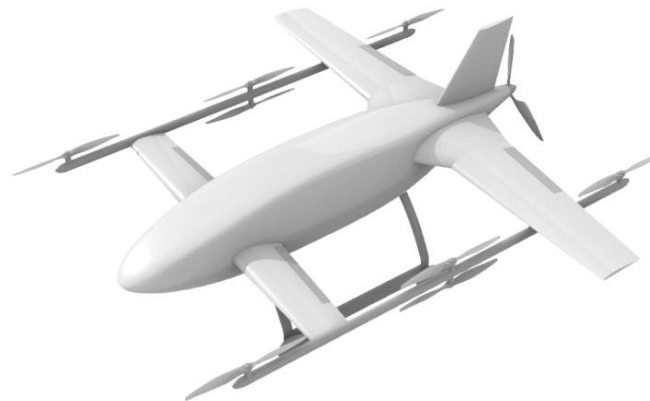
Position	X	Y/Z	Z	U4	Attack Angle	0	Span	Sweepback	Dihedral	Buffer zone	Neutral chord
Root	airfoil	308	79	0	0						29%
Tip	airfoil3	256	35	0	1120	0.35	0				29%

NUM	Location (%)	Angle
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		

Position	X	Y/Z	Z	U4	Attack Angle	0	Span	Sweepback	Dihedral	Buffer zone	Neutral chord
Root	airfoil	300	74	0							20
Tip	NACA0012	304	38	373	35						1.5

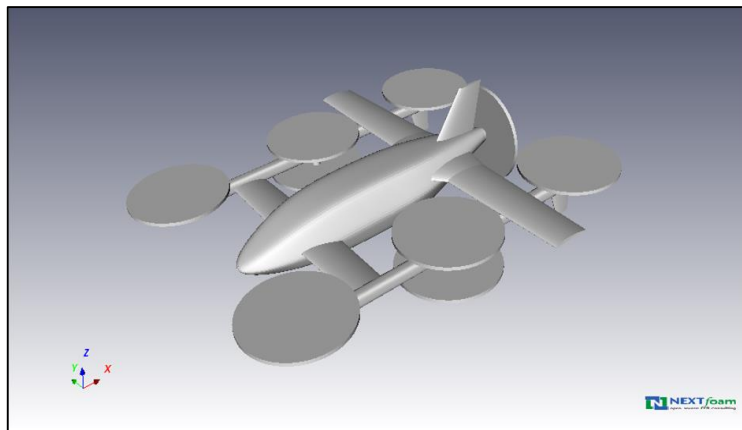
Scale X	Scale Y	Scale Z	Move X	Move Z	Edge Weight
Section 1	1	1	1	0	0
Section 2	1	1	1	0	0
Section 3	1	1	1	0	0
Section 4	1	1	1	0	0
Section 5	1	1	1	0	0
Section 6	1	1	1	0	0
Section 7	1.1	1.1	1	0	0

- Main Wing / Front Wing / Vertical Wing
- Fuselage / Cruiser Propeller
- Boom / Lift Rotor
- Skid / Landing Gear

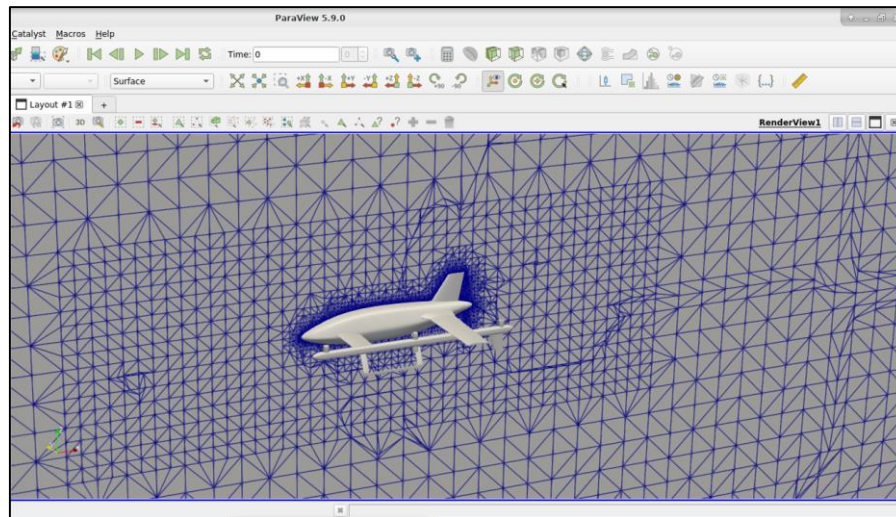


파트별 3차원 형상 STL을 이용한 유동해석 격자 생성

- 매개변수 기반으로 생성된 3차원 형상에 대해 유동 조건에 따른 격자 생성



```
python uvarcaero.py -mesh inputfile.csv stlfile.zip
```



다양한 유동 조건에 대한 공력 해석

- 3차원 형상 격자에 대해 유동 조건 파라미터 별 유동 해석

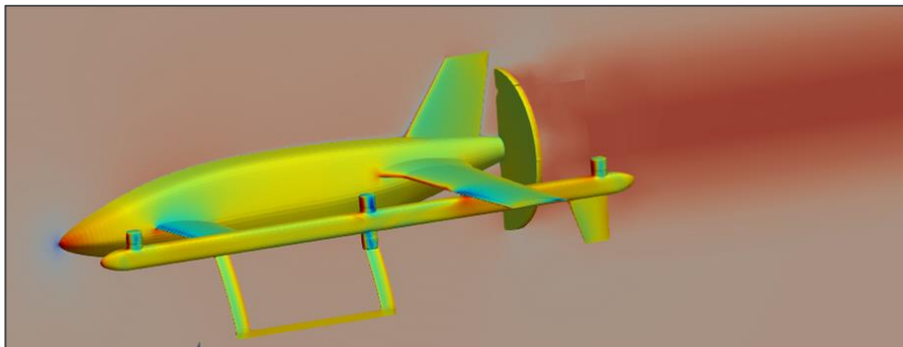
	A	B	C	D	E
1	fluid properties				
2	density	1.225 kg/s			
3	kinematic viscosity	1.79E-05 m ² /s			
4					
5	flow conditions				
6	flow speed	70 m/s			
7	alpha	4 deg			
8	beta	0 deg			
9	A_ref	1 m ²			
10	L_ref	1 m			
11	center	(0 0 0)			
12					
13	simulation conditions				
14	maximum iteration	1000 step			
15	data write interval	1000 step			
16	nCores	-1			
17					
18	actuator disk	power coefficient (CP)	thrust coefficient (CT)	direction	area
19	CruisePropeller	0.386	0.58	(1 0 0)	0.810732

python uvarcaero.py -solve inputfile.csv mesh.zip

```

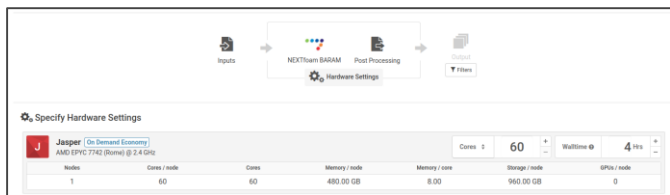
97: DILUPBIGStab: Solving for U2, Initial residual = 5.025716759934573e-06, Final residual = 2.597738715955863e-07, No Iterations 1
98: GAMPCG: Solving for p, Initial residual = 0.0001446977972961651, Final residual = 3.270865312363781e-06, No Iterations 1
99: GAMPCG: Solving for p, Initial residual = 7.354307901952332e-06, Final residual = 3.062853507107307e-07, No Iterations 1
100: GAMPCG: Solving for p, Initial residual = 1.338077601563347e-06, Final residual = 7.377784098175289e-08, No Iterations 1
101: time step continuity errors : sum local = 2.821863853158189e-08, global = -5.900338216621572e-10, cumulative = 8.781816719102576e-07
102: DILUPBIGStab: Solving for omega, Initial residual = 6.893401189778606e-08, Final residual = 2.024319580175719e-09, No Iterations 1
103: DILUPBIGStab: Solving for k, Initial residual = 7.775624339653664e-07, Final residual = 3.28906832541909e-08, No Iterations 1
104: ExecutionTime = 412.96 s ClockTime = 413 s
105:
106: forceCoeffs forceCoeffs write:
107:   Cm = 6.928116814213276
108:   Cd = 0.1948685354657756
109:   Cl = 1.743324692867989
110:   Cl(f) = 7.799779168647271
111:   Cl(r) = -6.856454467779281
112:
113: Time = 112
114:

```



고성능 컴퓨팅 기반 공력해석 서비스 플랫폼 구현

- 대용량 공력 해석의 신속한 수행을 위한 고성능 클라우드 컴퓨팅 활용
 - 격자 생성, 공력 해석, 해석 결과 추출 및 가시화를 클라우드 컴퓨팅 환경에서 수행

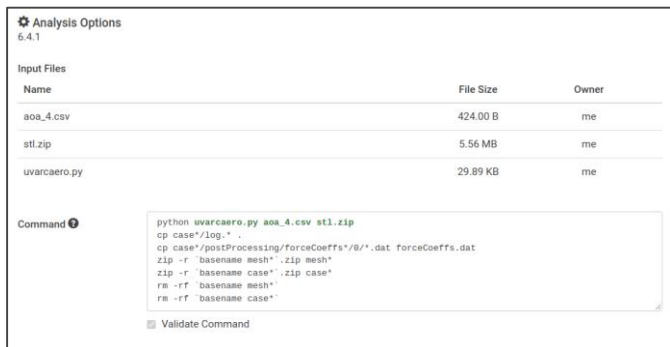


Specify Hardware Settings

Jasper (On Demand Economy)
AMD EPYC 7742 (Rome) @ 2.4 GHz

Cores: 60 | Walltime: 4 hrs

Nodes	Cores / node	Cores	Memory / node	Memory / core	Storage / node	GPUs / node
1	60	60	480.00 GB	8.00	960.00 GB	0



Analysis Options
6.4.1

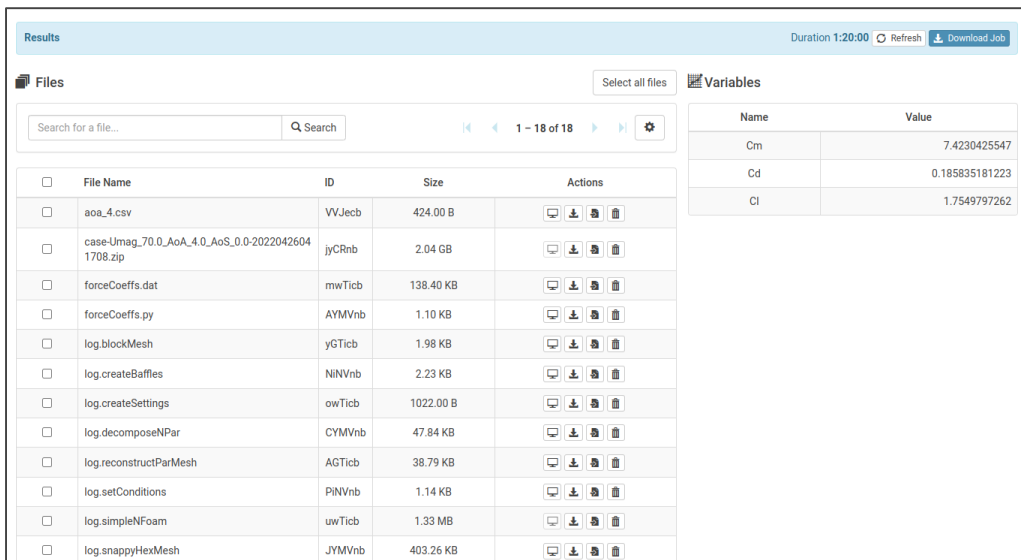
Input Files

Name	File Size	Owner
aoa_4.csv	424.00 B	me
stl.zip	5.56 MB	me
uvarcaero.py	29.89 KB	me

Command

```
python uvarcaero.py aoa_4.csv stl.zip
cp case*/log.*
cp case*/postProcessing/forceCoeffs*/B/*.dat forceCoeffs.dat
zip -r "basename mesh".zip mesh*
zip -r "basename case".zip case*
rm -rf "basename mesh*"
rm -rf "basename case"
```

Validate Command



Results





































Duration: 1:20:00 | Refresh | Download Job

Files

Select all files | Variables

Search for a file... | Search

1 - 18 of 18

File Name	ID	Size	Actions
aoa_4.csv	VVJecb	424.00 B	  
case-Umag_70.0_AoA_4.0_AoS_0.0-20220426041708.zip	lyCRnb	2.04 GB	  
forceCoeffs.dat	mwTicb	138.40 KB	  
forceCoeffs.py	AYMVnb	1.10 KB	  
log.blockMesh	yGTicb	1.98 KB	  
log.createBaffles	NINVnb	2.23 KB	  
log.createSettings	owTicb	1022.00 B	  
log.decomposeNPar	CYMVnb	47.84 KB	  
log.reconstructParMesh	AGTicb	38.79 KB	  
log.setConditions	PINVnb	1.14 KB	  
log.simpleNFoam	uwTicb	1.33 MB	  
log.snappyHexMesh	JYMNb	403.26 KB	  

Name	Value
Cm	7.4230425547
Cd	0.185835181223
Cl	1.7549797262

고성능 클라우드 컴퓨팅을 활용한 DoE 해석

- 다양한 유동 조건에 대해 DoE(Design of Experiments) 해석 수행을 통한 공력 해석 시간 단축

Specify Parallel Settings

Use a run definition file (CSV)

Specify your variables here

Select a Variable Type

- Cross Product
A separate run is created for every combination of the variable values entered.
- Monte Carlo
The specified number of runs is created with variable values sampled from a probability distribution.

Add a Variable

Name	Min Value	Max Value	Increment
alpha	-5	16	2

Saved Variables

Name	Type	Setting	Value
alpha	Fixed Range	Min Value	-5
		Max Value	16
		Increment	2

Specify Hardware Settings

⚠ Large job for this compute type - If cloud provider capacity is limited, jobs may not start immediately.

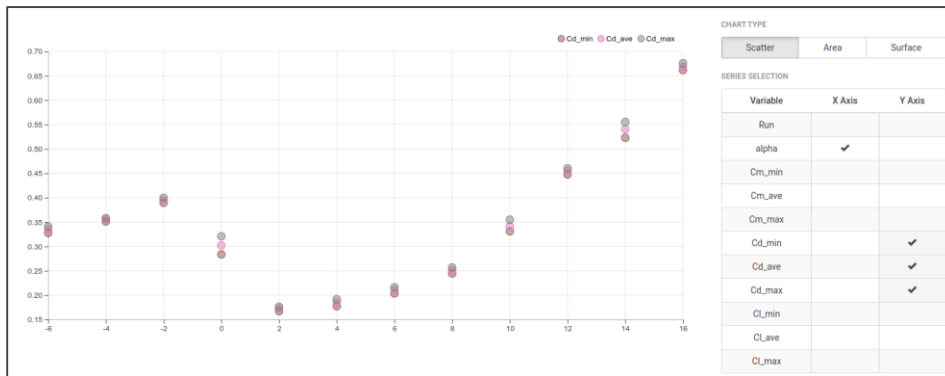
Jasper [On Demand Economy]
AMD EPYC 7742 (Rome) @ 2.4 GHz

Slots: 6 | Cores: 60 | Waittime: 4 Hrs

Nodes	Cores / node	Cores	Memory / node	Memory / core	Storage / node	GPUs / node
1	60	60	480.00 GB	8.00	960.00 GB	0

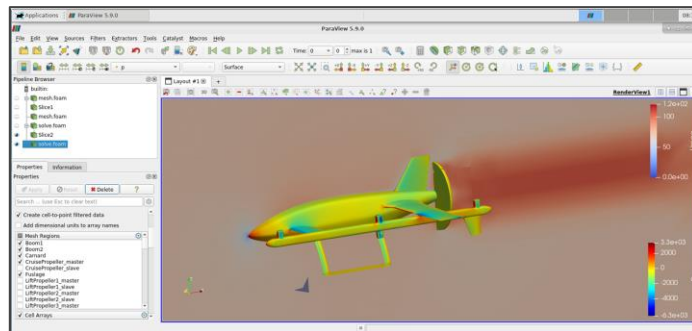
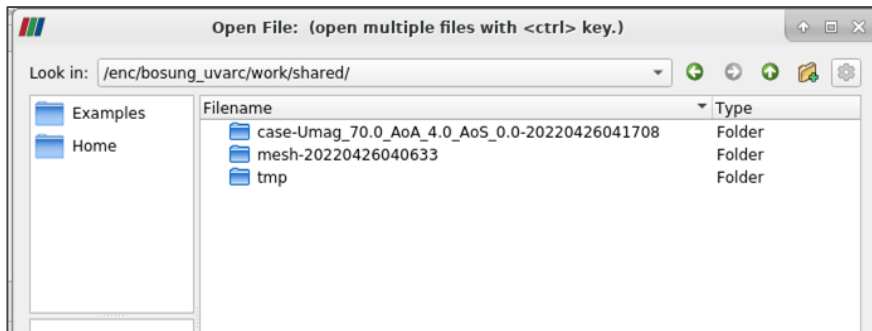
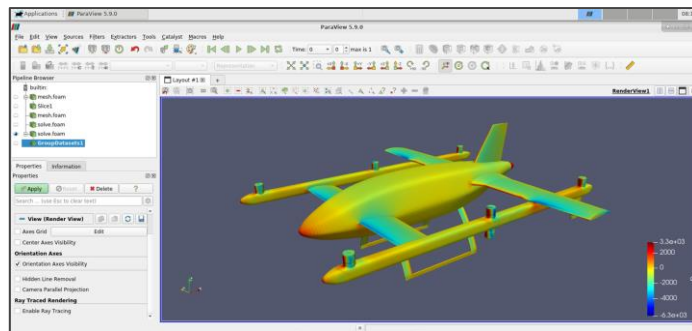
Child Runs

Run	Started	Completed	Duration	alpha	Cd_min	Cd_ave	Cd_max	Cl_min	Cl_ave	Cl_max	CL_min	CL_ave	CL_max	Actions
1	5:42 PM	6:20 PM	0:37.54	-6	-2.83064021484	-2.75219650634	-2.64248175976	0.327716392992	0.335322422633	0.340917095215	-0.2583428824	-0.25340498919	-0.248666139577	⬆ ⬇ ⬅
2	5:42 PM	6:19 PM	0:37.38	-4	-1.25619499934	-1.1719652601	-1.09310055764	0.351384175473	0.355130683204	0.358253747929	0.081527932918	0.087968206501	0.092991509812	⬆ ⬇ ⬅
3	6:20 PM	6:58 PM	0:37.45	-2	1.27797392003	1.43942561044	1.5820644036	0.389483216501	0.394451081649	0.398857370381	0.431113710995	0.438261992246	0.446795941273	⬆ ⬇ ⬅
4	6:20 PM	6:58 PM	0:37.56	0	1.79650417839	3.24895058007	3.24895058007	0.283708643869	0.302211038774	0.320946149855	1.07077046508	1.0936973274	1.118927103246	⬆ ⬇ ⬅
5	5:42 PM	6:20 PM	0:37.46	2	6.17888159641	6.23325263893	6.30519679618	0.167481839031	0.17268988672	0.176268444681	1.0723496679	1.41016482215	1.41242763637	⬆ ⬇ ⬅
6	6:20 PM	6:57 PM	0:37.35	4	7.32466927315	7.3954680286	7.45830612293	0.177474933706	0.184904330613	0.191793723668	1.74794491963	1.75124217665	1.75901241359	⬆ ⬇ ⬅
7	5:43 PM	6:20 PM	0:37.37	6	7.83703208797	7.93988285916	8.03210076017	0.203768775039	0.210733511461	0.216391695834	2.0390741523	2.0495614003	2.0625078094	⬆ ⬇ ⬅
8	5:42 PM	6:20 PM	0:37.53	8	8.2241228286	8.29324251936	8.38063437414	0.244699041075	0.250948559105	0.25694014016	2.42809500063	2.4318188667	2.43621598566	⬆ ⬇ ⬅
9	5:43 PM	6:20 PM	0:38.06	10	8.18678142792	8.30829562309	8.44932643532	0.331115662069	0.341279712005	0.35487744188	2.6465828021	2.68434939165	2.71738898432	⬆ ⬇ ⬅
10	6:20 PM	6:58 PM	0:37.40	12	8.05481680141	8.15434708228	8.29607518173	0.44793999686	0.454444389082	0.460040305842	2.7141968527	2.72088614831	2.75883799161	⬆ ⬇ ⬅
11	6:20 PM	6:57 PM	0:37.45	14	8.39682291664	8.52742642027	8.752861752789	0.522913985435	0.540043198903	0.555342682129	2.87152013381	2.89137140028	2.90242966706	⬆ ⬇ ⬅
12	6:20 PM	6:57 PM	0:37.55	16	7.94078689781	8.12057964041	8.40650389204	0.661765389356	0.68448155201	0.675883562345	3.10567825913	3.13263071296	3.18965351548	⬆ ⬇ ⬅



클라우드 컴퓨팅 환경에서 대용량 해석 결과 가시화

- 대용량 해석 결과의 다운로드 필요없이 클라우드 환경에서 신속한 가시화 수행



결론 및 향후 연구 방향

- 1단계 연구 내용
 - 매개변수를 통해 육공복합무인기 형상에 대한 3차원 모델링 자동화
 - 매개변수 기반으로 생성된 3차원 형상에 대해 유동 조건에 따른 격자 생성 자동화
 - 다양한 유동조건 파라미터에 대한 고성능 클라우드 컴퓨팅 환경에서 신속한 공력 해석
 - 고성능 클라우드 컴퓨팅 환경의 DoE 기능을 활용한 다양한 유동 조건의 동시 해석 수행
 - 대용량 해석 결과에 대한 공력 계수 도출 및 가시화 수행
- 2단계 연구 방향
 - 수중 무인이동체 등 다양한 기술 실증기 해석에 적용
 - 다양한 기술 실증기 및 유동 조건 별 후처리 및 가시화 편의성 향상

