

論文

헬리콥터 로터 블레이드의 피로해석을 위한 하중 스펙트럼연구

오만석*, 김현덕*, 기영중**, 박정선***

A Study on Load Spectrum for Fatigue Analysis
of Helicopter Rotor Blades

Manseok Oh*, Hyunduk Kim*, Youngjung Kee** and Jungsun Park***

ABSTRACT

In this paper, we deduced the missions with respect to Korea utility helicopter (KUH) and consist of the scenarios which describe proper purpose of KUH. And so developed fatigue load spectrum of KUH by applying Helix that is fatigue load spectrum for blade of articulated helicopter rotor system. The developed load spectrum is applied to fatigue analysis of blade by modeled finite element with stress-life method (S-N). And we compared the result of fatigue analysis to prior to Helix for the sake of verifying the load spectrum that we generated.

Key Words : Fatigue Analysis(피로해석), Helicopter Rotor System(헬리콥터 로터 시스템)
Load Spectrum(하중 스펙트럼), Stress-Life(응력-수명), Helicopter Mission(헬리콥터 임무)

I. 서 론

한국형 헬기 개발 사업이 진행됨에 따라 메인 로터 블레이드의 피로해석을 위한 하중 스펙트럼이 필요하게 되었으나 기존의 관절형 로터 블레이드의 하중 스펙트럼(load spectrum)인 Helix[1]를 그대로 적용하기에는 몇 가지 문제점이 있다.

예컨대 기존 Helix의 훈련, 운송, 대잠수함, 구조 및 탐색의 4가지 임무는 한국형 헬기가 사용될 다양한 임무를 충분히 반영하기 어렵고 임무 구성 시간이 장거리의 경우 3.75시간으로 한국형 헬기의 임무 가용시간이 2.5시간 이내인 것과 차이가 있다. 따라서 본 연구에서는 한국형 헬기의 운용여건을 고려하여 임무 시간을 재편성하여 사

용 하였고, 예상 임무를 도출하여 한국형 헬기에 적합한 피로하중 스펙트럼을 생성하였다. 또한 생성된 스펙트럼을 이용한 피로해석의 방안을 제시하기 위하여, 로터 블레이드 스파(spar)의 피로해석을 수행하고, Helix 하중 스펙트럼을 적용한 결과와 비교하여 보았다.

II. 본 론

2.1 기동헬기 예상 임무도출

신뢰성 있는 하중 스펙트럼을 생성하기 위해서는 헬리콥터가 실제 운용에서 받는 하중을 잘 묘사해야 한다. 따라서 임무에 대한 철저한 분석이 필요하다. 본 논문에서는 한국형 헬리콥터의 운용을 가장 효율적으로 표현할 수 있는 8가지 임무를 선정하고, 각 임무를 수행하기 위한 기동형태와 기동의 적용시간을 고려하여 하중스펙트럼을 생성하였다. 임무의 적용 시간은 단시간, 중시간, 장시간으로 구분되며 각각 0.75hour, 1.5hour, 2.25hour이다. 장시간 임무를 2.25시간으로 설정

† 2007년 06월 20일 접수 ~ 2007년 08월 17일 심사완료

* 회원, 한국항공대학교 항공우주 및 기계공학부

** 회원, 한국항공우주연구원, KHP개발실

*** 정회원, 한국항공대학교 항공우주 및 기계공학부
연락처, jungsun@kau.ac.kr

경기도 고양시 덕양구 화전동 항공대길 100

한 이유는 한국형 기동헬기의 연료 탑재량에 따른 운용시간이 2.5시간 이내 이기 때문이다. 헬리콥터의 임무를 묘사하기 위하여 헬리콥터의 모든 기동형태를 Table 1의 24가지로 정의하였다 [2]. 따라서, 헬리콥터의 모든 임무는 24가지 기동형태의 조합으로 구성하게 된다.

Table 1 Manoeuvres of a utility helicopter

구성요소 식별번호	기동형태	구성요소 식별번호	기동형태
1	Take off	13	Sideways flight port
2	Forward flight 20 kn	14	Recovery from 13
3	Forward flight 30 kn	15	Sideways flight starboard
4	Forward flight 40 kn	16	Recovery from 15
5	Forward flight 60 kn	17	Rearwards flight
6	Forward flight 103 kn	18	Recovery from 17
7	Maximum power climb 70 kn	19	Spot turn port
8	Shallow approach to hover	20	Spot turn starboard
9	Normal approach to hover	21	Auto-rotation
10	Hover	22	Recovery from 21
11	Bank turn port VNO*	23	Descent
12	Bank turn starboard VNO	24	Landing

*VNO: velocity of normal operation, 정상운용 속도

2.1.1 인원공수

인원공수임무는 기지를 이륙하여 인원탑승지역 까지 이동하고 탑승객을 탑승 시킨 후 목적지 까지 이동하는 것으로 구성되어 있다. 중거리 및 장거리는 이동 구간이 긴 경우 이므로 순항 속도 구간이 증가하게 된다. Fig. 1에서 숫자는 Table 1에서 분류한 기동형태를 나타낸다. 인원공수는 20가지의 기동형태를 118개로 조합하여 구성하였다. 그림에는 조합된 구성요소의 일부만을 표현했으며 상세한 내용은 Table 2 임무별 기동형태 비교에 정리하였고 다른 임무들도 마찬가지로 이다. Fig. 1의 가로축은 임무 적용시간을 구분한 것이며 단시간 임무는 0에서 시작하여 '0.75h flight marker'까지 적용하고 중간을 건너뛰어 'landing marker'이후를 적용하게 된다. 중시간 임무는 0에서 '1.5h flight marker'까지만 적용하고 'landing marker'이후를 적용하며 장시간 임무만 모든 기동을 적용한다. 또한 이것은 다른 임무들에서도 동일하게 적용되었다.

Fig. 2에서 세로축의 Helix units는 최소 -20에서 최대 100의 무차원화된 단위이며, 특정 헬리콥터의 경우 로터 블레이드에서 측정된 응력 (lb/in²) 250psi로 나눈 후 반올림된 값[3]을 사용한 것이며 본 연구에서 측정하여 적용한 것은 아니다. 가로축의 하중점(load point)은 정상(peak)과 계곡(valley)에서의 각각 값이며 하중점을 2로 나누면 1사이클이 된다.

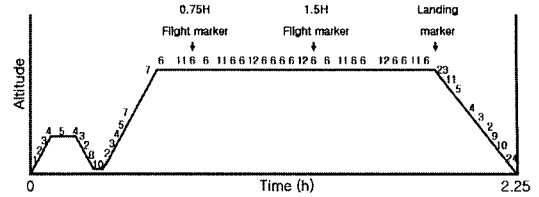


Fig. 1 Flight profile for passenger airlift

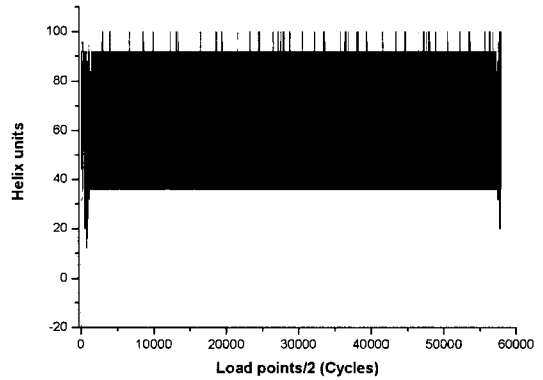


Fig. 2 Load spectrum for passenger airlift

2.1.2 조명대기

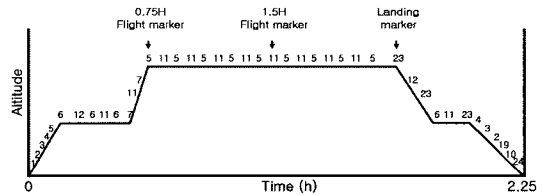


Fig. 3 Flight profile for illumination round drop

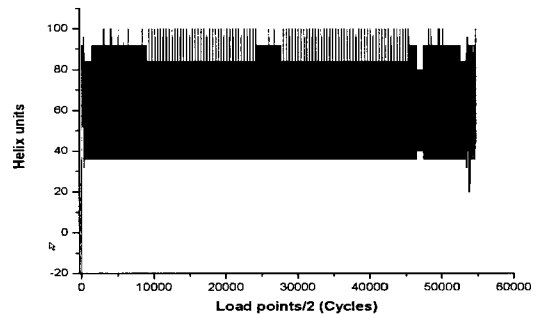


Fig. 4 Load spectrum for illumination round drop

조명대기 임무는 야간에 해안이나 강을 통해 침투한 적을 지상부대 또는 공격 헬기가 사격이 용이하도록 고공에서 조명탄을 터트려 전투지원하는 임무이다. 조명탄을 적재하고 기지를 이륙한 헬기는 표적을 부여 받은 후 조명탄 투하를 위해 임무고도까지 상승한다. 조명탄을 투하하기 정해진 제적을 반복적으로 그리면서 일정 지점에서 조명탄을 투하하고 출발지로 복귀한다. Fig. 3에서 0.75h flight marker 바로 전에 고도가 상승하는 것은 조명탄 투하 요망 고도까지 상승하기 위한 기동을 나타낸 것이다. 조명대기 임무는 16가지의 기동형태로 구성하였으며 총 210개의 구성요소를 사용하여 구성하였다. Fig. 4에서 5,000~22,500 사이클 중 80 Helix unit 이상에서 하중 스펙트럼의 특징이 비교적 일정한 것은 타원형 비행을 하면서 주기적으로 조명탄을 투하하기 때문이다.

2.1.3 공중강습

공중강습은 다수의 헬기가 대형을 구성해서 적지 중심지역에 공중강습 대원을 투입시키는 것이다. 이륙 후 탑재 지대(pickup zone, PZ)에서 공중강습 대원을 탑승시킨 후 정해진 경로를 따라 저공 수평비행(일정고도와 일정한 속도유지), 등고선 비행(일정속도, 고도만 변화), 침투비행(속

도, 고도 모두 다양한 변화)을 실시하여 착륙지대(landing zone, LZ)에 탑승된 병력과 장비를 내려놓고 기지로 복귀한다. Fig. 5에서 첫 번째와 마지막 번째 사다리꼴은 기지에서 탑재지역까지 이동과 강습 후 기지로 복귀하는 것을 나타내고 세 번째와 다섯 번째 사다리꼴은 착륙지대에서 탑재지대로 이동하는 것을 나타낸다. 이 임무는 15가지 기동형태를 조합하여 총 234개의 구성요소가 사용되었다. Fig. 6에는 3곳에서 스펙트럼이 일정한 형태로 나타나고 있으며 이는 공중강습 임무를 실시 중이기 때문이다.

2.1.4 헬기레펠

헬기레펠은 착륙하기 곤란한 지형에서 탑승인원이 로프를 이용해 지면에 착지하는 것을 말한다.

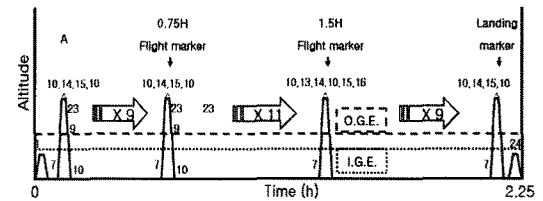


Fig. 7 Flight profile for rappel from helicopter

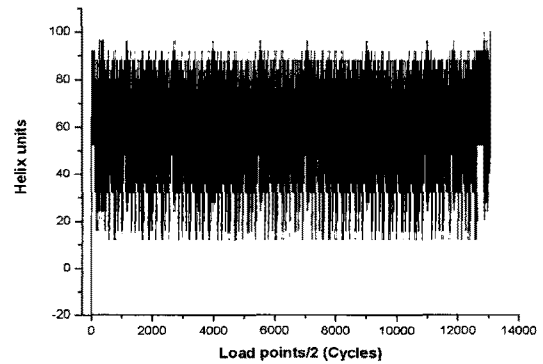


Fig. 8 Load spectrum for rappel from helicopter

Fig. 7은 레펠 인원을 탑승시키기 위한 지상대기, 제자리 비행 이륙과 OGE(out of ground effect) 고도 제자리 비행(hovering), 제자리 비행 착륙 나타낸 것이다. OGE고도란 지면효과를 이 탈한 고도이며 지면효과(ground effect)란 헬기 로터직경보다 낮은고도에서 제자리 비행시 로터를 통과하여 지면으로 내려간 공기가 지면과 부딪쳐 유도항력이 감소되어 상대적으로 양력이 증가하는 현상이다. 인원하강(rappel)시에는 일시적으로 비행 자세에 불균형이 발생되며 균형을 잡

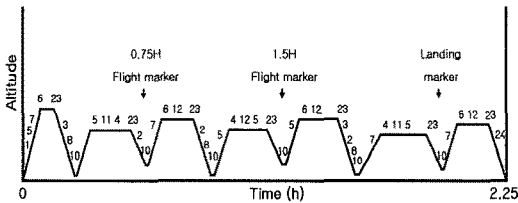


Fig. 5 Flight profile for air assault training

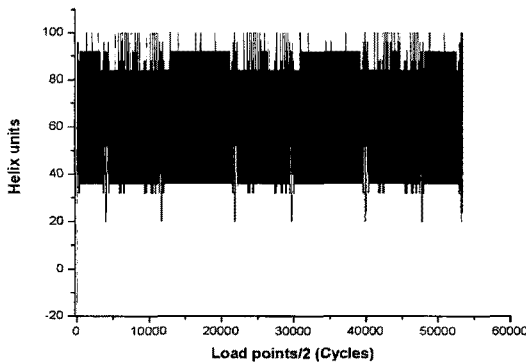


Fig. 6 Load spectrum for air assault training

아가는 과정은 시나리오 테이블에서 전, 후, 좌, 우 각각의 제자리 비행이동 회복을 통해 표현하였다.

2.1.5 의무후송

의무 후송은 각종사고로 인한 응급환자를 사고 현장이나 지역병원에서 상급의료기관까지 헬기를 이용해 신속하게 후송하는 것을 말한다. Fig. 9는 기지를 이륙해서 응급환자를 후송시키기 위해 탑승지역까지 이동하고, 환자를 탑승시켜 목적지병원으로 환자를 후송한 후 출발기까지 복귀하는 것을 표현한 것이다. 이 임무는 14가지 기동형태를 조합해 총 175개의 구성요소를 사용해 구성하였다. Fig. 10의 그래프가 비교적 단순한 이유는 순항고도 전진비행이 주로 실시되기 때문이다.

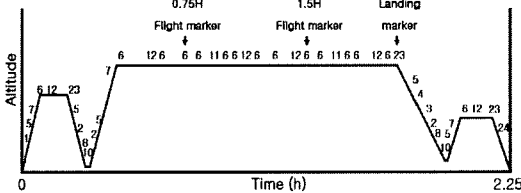


Fig. 9 Flight profile for aeromedical evacuation

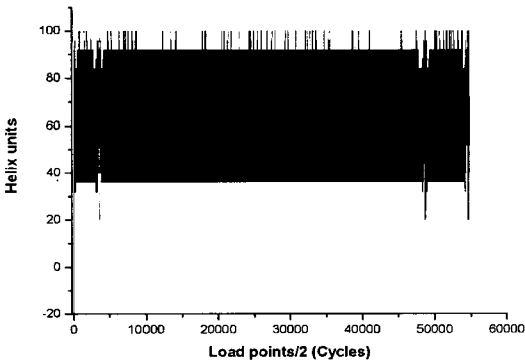


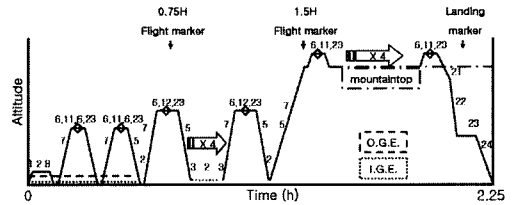
Fig. 10 Load spectrum for aeromedical evacuation

2.1.6 교육비행

교육비행은 조종사의 기량향상을 목적으로 실시하며 교통 장주(traffic pattern), 제한지, 산정 등에서 이·착륙을 실시하게 된다. 이 비행은 다른 임무들을 위한 비행 조작술을 교육시키기 위한 비행이다. 따라서 24가지 모든 기동형태를 사

용해 프로파일을 구성한 것이 특징이다. Fig. 11에서 0.75h flight marker 이전에는 제자리 이착륙 비행 및 지상 활주이동(taxi)과 장주비행을, 0.75h와 1.5h flight marker 사이에는 제한지 이착륙을, 1.5h flight marker 와 Landing marker 사이에는 산정(山頂,mountaintop) 이착륙 및 자동 활공(auto-rotation)을 나타내고 있다.

화살표 안의 숫자는 그 구간에서 비행 횟수를 나타낸 것이며, 이 임무는 총 314개의 구성요소를 사용하였다. Fig. 12에서 -20 Helix unit 근처에 나타나는 하중점들은 착륙이 빈번함을 의미한다.



다.

Fig. 11 Flight profile for education flight

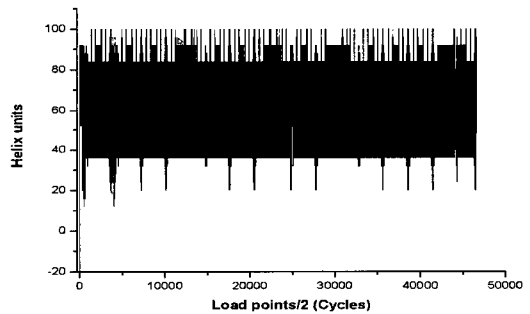


Fig. 12 Load spectrum for education flight

2.1.7 산불진화

사람이 접근하기 어려운 지역에 화재가 발생했을 때 헬리콥터를 이용해 진화하게 된다. 산불진화는 진화 장비(Bambi bucket)를 탑재하여 기지를 이륙해 산불발생 지역까지 이동하고, 진화 장비를 현장에서 장착한 후 담수지와 화재 지역을 이동하면서 완전히 소화 될 때 까지 일정 구간을 반복 이동하게 된다. 밤비버킷에 물을 담아때는 제자리 비행을 실시하며, 화재 지역에서 저속 전진비행을 하면서 물을 살포한다. Fig. 13에서는 중시간과 장시간에서 담수와 물 살포 과정을 단시간 일 때 보다 추가하였고 화살표 안에 수는 추가된 횟수이다. 이 임무는 14가지의 기동형태

를 조합해 총 276개의 구성요소를 사용하여 구성하였다. Fig. 14에서 20 Helix unit 부근은 답수 헬 80이상의 Helix unit은 저속 전진비행을 나타내고 있다.

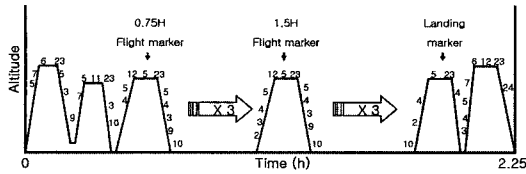


Fig. 13 Flight profile for fire extinguishment

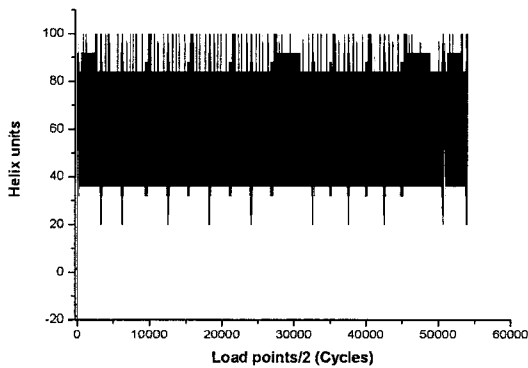


Fig. 14 Load spectrum for fire extinguishment

2.1.8 승무원 공중사격

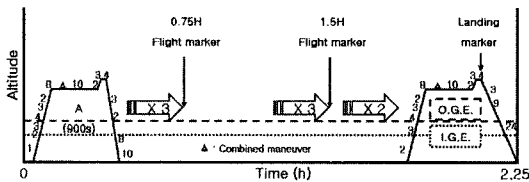


Fig. 15 Flight profile for crewman air firing

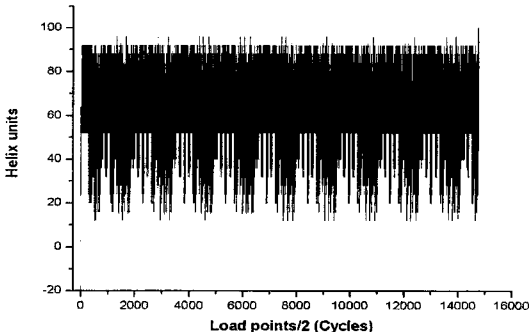


Fig. 16 Load spectrum for crewman air firing

승무원 공중 사격은 승무원들이 헬기내에서 기관총 사격을 하는 훈련이다. 헬기는 무장패드에서 대기하다가 사격 패드 상공까지 이동해서 사격을 실시하게 된다. 좌측 또는 우측 승무원이 선행 사격하면 그 반대쪽 승무원이 다음 순서로 사격을 하게 된다. OGE 고도에서 제자리 비행을 하면서 실시되고 사격 간에 사격자의 요청에 따라 전, 후, 좌, 우, 상, 하 6방향으로 제자리 비행 이동을 하게 된다. Fig. 15에서 A 영역의 적용시간은 0.25h(900초)이며 단시간의 경우 3회 공중사격을 실시하게 된다. 이 임무는 15가지의 기동형태를 조합하여 총 387개의 구성요소를 사용해 구성하였다. Fig. 16에서는 비교적 일정형태의 스펙트럼이 반복적으로 진행되고 있는데 그 이유는 공중사격이 제자리 비행상태에서 실시되기 때문이다.

2.2 하중 스펙트럼 구성 결과

2.2.1 한국형 헬리콥터의 하중스펙트럼

8가지의 임무에 따른 하중점 생성 결과를 요약하면 Table 2와 같다. Table 2에서 기동번호 25는 공중사격 기동을 별도의 시나리오로 9개 기동형태를 조합하여 총29개 구성요소로 구성된다. 적용시간은 420초이며 승무원 공중사격임무에만 적용된다.

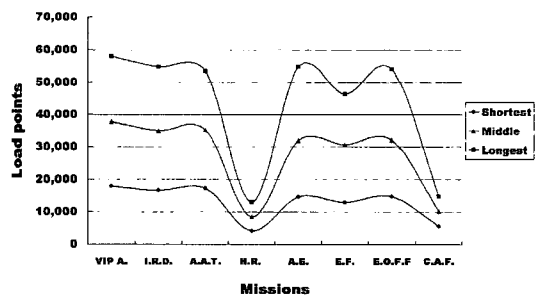


Fig. 17 No. of load points per sorties

Fig. 17에서 가로축은 임무이고 세로축은 하중점 수이다. 임무는 왼쪽부터 인원공수(VIP A.), 조명대기(I.R.D.),공중강습(A.A.T.),레펠(H.R.),의무후송(A.E.),교육비행(E.F.),산불진화(E.O.F.F.),공중사격(C.A.F.)을 순차적으로 나타낸다. 세로축의 하중점 수를 2로 나누면 사이클 수가 된다.

Table 3에서 73은 산불진화 장시간 임무를 의미하며 52는 의무후송 총 시간 임무를 의미한다.

Table 6 No. of flights for each mission

임무	인원공수	조명대기	공중감속	헬기레펠	의무후송	교육비행	산불진화	공중사격
기동형태 수	20	16	15	14	14	24	14	15
구성요소 합	118	210	234	341	175	314	276	387
기동형태 식별번호	1	1	1	1	1	1	1	1
	2	4	2	14	2	6	25	20
	3	4	2	14	0	6	26	2
	4	3	2	29	0	6	26	59
	5	2	84	50	0	6	63	75
	6	44	16	23	0	64	25	14
	7	1	1	7	31	3	17	11
	8	1	1	4	0	0	3	0
	9	1	0	3	2	3	9	11
	10	3	1	7	94	4	15	9
	11	22	97	49	0	35	58	19
	12	24	6	27	0	36	6	47
	13	1	0	0	24	0	3	0
	14	1	0	0	24	0	3	0
	15	1	0	0	56	0	2	0
	16	1	0	0	56	0	2	0
	17	0	0	0	9	0	3	0
	18	0	0	0	9	0	3	0
	19	1	1	1	1	1	3	0
	20	1	1	0	0	0	2	3
	21	0	1	0	0	0	1	0
	22	0	0	0	0	0	1	0
	23	1	1	4	31	3	13	4
	24	1	1	1	1	1	1	1
	25	0	0	0	0	0	0	0

Table 7 Sorties sequence

73	52	32	11	83	23	13	12	12
11	11	11	11	11	11	72	61	53
63	62	62	23	13	62	52	43	22
11	62	23	11	11	63	11	12	73
33	63	62	12	11	62	11	11	63
83	63	43	33	62	62	11	11	53
83	42	61						

10: 인원공수 20: 조명대기 작전
 30: 공중감속작전 40: 헬기레펠
 50: 의무후송 60: 교육비행
 70: 산불진화작전 80: 승무원 공중사격

단시간:1, 중시간:2, 장시간:3
 ※십의자리는 임무를 일의 자리는 임무시간을 나타낸다.

Table 8 Reduced fatigue Load history

순서	하중	순서	하중	순서	하중	순서	하중
1	-20	21	24	2,019,473	40	2,019,493	48
2	64	22	64	2,019,474	96	2,019,494	96
3	24	23	24	2,019,475	24	2,019,495	48
4	64	24	64	2,019,476	80	2,019,496	96
5	24	25	24	2,019,477	40	2,019,497	48
6	64	26	92	2,019,478	80	2,019,498	92
7	24	27	52	2,019,479	40	2,019,499	52
8	64	28	92	2,019,480	100	2,019,500	100
9	24	29	52	2,019,481	44	2,019,501	44
10	64	30	92	2,019,482	96	2,019,502	96
11	24	31	52	2,019,484	96	2,019,504	96
...
17	24	37	52	2,019,487	48	2,019,510	72
18	64	38	92	2,019,488	92	2,019,508	92

Table 3의 비행이력에는 총63회의 임무와 97.5시간의 임무 시간이 사용되었으며 그에 따른 하중 스펙트럼은 Fig. 18과 같다. Table 4에서 순서1은 첫 번째 생성된 하중점으로 -20Helix units이며 로터 블레이드 자중에 의한 지상하중을 의미하고, (-)부호는 압축을 의미한다. 순서 1부터 25까지는 이륙 기동으로 평균응력이 44이고 교변응력이 20이므로 정상(peak)인 64와 계곡(valley)인 24가 반복되면서 나타난다. Fig. 18은 Table 4를 도식한 것으로 1,009,755 사이클이 생성되었다.

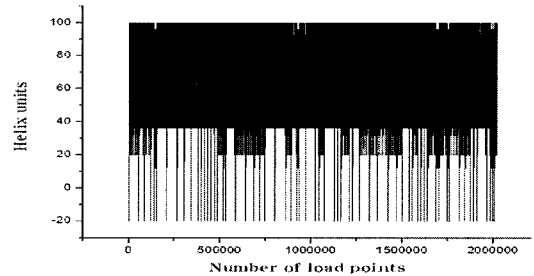


Fig. 18 Reduced fatigue load spectrum

2.2.2 하중 스펙트럼 비교

Helix와 하중 스펙트럼을 비교하면 Table 5와 같다.

Table 10 Comparison of load spectrums

구분	Helix	본연구
임무 종류	4 가지	8 가지
비행 시간	190.5 h	97.5 h
임무 횟수	140 소트	63 소트
사이클 수	2,132,024	1,009,755

Table 5에서 본 연구에 사용된 임무 종류는 군의 소형 기동헬기가 실시하는 8가지의 실질적인 임무로 Helix와는 다른 시나리오가 적용되었다. Helix와 비교했을 때 약 1/2 블록하중이며 비행 시간은 4.5시간(=97.5h×2블록-190.5h) 늘고, 사이클 수는 112,514개(=1,009,755×2블록-2,132,024) 줄었다.

2.3 로터 블레이드 피로해석

2.3.1 피로해석 방안

생성된 한국형 헬리콥터의 피로하중 스펙트럼은 무차원 단위로 실제 피로해석에 적용하기 위해서는 응력단위로 바꾸어 주어야 한다. 응력 단

위로 바꾸어 주기 위해서는 Table 1에서 제시한 헬리콥터의 기동에 대한 로터 블레이드의 실제 응력이 요구된다. 예를 들어 Table1의 6번째 기동인 Forward flight 103 kn 기동의 Helix units 과 같은 하중조건에 대한 실제 로터 블레이드의 응력을 비교하여, 무차원의 하중 스펙트럼을 피로해석에 적용 가능한 응력의 단위로 변환할 수 있다. 또한 가장 간단한 방법으로, 하중 스펙트럼의 최소값인 지상하중(-20Helix units)을 이용할 수 있다. 이는 헬리콥터가 지상에서 로터블레이드가 완전히 정지 했을 때, 로터 블레이드의 자중에 의해 발생한다.

2.3.2 블레이드 제원

Table 5는 모델링에 사용된 로터 블레이드의 제원이다.

Table 12 Dimension of a rotor blade

Contents	Properties
Weight (Kg)	295 kg
Radius of rotor blade	8.13m
Chord length	0.53m
Sleeve length	0.8m
Spar thickness	0.007 ~ 0.015m
Skin thickness	0.003m
Airfoil	SC1095

UH-60의 스파의 재질은 티타늄 합금을 주로 사용하였으나 여기서는 피로해석을 위해 알루미늄 합금(7075-T6)을 사용하였다. Table 6은 7075-HV-T6 알루미늄 합금의 물성치이다.

Table 13 Material properties for 7075-T6

Properties	Metric	English
Density	2810 kg/m ³	27556.56 N/m ³
Ultimate Tensile Strength	572 MPa	83000 psi
Tensile Yield Strength	503 MPa	73000 psi
Modulus of Elasticity	71.7 GPa	10400 ksi
Poisson's Ratio	0.33	0.33
Fatigue Strength	159 MPa	23000 psi

Fig. 19에서 해석에 사용한 스파 부분은 곡선을 extrude 시킨 후 생성된 면에 8000개의 Quad element를 meshing 하여 2D 요소인 Shell 을 적용해 유한요소로 모델링 하였다. Fig. 19의 우측 하단이 허브 쪽이고 좌측 상단은 로터 팁 부분이다.

2.3.3 피로해석

금속 피로는 반복하중이 가해지는 요소의 주기

파단이나 손상을 야기하는 일련의 과정이다. 피로 및 파괴에 대한 공학적인 해석은 설계 및 실용상 중요한 문제이다. 피로 균열 발생의 근본원인은 반복적인 전단응력과 변형이다. 모든 경우에 적용될 수 있는 일반적인 피로해석은 없다.

2.3.4 응력-수명(Stress-Life)방법

응력수명 방법[5]은 금속의 피로를 이해하고 정량화하기 위하여 사용된 최초의 방법이다[4]. 이 방법은 재료의 작용응력이 탄성영역 내에 주로 있고 그 결과로 인하여 수명이 긴경우의 설계에 이용된다. 응력수명 방법의 기본은 파괴까지의 반복수(N)에 대한 교번반복응력(S)의 관계로 나타내어지는 Wöhler 또는 S-N 선도이다. S-N 시험 데이터는 그 평균값을 주로 log-log 좌표로 나타내며, Fig. 19에 나타내었다. Fig. 19에 사용한 변수는 아래의 식에 사용한 변수 값이다.

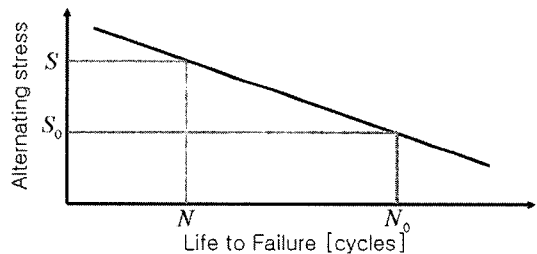


Fig. 19 S-N Diagram for fatigue analysis

$$b = \frac{-(\log S - \log S_0)}{(\log N_0 - \log N)} \tag{2-1}$$

$$\log N_0 \log N = -\frac{1}{b} \log \left(\frac{S}{S_0} \right) \tag{2-2}$$

$$\log N_0 = \log N + \frac{1}{b} \log \left(\frac{S}{S_0} \right) \tag{2-3}$$

$$N = N_0 \left(\frac{S}{S_0} \right)^{\frac{1}{b}} \tag{2-4}$$

식 2-1의 b는 S-N 커브의 기울기 이다. 식 2-2와 식 2-3을 정리하면 식2-4의 파괴까지의 반복수로 정리가 된다.

2.3.5 피로해석 결과

피로 하중 스펙트럼의 무차원 단위를 피로해석에 사용 가능한 응력단위로 바꾸어 주기 위하여 지상하중에 대한 유한요소 해석을 수행하였으며,

이를 이용하여 피로해석을 수행하였다. 금속재를 사용한 로터 블레이드의 경우 설계수명이 2,500 시간이며, 1 블록하중은 97.5시간 이므로 25.65블록하중을 견디어야 한다. 이는 26,909,970사이클이며 로그 수명으로 표현하면 107.43 사이클이 된다. 또한, 축약된 하중 데이터인 Helix/32를 사용할 때에는 2,166,032사이클이며, 106.34 동안 사이클의 하중을 견디어야 한다. 따라서 피로해석은 스파의 두께에 변화를 주면서 실시하였고 설계수명이 해석의 기준이 되었다.

Table 15 Results of fatigue analysis by Helix

Spar Thickness (mm)	피로수명		Damage	최대응력 (정해석, MPa)
	(Cycles)	Log of life		
20	8.06e+10	10 ^{10.9}	1.01e-6	247
15	2.63e+10	10 ^{10.4}	3.84e-5	362
11.3	8.27e+ 8	10 ^{8.92}	1.22e-3	521
11.2	6.74e+ 8	10 ^{8.83}	1.50e-3	520
10	1.01e+ 6	10 ⁶	1	594

응력-수명 방법으로 Msc/Fatigue를 사용해 피로해석 결과는 Table 7과 같다. 스파의 두께에 변화를 주면서 실시한 피로해석에서 설계수명을 기준으로 한 스파의 두께는 11.2mm 이상에서 설계조건을 수렴하였다. Table 7은 Helix 하중이력을 사용해 스파의 두께를 변화 시켜가며 피로해석한 결과이고, Table 8은 Helix/32 하중 이력을 사용해 해석한 결과이며 Fig. 23은 Helix/32의 하중이력이다. Table 8에서 스파두께 10mm에서 1의 손상을 갖고 수명이 104.9사이클인 것은 피로 하중 사이클 수 때문이다. Fig. 24는 피로해석 결과에 대한 로그 수명이며 나온 결과를 10의 지수로 놓으면 그 값이 수명이 된다. Fig. 24에서 6.83+000 값이 나왔으므로 수명은 106.83 사이클이다.

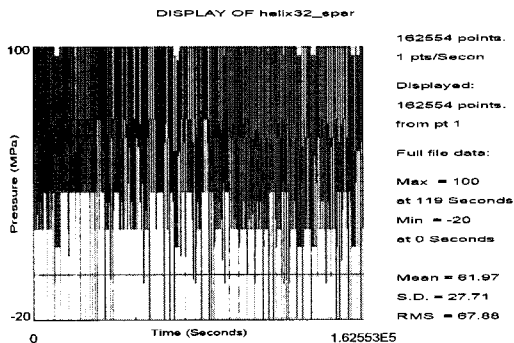


Fig. 20 History of fatigue load by Helix/32

Table 16 Results of fatigue analysis by Helix/32

Spar Thickness (mm)	Damage	피로수명		최대응력 (정해석, MPa)
		(Cycles)	Log of life	
30	8.32e-10	9.77e+13	10 ¹⁴	133
25	1.50e- 8	5.41e+12	10 ^{12.7}	178
20	3.62e- 7	2.24e+11	10 ^{11.4}	247
15	1.50e- 5	5.41e+ 9	10 ^{9.73}	362
11.3	4.67e- 4	1.74e+ 8	10 ^{8.24}	521
11.2	5.24e- 4	1.55e+ 8	10 ^{8.19}	520
10	1	8.13e+ 4	10 ^{4.9}	594

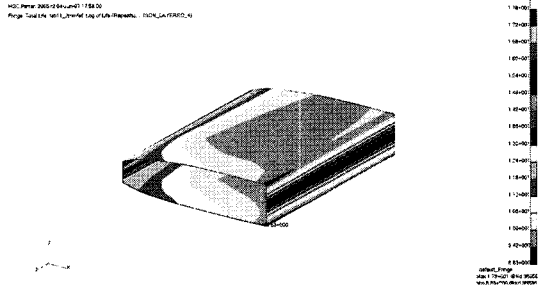


Fig. 21 Results of fatigue analysis, 11.2mm, (Log)

Fig. 23에서 보듯이 인근 부근 노드가 가장 수명이 작았으며 모델링 된 스파의 하단 후방 부근에 위치하고 있었다.

III. 결 론

본 연구를 통하여 한국형 헬리콥터가 사용되는 용도에 따라 임무를 정의하고 임무비행에 따른 비행하중이력을 생성하기 위하여 기존의 Helix를 수정 및 확장하여 하중 스펙트럼을 생성하여 보았다. 생성된 하중 이력을 블레이드 스파에 수명-응력방법을 적용하여 피로해석을 실시하여 보았으며 그에 따른 블레이드 스파 구조물의 수명을 예상할 수 있었다. 하중 스펙트럼 Helix 데이터와 단축된 Helix/32 데이터의 사용에 있어 단축된 데이터를 사용하는 것이 수명이 더 작아지게 하였으나 시간을 약10배정도 단축 할 수 있었다.

후 기

본 연구는 산업자원부지원의 한국형헬기 민군겸용 구성품 개발사업과 21세기 프론티어 기술개발사업인 스마트 무인기 개발사업의 지원으로 이루어졌습니다. 이에 감사드립니다.

참고문헌

- [1] P. R. Edwards and J. Darts, 1984, "Standardised fatigue loading sequences for helicopter rotors," RAE Technical report 84084, pp.5~33.
- [2] P. R. Edwards and J. Darts, 1984, "Final definition of Helix and Felix," RAE Technical report 84085, pp.1~110.
- [3] J. Darts and D. Schütz, 1980, "Development of standardised fatigue test load histories for helicopter rotors basic consideration and definition of Helix and Felix," In Helicopter fatigue life assesment, AGARD CP-297, pp.1~41.
- [4] Simon Newman, 1994, "The Fonnation of Helicopter Flight," Edward Arnold, pp.1~140
- [5] Julie A. Bannantine, 2005, "Fundamentals of metal fatigue analysis," Chungmoongak Publisher, pp.1~261.