

## Original Article

<https://doi.org/10.12985/ksaa.2025.33.4.012>  
ISSN 1225-9705(print) ISSN 2466-1791(online)

## 훈련용 항공기의 ADS-B 장비 장착 필요성에 대한 고찰

이근섭\*, 임인규\*\*

### A Study on the Necessity of ADS-B Equipment Installation on Training Aircraft

Keun Sub Lee\*, In Kyu Lim\*\*

#### ABSTRACT

Currently, there is no regulatory requirement in the Republic of Korea to install ADS-B(Automatic Dependent Surveillance-Broadcast) equipment on training aircraft. As a result, the ability to monitor aircraft and prevent traffic collisions within controlled airspace is limited. On the other hand, aviation authorities such as the FAA (Federal Aviation Administration) in the United States and the EASA (European Aviation Safety Agency) have mandated ADS-B installations to improve both aviation safety and airspace management efficiency. The purpose of this study is to investigate the feasibility of installing ADS-B equipment on training aircraft by analyzing accident rates based on whether ADS-B equipment is installed or not, replacing certain functions of FDR (Flight Data Recorders) and TCAS (Traffic Collision Avoidance System). This study aims to contribute to improving both aviation safety and the quality of flight training by evaluating the necessity and practical benefits of installing the system in terms of education and operation.

**Key Words** : Training Aircraft(훈련용 항공기), ADS-B(자동종속감시방송), FDR(비행자료기록장치), TCAS(공중충돌방지장치), Flight Data(비행 데이터)

## 1. 서 론

### 1.1 연구 배경

항공 교통의 증가와 항공 안전에 대한 요구가 높아짐에 따라, 항공기 위치 정보의 정확성과 실시간 공유는 필수적인 요소가 되었다. 훈련용 항공기들은 훈련 중에 여러 비행장과 공역을 비행하며, 실제 항공 교통

상황을 경험하고 익히는 중요한 역할을 한다. 그러나 훈련용 항공기의 안전성을 높이고 효율적인 비행 훈련 환경을 제공하기 위해서는 ADS-B 장비의 의무 장착이 필요하다는 목소리가 점점 커지고 있다(Kim, 2012).

ADS-B는 항공기가 자신의 위치, 속도, 고도 등 비행 정보를 자동으로 송신하여, 관제소 및 주변 항공기와 실시간으로 공유하는 시스템으로, 기존의 2차 감시 레이더(secondary surveillance radar) 시스템을 보완하거나 대체할 수 있는 차세대 항공 감시 기술로 주목받고 있다.

특히 훈련용 항공기에 ADS-B 장비를 의무적으로 장착해야 하는 배경은 다음과 같은 이유에서 비롯된다.

훈련용 항공기는 학생 조종사들이 비행 기술을 연습하는 과정에서 비정상적인 기동이나 예상치 못한 상황

Received: 25. Jun. 2025, Revised: 15. Oct. 2025,

Accepted: 7. Nov. 2025

\* 한서대학교 항공융합대학원 항공정비관리학과

\*\* 한서대학교 항공정비학과 교수

연락처 E-mail : iklim@hanseo.ac.kr

연락처 주소 : 충남 태안군 남면 고평로 236-49 한서대학교 태안캠퍼스 항공기술교육센터303호 우)32158

에 직면할 수 있다. 이때 ADS-B는 항공기의 위치 정보를 주변 항공기 및 항공 교통 관제사에게 실시간으로 제공함으로써, 공중 근접 비행 위험을 줄일 수 있다. 특히, 복잡한 공역이나 교통이 많은 공항 주변에서 훈련할 때, 실시간 위치 정보는 필수적이다. ADS-B장비가 장착된 항공기를 단독 비행할 때는 학생조종사가 주변 항공기의 위치를 쉽게 확인할 수 있어 비행 중 안전감을 느낄 수 있다.

훈련용 항공기들이 ADS-B를 통해 항공기의 이동 경로를 공유하면, 관제사는 더욱 정확한 정보에 기반하여 항공 교통의 안전하고 효율적인 흐름을 관리할 수 있다. 또한, 조종사와 관제사 간의 음성 교신 횟수를 줄일 수 있다(Hong, 2007). 이는 비행 훈련 중에 발생할 수 있는 비정상적인 기동에 대한 신속한 대처를 가능하게 하며, 근처에 비행 중인 다른 훈련용 항공기 또는 저고도 운항 중인 헬리콥터와의 충돌 방지에 의미 있는 효과를 기대할 수 있다.

국제민간항공기구(ICAO)와 여러 주요 국가(미국, 유럽 등)는 2020년 이후로 일정 규모 이상의 항공기에 대해 ADS-B장착을 의무화하고 있다. 미국 FAA는 고도별로 공역을 구분하여 적용하고 있으며, 특정 예외 항공기를 제외하고는 CFR(code of federal regulations)에 규정된 요구조건을 준수하는 장비를 장착해야 한다(FAA, 2024). 따라서 훈련용 항공기도 이러한 국제 항공 규제에 부합하기 위해 ADS-B장비를 장착해야 한다. 특히, 국외 항공사나 외국에서 비행 훈련을 받을 수 있는 조종사들은 이러한 규정을 준수하는 환경에서 교육을 받는 것이 필수적이다.

ADS-B는 FDR(flight data recorder) 및 TCAS(traffic collision avoidance system)의 일부 기능을 대신하여 외부 장착용 ADS-B장비를 훈련용 항공기에 장착하여 저비용으로 기초 데이터를 제공할 수 있는 보완 장치이고, 관제탑에서 레이더 기반의 감시 시스템을 보완하거나 대체할 수 있어, 소형 항공기와 소형 공항 관제탑에서 운영 비용 절감 효과를 가져올 수 있다.

훈련용 항공기가 저고도에서 비행하는 경우, 레이더 감시의 사각지대에 들어가 사고 위험이 커지는데, ADS-B는 이를 해결하여 사고를 예방할 수 있다. 또한, 충돌이나 기타 사고 발생 시 비행 데이터가 정확히 기록되어, 사고 분석에 필요한 기초 비행 데이터를 제공할 수 있다. 따라서 훈련용 항공기에 ADS-B의무 장착은 비행 훈련의 안전성을 높이고, 국제 규정을 준수하

며, 미래 항공 교통 시스템과의 연계성을 강화하는 필수적인 요소로 자리 잡고 있다.

이를 통해 비행 훈련 환경을 안전하고 효율적으로 관리 및 비용 절감의 보완적 역할을 하고, 항공 사고 예방 및 사고 조사에 필요한 기본 기능을 일부 대체할 수 있는 가능성이 있다.

## 1.2 연구의 목적

본 연구에서는 ADS-B 장비가 장착되어 있지 않은 훈련용 항공기에 ADS-B 장비 적용의 필요성에 관한 연구를 위해 ADS-B 장비를 의무로 적용하고 있는 국가에서 조사한 데이터를 바탕으로 ADS-B 장비 적용이 가져올 효과에 대해 알아보고자 하였다. 그리고 비행 훈련과 관련된 항공 산업인 general aviation(GA)에서 발생하는 항공사고에 대하여 기존 문헌고찰을 통한 정성적 연구를 하고 ADS-B 장비 장착과 항공사고 발생에 기여하는 영향을 파악하고자 하였다.

분석한 내용을 바탕으로 대한민국에서 훈련용 항공기에 ADS-B 장비를 의무 장착해야 하는 필요성과 제도 시행 가능성에 대하여 알아보고 실제 적용을 위한 향후 연구 방향성을 제시하였다.

## II. 본 론

Boyd(2017)는 다음과 같이 설명했다. General aviation은 상업용 비행기를 제외한 모든 항공 운항을 의미하며, general aviation 항공기 사고 사망자는 전체 민간 항공 사망자의 약 94%이다. 2014년 미국에서 발생한 general aviation 사고 1,143건 중 236건이 치명적 사고였으며, 같은 해 상업용 항공기 사고 29건 중 치명적인 사고는 0건 발생했다. 사고의 주요 원인은 악기상, 야간 비행, 산악 및 고지대 지형 비행, 긴 비행 거리, 조종사 숙련도 등이 있다.

ADS-B는 항공 교통량 감시, 기상 정보, 항공 정보 등의 제공 기능이 있으며, ADS-B 장비가 제공하는 이러한 정보는 시야 확보가 어렵고 기상 변화 대응이 어려운 조건인 악기상, 야간, 산악 및 고지대 비행 시 조종사의 시각 탐지 보조, 충돌 가능성 경고 등 안전성에 기여할 수 있다.

따라서 FAA(2024)는 CFR 91.225 (a), (b), (d)를 규정하여 "(a) 2020년 1월 1일 이후 ATC의 별도 승인

이 없는 한, 항공기에 다음이 설치된 장비가 없는 한 누구도 Class A 공역에서 항공기를 운항할 수 없고, (b) ATC에서 달리 허가하지 않는 한, 누구도 이 섹션의 (d) 항에 설명된 공역에서 18,000피트 MSL 이하의 항공기를 운항할 수 없으며, (d) ATC에서 달리 승인하지 않는 한, 항공기에 이 섹션의 (b)항에 명시된 요구 사항을 충족하는 장비가 설치되어 있지 않는 한 다음 공역에서는 항공기를 운항할 수 없다.”라고 규정하고 있다. 또한, ADS-B 장비의 Out 기능을 활용하여 위치 정보를 송신하고 사고 발생 시 신속한 구조가 가능하다.

Howell and King(2019)은 미국 NTSB(National Transportation Safety Board)에서 조사한 데이터를 활용하여 ADS-B 기능이 실제 사고율 감소에 기여했는지를 분석했다. 활용한 데이터는 미국 본토와 Alaska 지역에서 운용 중인 Part 91과 Part 135를 대상으로 사고 발생 수와 사고 발생률, ADS-B In<sup>1)</sup> 적용 여부, 비행 조건 등을 기준으로 분류한 데이터이다.

NTSB는 2013년부터 2017년까지 미국에서 발생한 항공 사고에 대해서 분석했으며, 그중 ADS-B 장비가 장착된 항공기의 포함한 유, 무를 구분했다.

Table 1은 NTSB에서 분석한 Part 91과 Part 135의 항공기 중 연간 전체 항공 사고 발생 수와 ADS-B In 장비가 장착된 항공기의 연간 항공 사고 발생 수를 정리한 표이다(NTSB, 2018). 5년간 전체 항공 사고는 1,325건 발생했으며, 그 중 ADS-B In 장비가 장착된 항공기의 사고는 34건에 불과했다. 그리고 전체 항공 사고 중 치명적 사고가 326건 발생했으며, 그 중 ADS-B In 장비가 장착된 항공기의 치명적 사고는 단 2건 발생했다.

Fig. 1은 ADS-B 장착이 기상, 공중 충돌, 복합 요인에 의한 사고율을 유의미하게 줄이는 효과가 있으며, ADS-B 시스템이 훈련용 항공기에 필요성이 있다는 점을 보여준다.

Table 2를 보면 NTSB는 5년간 발생한 항공 사고를 운항 횟수와 비행 시간으로 분류하여 분석했다(NTSB, 2018).

사고율은 accidents per million operations으로 계산했다. 그 결과 두 분석 간의 결과가 유사하게 나타났다. 운항 횟수로 분석한 결과 Mid-air, CFIT(controlled flight into terrain)에서 ADS-B 장비가 장착

Table 1. Annual aircraft accident counts by type and ADS-B equipment status

Year	ADS-B In				Total (fatal)
	Midair	Weather	CFIT	CFIT+ weather	
2013	0	0	0	0	0
2014	0	1	0	0	1
2015	0	0	0	0	0
2016	0	9	0	0	9 (2)
2017	0	23	0	1	24
Total	0	33	0	1	34 (2)
Year	Unequipped				Total (fatal)
	Midair	Weather	CFIT	CFIT+ weather	
2013	18	223	34	18	293 (91)
2014	8	240	21	31	300 (90)
2015	14	213	13	28	268 (72)
2016	9	245	15	9	278 (57)
2017	0	168	9	9	186 (17)
Total	49	1,089	92	95	1,325 (326)

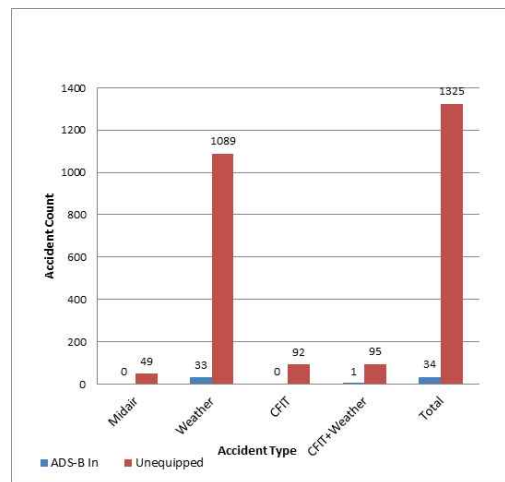


Fig. 1. Total accidents by type (2013-2017)

된 항공기는 사고율이 0으로 나타났으며, ADS-B In 장비가 장착되어 있지 않은 항공기의 사고율은 각각 0.30, 0.56으로 나타났다. 비행시간을 기준으로 분석한 결과 같은 조건에서 ADS-B 장비가 장착된 항공기

1) ADS-B IN : function of "listening" and "seeing" the surrounding traffic and flight information.

Table 2. Accident rate analysis for GA and air taxi in CONUS (2013-2017)

Fleet method	5 year accident rate (2013-2017)		Reduction in rate for ADS-B In	Estimate of avoided accidents in 5 year period
	ADS-B In	Unequipped		
Mid-air	0	0.30	NSS <sup>2)</sup>	
Weather	3.69	6.64	44%	26
CFIT	0	0.56	100%	5
CFIT & weather	0.12	0.58	81%	4
Combined (fatal)	3.80 (0.22)	8.08 (1.98)	53% (89%)	38 (18)
Flight hour method	ADS-B In	Unequipped		
Mid-air	0	0.30	NSS	
Weather	4.04	6.61	39%	21
CFIT	0	0.56	100%	5
CFIT & weather	0.12	0.58	NSS	
Combined (fatal)	4.16 (0.25)	8.04 (1.98)	48% (88%)	32 (14)

의 경우 사고율이 동일하게 0으로 나타났으며, 미장착 항공기는 각각 0.30, 0.56으로 동일하게 나타났다.

운항 횟수로 분석했을 때 weather와 CFIT & weather 조건에서는 ADS-B In 장착 항공기의 사고율은 각각 3.69, 0.12로 나타났으며, 미장착 항공기의 경우 각각 6.64, 0.58로 비교적 높은 사고율을 보여주고 있다. 이는 비행시간을 기준으로 분석했을 때와 유사하다.

비행시간을 기준으로 분석한 결과 ADS-B In 장비가 장착된 항공기의 weather, CFIT & weather 조건에서 사고율은 각각 4.04, 0.12로 나타났으며, 미장착 항공기의 사고율은 각각 6.61, 0.58로 나타났다. 이를 종합하여 전체 항공 사고율을 확인해 보면 운항 횟수로 분석한 결과 ADS-B In 장비 장착 항공기의 사고율은 3.80이고, 미장착 항공기의 사고율은 8.08로 2배가 넘는 수치를 기록했다. 그중 치명적 사고의 경우 각각 0.22와 1.98로 약 9배의 차이를 보인다.

비행시간으로 분석한 결과도 크게 다르지는 않다. ADS-B In 적용 항공기의 사고율은 4.16이며, 미장착 항공기의 사고율은 8.04이다. 그중 치명적 사고율은 각각 0.25, 1.98로 이 역시 8배가 넘는 차이를 기록하고 있다. 이는 400만 시간 중 1번 발생할 사고가 약 50만 시간 중 1번 발생한다고 보인다. ADS-B In 적용 시 사고율은 운항 횟수와 비행 시간별 분석 각각 53%, 48% 감소하며, 치명적 사고율은 각각 89%, 88% 감소한다(NTSB, 2018).

Fig. 2는 ADS-B 장착 항공기가 미장착 항공기보다 사고 발생 건수가 현저히 낮다는 사실을 보여준다. 특히 기상, 공중 충돌, CFIT 등 치명적인 사고 유형에서 ADS-B 장착 효과가 두드러지게 나타남을 알 수 있다. 즉, ADS-B 장비는 훈련용 항공기의 안전성 확보와 사고 예방에 필수적인 역할을 할 수 있음을 알 수 있다.

Arteaga, Cavalin, Dandachy & Kotcher(2016)는 ADS-B 신호를 활용하여 인접 항공기의 위치와 속도를 추적하고, 잠재적 충돌 위험을 조기에 탐지할 수 있는 알고리즘을 제시하였다.

연구 결과, 조종사 또는 자율비행 시스템이 충돌 위험 발생 이전에 회피 기동을 수행할 수 있음을 확인하였다. 특히 기존의 레이더 기반 충돌 회피 체계와 달리 ADS-B는 실시간으로 정밀한 항적 데이터를 제공할 수 있다는 점에서 소형 항공기나 무인항공기(UAV) 운용 환

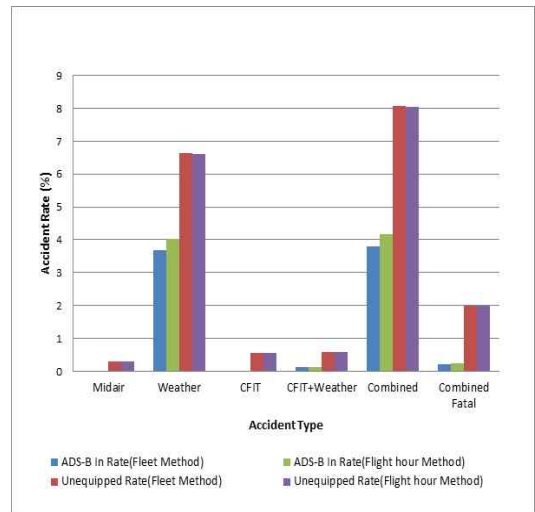


Fig. 2. 5-years average accident rates (2013-2017)

2) NSS : not statistically significant.

경에서도 효과적으로 활용될 수 있음을 시사하였다. 이러한 결과는 훈련용 항공기 운항에서 발생할 수 있는 공중 충돌 위험을 예방하기 위한 기술적 근거를 제공한다.

Kim and Lee(2023)는 실제 수집된 ADS-B 및 Mode-S 오픈소스 데이터를 이용하여 공중 충돌 위험을 체계적으로 분류·분석하였다.

분석 결과, 저고도 및 혼잡 공역에서 훈련용 및 소형 항공기의 충돌 위험이 상대적으로 높게 나타났으며, 단순한 충돌 가능성 예측을 넘어 위험 상황의 빈도, 지속 시간, 회피 가능성 등을 종합적으로 평가하였다.

이를 통해 ADS-B 데이터가 항공 안전성 평가와 정책 수립 과정에 실질적으로 기여할 수 있음을 입증하였다. 이러한 연구는 훈련용 항공기의 안전성 제고 측면에서 ADS-B 장착의 필요성을 뒷받침하는 국내 실증적 근거를 제공한다.

### III. 결 론

#### 3.1 기대 효과

ICAO에서는 국제표준 항행의 감시 능력을 향상시키고 비행 안전을 위해 ADS-B 장비를 설치하여 운영하도록 권고하고 있으며, 국가별로 유예기간을 두어 시행하고 있다. 이에 FAA는 2020.1.1. 이후 모든 항공기에 ADS-B 장비를 의무 장착하도록 하고 있다. FAA의 의무 장착 시행 이후 ADS-B 장비의 보급률 확대를 위해 Portable ADS-B 장비의 보편화 및 소형화로 긍정적인 효과를 보고 있다(Yoon, 2024).

기존의 고비용 FDR 장비의 일부 기능을 대체하는 경제적인 대안이 될 수 있다. 또한, 비행 중 수집된 데이터를 기반으로 사고 조사 시 비행경로를 재구성하고 사고 시나리오를 이해하는 데 중요한 기초 자료가 된다.

레이더 장비를 보완하거나 대체할 수 있는 ADS-B 기반의 항공기 위치 확인 시스템을 소형 공항에 우선 도입하여 비용 절감 및 근거리 관제 시 효율성을 높일 수 있다. 주변 항공기의 존재를 조종사에게 실시간으로 알려주어 공중 충돌 회피 능력을 크게 향상시키며, 이에 따라 특히 학생 조종사가 비행 중 느끼는 심리적 안정감에 영향을 줄 수 있다.

#### 3.2 연구의 시사점

국내에서 ADS-B system 구축 및 활용에 대하여 시

설 및 인프라 구축이 가장 중요하다고 보이며, 다음으로 법, 제도, 행정 체계, 운영체계 등 관련 기관의 참여와 지원이 요구된다. 시설 및 인프라 구축에 대한 평가를 통해 훈련용 항공기 ADS-B 장비 도입, 비행장 시설 지원이 우선시 되어야 하며, 이러한 장비의 의무 장착을 위해서는 관련 법 제정이 필수적이다(Yoon, 2024).

비슷한 예로, 대한민국 국토교통부에서는 2024년 9월 6일 항공 안전법 제52조 및 시행규칙 제109조, 회전익항공기 운항 기술기준을 개정하여 대한민국에서 운용하는 모든 헬리콥터에 비행기록장치(대체 장비 포함)를 의무 장착하도록 하였다(MOLIT, 2024). 이는 훈련용 항공기에도 유사한 법적 의무화가 가능함을 시사한다.

ADS-B는 미래 항공교통체계와 연계 가능성 측면에서 중요하다. 도심항공교통(urban air mobility, UAM)에 대한 관심과 투자가 활발히 이루어지고 있는 현재는, 향후 고도화된 항공교통체계(advanced air mobility, AAM) 및 General Aviation의 안전성 강화를 위하여 ADS-B와 한국형 위성항법보정시스템(Korea augmentation satellite system, KASS)을 기반으로 한 인프라 구축이 요구되는 적기라 할 수 있다.

기본 구축 범위를 포함하여 저고도 비행체 모두 이용할 수 있도록 국가적 차원에서 시설 및 인프라가 체계적으로 설치되어야 하며, ADS-B 수신기 활용도가 높은 비행교육 전문 기관과 소형 비행장 등의 지역부터 확대 보급해야 한다.

또한, 국가 기관에서 비행 데이터를 지상에 저장할 수 있는 시스템과 데이터 관리 개발에 관한 추가 연구가 필요하며, 이를 통해 안전하고 효율적인 비행훈련 환경을 조성하고 항공산업 발전에 이바지할 수 있을 것이다.

### 후 기

본 논문은 2025년 춘계학술대회(한국항공운항학회)에 발표한 자료를 보완하여 작성하였습니다.[7]

### References

1. Arteaga, R. A., Cavalin, M., Dandachy, M., and Kotcher, R., "Application of an ADS-B sense and avoid algorithm," AIAA Flight Testing Conference, 2016, pp.3651.

2. Boyd, D. D., "A review of general aviation safety (1984-2017)," *Aerospace Medicine and Human Performance*, 88(7), 2017, pp.657-664.
3. Hong, K. Y., Kim, D. H., and Oh, K. R., "A study on the operational effectiveness of ADS-B through flight testing," *Journal of the Korean Institute of Navigation and Port Research*, 11(2), 2007, pp.137-145.
4. Howell, D., and King, J., "Measured impact of ADS-B In applications on general aviation and air taxi accident rates," *Proceedings of the 38th Digital Avionics Systems Conference*, 2019, pp.1-10.
5. Kim, J., and Lee, D., "Classifying midair collision risk in airspace using ADS-B and Mode-S open-source data," *Journal of Advanced Navigation Technology*, 27(5), 2023, pp.552-560.
6. Kim, K. H., Choi, S. H., Baek, H. J., Lee, G. J., and Moon, W. C., "Domestic application plan of UAT ADS-B," *Journal of the Korean Society for Aviation and Aeronautics*, 20(2), 2012, pp.26-31.
7. Lee, K. S., "A study on the necessity of installing ADS-B equipment on training aircraft," *KSAA Spring Conference*, 2025, pp.54-58.
8. Ministry of Land, Infrastructure and Transport, "Notice on the revision of flight operation technical standards related to alternative equipment for helicopter flight recorders," *Aviation Safety Division-9356*, 2024.
9. National Transportation Safety Board (NTSB), "Aviation accident and incident database," 2018. Available from: [https://www.nts.gov/\\_layouts/ntsb.aviation/index.aspx](https://www.nts.gov/_layouts/ntsb.aviation/index.aspx)
10. U.S. Federal Aviation Administration, "14 C.F.R. §91.225-Automatic dependent surveillance broadcast (ADS-B) Out equipment and use," 2024. Available from: <https://www.ecfr.gov/current/title-14/chapter-I/subchapter-F/part-91/subpart-C/section-91.225>
11. Yoon, H. S., "ADS-B joint development for advanced air mobility and general aviation," *Journal of Advanced Navigation Technology*, 28(5), 2024, pp.657-663.