

# XROTOR를 이용한 제자리비행 중인 UAM 항공기의 로터 소음 예측

강진혁\*, 박배선, 이학태  
인하대학교

## Noise Prediction of UAM Aircraft in Hovering Flight Using XROTOR

Jin-Hyeok Kang\*, Bae-Seon Park, Hak-Tae Lee

**Key Words** : 도심항공교통(UAM), 소음(Noise), XROTOR, 로터 설계

### 서론

최근 도심 교통 혼잡 및 대기 환경 문제를 해결하기 위해 UAM(Urban Air Mobility)이 미래 교통운송 수단으로 떠오르고 있으나, 도심 상공에서 운영되는 특성상 소음 문제가 대두될 가능성이 크다. 이에 따라 UAM 기체 개발 시 소음 저감 및 예측에 대한 다양한 연구가 진행되고 있다<sup>(1)</sup>.

본 논문은 미국 MIT에서 개발한 로터 설계 및 해석 프로그램인 XROTOR를 활용하여, 특정 비행 조건에서 기체에 탑재된 각 로터의 소음과 그로 인한 전체 소음 예측 기법을 제시한다.

### 본론

#### 1. 대상 기체 및 소음 예측 조건

본 논문에서는 날개 길이 15m, 전장 10.7m, 무게 3125kg의 분산 전기추진 방식을 사용하는 UAM 기체인 S-A1(Hyundai Motor Group, 한국)의 형상 및 제원을 이용하여 소음 예측을 진행하였다. (Fig. 1)



Fig. 1. Hyundai Motor Group, S-A1

기체의 비행 조건은 고도 100 ft에서의 제자리비행 상태이며, 이때 각 로터의 위치 및 목표 추력(N)을 Fig. 2과 Table 1에 정리하였다.

제자리비행 시 개별 로터 추력(N)은 각각의 로터와 무게중심점 간의 거리 및 기체 무게를 고려하여 계산하였다.

또한 지면 위 관측자 위치로부터 수직으로 100ft 위 지점에 기체의 무게중심점이 자리한 상태에서 제자리 비행을 한다고 설정하였다.

Table 1. Rotor Thrust(N)

	2 blades upper	2 blades lower	5 blades
Number of Rotors	4	4	4
Thrust(N)	3340	2280	2040
Total Thrust(N)	30625		

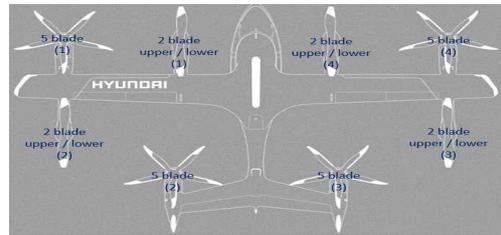


Fig. 2. Rotor positions

#### 2. 로터 설계

비행 조건에 따른 로터 제원 및 필요한 변수와 이를 통해 XROTOR로 설계한 로터 형상을 Table 2와 Fig. 3에 나타내었다.

Table 2. Rotor specification and parameter

	2 blade upper	2 blade lower	5 blade
Number of blades	2	4	4
Tip radius (m)	1.6	1.6	1.6
Hub radius (m)	0.175	0.175	0.22
Airspeed (m/s)	25	21	16
RPM	1200	1000	400
Thrust(N)	3340	2280	2040

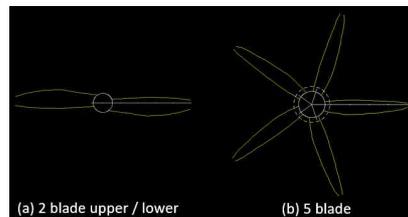


Fig. 3. Rotor shape

로터 설계 시 blade 형상 정보를 XROTOR input file에 명시한 뒤, speed(m/s)와 advance ratio 값을 조절하여 각 로터의 목표 추력(N)을 산출하였다. 단, 이때의 형상 정보는 공개된 자료를 통해 CATIA로 추정된 값으로, 실제와는 다를 수 있다.

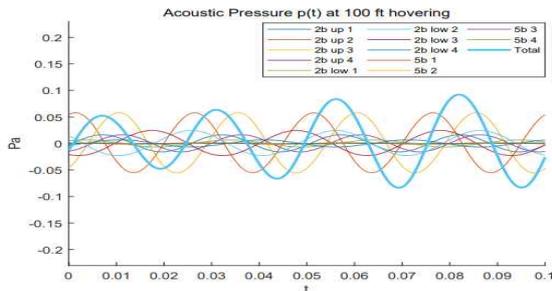
#### 3. Acoustic pressure P(t) 도출

임의의 지점 k에서 Acoustic pressure P(t)는 Ffowcs-Williams and Hawkins 방정식의 하중소음

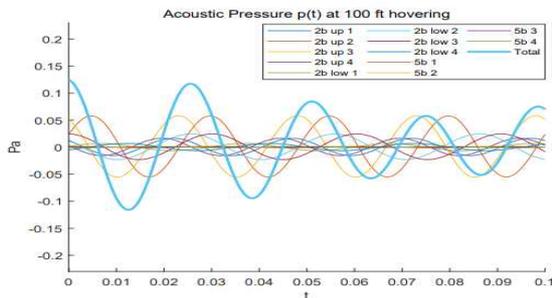
$P_{ik}$ 과 두께소음  $P_{tk}$ 의 합으로, 식 (1)과 같다<sup>(2)</sup>.

$$P(t) = \sum_k P_{ik} + P_{tk} \quad (1)$$

로터 정렬 위상에 따른 소음 차이를 고려하여, 각 로터마다 정렬 위상을 무작위로 설정한 후 이를 하나의 케이스로 하여 총 100개의 케이스를 만들었다. 그 후 각각의 케이스마다 각 로터 및 통합 Acoustic pressure  $P(t)$ 를 도출하였다. Fig. 4 (a), (b)는 그중 2개의 케이스를 나타낸 것이다<sup>(3)</sup>.



(a) case 1



(b) case 2

Fig. 4. Rotor, Total Acoustic pressure  $p(t)$

#### 4. 결과

임의의 정렬 위상에 따른 각 로터 및 통합 평균 Acoustic pressure  $P(t)$ 를 통해 관측자 지점에서의 소음(dB)을 예측하였다.

$$P_{rms}^2 = \frac{1}{t} \int_0^t P(t)^2 dt \quad (2)$$

$$total\ dB = 20 \log_{10} \left( \frac{P_{rms}}{20e^{-6}} \right) \quad (3)$$

먼저 식 (2)를 통해 실효 음압 값( $P_{rms}$ )을 계산한 후 식 (3)을 통해 소음 예측 값을 계산하였다. 정렬 위상을 무작위로 한 100개 케이스의 각 로터별 평균 소음과 전체 평균 소음을 Table 3에 정리하였고 전체 평균 소음의 정규분포를 Fig. 5에 나타내었다.

Table 3. Average (Rotor, Total) Noise(dB)

Average (Rotor, Total) Noise(dB)				
Rotor name	1	2	3	4
2 blade upper	55.0	65.9	66.0	55.1
2 blade lower	47.3	58.4	58.4	47.3
5 blade	33.6	15.8	15.8	33.6
Total	68.8			

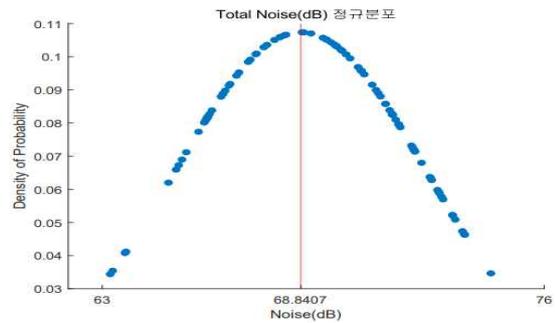


Fig. 5. Total Noise(dB) normal distribution

#### 결론

본 논문에서는 XROTOR의 소음 예측 기능을 통해 보다 간편하게 비행 중 로터에 의해 발생하는 소음을 예측하는 기법을 제시하였다. 연구 결과, 설정한 소음 예측 조건에서 로터의 정렬 위상차를 달리했을 때 기체에 탑재된 로터에 의해 발생하는 전체 소음의 평균 값은 68.8(dB)로 나타났다.

본 연구에서 제시된 소음 예측 기법은 UAM 기체 개발 중 소음 저감 분야 연구 시 유용하게 사용될 것으로 예상된다.

#### 후기

본 연구는 인천광역시 출연금으로 수행된 3D 공간 정보 기반 도심항공교통(UAM) 가상 디지털트윈 플랫폼 구축사업의 지원을 받아 수행하였음.

#### 참고문헌

- 1) You, Y. H., Jung, S. N., Wie, S. Y., Kim, D. H., "Optimum Active Twist Control Scenario for Rotor BVI Noise Reduction in Descent," Proceeding of the 2017 KSAS Fall Conference, pp. 445-446.
- 2) Succi, G. P., Munro, D. H., Zimmer, J. A., "Experimental Verification of Propeller Noise Prediction" AIAA JOURNAL, 1982, pp. 1488-1491
- 3) Smith, B., Gandhi, F., Niemiee, R., "A Comparison of Multicopter Noise Characteristics with Increasing Number of Rotors," the Vertical Flight Society's 76th Annual Forum, 2020, pp. 1-20