

접이식 텐덤윙 UAV를 위한 임무 환경 적응형 날개 전개 각도 최적화

*발표자
E-mail: o52l@chosun.ac.kr
†교신저자
E-mail: jungx148@chosun.ac.kr

조연주^{1*}, 김신형², 정성훈^{1†}
조선대학교 항공우주공학과¹, 조선대학교 스마트이동체융합시스템공학과²
25년도 항공우주공학회 추계학술대회, 강원도 고성, 2025. 11. 14.



서론

최근 무인항공기(UAV)의 활용 분야가 확장됨에 따라, 협소한 공간에서의 효율적인 탑재 및 운용이 중요한 기술적 과제로 부상하고 있다.

접이식 텐덤윙 구조는 이러한 요구의 효과적인 대안으로 주목받으나, 날개 전개 시 발생하는 비정상 공력 및 날개 간 간섭 유동은 심각한 비행 안정성 문제를 야기한다. 특히 기존 연구에 따르면 날개 전개 시 주 날개의 힌지 모멘트가 급변하는 등 복잡한 동적 불안정성이 존재한다.

또한 본 연구가 다루는 UAV는 30km 고고도에서 로켓으로 사출되어 활공하는 독특한 임무를

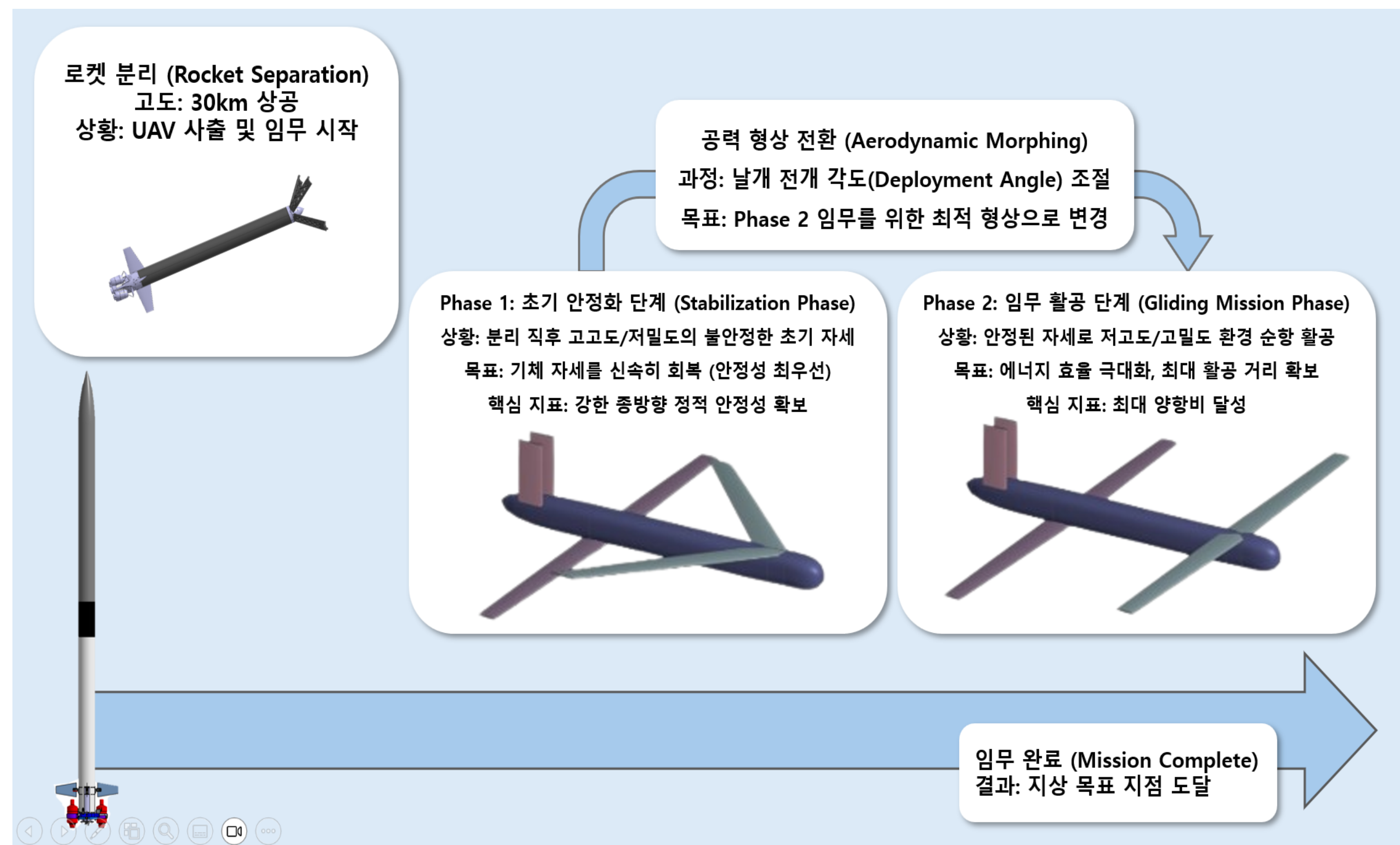
수행하며, 이 과정에서 초기 안정성과 순항 효율성이라는 상충되는 성능 지표를 만족시켜야 한다.

이러한 복잡한 동적 문제를 궁극적으로 해결하고 임무 환경에 적응하는 최적화 알고리즘을 개발하기 위해서는 그 선행 연구로서 날개 전개 각도 자체가 기체의 정적 공력 특성에 미치는 영향을 명확히 규명할 필요가 있다. 본 연구는 5가지 고정 전개 각도에 대한 정적 공력 특성을 상세히 분석하여, 상충되는 두 임무를 만족시킬 수 있는 '최적의 정적 지점'이 존재하는지 확인하고 이를 향후 동적 해석 및 제어 모델 개발을 위한 기초 자료로 활용하고자 한다.

본론

<핵심 임무 요구조건>

- 본 연구는 고고도 활공 임무를 두 가지 핵심 비행 단계로 구분함.



<성능 지표 정의>

- [안정성 지표] 종방향 정적 안정성 미계수 ($C_{m\alpha}$)

$$C_{m\alpha} = \frac{\partial C_m}{\partial \alpha}$$

- $C_{m\alpha}$ 가 음수일 때 안정하며 값이 작을수록 안정성이 강함 (Phase 1 요구조건)

$$SM = \frac{x_{np} - x_{cg}}{\bar{c}} \approx -\frac{C_{m\alpha}}{C_{L\alpha}}$$

- [효율성 지표] 양항비 (L/D)

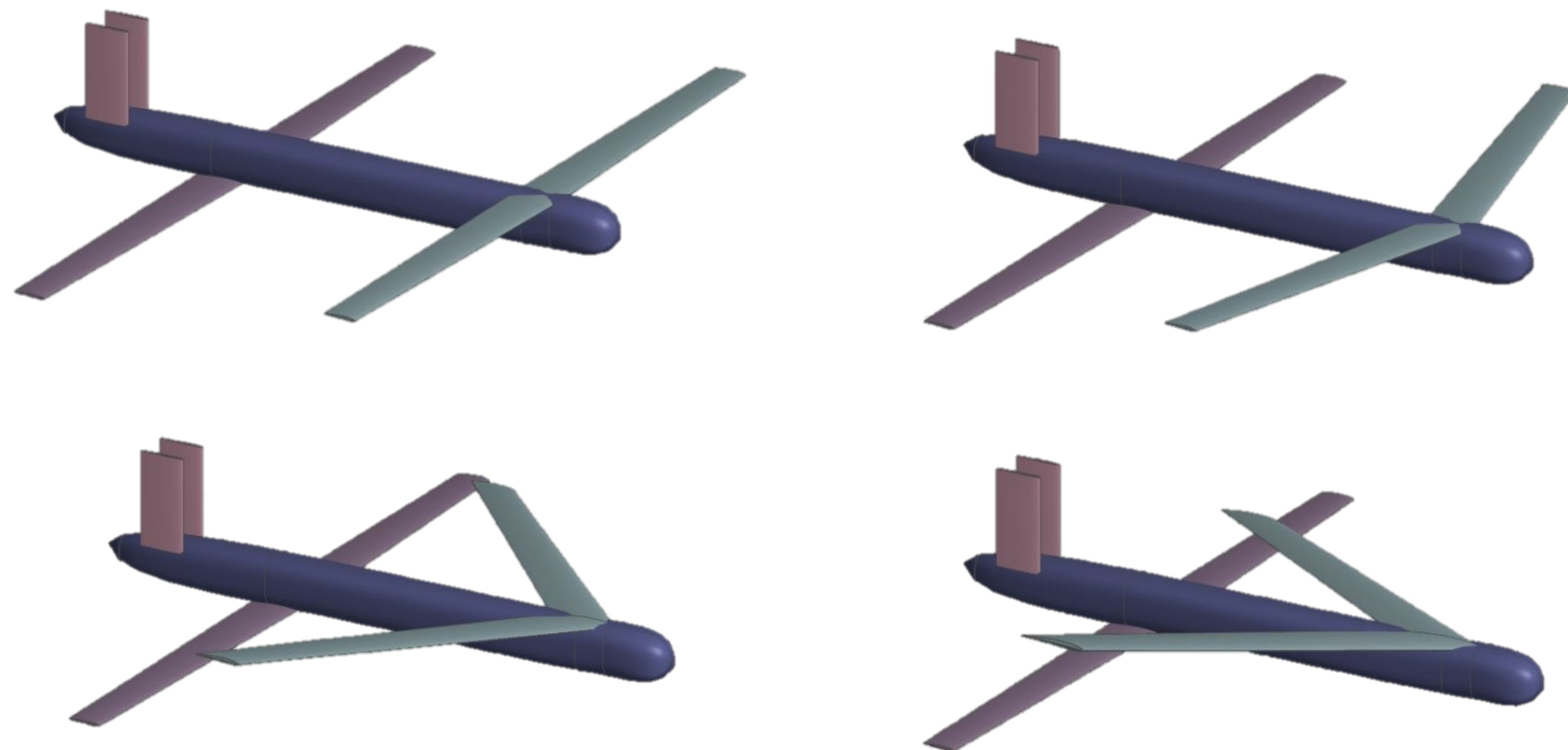
$$L/D = \frac{C_L}{C_D}$$

- 최대 양항비가 높을수록 활공 성능이 우수함 (Phase 2 요구조건)

<해석 형상 및 방법>

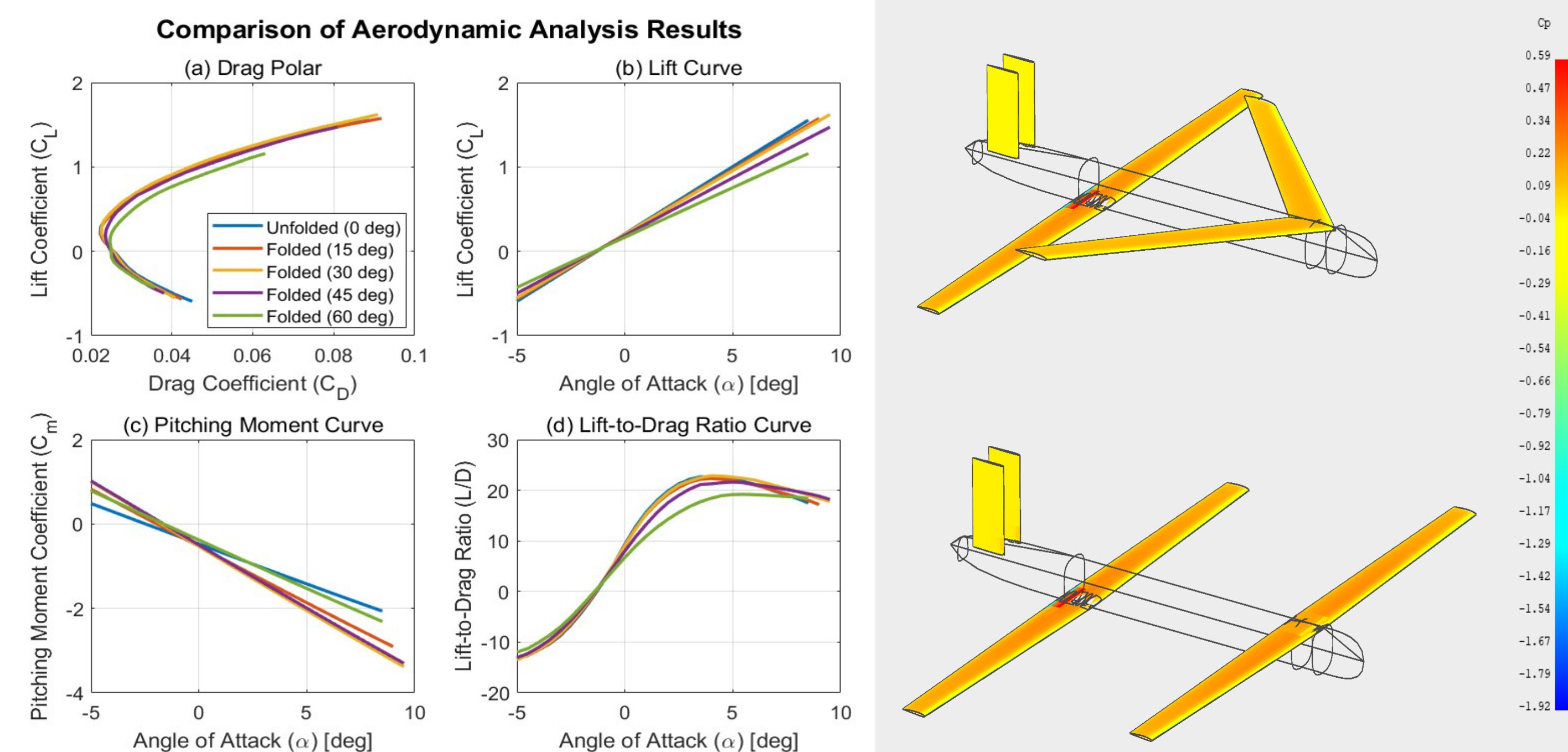
- [해석 형상] 5가지 고정 전개각

0° (완전 전개), 15°, 30°, 45°, 60° (완전 접힘)에 대한 정적 공력 특성을 분석함.



- 수치 해석 방법
- 해석 S/W: XFLR5(v6.61)
- 해석 조건: 해수면, $Re = 2.0 \times 10^5$

<형상별 기초 공력 특성>



- (C) 피칭 모멘트 곡선

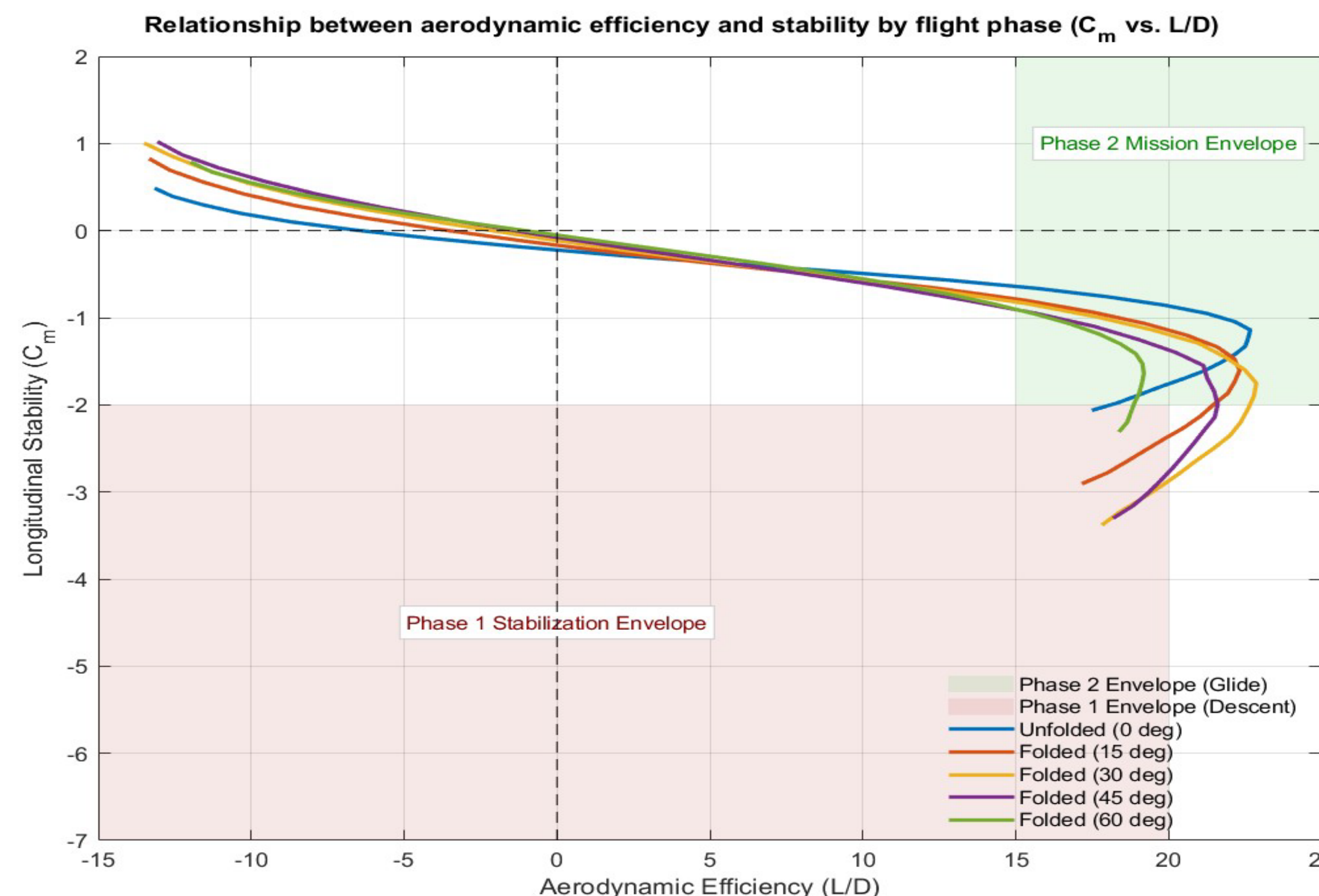
- 30° 형상(노란색)이 0°(파란색)보다 더 높은 $L/D_{max} \approx 22.8$ 를 기록함.

- (D) 양항비 곡선

- 0° 형상 대비 모든 접힘 형상의 안정성이 크게 향상됨.

- 날개가 접힘에 따라 후방 날개의 후퇴각이 커지며 날개 간 공력 간섭 및 압력 분포가 변함. 이는 안정성과 효율의 비선형적 변화에 대한 주된 원인으로 분석됨.

<핵심 결과 C_m vs L/D 관계>



- 공력 효율 (X축, L/D):

- 날개를 완전히 편 0° ($L/D_{max} \approx 22.6$)보다 30° ($L/D_{max} \approx 22.8$) 형상에서 가장 높은 공력 효율을 달성함.

- Phase 2 (효율성) 최적 형상은 5가지 형상 중 30° 임을 확인

- 정적 안정성 (Y축, C_m):

- 0° 형상 대비 30°, 45° 형상이 훨씬 더 강한 음의 C_m 값을 확보함. (강한 안정성)

- Phase 1 (안정성) 최적 형상은 5가지 형상 중 30°~45° 임을 확인

결론

- 본 연구는 고고도 활공 임무를 수행하는 접이식 텐덤윙 UAV를 대상으로 다섯 가지 고정 날개 전개각(0°~60°)에 대한 정적 공력 특성을 분석하였고 그 결과 임무의 상충되는 요구조건을 만족하는 최적점을 발견하였다.
- 첫째, 공력 효율은 날개를 완전히 편 0°에서 최대가 될 것이라는 예상과 달리 30° 전개각에서 22.8로 가장 높은 비선형적 최적점을 나타냈다. 둘째, 로켓 분리 직후의 초기 안정성은 0° 형상 대비 30°~45° 전개각에서 피칭 모멘트가 크게 낮아지며 종방향 정적 안정성이 대폭 향상되는 것을 확인하였다.

- 결과적으로 30° 전개각은 다섯 가지 형상 중 최고 효율과 강한 안정성을 동시에 만족시키는 최적의 정적 설계 지점임을 규명하였다. 이는 임무 환경에 따라 날개를 완전히 전개하는 것이 항상 최적이지 아닐 수 있으며 능동적인 날개 각도 조절이 임무 성공에 필수적임을 보여 준다.
- 본 연구에서 확보된 정적 공력 데이터 베이스는 향후 날개 전개 시의 동적 특성 분석 및 실시간 최적화를 위한 대리 모델 개발의 중요한 기초 자료로 활용될 계획이다.