

QFD(Quality Function Deployment)를 이용한 다목적 헬리콥터의 시스템 요구도 분석

System Requirement Analysis of Multi-Role Helicopter by Implementing Quality Function Deployment

김민지*, 박미영, 노대홍, 이재우(건국대학교)

1. 서론

제자리 비행성능은 헬리콥터의 가장 큰 장점으로 그 기능과 임무능력에 대한 관심이 높아지고 있다. 따라서 헬리콥터의 전진비행, 제자리 비행 등과 같은 임무수행 능력에 따르는 많은 요구조건들에 대한 적절한 구성이 절대적으로 필요하다[1]. 본 연구에서는 현재 운용 중인 헬리콥터들을 선정하여 수송 및 운송 임무에 적합한 다목적 헬리콥터를 위한 시스템 요구도를 선정하고자 한다. 시스템 요구도 분석은 시스템 공학에서 많이 사용되고 있는 품질기능 분석기법(QFD: Quality Function Deployment)을 이용하며, 수많은 요구도와 설계인자 중에서 수요자의 요구에 가장 잘 부합되는 항목을 Morphological Matrix로부터 추출하여 Pugh Concept Selection Matrix에서 분석한 후 다목적 헬리콥터의 시스템 요구도와 형상 및 계통에 대한 설계개념(Design Conceptual)을 정립하고자 한다[2].

II. 시스템 설계 및 시뮬레이션

1. 시스템 요구도 정립 과정

먼저 수요자가 임무요구(Mission Needs) 및 운영개념(Operational Concepts)등을 명시하는 기본적인 운영 요구도(Operational Requirements)를 제시하면 설계자의 입장에서 수요자의 시스템 요구사항을 설계의 입력 자료로 구현하기 위하여 짧은 시간 내에 구성원들의 집단 사고를 통하여 새로운 아이디어와 자유로운 사고를 만들어내는 브레인스토밍 기법[3]을 이용하여 수많은 설계인자들을 선정하고, 이를 친화도(Affinity Diagram), 계통도(Tree Diagram), 연관도(Interrelationship Diagram)로 정리, 분류한다. 그리고 나서 수요자의 요구에 가장 잘 부합되는 항목을 추출하기 위하여 품질기능 분석기법(QFD: Quality Function Deployment)을 사용하고, Morphological Matrix를 이용하여 추출된 항목을 더욱 세분화한 후 시스템 설계가 가능한 개념들로 분류한다. 마지막으로 Pugh Concept Selection Matrix를 이용하여 분류된 각각의 개념들에 점수를 주어 시스

템 요구도에 적합한 설계개념을 찾게 된다. 그림 1은 시스템 요구도 분석 및 정립과정을 보여준다[4].

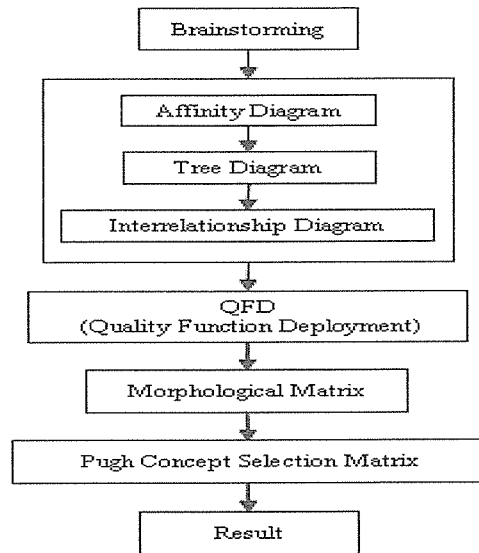


그림 1. 시스템 요구도 정립과정

3. 사용자 요구사항 결정 과정

현재 운용중이며, 수송 및 운송 임무가 가능한 헬리콥터들을 민수용(표2, 그림2)과 군수용(표3, 그림3)으로 구분하여 각각의 제원들을 비교하여 보았다. 각각의 제원들은 그 값을 가지는 헬리콥터들 중에서 가장 큰 값(군수용: 2(승무원 수), 14(승객 수), 6003(공허중량), 178(최대속도), 534(Range)/ 민수용: 2(승무원 수), 14(승객 수), 8292(공허중량), 180(최대속도), 550(Range))으로 나누어 무차원화 하였다. 표 3은 각 제원들의 평균값을 보여준다.

표 2. 민수용 헬리콥터 모델

모델명	제조사
UH-1H	Bell Helicopter
UH-1N	Textron
AS365N2	European Aeronautic Defence and Space Company
AS365N3	
BK117C1	
EX145	
EC155B1	

* 김민지 건국대학교 대학원 항공우주공학과

* 박미영, 노대홍 건국대학교 항공우주공학과

* 이재우, 건국 대학교 항공우주공학과

*E-mail : jwlee@konkuk.ac.kr

표 3. 군수용 헬리콥터 모델

모델명	제조사
212	Bell Helicopter Textron
230(Wheels)	
412	
430(Wheels)	Kawasaki Heavy Industries
BK-117B-2	
BK-117C-2	
H-76	Sikorsky Aircraft
S-76Mk.2	
S-76C+	
Super Lynx 300	Westland Helicopter

그림 4에 나타난 대부분의 다목적 헬리콥터가 수행하는 가장 기본적인 임무형상과 표 3에 나타난 각 헬리콥터들의 제원을 토대로 본 연구에서 분석하고자 하는 헬리콥터의 사용자 요구사항을 표 4에서 나타내 보았다.

4. 친화도(Affinity Diagram)

친화도는 브레인스토밍 기법을 통하여 도출된 다양한 아이디어들을 유사성이나 연관성에 따라 묶는 (Grouping) 방법이다[5]. 이 기법을 이용하면 다양한 아이디어들을 연관성이 높은 순서로 묶어서 정리할 수 있기 때문에 아이디어들 사이의 연관관계를 파악하는 것이 쉽다.

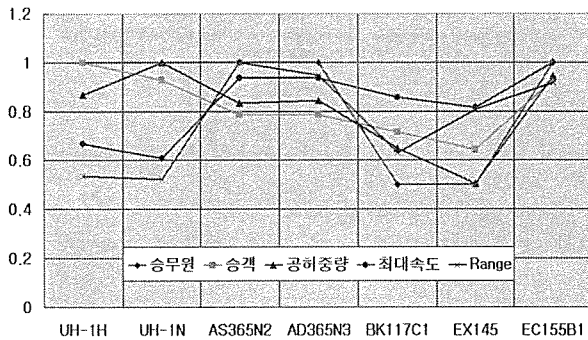


그림 2. 민수용 헬리콥터들의 제원 비교

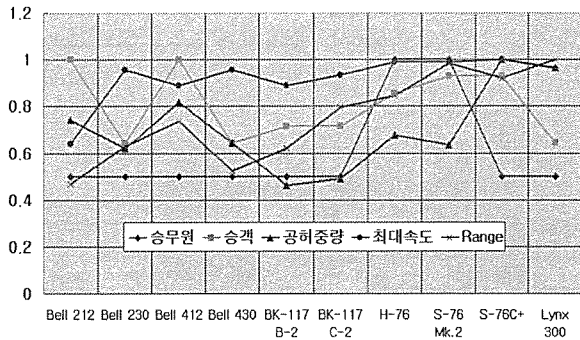


그림 3. 군수용 헬리콥터들의 제원 비교

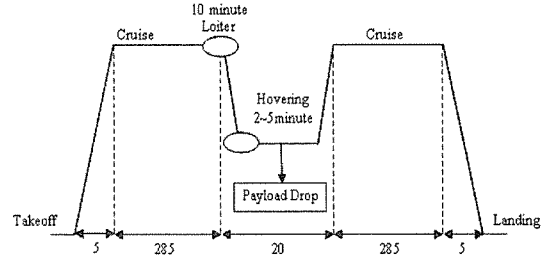


그림 4. 임무형상

표 3. 헬리콥터 모델들의 제원 평균값

	군수용 헬기	민수용 헬기
승무원 수	1.7	1.31
승객 수	11.6	11.4
공허중량(lb)	4838.3	5788
항속거리(mile, km)	408.9, 658	405, 651.8
최대속도(MPH, km/h)	158, 254.3	164, 264

표 4. 사용자 요구사항

항목	요구 성능	비고
탑승인원	12명	
공허중량(lb)	5000	
항속속도(km/h)	210	공격용 헬기는 더 증가될 수 있음
최대속도(km/h)	260	
항속거리(km)	600	
항속시간(hr)	2시간	외부 연료 탑재 시 더 추가
제자리비행고도(ft)	5,000	
엔진개수(개)	2	

5. 계통도(Tree Diagram)

계통도는 정해진 목표를 달성하기 위하여 수단을 찾고, 또 그 수단을 달성하기 위하여 하위 수준의 수단을 찾아가면서 최적의 목적 달성 수단을 찾는 방법이다[5]. 계통도는 문제의 해결방법이나 수단이 아직 개발되지 않은 경우에 사용되며, 큰 목표를 작고 구체적인 실행 과정으로 분해, 전개하여 문제를 해결하거나 목표를 달성하기 위하여 최적의 수단과 방법을 찾는 데 이용된다.

6. 연관도(Interrelationship Diagram)

연관도는 설계인자들의 연결 관계대한 인과관계를 설명함으로써 복잡한 문제의 원인을 분석할 때 사용한다. 또한 친화도와 계통도를 그린 후 더욱 자세히 아이디어들의 연관성을 조사하기 위하여 사용되며, 이를 바탕으로 중요한 항목을 잘 파악할 수 있다[5].

7. 품질기능전개 분석기법

(QFD: Quality Function Deployment)

지금까지 친화도, 계통도, 연관도에서 결정한 설계인자들을 바탕으로 시스템 요구도 분석을 수행하기 위하여 품질기능 분석기법을 이용하였다[3]. 먼저 각각의 설계 요구도를 파악하고 서로의 상관관계를 살펴본 후, 중요도에 따라 점수를 부가하여 최종적으로 설계 요구도를 가장 중요한 순서대로 나타내 보았다. 1차 House of Quality에서는 90점 이상의 점수를 가지는 설계 요구도를 더욱 세분화하여 2차 House of Quality로 구성해

보았다. 그리고 다시 한 번 중요도에 따라 점수를 부가하여 높은 점수를 가지는 설계 요구도들을 다음 설계개념 단계에서 사용하였다. 그림 5는 1차 House of Quality를, 그림 6은 2차 House of Quality를 보여준다. House of Quality에서 각각 설계 요구도들 사이의 연관관계는 다음과 같이 정의한다.

- ◎: 연관이 매우 있음(3점),
- : 연관이 보통 있음(2점),
- △: 연관이 조금 있음(1점),
- 빈 칸: 연관이 없음(0점)

각각 설계 요구도의 중요도에 따라서 Customer Importance는 1에서 10까지, Technical Difficulty는 1에서 5까지 점수를 주고 설계 요구도 사이의 연관관계와 중요도를 함께 고려하여 Absolute Importance를 계산하였다. 이는 2차 House of Quality에서도 마찬가지이다.

Absolute Importance 결과, 1차 House of Quality에서는 동력계통, T/W, Navigation, 제자리 비행성능, 공허중량의 순서로 2차 House of Quality에서는 엔진 개수, High Hover L/D, High Cruise L/D, Minimize Size, Control System의 순서로 중요도가 높게 나타난 것을 알 수 있다.

8. Morphological Matrix

2차 House of Quality의 Absolute Importance 결과, 50점 이상의 점수를 가지는 설계 요구도를 이용하여 작성한 Morphological Matrix를 표 5에 나타내 보았다. 설계 요구도 중에서 Engine Type과 No. of Engine은 미리 결정된 사항이다.

Morphological Matrix에 나타난 설계 요구도를 조합하여 8가지의 각각 다른 설계 개념들과 이를 비교하기 위한 기본 개념 한 가지를 표 6과 7에 나타내 보았다.

9. Pugh Concept Selection Matrix

Pugh Concept Selection Matrix를 이용하여 앞의 1차 House of Quality에서 높은 점수를 받은 설계 요구도들과 총 9가지의 설계 개념들의 연관관계를 살펴보았다.

각각의 항목은 연관관계에 따라서 +, S, -로 나타내고 총 항목들의 개수를 모두 더하여 최종 점수를 구하였다.

따라서 표 8의 6번이 본 연구에서 제시한 임무형상과 사용자 요구사항을 가장 잘 만족시키는 설계 개념임을 알 수 있었다.

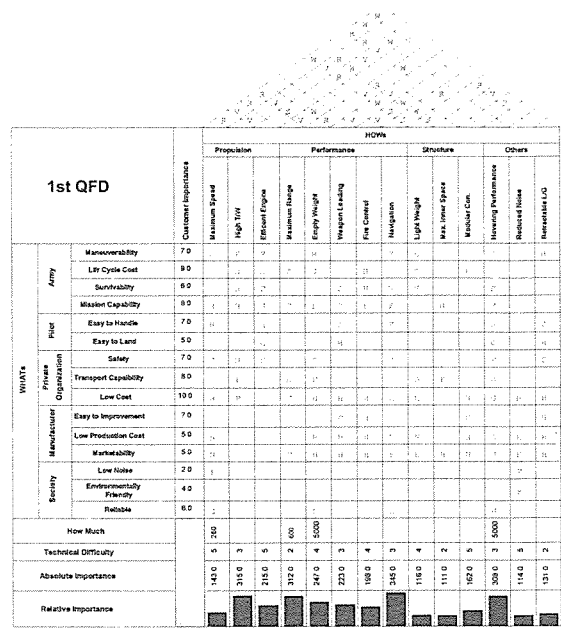


그림 5. 1차 House of Quality[6]

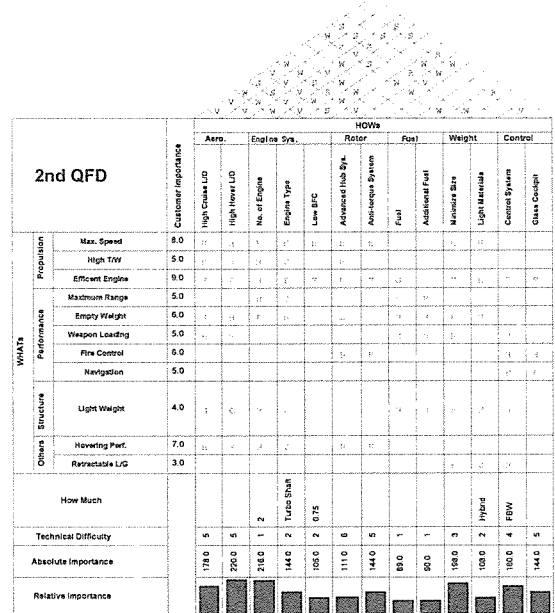


그림 6. 2차 House of Quality[6]

☒ 5. Morphological Matrix[7, 8]

Characteristics		Alternatives			
		1	2	3	4
Configuration	Anti-Torque	Conventional Type	Fenestron	Notar	High Located Tail
	Hub System	Articulated	Hingeless	Bearingless	
	Horizontal Stability	Oneside	Bothside		
	Vertical Stability	Conventional Tail	T-Tail	Ventral Fin	
	Wing	None	Short Wing For Weapon Loding		
Control	System Type	Hydraulic	Fly By Wire		
Aero	Cruise Mode	Main Rotor	Main Rotor + Wing		
	Parasite Drag	Fixed L/G	Internal Weapons Bay	Retractable L/G	
	No. of Blade	4	5		
	Reduced Noise	None	BERP		
Propulsion	Engine	Turbo Shaft			
	No. of Engine	2			
Structure	Material	Aluminum		Composite	Titanium
	Type	Monocoque		Hybrid	

☒ 6. Combining Concepts I [7, 8]

	Base Line	Config. 1	Config. 2	Config. 3	Config. 4
Anti-Torque	Conventional	Conventional	Conventional	High Located Tail	High Located Tail
Hub System	Fully Art.	Hingeless	Bearingless	Hingeless	Bearingless
Horizontal Stability	Oneside	Oneside	Oneside	Bothside	Bothside
Vertical Stability	Conventional Tail	Conventional Tail	Conventional Tail	Conventional Tail	Conventional Tail
Wing	None	Short Wing For Weapon Loding	None	Short Wing For Weapon Loding	None
System Type	Hydraulic	Hydraulic	FBW	FBW	FBW
Cruise Mode	Main Rotor	Main Rotor + Wing	Main Rotor	Main Rotor + Wing	Main Rotor
Profile Drag	Fixed L/G	Retractable L/G	Internal Weapons Bay	Retractable L/G	Retractable + Internal
No. of Blade	4	4	4	4	5
Induced Noise	None	None	BERP	BERP	BERP
Engine	Turbo Shaft	Turbo Shaft	Turbo Shaft	Turbo Shaft	Turbo Shaft
No. of Engine	1	2	2	2	2
Material	Aluminum	Composite	Composite	Composite	Titanium
Type	Monocoque	Monocoque	Hybrid	Hybrid	Hybrid

☒ 7. Combining Concepts II [7, 8]

	Base Line	Config. 5	Config. 6	Config. 7	Config. 8
Anti-Torque	Conventional	Fenestron	Fenestron	Notar	Notar
Hub System	Fully art.	Fully art	Hengeless	Hingeless	Bearingless
Horizontal Stability	Oneside	Bothside	Bothside	Articulated Oneside	None
Vertical Stability	Conventional Tail	Conventional Tail	Conventional Tail	T-Tail	T-Tail
Wing	None	None	Short Wing For W/L	None	Wing
System Type	Hydraulic	Hydraulic	FBW	FBW	FBW
Cruise Mode	Main Rotor	Main Rotor	Main Rotor + Wing	Main Rotor	Main Rotor + Wing
Drag	Fixed L/G	Internal Weapons Bay	Retractable L/G	Retractable L/G	Retractable L/G
No. of Blade	4	4	4	4	5
Induced Noise	None	None	BERP	None	BERP
Engine	Turbo Shaft	Turbo Shaft	Turbo Shaft	Turbo Shaft	Turbo Shaft
No. of Engine	1	2	2	2	2
Material	Aluminum	Composite	Titanium	Composite	Composite
Type	Monocoque	Monocoque	Hybrid	Monocoque	Hybrid

☒ 8. Pugh Concept Selection Matrix

Criteria	Concepts									
	B	1	2	3	4	5	6	7	8	
High Cruise L/D & Drag	-	S	S	S	+	S	+	S	+	
High Hover Loiter Efficiency	S	S	S	-	S	+	S	S	S	
T/W Available	-	S	S	S	S	S	+	S	S	
Payload	-	S	S	S	S	S	S	S	S	
Rotor System	-	S	+	S	S	-	S	S	+	
Low SFC	+	S	S	-	S	S	S	S	S	
Materials	-	S	S	S	+	S	+	S	+	
Reduced Noise	S	S	S	S	+	S	S	S	+	
Fight Controls	S	S	+	+	S	S	+	+	+	
Small Size	S	S	+	-	+	+	S	+	+	
Maneuverability	S	S	+	+	+	S	+	S	S	
Safety	-	S	S	S	+	S	S	-	+	
Mission Capability	-	S	S	+	+	S	+	-	-	
Life Cycle Cost	S	S	-	S	-	S	S	-	-	
Technology Maturity	-	S	+	S	+	S	+	+	+	
Low Cost	+	S	-	S	-	-	-	-	-	
Marketability	-	-	S	+	S	+	+	-	-	
Total +	2		5	4	8	3	8	3	8	
Total S	6	16	10	10	7	12	8	9	5	
Total -	9	1	2	3	2	2	1	5	4	
Score	-7	-1	3	1	6	1	7	-2	4	
* + : Indicating Superior Performance S : Indicating Similar Performance - : Indicating Inferior Performance										

III. 결 론

본 연구에서는 다목적 헬리콥터에 대한 임무형상과 사용자 요구사항을 고려하여 1, 2차 House of Quality에서 설계 요구도를 선정 한 후 Morphological Matrix와 Pugh Concept Selection Matrix를 통하여 가장 적합한 설계 개념을 찾는 과정을 정립하였다. 이와 같은 방법은 현재 문제 접근 방법이나 수단이 결정되지 않은 경우의 가능한 모든 시스템에서 사용할 수 있다.

후기

본 연구는 스마트 무인기 기술개발사업(B1-3)으로 수행되었으며 연구비를 지원해 주신 스마트 무인기 기술 개발 사업단에 감사드립니다.

참고문헌

- [1] 항공기설계교육연구회, 항공기 개념설계, 경문사, 2001.
- [2] D. Schrage, Pre-Conceptual Design Study for Advanced VTOL UAV Through Integrated Product and Process Development Methodology, Internal Report G.A. Tech, 2002.
- [3] 이홍우, 품질경영, 삼영사, 2002.
- [4] Steven A. Brandt, Randall J. Stiles, John J. Bertin, Ray Whitford, Introduction to Aeronautics: A Design Perspective, AIAA Education Series, American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc., 1997
- [5] 박영택, 공공행정부문 Single PPM 품질혁신, Single PPM 품질혁신추진본부, 2000.
- [6] Qual Soft, LLC, QFD Designer v4.0, 2000.
- [7] J. Seddon, Simon Newman, Basic Helicopter Aerodynamics Second Edition, America Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc., 2001
- [8] R. W. Prouty, Helicopter Aerodynamics, PJS Publications Inc., 1985