

소형 활주선의 CFD 수치해석 기법 연구

임준택* · † 서광철 · 박근홍** · 김상원***

*, **목포해양대학교 대학원, † 목포해양대 조선해양공학과, ***홋카이도 대학교 기계우주공학

요 약 : 소형 활주선의 경우, 대형 저속선 대비 항주자세의 변화가 크기 때문에 CFD 해석시 저항성능과 운동성능 결과에 오차가 발생할 수 있다. 본 연구에서는 Warped 2 선형을 대상으로 상용 CFD 코드인 STAR-CCM+ v9.04를 사용한 CFD해석을 수행하여, 이를 모형시험 결과와 비교하여 오차를 확인하였고, 또한 오차의 원인을 분석했을 때, 선체 하부의 Numerical ventilation 현상과 Spray 영역에 문제가 있다고 판단하였다. 추후 연구에서는 오차 해결 방법으로 VOF Phase replacement 기법과 Spray 영역에 대한 격자 최적화 방법을 연구하고자 한다.

핵심용어 : 소형 활주선, 전산유체역학, 상용 CFD 코드, Warped 2 선형, Numerical ventilation

· 논문 개요

- 논문배경**
 - 소형 활주선에 대한 수치해석 연구는 전산 컴퓨터의 급격한 발전과 더불어 CFD(Computational Fluid Dynamics)해석을 이용하는 방법이 증가함
 - 소형 활주선의 경우, 대형 저속선 대비 항주자세의 변화가 크기에 CFD해석시 오차가 발생함
- 논문목적**
 - 소형 활주선을 대상으로 CFD 수치해석을 수행, 그 결과를 모형시험 결과와 비교하여 오차 발생원인과 그 해결방안을 연구함
 - 고속선의 CFD 해석시 정확도 높고 효율적인 해석을 하기 위한 바탕으로 제시

국립목포해양대학교 대학원 해양시스템공학과 1

· 수치해석 기법 연구 - 격자 불확실성 해석

- Richardson의 외삽식을 이용하여 격자 간격이 0이 될 때의 가상 해(f_0)를 추정하고, 이를 바탕으로 격자계의 수렴을 판단하는 방법을 사용 (Roache, 1994)
- 속도 범위의 중간값인 $C_v = 1.7(3.45 \text{ m/s})$ 에서 해석을 진행

국립목포해양대학교 대학원 해양시스템공학과 3

· 대상 선형

Model	L_{OA} m	B m	T_{AP} m	Disp. N	LCG m	VCG m	F_{KV}	C_v
Warped 2	1.90	0.42	0.11	319.70	0.609	0.155	0.650-4.518	0.564-3.660

Speed range	CV	1.373	1.667	1.962	2.256
	Speed(m/s)	2.8	3.4	4.0	4.6

- Warped 2 선형을 대상으로 수치해석 기법 연구
- 속도범위는 2.8 ~ 4.6 m/s 의 구간을 사용
- 모형시험 데이터는 나폴리 대학의 자료를 사용 (E. Begovic, 2012)

국립목포해양대학교 대학원 해양시스템공학과 2

· 수치해석 기법 연구 - Y^+

- $Y^+ < 50$ 을 조건으로 설정 ($Y^+ > 50$ 일 경우, 경계층 계산이 정확하지 않을 것으로 판단됨)
- First layer thickness를 아래 식으로 도출, Y^+ 조건 및 결과에 따라 수정함

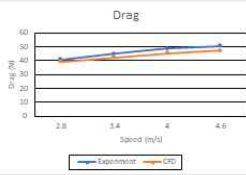
$$C_f = \frac{0.075}{(\log(R_\tau) - 2)^2}, \quad Y^+ = \frac{u \times y}{\nu_{fw}}, \quad u^+ = \frac{\tau_w}{\rho \nu}, \quad \tau_w = C_f \rho V_s^2 / 2$$

국립목포해양대학교 대학원 해양시스템공학과 4

† 교신저자 : 정희원, kcseo@mmu.ac.kr
* lognhorn15@gmail.com

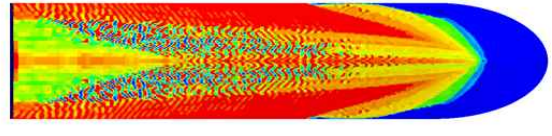
· 수치해석 기법 연구 - 기법 검증

Cv	V (m/s)	Experiment		CFD		
		Rt (N)	Rt (N)	Difference	%	
1.37	2.80	40.96	39.16	1.80	4.40%	
1.67	3.40	45.10	42.33	2.77	6.13%	
1.96	4.00	48.53	45.43	3.11	6.40%	
2.26	4.60	50.74	47.02	3.72	7.33%	



- 격자 불확실성 해석, Y+ 연구를 통해 나온 설정값을 적용
- 모형시험 결과값과 비교하여 4~7%의 오차를 보이며 속도가 커질수록 오차가 커짐

· 수치해석 기법 연구 - 오차 원인 분석 - 1

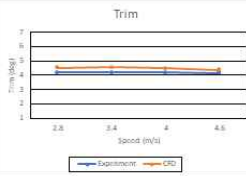


<Fraction of Water distribution (V=3.4m/s)>

- 선체하부 형상의 용적함수 값의 분포를 분석하였을 때, 선체하부 깊을 중심으로 용적함수 값이 $f < 0.5$ 로 분포하며 공기가 유입되는 것을 확인함
- 이러한 Numerical Ventilation 현상은 VOF모델에서 자유수면에 위치한 선체의 유동해석이 발생하는 수치적오류로 마찰저항값이 상대적으로 낮게 추정됨.

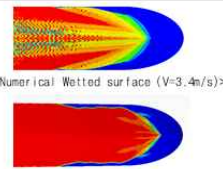
· 수치해석 기법 연구 - 기법 검증

Cv	V (m/s)	Experiment		CFD		
		Trim (deg)	Trim (deg)	Difference	%	
1.37	2.80	4.19	4.53	-0.34	-8.20%	
1.67	3.40	4.18	4.54	-0.36	-8.58%	
1.96	4.00	4.20	4.47	-0.27	-6.42%	
2.26	4.60	4.15	4.39	-0.24	-5.91%	



- 모형시험 결과값과 비교하여 6~8%의 오차를 보이며 속도가 올라갈수록 오차가 줄어들음
- Drag와는 반대의 양상을 보이고 있음

· 수치해석 기법 연구 - 오차 원인 분석 - 2



<Numerical Wetted surface (V=3.4m/s)>



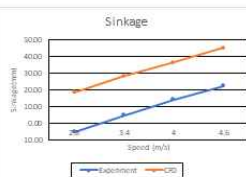
<E. Begovic's Wetted surface (V=3.4m/s)>

<Experimental Wetted surface(V=3.4m/s)>

- 고속선 해석에서 스프레이의 예측은 중요함 (Transient현상 발생)
- 앞선 CFD해석 결과와 모형시험 및 Warped2 선형에 대한 CFD해석(E. Begovic, 2014)의 선체하부 형상의 용적함수 값의 분포를 비교하였을 때, Spray 부분의 정밀 해석을 위해 격자 최적화가 필요함

· 수치해석 기법 연구 - 기법 검증

Cv	V (m)	Experiment		CFD		
		Sinkage (mm)	Sinkage (mm)	Difference	%	
1.37	2.80	-5.09	18.67	-23.76	467%	
1.67	3.40	-4.97	28.21	-23.25	-468%	
1.96	4.00	14.38	36.38	-22.00	-153%	
2.26	4.60	22.50	45.28	-22.78	-101%	



- 정량적으로는 오차가 크게 나지만 정성적으로는 유사한 경향을 보임
- 소형 고속선의 CFD 연구의 Sinkage값은 대체로 맞지 않는 편임.
- 모형시험과의 Sinkage값 오차에 대한 추가적인 연구가 필요함

· 결론

- 소형 활주선을 대상으로 한 CFD 수치해석의 기법 개선을 위한 연구로, Warped 2 선형을 대상으로 상용 CFD 코드인 STAR-CCM+ v9.04를 사용한 CFD해석을 수행함
- 모형시험 결과와 비교하여 Drag와 Trim에서 4.4 ~ 8.6%의 오차가 발생함을 확인했으며, Sinkage는 정성적으로는 유사한 경향을 확인했지만 정량적으로는 큰 오차를 확인, 이는 소형 활주선의 CFD해석에서 자주 발생하는 문제로 추가 연구가 필요하다고 판단됨
- 오차 원인을 분석했을 때, Numerical Ventilation 현상과 Spray 영역의 정밀 해석의 필요함을 확인함
- 이에 대한 해결방법으로 VOF Phase replacement 기법의 적용 및 Spray 영역에 대한 격자 최적화를 적용하여 추가 연구를 수행할 계획임