

Article

활주로 마찰계수 측정 및 적용에 관한 연구

노건수*

A Study on the Application of Runway Friction Measurements

Kun-Soo Noh*

ABSTRACT

According to the accident/incident reports of aircraft runway overruns and excursions, it generally shows runway friction reduction and aircraft braking capability deterioration are the basic causes due to adverse weather. Although surface of paved runway gets wet, it also should give good friction capability. If runway surface is worn due to long time usage and friction capability is reduced due to rubber accumulation or weather conditions(snow, rain, ice etc.), airport authorities should rapidly measure friction coefficient and give them to relevant persons through aeronautical information system and support safe takeoff and landing. Operation wise, these information of friction coefficient reduction should be lead to aircraft performance adjustments, but the data from manufacturer(performance manual) are airplane braking coefficient and the data from airport authorities are vehicle measured braking coefficient. But these two data are considered as the same meaning although the definite relationship between them is not clarified yet. So I am trying to search for the technical background of these two data and suggest reasonable method to use them efficiently.

Key Words : 마찰계수측정(Friction coefficient measurements), 활주로표면(Runway surface), 포장(Pavement), 항공기제동계수(Airplane braking coefficient), 차량측정마찰계수(Vehicle measured braking coefficient)

I. 서론

공항공국은 국제민간항공기구(ICAO) 부속서 14 및 관련 기술도서¹⁾에서 정한 기준 및 자체 규정에 따라 활주로 마찰계수 측정조건이 되었

을 경우 즉시 실시하여 항공교통관계부서 등 관련부서에 측정결과에 대한 정보를 제공해야 한다. 마찰계수 측정업무는 항공기 이·착륙 성능에 큰 영향을 미치는 요소이므로 자체규정 또한 국제표준화된 내용으로 절차를 수립하여야 하며, 운용장비 또한 매뉴얼에서 정한 표준화된 마찰계수(μ)값이 제공될 수 있도록 구비하여야 한다.

활주로 주변에서 일어나는 크고 작은 사고들이 활주로 표면조건과도 밀접한 관계가 있다는 것은 주지의 사실이다. 물론 항공기성능과 운항승무원 조작절차가 기상상태 및 활주로 표면

Received : 21. April. 2016. Revised : 28. July. 2016.
Accepted : 15. Sep. 2016

* 한서대학교 항공교통물류학부 부교수

1) ICAO Annex 14 Aerodromes Vol. 1 및 Doc 9137 Airport Services Manual Part2 Pavement Surface Conditions

조건에 따라 적용하도록 수립이 되어 있으나, 정상상태의 표면조건과는 많은 차이가 있다. 어떤 경우에는 활주로 표면조건에 대한 정보가 전혀 없는 상황에서 미끄러지는 사고사례도 있었던 것을 상기할 필요가 있다. 따라서 공항당국은 ICAO 부속서 14 및 Airport Service Manual Part 2(Doc 9137)에서 기술된 표준에 따라 마찰계수 측정업무가 수행되어야 하며, 특히 측정결과에 대한 최신의 정보를 항공정보화하는데 적합한 절차를 수립하여 시행하여야 한다.

ICAO 부속서 14, Volume 1에서는 활주로 빙설(contaminant)을 완전히 제거하지 못하는 경우 해당 기관이 포장의 상태를 평가하고 그 정보를 공항의 관련기관에 통보하도록 요구하고 있다. 또한 ICAO 부속서 15(Aeronautical Information Service)에 따라 이동지역의 눈, 눈진창(slush), 얼음 혹은 물 등으로 인한 안전을 저해하는 물질의 존재 또는 제거상태의 변화를 통보하는 항공고시보(NOTAM)을 발행해야 한다. 이러한 정보는 흔히 설빙고시보(SNOWTAM)으로 공표된다.

포장표면상태에 대한 정보의 수집 및 배포의 효율적인 시스템에 대한 요구사항은 Airport Service Manual에서 제시하고 있다. 자료수집은 신속하고 포괄적이며 정확하여야 하고, 주관적인 판단을 배제하기 위하여 정확도를 목적으로 서로 다른 매개변수의 측정에 대한 특별한 지원 혹은 장비를 필요로 한다. 또한 정보의 배포는 신속하고, 정기적으로 적시에 이루어져야 한다. 즉, 적시에 관제사 및 조종사에게 제공되어 활용할 수 있도록 하고 갱신되어야 한다.

활주로의 미끄럼(slippery) 정도에 대해 공항당국이 제공하는 정보는 마찰측정차량에 의한 마찰계수(vehicle measured friction coefficient) 정보인 데 반해, 항공기제작사에서 제공되어 성능계산에 적용되는 미끄럼 적용 자료는 항공기에서 측정된 제동기능(airplane braking capability) 자료이다. 그러나 아직까지 ESDU²⁾에서도 이 두 자료의 명확한 연관성을 밝혀내지 못한 상태여서 보잉사에서는 그 연관성을 확실히 보장하지 못한다고 매뉴얼에 기술하고

2) Engineering Science Data Unit. 영국에 본부를 둔 저명한 공학(Engineering) 관련 자문기구.

있는데도 불구하고 동일한 의미로 사용되고 있는 실정이다. 또한 빙설의 깊이(depth)에 의해서도 성능계산이 이루어지는데 이에 대한 깊이보고(depth report)가 제대로 제공되지 않아서 성능계산이 어려운 측면이 있다. 따라서 활주로는 빙설로 덮혀있을 경우 국제규정 또는 공항자체규정에 따라 그 깊이(depth)를 측정하여 항공정보로 제공해야 한다.

2. 활주로 표면상태 측정기준

활주로 표면상태와 관련된 제규정은 공항운영당국자, 항공사 운항관계자, 항공교통관제분야 종사자 모두에게 중요한 요소이다. 마찰측정은 활주로 표면상태에 대한 정보이며, 그 정보는 곧 항공기 운항준비 및 이·착륙 시 안전에 지대한 영향을 줄 수 있는 사항이다. 따라서 관련된 규정을 숙지함으로써 마찰측정과 항공기운항, 관제업무에 필요한 형태로 반영될 수 있을 것이다.

2.1 ICAO 부속서 14 측정기준

2.1.1 활주로에 눈이나 얼음, 눈진창(slush)이 쌓인 경우

이 규정의 목적은 부속서 15(AIS)에 규정된 항공고시보과 설빙고시보의 공표에 요구되는 사항을 정함에 있다.

- 권고사항 1: 활주로는 눈이나 얼음, 눈진창(slush)이 쌓여 이를 완전히 제거할 수 없을 때 활주로의 상태가 평가되어야 하며 마찰계수가 측정되어야 한다.
- 권고사항 2: 눈이나 얼음, 눈진창으로 덮힌 활주로면의 마찰측정값을 측정장비로 읽었을 때 그 값은 다른 유사한 장비의 측정값과 적절한 상관관계가 있어야 한다.
- 권고사항 3: 녹지 않은 눈과 녹은 눈, 또는 눈진창이 활주로에 쌓였을 때는 반드시 눈이 쌓인 두께를 활주로를 3부분으로 나누었을 때 각 부분의 평균값을 정확도 2cm(녹지

얇은 눈), 1cm(녹은 눈), 0.3cm(눈진창)으로 파악하여야 한다.

2.1.2 눈이나 얼음으로 덮힌 포장면의 마찰특성 결정 및 표현방법³⁾

안전운항을 위해서는 눈이나 얼음으로 덮힌 활주로의 마찰특성에 대하여 신뢰할 수 있고 일관된 정보가 필요하다. 정확하고 신뢰할 수 있는 마찰계수를 얻기 위해서는 특수한 마찰 측정장비가 필요하다. 그러나 이러한 장비로부터 얻어진 정보를 실제의 항공기 이·착륙에 적용하기 위해서는 항공기의 무게, 속도, 제동 메커니즘, 타이어 등의 많은 변수가 작용하기 때문에 더 많은 경험이 필요하다. 활주로의 전부 또는 일부가 눈이나 얼음으로 덮힌 경우 마찰계수를 측정하여야 하며 활주로의 상태가 변할 때는 또 다시 마찰계수를 측정하여야 한다. 활주로 이외의 포장면에 대해서도 필요할 경우 마찰계수를 측정해야 한다.

2.2 Airport Service Manual Part 2 측정 기준

본 매뉴얼은 공항에서 활주로의 마찰 변화를 일으키는 요소, 포장면과 마찰측정장비 사이의 상관성, 측정장비에 대한 설명, 눈, 얼음 및 물이 덮힌 표면에 대한 마찰값 측정에 대한 실행, 포장 표면의 상태 정보 및 이동지역으로부터 빙설 등의 제거 및 청소 등에 관한 세부적인 기준을 제시하고 있다. 특히 마찰측정에 대한 원리, 장비의 종류 및 특성, 측정치의 정보활용 등을 포함하고 있다.

다음의 Table 1은 다져진 눈(compact snow)으로 덮힌 활주로면에서 실시한 시험결과이므로 모든 조건에서 들어맞는 것은 아니다. 조종사들은 눈이나 얼음으로 덮힌 활주로를 실시한 시험결과 제동력이 “양호(Good)”로 판명되더라도 깨끗하고 마른 상태의 활주로보다는 제동력이 나쁘다는 사실을 잊지 말아야 한다. “양호”라는 말은 상대적인 표현이며 착륙 시 비행기의 제동이나 조향에 무리가 없음을 나타낸다.

Table 1. 다져진 눈으로 덮힌 활주로 마찰계수 측정값 표현방법

마찰계수 측정값	추정 제동력	Code
0.40 이상	Good	5
0.39 - 0.36	Medium to Good	4
0.35 - 0.30	Medium	3
0.29 - 0.26	Medium to Poor	2
0.25 이하	Poor	1

자료원: ICAO Annex 14. Vol 1. Attachment A

노면 마찰에 대한 정보를 제공할 때 활주로를 세부분으로 나누어서 해야 한다. 활주로는 A, B, C로 구분한다. 공항 관계자들에게 보고할 때 항상 “A”가 낮은 활주로 번호 쪽이다. 그러나 착륙시에 조종사에게 정보를 제공할 때에는 착륙하는 방향을 기준으로 첫 번째, 두 번째, 세 번째 구간으로 표현한다. 마찰측정은 활주로의 중심선에서 좌우로 3m 떨어진 곳 또는 통행량이 가장 많은 곳에서 평행선을 따라 실시한다. 측정의 목적은 A, B, C 구간의 평균 마찰계수를 구하는데 있다. 연속측정장비가 사용될 때 평균값은 각 구간에서 측정하여 기록된 값을 사용하여 구한다. 각각의 측정지점 간의 거리는 사용가능한 활주로 길이의 약 10%가 되어야 한다. 활주로의 한쪽에 대한 측정만으로 충분하다고 판단될 때에는 각 구간에서 3 곳을 측정하여야 한다. 측정결과와 계산된 평균값은 특정한 양식에 따라 보고한다.

3. 활주로 마찰계수와 성능보정

활주로 과주나 이탈사고의 많은 경우가 빙설 활주로(contaminated runway)에서 발생한다. 활주로는 빙설된 상태에서 항공기가 운항하는 경우 마찰력이 감소된 상태에서 방향조종능력을 상실하면 회복하기가 매우 어렵다. 따라서 운항규정에서는 이런 경우에 대비한 바람 제한치 및 관련정보가 포함되어 있다. 또한 제동기능(braking action)의 저하로 인해 항공기가 이륙단념(rejected takeoff)을 하는 경우 정지거리가 길어지기 때문에 사용 가능한 활주로 길이 내에서 항공기를 정지시키기 위해서는 항공기의 중량을 줄여야 한다. 감소되어야 하는 중량

3) ICAO Annex 14 Vol. I Attachment A, Guidance Material Supplementary

은 빙설의 종류와 상태에 따라 다르며 해당 기종의 성능매뉴얼에서 정한 기준에 의해 계산되어야 한다.

3.1 활주로 상태4) 정의

3.1.1 건조(Dry) 활주로

활주로 상에 수분이 없는 상태이다. 활주로를 예 홈이 파인(grooved) 경우나 수분흡수 표면처리강화(PFC)가 제대로 유지되고 있는 활주로는 Wet 조건에서도 제동기능이 Dry 활주로와 거의 비슷하게 제공된다.

3.1.2 습기(Damp) 활주로

활주로는 수분이 존재하지만(표면의 수분에 의한 변색) 충분히 젖어 있지 않은 상태이다.

3.1.3 젖은(Wet) 활주로

활주로는 완전히 젖어있고 표면이 반사되며 물이 3mm 미만의 깊이로 존재하는 상태이다. 3mm 미만의 Slush, Wet Snow, Dry Snow를 Wet 등가치(equivalent)로 간주하여 Wet Runway와 동일한 성능을 적용한다

Table 2. Wet 활주로 등가치5)

구분/기종	Boeing 기종	Airbus 기종
Water	< 3 mm	< 3 mm
Slush	< 3 mm	< 2 mm
Wet Snow	< 3 mm	< 4 mm
Dry Snow	< 25 mm	< 15 mm

자료원: FAA AC 91-6B, LH A330 FCOM 2.04.10 P1

3.1.4 윤활(Slippery) 활주로

활주로 말단 3분의2, 즉 제동 적용지점에 얼음 또는 다져진 눈(compact snow)이 존재하는 상태이다. 윤활활주로는 젖은(wet) 활주로를 포함하는 개념이다. 윤활활주로는 가속(acceleration)은 영향을 받지 않는 것으로 가정한다. 이 경우에는 해당 활주로의 상태 또는 보고된 제동기능에 따른 성능을 적용한다.

4) 활주로상태에 대한 우리말 공용어가 없어서 자체 번역후 원문을 표기했음.

5) 보잉기종과 에어버스기종의 값이 다른 것은 미국 FAR과 유럽 JAR 간의 정의상 차이 때문이다.

3.1.5 빙설(Contaminated) 활주로

빙설활주로는 사용되는 활주로 표면의 25% 이상이 고인물/눈진창/젖은눈으로 3mm, 또는 건조눈이 15mm 이상의 깊이로 덮여있는 상태이다. 빙설 조건에서는 항공기의 가속 그리고 감속(deceleration) 성능이 모두 저하된다. 따라서 빙설 조건에서는 전형적인 빙설깊이(contaminant depth)에 의한 성능을 적용한다. 빙설활주로는 의심되지만 제동기능만 보고될 때에는 기장은 가능한 모든 정보를 이용하여 빙설깊이를 예측해야 한다. 건조눈(dry snow)과 젖은눈(wet snow)의 구분은 온도를 기준으로 구분한다. 만일 온도가 -1℃ (30°F) 이상이면 젖은눈이고, -1℃ (30°F) 미만이면 건조눈이다. 간단한 실험으로는 눈이 잘 뭉쳐진다면 젖은눈이고 잘 뭉쳐지지 않는 눈은 건조눈임을 알 수 있다.

3.2 제동기능에 따른 항공기 성능보정

FAA의 빙설상태에 대한 정의는 젖은(wet) 상태를 제외한 고인물, 눈, 얼음 그리고 다져진 눈 상태를 총괄하는 개념이다. 그러나 보잉사는 활주로 특성을 고려하여 빙설(contaminated)활주로는 습윤(slippery) 활주로는 구분하고 있으며 각각의 성능자료를 제공하고 있다. 즉, 빙설활주로는 빙설깊이에 의한 성능자료, 윤활활주로는 제동기능(braking action)에 의한 성능자료를 제공하고 있다.

Table 3. 공항당국 제공 제동기능 분류

측정마찰계수 (μ)	추정 제동기능	활주로상태 등급 (RCR)
≥0.4	Good	At or above 13
0.39 to 0.36	Medium to Good	12
0.35 to 0.30	Medium	10 ~ 11
0.29 to 0.26	Medium to Poor	8 ~ 9
≤0.25	Poor	At or below 7

주1: 이 표는 Mu(μ)-meter 기준으로 측정됨.
주2: RCR(Runway Condition Reading-군공항 적용) (마찰계수 × 32)

자료원: 대한항공 비행운영규정 4장 기상

공항당국에서는 마찰측정차량으로 측정한 마찰계수를 ICAO 제동기능 분류법으로 분류하여 정보를 제공하면(Table 3 참조) 항공사에서는 Table 5를 이용하여 성능조정을 하게 된다. Table 4는 보잉사에서 제공한 성능자료의 근거인 항공기 제동기능에 의한 자료이다.

Table 4. 보잉사 제공 제동기능 분류

제동계수\기능	Good	Medium	Poor
추정 항공기 제동계수	0.20	0.10	0.05

주) Good 0.2 : Wet, Compact Snow(JAR)

Medium 0.1: Cold ice(-10 ~ -15℃)

Poor 0.05 : Wet ice - Nil braking

자료원: 737-800 PEM Slush & Slippery Runway Advisory Data

하지만 다음 Table 5와 같이 보잉사에서 제공하는 윤회활주로 성능자료(slippery runway data)는 항공기 제동기능(airplane braking action)에 의한 것이며, 보잉사는 이 자료를 공항당국에서 제공하는 차량측정 제동기능(vehicle measured braking action)과 연관시키지 않고 있다. 보잉항공기의 경우 항공사에서는 공항당국에서 제공하는 마찰측정차량에 의한 제동기능을 연결하여 사용할 수밖에 없다. 보잉사 입장은 항공사 요구에 의해 성능자료는 제공하지만 그 적용상의 책임을 항공사에 돌리고 있는 실정이다. 이런 이유로 에어버스사는 윤회활주로(slippery runway)에 적용되는 제동기능(braking action)에 의한 성능자료를 항공사에게 제공하지 않고 있다. 사실 항공기 제동기능과 마찰측정차량 제동기능의 연관성을 ESDU에서도 장기간 연구해왔으나 활주로 상태에 관한 변수가 너무 많아 명확한 연관성을 확립하지 못하고 있는 실정이다.

우리나라의 경우를 살펴보면, 빙설깊이는 거의 제공하지 않고 마찰계수에 의한 제동기능만 제공하고 있다. 이 경우 보잉항공기는 위에서 언급한 항공기제동계수와 마찰측정차량제동계수의 문제점이 있고, 에어버스항공기는 아예 적용할 자료가 없으므로 활주로상태와 연결시켜 적용을 해야 한다. 다만 윤회활주로는 젖은(Wet)

활주로를 포함하는 개념이므로 양 제작사의 성능자료에 젖은활주로 자료가 있는게 그나마 다행이라고 할 수 있다.

Table 5. B737-800 윤회(Slippery)활주로 성능 조정표 예

Dry Field/Obstacle Limit Weight (1000 LB)	보고된 제동기능 MEDIUM		
	Pressure Altitude(FT)		
	해면 기압	4000 피트	8000 피트
180	-13.7	-13.7	-13.7
170	-13.3	-13.3	-13.3
160	-12.8	-12.8	-12.8
150	-12.3	-12.3	-12.3
140	-11.6	-11.6	-11.6
130	-10.8	-10.8	-10.8
120	-9.8	-9.8	-9.8
110	-8.8	-8.8	-8.8
100	-7.7	-7.7	-7.7

자료원: 737-800 FPPM chap 1. takeoff & landing

3.3 활주로상태 결정에 대한 제안

(1) 활주로상태는 보통 다음의 3가지 방법으로 제공된다.

- 조종사보고(PIREP: pilot report) - 제동 기능 - good, medium, poor, nil
 - 활주로상태 기술 - Snow, wet, slush, standing water, sand treated compact snow 등
 - 지상마찰측정차량에 의해 보고된 마찰계수 - 30, 0.30 등
- (2) 조종사보고(PIREP)에 의한 활주로 제동상태는 참고정보로만 사용한다. 운항승무원은 가용 정보를 평가할 필요가 있는데 보고시간과 상태변화 가능성을 고려해야 한다. 다음의 경우는 정보가 상충될 수 있다.
- 제동기능은 양호(Good)인데 활주로 상태가 눈진창(slush)가 덮혀있다.
 - 측정마찰계수가 0.35인데 활주로 상태가 눈진

6) 조종사보고(PIREP: pilot report): 일정한 양식에 의해 조종사의 비행경험을 보고하는 것.

- 창(slush)으로 덮혀있다.
- 활주로나 눈진창/고인물(standing water)로 덮혀있다고 보고되면 운항승무원은 제동기능 보고와 측정마찰계수를 의심해야 한다.
 - 눈진창/고인물 보고에서는 수막현상 가능성을 고려해야 한다.
- (3) 활주로나 아래와 같은 빙설로 덮혀있을 때 지상마찰측정장비는 신뢰성이 없다.
- 물 1mm 이상
 - Slush/Wet snow 3mm 이상
 - Snow 2.5cm 이상
- (4) 일부 공항에서는 빙설깊이(contaminant depth)를 측정하여 운전자들에게 제공하지만 이것이 가능치 않을 때 공항주재원은 최소 6mm(1/4 inch) 눈금자로 깊이를 측정해야 한다. 기장은 빙설 종류를 결정하는 최종 권한을 갖고 있다. 정확한 판단을 하기 위해서 활주로나 대한 근접관찰이 필요할 때 공항주재원은 언제든지 협조해야 한다.
- (5) 보잉사는 착륙시 눈진창/고인물 상태는 수막현상 가능성 때문에 불량(poor) 상태의 자료를 사용하길 권장한다.
- (6) 활주로 정보가 없는 경우 제동기능 보고가 없을 경우 다음 Table 6을 참고한다.

Table 6. 제동기능 정보 없을시 적용 기준

활주로표면 상태		제동 기능
Dry		Excellent
Damp		Normal
Wet	-RA, -SN	Good
	RA, SN, Water < 3mm Slush < 2mm Wet snow < 3mm Dry snow < 15mm	Medium (or Fair)
Water ≥ 3mm Slush ≥ 2mm Wet snow ≥ 3mm Dry snow ≥15mm		Poor

자료원: 대한항공 비행운영규정(FOM) 4장

4. 결론

기상조건에 의해 활주로 표면의 마찰특성이 변한 경우 항공기의 이·착륙 성능이 건조한 때보다 저하되는 것은 당연한 일이다. 이런 경우 활주로상태를 정확히 반영하여 항공기성능을 조정할 수 있는 자료가 당연히 있어야 하는데 실제로는 적용하기가 애매하거나 자료가 충분하지 않은 경우가 있다. 빙설(contaminated)활주로나 윤활(slippery)활주로의 경우가 그런 예로 들 수 있는데, 빙설활주로의 경우는 보고가 나오지 않고 윤활활주로의 경우는 성능적용과 연결상의 문제가 있다. 이런 상황에 대한 배경을 연구하여 활주로상태를 정확히 반영하여 성능조정을 할 수 있도록 보완방안을 제시하였다. 조종사와 운항관련자들은 이런 상황을 잘 이해하여 적극적인 자세로 활주로상태를 파악하여 적용을 해야 할 필요가 있다.

항공정보의 정확성과는 별개로 이런 정보의 최종 사용자인 항공사의 입장에서 어떤 정보가 필요하며 항공기성능에 어떻게 이용되는지를 공항운영자 및 관제사가 알 필요가 있다. 최종소비자가 원하는 정보가 무엇인지를 알고 그에 맞는 정보를 제공하는 것이 무엇보다도 중요하다. 현재 우리나라 공항에서 빙설깊이(contaminant depth) 정보를 제공하는 경우는 거의 없다. 활주로 상태에 따라 성능을 보정하는 경우 활주로 마찰계수뿐만 아니라 빙설깊이 정보도 꼭 필요하다. 따라서 항공정보의 생산과정에서부터 최종 소비될 때까지의 효용성을 고려한다면 공항당국, 관제사, 항공사 등이 참여하는 상설협의체가 필요하다. 아마 이런 기구에서 논의된 내용이 반영된다면 항공사에서 필요한 항공정보가 제공되고 이에 따라 항공안전에도 일조하리라 생각한다.

Reference

1. 교통안전공단, “활주로 미끄럼 측정과 항공기 운항 Section 3.”, 2003.
2. 국토교통부, “항공정보간행물(AIP)”, 항공진흥협회, 2015.
3. 대한항공, “비행운영규정(FOM) 4장 기상”, 2014.
4. 한국공항공사, “아스팔트콘크리트포장의 그루

- 빙 설치에 대한 타당성 분석 Section 3.", 2005.
5. Alexander T. Wells, "Airport Planning & Management Chapter 13, 2nd Edition", 1984.
 6. Boeing, "737-800 FPPM, Takeoff & Landing Section", 2010.
 7. Boeing, "Stopping on slippery runways", 2004.
 8. Boeing, "Contaminated runways", 2005.
 9. ICAO, "Annex 14. Aerodromes Vol. 1, Aerodrome Design and Operations, 5th Edition", 2009,
 10. ICAO, "Annex 15. Aeronautical Information Services-13th edition", 2010.
 11. ICAO, "Doc.9137 Airport Service Manual Part 2, Pavement Surface Conditions-4th edition", 2002.
 12. Lufthansa, "A330 FCOM, 2.03.10 p3.", 2002.
 13. Norman Ashford et al, "Airport Operations, Chapter 5-2nd edition", 1995.