

미국의 민수용 단발-쌍발 터빈엔진 헬기 사고 경향분석

글 / 이 정 훈 kariere@kari.re.kr, 김 영 일

한국항공우주연구원 정책협력부 정책개발팀

초 록

헬리콥터와 같이 비행 중 고장 또는 작동 불능 시 대처가 용이하지 않고 대형의 참사로 이어지는 비행체에 대해서는 안전이 최우선으로 고려되어야 한다. 미국의 국가교통안전위원회에서는 1963년부터 1997년까지 34년간 민간부문의 회전익기의 사고를 조사하여 분석한 바 있다. 본 논문은 터빈엔진 헬리콥터의 사고 동향을 파악하여 헬리콥터 안전 운항에 기여하고, 또한 한국형 중형 민수헬기를 개발하기에 앞서 주요 설계요소를 고려하기 위하여 NTSB에서 미국의 민수용 단발 및 쌍발 터빈 엔진 헬리콥터 사고에 대하여 유형별로 집계, 조사한 결과를 인용하여 전반적인 사고 경향, 사고 유형 또는 원인, 활동별, 운용 단계별에 사고에 대하여 심층적으로 비교, 분석하였다.

주제어 : 헬리콥터, 사고조사, NTSB, 터빈헬기

1. 머리말

1959년 처음으로 헬리콥터에 의한 여객운송이 미국의 뉴욕에어웨이즈사에 의해 이루어진 이래, 헬리콥터는 여객운송, 인명구조, 응급환자수송, 산불진화, 화물수송, 관광, 항공사진촬영, 레저스포츠 등 다양한 분야에서 활용되고 있다. 미국의 민간분야 회전익기는 1946년의 10대, 1964년말의 2,196대에서 1997년 12월말의 12,911대로 증가하였다. 이 기간동안 단발 피스톤엔진의 헬리콥터가 지속적으로 증가하였고 아직도 단발 피스톤엔진이 다량 판매되고 있지만 1960년대 중반이후에는 단발의 터빈엔진이 도입되기 시작하였다. 1997년에 단발의 피스톤엔진과 단발의 터빈엔진 헬리콥터가 거의 동등한 수로 등록되었고(각각 5,000대), 1970년대 후반에 다량으로 판매되기 시작한 쌍발 터빈 헬리콥터는 1997년말에 1,200대 등록

을 약간 초과하였다.

미국의 국가교통안전위원회(NTSB, National Transportation Safety Board)에서는 1963년부터 1997년까지 34년간 민간부문의 회전익기의 사고를 조사한 바 있다. 상용으로 제작된 회전익기의 사고 8,436건 중에서 단발 터빈 헬리콥터는 2,247건, 쌍발 터빈 헬리콥터는 302건으로 집계되어 단발 터빈 헬리콥터가 쌍발에 비하여 약 7.5배의 사고 건수를 보이고 있다. 항공기 사고의 유형은 인적요인에 의한 사고가 약 80%, 환경적요인에 의한 사고가 약 5%, 물적요인에 의한 사고가 약 15%로 나타나고 있다. 엔진수를 불문하고 터빈 헬리콥터 사고의 대략 70%가 엔진동력 상실, 비행 중 물체충돌, 조종성 상실, 기체/부품/계통의 결함/기능장애 등의 네 가지 사고유형과 관련이 있다.

본 논문에서는 NTSB에서 미국의 민수용 단발

및 쌍발 터빈 헬리콥터 사고에 대하여 유형별로 집계, 조사한 결과를 인용하여 전반적인 사고 경향, 사고 유형 또는 원인, 활동별, 운용 단계별에 사고에 대하여 심층적으로 비교, 분석하였다.

2. 미국의 민수용 헬기사고 개요

1963년부터 1997년까지 34년간 8,436건에 달하는 전체 회전익기 사고의 70%가 다음의 네 범주에 속한다.

- ▶ 엔진 동력 상실 : 2,408 (28.5%)
- ▶ 비행 중 물체 충돌 : 1,322 (15.7%)
- ▶ 조종성 상실 : 1,114 (13.2%)
- ▶ 기체/부품/계통 결함 또는 기능장애 : 1,083 (12.8%)

또한 동기간에 대하여 사고 건수와 이에 따른 사상자 수는 아래와 같으며, 엔진형태별 사고분포는 표 1에 나타내었다.

표 1. 엔진형태별 민수 헬리콥터 사고분포

NTSB 분류 사고유형	상용 제작			아마 추어 형식	계
	단발 피스톤	단발 터빈	쌍발 터빈		
	건 (%)	건(%)	건(%)		
엔진 동력 상실	1,554 (28.9)	704 (31.3)	39 (12.9)	111 (21.5)	2,408 (28.5)
비행 중 물체 충돌	953 (17.7)	298 (13.3)	43 (14.2)	28 (5.4)	1,322 (15.7)
조종성 상실	625 (11.6)	284 (12.6)	40 (13.2)	165 (32.0)	1,114 (13.2)
기체/부품/계통 결함/기능장애	639 (11.9)	282 (12.6)	89 (29.5)	73 (14.1)	1,083 (12.8)
경착륙	483 (9.0)	140 (6.2)	8 (2.6)	25 (4.8)	656 (7.8)
비행 중 지형 /수면 충돌	443 (8.2)	143 (6.4)	16 (5.3)	40 (7.8)	642 (7.6)
전 부	290 (5.4)	119 (5.3)	4 (1.3)	20 (3.9)	433 (5.1)
기 상	57 (1.1)	85 (3.8)	12 (4.0)	5 (1.0)	159 (1.9)
기 타	327 (6.1)	192 (8.5)	51 (16.9)	49 (9.5)	619 (7.3)
계	5,371	2,247	302	516	8,436

- ▶ 사 고 : 8,436 건
- ▶ 사상자 : 16,825 명
 - 사 망 : 2,135 명
 - 중 상 : 1,760 명
 - 경 상 : 12,930 명
- ▶ 기체파손 : 8,436 대
 - 전 파 : 2,363 대
 - 파 손 : 5,909 대

3. 단발터빈헬기 vs 쌍발터빈헬기

쌍발 터빈 헬리콥터는 1961년 민수분야에서 처음으로 도입되어 사용되었다. 쌍발 터빈 헬리콥터는 두 가지 이유로 개발되었다. 첫째는, 많은 경우에 어떠한 단발 터빈 엔진도 더 큰 헬리콥터의 유상하중에 대한 요구사항을 만족할 만큼 출력이 충분하지 않았고, 둘째로는, 두개의 엔진이 안전성을 증진시킬 것이라는 인식이 산업계에 널리 퍼져 있었다. 실제로, 쌍발엔진 헬리콥터는 한쪽 엔진 불가동 시, 안전성을 향상시킨다.

3.1 엔진의 동력상실

쌍발 터빈 헬리콥터의 도입으로 엔진 동력 상실에 의한 사고가 단발 터빈 헬리콥터의 31%에서 13%로 비약적으로 감소되었다. 이는 쌍발 헬리콥터가 동력상실 시 단발 헬리콥터에 비하여 높은 안전성을 발휘하는데 기인한, 당연한 결과로 판단된다. 그러나 헬리콥터가 클수록 많은 승객을 수송할 능력을 갖게 되므로 대형 사고를 일으켜 많은 사상자가 발생할 가능성이 높다. 장착 엔진 수에 무관하게 터빈 헬리콥터는 동력상실에 의한 사고 중 40% 이상이 연료고갈 등을 포함한 공기/연료 혼합계통에 의해 발생되었다는 것을 알 수 있다.(표 2)

3.2 비행중 물체충돌

비행 중 물체 충돌 사고를 백분율로 비교할 때 단발 터빈 헬리콥터와 쌍발 터빈 헬리콥터는 각각

13.3%와 14.2%를 차지하고 있다. 비행 중 물체 충돌 사고에 있어서 단발 터빈 헬리콥터는 전선, 철탑, 나무를 비롯하여 충돌한 물체가 고르게 분포되어 있다.(표 3) 이에 비하여 쌍발 터빈 헬리콥터는 전선, 비행장/헬기장 시설과의 충돌이 압도적으로 많다.

표 2. 터빈 헬리콥터의 엔진 동력 상실에 의한 사고의 유형 비교

사 고 유 형		단발	쌍발
엔진 구조		189	15
사고와 관련된 공기/연료 혼합	연료 고갈	82	1
	연료 계통	92	3
	연료 오염	43	1
	연료 부족	26	5
	연료 제어	27	3
	흡기 계통	26	4
	연료 부적합	3	0
기타 엔진 계통		17	1
로터 구동 계통		7	0
기타 하부 유형		11	0
미확인/기타		181	6
총 계		704	39

표 3. 터빈 헬리콥터의 물체가격에 의한 충돌 사고의 유형

사 고 유 형	단발터빈	쌍발터빈
전 선	310	13
전선/철탑	197	0
나 무	148	7
기둥/파이프	47	2
비행장/헬기장 시설	32	12
담/담의 기둥	26	2
바위/수풀/지형	30	1
운반체	35	0
농작물	35	0
FOD	19	1
건 물	29	1
비행기	14	2
철 탑	8	2
조류충돌	7	0
미확인 물체	10	0
기 타	8	0
총 계	298	43

표 4는 물체와 충돌에 의한 사고에 있어서 원인을 나타내고 있다. 터빈 헬리콥터의 비행 중 물체 충돌에 의한 사고는 다른 원인이 동반되었다고 해도 조종사의 부적절한 결정이 가장 많은 사고의 원인이었음을 보이고 있다.

표 4. 터빈 헬리콥터의 비행 중 물체 충돌 사고의 원인

사 고 유 형	단발터빈	쌍발터빈
부적절한 결정	77	8
미결정	37	2
시야수준 감소	34	5
과약 및 회피 실패	32	2
바람에 의한 유동	21	3.5
회피 주의	18	1
잠복 지형	16	0.5
피로수명 한계	15	1
물체 근접	14	2.5
장 비	13	1
부적절한 회전수/성능	12	0.5
부적절한 선회 간격	11	2.5
부적절한 정보	0	3.5
총 계	298	33

3.3 조종성 상실

비행 중 조종성 상실에 의한 사고에 있어서, 단발 터빈 헬리콥터는 2,247의 사고 중 284건이며, 쌍발 헬리콥터는 사고 전체 302건 중에서 40건으로 각각 13% 정도 차지하고 있다. 터빈 엔진 헬리콥터의 조종성 상실 사고의 원인을 표 5와 같이 분류할 수 있다.

표 5. 터빈 헬리콥터의 조종성 상실 사고의 원인

사 고 유 형	단발터빈	쌍발터빈
조종장치의 부적절한 운용	82	8
로터 저회전수	8	1
바 람	28	5
미결정	32	4
지상장비에 접촉/걸림	30	3
비행 조종장치 파손/결함	14	6
중량/CG	14	0
시각적 기준점 상실/공간적 혼란	36	7
부적격 운용	6	0
기체/계통 고장 또는 기능장애	7	1
부적절한 사전 비행 계획	5	0
기 타	22	5
총 계	284	40

터빈 엔진 헬리콥터는 조종장치의 부적절한 운용과 시각적 기준점 상실/공간적 혼란 등이 조종성 상실 사고의 가장 큰 원인으로 지목되고 있다. 그러나 단발 터빈 헬리콥터에서는 모든 유형에 고르게 분포되어 있는 반면 쌍발 터빈 헬리콥터에서는 일부에 집중되어 있는 것으로 집계되었다.

3.4 기체/부품/계통 결함 또는 기능장애

국가교통안전위원회는 1965년부터 1997년까지 단발 및 쌍발 터빈 헬리콥터에 있어서 기체/부품/계통 결함 또는 기능장애에 의한 사고가 각각 282건과 89건이라고 하였다. 쌍발 터빈 헬리콥터의 기체결함은 29%로 단발 터빈 (2,247건의 12.8%) 헬리콥터에 비하여 거의 2배에 이른다. 이것은 쌍발 엔진 헬리콥터의 구조가 단발 엔진 헬리콥터에 비하여 복잡한 것이 원인인 것으로 판단된다. 백분율을 근거로 비교할 때, 단발 터빈 헬리콥터와 쌍발 터빈 헬리콥터는 사실상 동일한 기체결함 문제가 발생되었다. 쌍발 터빈 헬리콥터 기체결함의 대부분은 주로터와 꼬리로터 모두에 대한 구동 계통과 로터 계통의 고장이었다. 이러한 기체결함에 의한 사고에 대하여 동력전달장치, 구동축, 로터 블레이드, 그리고 허브 문제로 발생된 것이 68%를 초과하여 백분율을 기준으로 쌍발 터빈 헬리콥터는 단발 터빈 헬리콥터와 대체로 동일하다.

단발 터빈 헬리콥터와 쌍발 터빈 헬리콥터의 주요 계통의 고장에 대한 사고 건수는 표 6에 나타내었다.

표 6. 터빈 헬리콥터의 기체결함 사고 비교

기체 주요 계통	단발 터빈		쌍발 터빈	
	수	%	수	%
구동트레인-주	49	17.3	13	14.6
구동트레인-꼬리	54	19.1	19	21.3
주 로터	36	12.8	19	21.3
꼬리 로터	52	18.4	10	11.2
조종계통-주	29	10.3	11	12.3
조종계통-꼬리	11	3.9	7	7.9
기체 (동체, 부계통)	41	14.5	8	9.0
착륙장치	2	0.7	2	2.2
엔진	3	1.1	0	0
미결정/기타	5	1.8	0	0
총 계	282	100	89	100

이 자료에 의하면 단발엔진에서 쌍발엔진으로 변화했음에도 불구하고 여전히 기체 주계통이 완벽하게 개선되지 않은 것으로 추정된다. 단발 터빈 헬리콥터와 마찬가지로 쌍발 터빈 헬리콥터에 있어서도 구동계통 및 로터계통 모두 피로에 의한 결함이 주된 원인이었다. 단발 터빈 헬리콥터의 쌍발 터빈 헬리콥터의 결함 모드/시스템 매트릭스를 표 7과 8에 각각 나타내었다.

표 7. 단발터빈 헬리콥터 결함 모드/시스템 매트릭스

고 장 모 드	구동 계통	로터 계통	조종 계통	기체 착륙 장치	기타	계
피 로	26	21	5	17	1	70
부적절한 조립, 장착정비	15	5	14	4	1	39
재질 결함	0	30	0	0	0	30
미확인/보고되지 않음	6	6	5	7	2	26
고 장	15	3	1	5	0	24
분 리	13	3	4	1	1	22
외부 물체에 의한 손상	8	11	0	2	0	21
과하중	9	0	2	0	0	11
조종사 행위/운영 원인	2	0	1	5	3	11
윤활 부족	0	6	0	0	0	6
미끄러짐	1	0	5	0	0	6
미연결	4	0	0	1	0	5
블레이드-기체 충돌	1	0	2	1	0	4
적층박리/ 접촉이탈	1	3	0	0	0	4
베어링 결함	2	0	0	0	0	2
Bent/binding/jam	0	0	1	0	0	1
블레이드-기체 충돌	0	0	0	0	0	0
총 계	103	88	40	43	8	282

표 8. 쌍발터빈 헬리콥터 결함 모드/시스템 매트릭스

고 장 모 드	구동 계통	로터 계통	조종 계통	기체 착륙 장치	계
피 로	13	13	4	3	33
부적절한 조립, 장착 정비	3	1	7	3	14
재질 결함	3	2	2	0	7
미확인/보고되지 않음	1	4	1	1	7
고 장	1	3	2	0	6
분 리	5	0	0	0	5
외부 물체에 의한 손상	1	4	0	0	5
과하중	2	0	0	2	4
조종사 행위/운영 원인	1	1	0	1	3
윤활 부족	1	0	1	0	2
미끄러짐	0	1	0	0	1
미연결	0	0	1	0	1
블레이드-기체 충돌	1	0	0	0	1
총 계	32	29	18	10	89

단발과 쌍발 터빈 헬리콥터는 모두 주로터와 꼬리 로터 계통과 꼬리로터 구동 트레인, 꼬리로터 시스템, 또는 꼬리로터 조종장치의 결함 또는 기능장애 때문에 반토크와 방향 조종성을 상실한 경우가 사고의 가장 큰 원인으로 분석되었다. 쌍발 터빈 헬리콥터의 경우에는 엔진의 결함에 의한 사고는 전혀 없었다. 기체/부품/계통 결함 또는 기능장애가 원인인 터빈 헬리콥터의 사고를 살펴보면, 단발 헬리콥터 보다 쌍발 헬리콥터에서 피로에 의한 결함이 기체결함 사고의 주된 원인인 것으로 결론내릴 수 있다. 이는 대부분의 쌍발 터빈 헬리콥터가 단발 터빈 헬리콥터를 기본으로 하여 발전시킨 것이 원인으로 추측된다.

4. 터빈헬기사고 종합

1963년부터 1997년까지 단발 및 쌍발 터빈 헬리콥터의 사고에 의한 인명 손실 및 기체 파손 정도를 표 9와 10에 각각 나타내었다. 대체로 쌍발 터빈헬리콥터는 단발 터빈에 비하여 파손 정도가 크고 사망률도 더 높게 집계되었다. 이는 쌍발 헬리콥터가 대형이 많으므로 파손율이나 사망률 면에서 대형 사고를 일으킬 가능성이 높기 때문으로 판단된다.

표 9. 단발 터빈 헬리콥터 사고의 인명/기체 손실 비교

항 목		동력 상실	물체 충돌	조종 상실	기체 결함
인명 사상	사 망	129	140	155	157
	중 상	237	106	123	110
	경 상	1480	442	476	438
	계	1,846	688	754	705
기체 손실	전 과	139	114	125	111
	부분적 손상	546	182	159	163
	경미/무손상	19	2	0	8
	계	704	298	284	282

표 10. 쌍발 터빈 헬리콥터 사고의 인명/기체 손실 비교

항 목		동력 상실	물체 충돌	조종 상실	기체 결함
인명 사상	사 망	16	35	38	148
	중 상	26	29	14	37
	경 상	98	111	83	267
	계	140	175	135	452
기체 손실	전 과	13	16	17	34
	부분적 손상	21	25	22	40
	경미/무손상	5	2	1	15
	계	39	43	40	89

또한 엔진동력상실에 의한 사고에 비하여, 비행중 물체충돌에 의한 사고, 또는 기체결함에 의한 사고는 사망률과 파손율도 높은 것으로 분석되었는데, 이는 쌍발헬리콥터가 엔진동력상실 시에 상대적으로 덜 치명적이라는 것을 의미한다.

운용단계별에 대하여 단발 및 쌍발 터빈 헬리콥터 사고의 통계치를 각각 표 11과 12에 나타내었다. 운용단계별 사고에 있어서도 순항 시의 사고가 압도적으로 많은 수를 차지하고 있으며, 이륙, 착륙, 정지비행 시에 비슷한 사고 건수를 보이고 있다. 단발 터빈 헬리콥터와 쌍발 터빈 헬리콥터 모두 엔진의 동력 상실은 모든 비행단계 동안 경험되었다.

표 11. 단발 터빈 헬리콥터의 운용단계별 사고

사 고 유 형	동력 상실	물체 충돌	조종 상실	기체 결함
순 항	314	50	34	107
기 동	84	65	39	28
이 륙	104	57	74	36
접 근	64	16	20	47
정지비행	58	41	61	14
착 륙	33	30	30	14
강 하	24	9	4	16
상 승	15	2	2	6
저속활주	0	15	4	1
정 지	2	1	5	7
기 타	5	10	2	6
미확인	1	2	9	0
총 계	704	298	284	282

표 12. 쌍발 터빈 헬리콥터의 운용단계별 사고

사 고 유 형	동력 상실	물체 충돌	조종 상실	기체 결함
순 항	13	4	6	46
기 동	2	6	8	3
이 륙	8	11	6	9
접 근	2	1	8	5
정지비행	8	6	5	6
착 륙	2	10	2	4
강 하	2	0	0	2
상 승	2	0	0	9
저속활주	0	5	1	1
정 지	0	0	3	3
미확인	0	0	1	1
총 계	39	43	40	89

순항 및 고출력 운용(이륙 및 정지비행)에서 단발 터빈 헬리콥터는 68%, 쌍발 터빈 헬리콥터는 74%의 사고가 발생하였다. 물체와 충돌에 의한 사고에 있어서 단발 터빈 헬리콥터는 298건의 사고가 기동, 순항, 이륙 시에 가장 많고 모든 운용단계에 고르게 분포되어 있다. 이에 반하여 쌍발 터빈 헬리콥터는 43건 중에서 21건이 이착륙 중에 발생하였다는 것을 나타내고 있다. 지상 활주 및 정지비행과 같은 이륙 전 준비 단계에서도 11건의 사고가 있었다. 즉, 이착륙 단계에서 헬기장 시설이나 전선과의 충돌이 다수를 차지하고 있는 반면, 실제적인 순항 비행에서는 비교적 사고가 많이 발생되지 않은 것으로 밝혀졌다.

단발 및 쌍발 터빈 헬리콥터 사고의 활동별에 대하여 분석한 통계치를 각각 표 13과 14에 나타내었다.

표 13. 단발 터빈 헬리콥터의 활동별 사고

사 고 유 형	동력 상실	물체 충돌	조종 상실	기체 결함	기타	계
항공응용	117	71	74	73	209	642
일반용도	277	83	79	90	106	520
개인사용	80	12	11	17	42	135
여객운송	26	17	9	10	28	97
지도/훈련	97	33	30	25	50	209
업무사용	30	1	8	6	26	67
정기운송/위치이동	173	4	11	8	89	127
비행/정비 시험	27	13	19	10	35	93
행정/법인	231	26	30	16	70	200
공공/군수 사용	2	1	0	2	1	7
미확인/미보고	494	37	13	25	23	150
총 계	704	298	284	282	679	2,247

표 14. 쌍발 터빈 헬리콥터의 활동별 사고

사 고 유 형	동력 상실	물체 충돌	조종 상실	기체 결함	기타	계
항공응용	1	1	2	0	0	4
일반용도	11	5	9	13	11	49
개인사용	1	0	2	0	3	6
여객운송	11	19	9	34	24	97
지도/훈련	0	1	2	1	9	13
업무사용	4	2	3	6	8	23
정기운송/위치이동	5	7	7	13	14	46
비행/정비 시험	3	0	3	7	3	16
행정/법인	3	3	1	13	11	31
공공/군수 사용	0	4	2	1	5	12
미확인/미보고	0	1	0	1	3	5
총 계	39	43	40	89	91	302

엔진 동력 상실 사고에 있어서 단발 터빈 헬리콥터는 항공응용, 일반용도, 개인사용, 지도/훈련, 여객 운송 등 모든 부분에서 발생한 반면 쌍발 터빈 헬리콥터 사고는 여객운송과 일반용도로 운용할 때 대부분이 발생되었다. 물체 충돌 사고에 대해서는 정기 운송 및 장소이동 활동과 함께 항공 승객 운용은 단발 터빈 헬리콥터의 경우와 유사한 비율의 사고를 보인다.

이러한 데이터는 민수용 승객 운송을 위하여 터빈 헬리콥터의 사용을 선호한다는 것을 나타내고 있다. 쌍발 터빈 헬리콥터의 조종성 상실 사고를 야기할 활동에 있어서, 일반용도 활동은 대체로 응급 의료 활동이었다는 것이 밝혀졌다.

정기운송/장소이동 활동 및 여객운송은 단발 터빈 헬리콥터와 유사한 비율의 사고를 보였다. 쌍발 터빈 헬리콥터를 포함한 대부분의 기체결함 사고는 승객 서비스 활동 중에 발생되었다. 쌍발 터빈 헬리콥터의 정기운송/장소이동 중 사고는 단발엔진 헬리콥터 사고와 비슷하다.

4. 맺음말

미국의 국가교통안전위원회에서 1963년부터 1997년까지 민간부문의 회전익기 사고를 조사하여 분석한 결과를 종합할 때, 다음과 같은 결론을 내릴 수 있다.

1. 인명 손실 및 기체 파손 정도에 있어서는 쌍발 헬리콥터는 단발 헬리콥터에 비하여 크기도 크고 탑승인원도 더 많아 파손 정도 및 사망률도 더 높게 집계되었다. 또한 엔진 동력 상실에 의한 사고에 비하여, 비행 중 물체 충돌에 의한 사고, 또는 기체결함에 의한 사고가 보다 치명적이어서 인적, 물적 손실이 큰 것으로 분석되었다.
2. 엔진 형태에 상관없이 헬리콥터에 있어서 사고의 주요 원인은 엔진 동력상실, 비행 중 물체 충돌, 조종성 상실, 기체/부품/계통결함 또는 기능장애에 의한 것이 70% 정도를 차지하고 있다.

3. 단발 터빈 헬리콥터는 엔진의 동력상실에 의한 사고가 가장 많은 반면 쌍발 터빈 헬리콥터는 기체결함에 의한 사고가 압도적으로 다수를 차지하고 있으며, 비행 중 물체 충돌, 조종성 상실 등에 의한 사고는 엔진 수에 관계없이 비슷한 사고율을 보였다.

4. 인명 손실 및 기체 파손 정도에 있어서는 쌍발 터빈 헬리콥터는 단발 터빈 헬리콥터에 비하여 크기도 크고 탑승인원도 더 많아 파손 정도 및 사망률도 더 높게 집계되었다. 또한 엔진 동력 상실에 의한 사고에 비하여, 비행 중 물체 충돌에 의한 사고, 또는 기체결함에 의한 사고가 보다 치명적이어서 인적, 물적 손실이 큰 것으로 분석되었다.

5. 사고를 운용단계별로 구분할 때, 순항 시에 엔진 수에 무관하게 가장 많이 발생하여 거의 비행시간과 비례하여 사고가 많이 발생한 것으로 집계되었다. 사고를 활동별로 구분할 때, 단발 터빈 헬리콥터는 항공응용 및 일반용도 분야에서 51%를 차지하고 있으며, 쌍발 터빈 헬리콥터는 여객운송 및 일반용도 분야에서 48%를 차지하였다.

6. 터빈 헬리콥터에 있어서 엔진 동력 상실 사고 중, 40% 이상이 연료/공기 혼합기 문제로 야기된 사고로 밝혀졌다. 운용단계로는 순항 시와 고출력 운용 시에 가장 많이 발생하였다.

7. 터빈 헬리콥터에 있어서 물체 충돌 사고 중, 전선, 전선/철탑, 비행장/헬기시설과의 충돌이 많은 부분을 차지하고 있다. 쌍발 터빈 헬리콥터의 경우, 순항 시보다는 저고도에서 운용되는 이착륙 시에 많은 사고가 발생되었다. 충돌사고는 부적절한 결정이 주된 사고원인이며, 꼬리로터 충돌이 주로터 충돌보다 2배 이상이 된다.

8. 터빈 헬리콥터 기체결함의 대부분은 주로터와 꼬리로터 모두에 대한 구동 계통과 로터 계통에 있어서 고장이었다. 그 중에서도 꼬리로터 구동 계통의 구동 샤프트가 가장 사고 원인이 되는 부품이었다. 단발 터빈 헬리콥터와 쌍발 터빈 헬리콥터에 있어서도 구동계통 및 로터계통 모두 피로에 의한 결함이 주된 원인이었다.

9. 일부 기종만 제외하고 제작사들은 단발엔진 헬리콥터를 바탕으로 단순히 엔진을 추가하고 관련된 부품/계통을 재설계하여 개량된 생산품을 통합하여 쌍발 헬리콥터를 개발했다. 많은 경우에 보다 최신의 재료로 대체되었지만, 동력전달 또는 로터계통에서의 주된 형상의 변화는 없었다. 그러나 로터 블레이드와 허브에 대해서는 새로운 형식의 채택에 의한 부품수 감소로 결함에 의한 사고가 감소될 것으로 예상된다.

이와 같은 미국의 민수용 헬기의 사고조사에 대한 분석 결과는 한국형헬기를 바탕으로 개발될 예정인 한국형 중형 민수헬기 개발 시에 고려해야 할 주요 설계 요소가 될 것으로 기대된다.

참고문헌

1. Franklin D. Harris, Eugene F. Kasper and Laura E. Iseler, "U.S. Civil Rotorcraft Accidents, 1963 Through 1997", NASA TM-2000-209597, Dec. 2000.
2. Laura E. Iseler and Joe De Maio, "Analysis of US Civil Rotorcraft Accidents from 1990 to 1996 and Implications for a Safety Program", American Helicopter Society 57th Annual Forum, Washington DC, May, 2001.
3. "U.S. Preliminary Accident Report Summaries, January-March 2002", Helicopter Association International, May, 2002.
4. 이정훈, 김승호, "민수용 회전익기 사고조사 분석", 2004 항공우주무기체계발전세미나, 2004.
5. 이정훈, 임창호, "미국의 민수용 헬리콥터 사고 조사 분석," 항공우주산업기술동향 3권 제2호, pp. 9-15, 2005.
6. 이정훈, 송병흠, "민수용 단발-쌍발 터빈 엔진 헬리콥터 사고에 대한 비교 분석", 한국운항학회 2005 추계
7. 이정훈, 안이기, "민수용 헬리콥터 사고 비교분석", 한국항공운항학회지 제15권 제1호, pp18-25, 2007.