

Original Article

<https://doi.org/10.12985/ksaa.2021.29.4.078>
ISSN 1225-9705(print) ISSN 2466-1791(online)

사다리꼴 형상 그루빙의 공항 활주로 적용성 평가 연구

조남현*, 김동철**, 피승우***, 신중하****

A Study on Evaluating the Applicability of Trapezoidal-shaped Grooves to Airport Runways

Nam-Hyun Cho*, Dong-Chul Kim**, Seung-Woo Phi***, Joong-Ha Shin****

ABSTRACT

This study is to evaluate the applicability and performance of trapezoidal-shaped grooves on domestic airport runways. For this, the constructability, drainage performance, and friction resistance characteristics of trapezoidal-shaped grooves compared to square-shaped grooves were evaluated through test construction on pavement at Incheon Airport. As a result of the test construction, the trapezoidal-shaped grooves satisfies the required geometry standards and tolerance, and secured a macrotexture that was 25% improved compared to the square-shaped grooves. It was confirmed that trapezoid-shaped grooves secured drainage performance of more than 7-9%, and surface friction performance improved compared to existing grooves when the surface of the pavement was wet as the test speed increased in the dry state. In addition, after trapezoidal-shaped grooves was installed on the RWY 16R/34L of Incheon Airport, the friction coefficient was 0.84, which satisfies the design level of the new runway surface of 0.82 at the test speed.

Key Words : Trapezoidal-Shaped Groove(사다리꼴 형상 그루빙), Airport Runway(공항 활주로), Friction Resistance(마찰 저항성), Macrotexture(마이크로 텍스처), Drain Performance(배수 성능)

1. 서 론

1.1 연구배경 및 목적

공항의 활주로는 항공기가 이착륙하는 공간으로 포장 표면 상태는 운항 안전에 지대한 영향을 미친다(ICAO,

2002). 특히 항공기 착륙 시 확보되어야 하는 마찰 특성은 항공기 운항 안전성과 직결되는 중요한 요소로, 포장에 젖은 상태에서도 충분한 마찰 성능을 갖도록 설계 및 시공이 이루어져야 한다(Chen et al., 2008). 활주로는 젖은 표면 상태에서의 마찰 성능은 포장 표면의 microtexture와 macrotexture와 상관성을 갖는다. 모두 포장의 미끄럼 저항성에 중요한 인자로 작용되지만 그 영향 대상은 서로 다르다. Fig. 1에서와 같이 microtexture는 굵은 골재 입자의 표면 거칠기를 나타내며 항공기 저속 이동 시 미끄럼 저항성에 영향을 주는 반면, macrotexture는 포장 전체의 표면 거칠기로 굵은 골재의 분포, 입형, 크기 등에 영향을 받으며 특히 항공기가 고속 이동 시 미끄럼 저항성에 큰 영향을 준다(Henry, 2000). 활주로에서 착륙항공기의 이동

Received: 07. Sep. 2021, Revised: 05. Dec. 2021,
Accepted: 27. Dec. 2021

* 인천국제공항공사 공항산업기술연구원 선임연구원

** 인천국제공항공사 토목처 처장

*** 한국공항기술 전문

**** 인천국제공항공사 토목처 AS 토목팀 과장

연락처 E-mail : shinh8605@airport.kr

연락처 주소 : 인천 중구 공항로 424번길 47

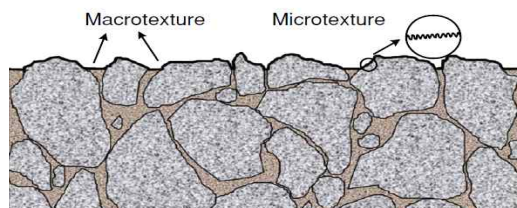


Fig. 1. Comparison of microtexture & macrotexture

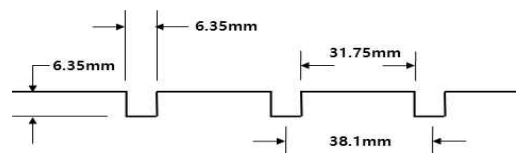
속도는 활주로에 착륙하여 고속탈출유도로로 빠져나갈 때까지의 약 260km/h~100km/h의 고속주행하기 때문에 활주로는 젖은 상태에서 높은 마찰 수준 및 균일한 마찰 특성의 제공, 수막현상(hydro-planing)에 의한 잠재위험을 최소화하기 위해 적정 macrotexture를 확보되어야 한다(Rogers et al., 1991).

일반적으로 공항에서는 우천 시 활주로에서 고속으로 이동하는 항공기 타이어의 수막현상을 최소화하고 미끄럼 저항성을 높이기 위해 물이 활주로 밖으로 흘러 배수구로 들어갈 수 있도록 완만한 경사를 갖거나(Shin et. al., 2009), 포장표면에 macrotexture 향상시키는 그루빙(grooves)을 적용하고 있다(FAA, 1997). 이에 본 연구에서는 기존 그루빙 형상과 다른 사다리꼴 그루빙 적용에 따른 macrotexture 향상정도를 검토하고자 하였다.

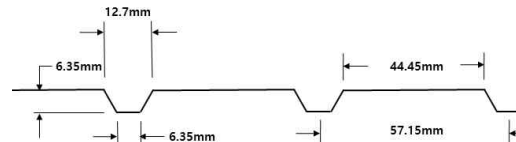
그루빙의 적용을 통해 포장 표면의 자연배수 능력을 개선함으로써 더 빠른 배수를 제공하게 된다. 이는 강우 조건에서 항공기 이륙 및 착륙 시 수막현상을 최소화하고 향상된 마찰력을 제공하는 등 과학적으로 입증된 기술로 현재까지 잘 활용되어 왔다. 하지만 그루빙은 항공기 착륙 시 발생하는 고무퇴적물의 발생량을 증가시키고 동시에 고무제거작업, 제설작업과 같은 포장유지 보수 활동에 의한 재료유실 등으로 형상유지가 어려워 사용주기가 짧은 단점이 있어 이에 대한 성능 개선의 필요성이 대두되고 있다(James, 2012).

FAA Airport Technology Research & Development Team에서는 Fig. 2의 기존 정사각형(square-shaped) 그루빙과 사다리꼴 형상(trapezoidal-shaped)의 그루빙에 대한 배수, 고무 퇴적, 형상 유지 지속성, 마찰 저항력에 대한 비교 검증 연구를 진행하였고, 그 결과 사다리꼴 그루빙이 기존 그루빙 대비 개선된 배수 기능, 고무 퇴적에 대한 내성, 형상 유지 지속성, 수명이 개선됨을 확인하였다(James, 2012).

이에 본 연구에서는 사다리꼴 그루빙에 대한 현장 시공성, 배수성능, 미끄럼 저항성을 평가하여 국내 공



(a) Square-shaped groove (FAA Standard)



(b) Inverted trapezoidal-shaped groove

Fig. 2. Standard and trapezoidal-shaped groove configurations

항 활주로 적용성을 평가하고자 하였다. 이를 위해 인천국제공항 airside 포장에서의 시험시공을 통해 기존 그루빙 대비 사다리꼴 그루빙의 시공성, 배수성능, 미끄럼 저항성에 대한 성능 평가를 수행하였다. 또한, 2021년에 운영을 개시한 인천국제공항 16R/34L 활주로에 사다리꼴 그루빙을 설치하여 마찰계수의 기준 만족여부와 정사각형 그루빙이 설치된 인천국제공항 15R/33L, 15L/33R, 16L/34R 활주로 그리고 FAA가 사다리꼴 그루빙을 시험 시공한 ORD(Chicago O'Hare International Airport) 10/28 활주로의 마찰계수를 비교 분석하여 사다리꼴형상 그루빙의 적용성을 검증하였다.

1.2. 연구방법

본 연구에서는 사다리꼴 그루빙의 국내 공항 적용성 평가를 위해 기존 연구결과를 분석하였으며, 국내 공항에 적용된 기존 그루빙과 사다리꼴 그루빙을 인천국제공항 airside 포장에 시험 시공하여 시공성, 배수성능, 마찰성능을 평가하였다.

그루빙 목표 형상 대비 실제 시공결과와의 비교를 통해 시공성을 평가하였고, 그루빙 형상에 따른 macrotexture 변화를 확인하였다. 그루빙이 설치된 포장 면에 살수 후 수막제거까지의 시간을 측정하여 배수 성능을 평가하였으며, 공항 활주로 마찰 측정 장비를 활용하여 표면건조상태와 표면습윤상태의 마찰계수를 측정하였다. 이를 통해 사다리꼴 그루빙의 활주로 적용성을 평가하였다. 또한 사다리꼴 그루빙을 실제 운영 예정인 인천국제공항 16R/34L 활주로는 적용하여 마찰력 확보 여부를 확인하였다.

II. 본 론

2.1 활주로 포장 그루빙

2.1.1 활주로 미끄럼 저항성 측정

일반적으로 활주로는 젖었을 때의 미끄럼 저항성을 확인하기 위하여 Table 1과 같이 주기적으로 활주로 표면을 측정하도록 하고 있다(MOLIT, 2013). 이러한 미끄럼 저항성은 유지관리를 위해 규정된 수준인 적정 마찰계수 이상으로 관리되어야 한다. 신설 및 유지시 및 최소 허용한계를 반영한 습윤 마찰 계수 수준은 Table 2와 같다. 인천국제공항은 국토부 공항안전운영기준 제 29조(활주로 표면의 마찰측정), 제39조(활주로 표면상태 관리 수준)에 따라 활주로 마찰계수를 주기적으로 측정하고 있다. 마찰계수 측정방법은 맑은 날 포장 표면의 이물질이 완전히 제거된 상태에서 Fig. 3의 Skiddometer를 이용하여 수막두께 1mm의 환경을 조성한 상태에서 측정바퀴를 순간적으로 제동하여 그 때의 힘을 측정한 후 마찰계수를 역산하게 된다(ASM, 2020).

표면의 마찰 특성은 마찰 계수(μ)로 나타내며 식(1)을 통해 산정된다(ICAO, 2012).

$$\mu = \frac{F}{A} \quad (1)$$

여기서 F : braking force

W : vertical reaction between the tire and the road

μ : coefficient of friction(vary within the range of 0.0 to 1.0, in which a higher value represents better surface friction)

Table 1. Friction survey frequency(MOLIT, 2013)

Number of daily aircraft landings per runway end	Minimum friction survey frequency
Less than 8	24 months
9 - 15	12 months
16 - 30	6 months
31 - 90	3 months
91 - 150	1 month
151 - 210	2 weeks
Greater than 211	1 week

Table 2. Friction level for runway pavement surfaces(MOLIT, 2013)

Class	Tire		Test speed (km/h)	New/cons-truction	Main-tenance planning level	Min
	Type	Press-ure (kPa)				
Mu-meter	A	70	65	0.72	0.52	0.42
	A	70	95	0.66	0.38	0.26
Skiddo-meter	B	210	65	0.82	0.60	0.50
	B	210	95	0.74	0.47	0.34
Surface friction tester	B	210	65	0.82	0.60	0.50
	B	210	95	0.74	0.47	0.34
Runway friction tester	B	210	65	0.82	0.60	0.50
	B	210	95	0.74	0.54	0.41
TATRA friction tester	B	210	65	0.76	0.57	0.48
	B	210	95	0.67	0.52	0.42
RUNAR	B	210	65	0.69	0.52	0.45
	B	210	95	0.63	0.42	0.32
GRIPT ESTER	C	140	65	0.74	0.53	0.43
	C	140	95	0.64	0.36	0.24

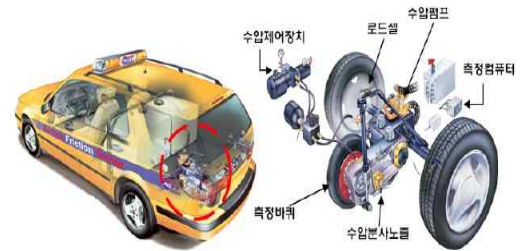


Fig. 3. Skiddometer

인천국제공항은 항공기 운항 안전을 위해 시험속도 65km/h 조건에서 활주로 표면의 마찰계수를 0.60 이상으로 관리하고 있다. 시험 속도가 95km/h일 경우 마찰계수는 0.47 이상이 되도록 관리하고 있다.

2.1.2 활주로 그루빙

2.1.2.1 설치 규격 및 배치

그루빙의 설치 규격과 배치에 대한 기준은 ICAO와

FAA에서 다소 다른 값을 제시하고 있으나, 본 연구에서는 인천국제공항에서 적용하고 있는 FAA(1997)에 근거하였다. 회전형 saw-cut 장비를 이용해 설치되는 활주로 그루빙은 1960년대 초 영국에서 처음 적용되었으며, NASA는 1960년대 중반 수막현상 최소화에 가장 효과적인 구성을 결정하기 위한 대규모 시험을 실시하였다. 그 결과 그루빙의 폭과 깊이는 6.35mm이며, 홈의 중심 간격이 25.4mm로 배치되었을 때 최상의 성능을 제공하는 것으로 확인되었다(Yager, 1968). 그루빙의 간격이 작을수록 배수능력이 더 커지고 활주로 포장에 빠르게 건조시킬 수 있으나 경제성을 고려할 때 38mm의 간격이 거의 모든 강우조건에서 배수에 적합하고 경제성이 가장 큰 것으로 분석되었다(Agrawal, 1983; Agrawal et. al., 1981). 이에 FAA(1997)는 Table 3과 같이 그루빙 중심 간격이 38mm로 배치된 6.35mm의 폭과 깊이가 6.35mm인 정사각형 그루빙을 표준으로 채택했다. 시공허용 오차범위는 폭과 깊이 +1.6mm, 설치간격 -3~0mm로 규정하고 있다.

설치의 범위는 대표적으로 두 가지 형태로 적용되고 있다. 활주로의 전체길이가 설치 범위가 되거나, 활주로 종방향 중심에서 양끝으로 450m 구간을 제외한 구간이 설치 범위가 되는 형태이다. 이는 공항별로 취항 항공기의 기종 및 운항특성에 따라 공항별로 선택하도록 하고 있다. 활주로 갓길은 특별한 경우를 제외하고는 그루빙을 설치하지 않는다.

2.1.2.2 Macrotexture와의 상관관계

그루빙은 아스팔트 및 콘크리트 포장에 적용가능하며, 활주로 표면의 거칠기를 효과적으로 증가시킬 수 있다. 일반적으로 그루빙이 없는 아스팔트 포장의 macrotexture는 0.5~0.8mm 범위에 있으며, SMA (Stone Mastic Asphalt)의 경우 약간 더 높다. 그루빙

의 형상 및 표면 macrotexture에 근거하여 그루빙의 설치된 포장표면의 경우 식(2)로 계산할 수 있다(ICAO, 2012).

$$M_g = \frac{WD + M_u(S - W)}{S} \quad (2)$$

여기서, M_g : grooved macrotexture, mm

W : groove width, mm

D : groove depth, mm

M_u : ungrooved macrotexture, mm

S : groove spacing, mm

2.1.2.3 기존 연구 및 이론적 고찰

사다리꼴 그루빙의 적용 시 발생하는 장점에 대해서는 FAA 연구진에 의해 매우 면밀히 검토되었다. 사다리꼴 그루빙은 항공기 착륙지역에서 기존 그루빙 대비 고무 퇴적, 그로 인한 그루빙의 폐쇄 및 붕괴에 더 잘 저항함을 확인하였다. 해당 연구에서 제시한 사다리꼴 그루빙의 규격은 Table 4와 같이 홈 상부의 폭은 12.7mm, 하부 폭은 6.35mm를 갖으며, 깊이는 기존 그루빙과 동일한 6.35mm이며, 설치간격은 57mm로 제시하였다. 본 연구에서도 이와 동일한 사다리꼴 그루빙을 적용하여 평가하고자 하였다.

Marine Corps Air Facility Quantico, Chicago O'Hare International Airport에 사다리꼴 그루빙의 시험구간을 설치하여, 다양한 조건에서 배수, 고무 퇴적, 표면 마찰 시험을 실시하여 그 결과를 기존 그루빙과 비교하였다. 그 결과 사다리꼴 그루빙이 배수 기능,

Table 3. Square-shaped groove geometry standard

Classification		FAA
Width (mm)	Standard	6.35
	Tolerance	±1.6
Depth (mm)	Standard	6.35
	Tolerance	±1.6
Spacing (mm)	Standard	38
	Tolerance	-3~0

Table 4. Trapezoidal-shaped groove geometry standard

Classification			Trapezoidal-shaped Groove
Width (mm)	Standard	Top	12.7
		Bottom	6.35
	Tolerance		±1.6
Depth (mm)	Standard		6.35
	Tolerance		±1.6
Spacing (mm)	Standard		57
	Tolerance		-3~0

고무 퇴적에 대한 내성, 형상 유지성, 수명 측면에서 기존 그루빙에 비해 개선됨을 확인하였으며, 마찰 값은 기존 그루빙과 유사한 결과 값을 얻었다. 이 평가 동안에 수집된 데이터의 분석은 사다리꼴 그루빙이 공항 포장에 적용 가능한 대안으로 고려될 수 있음을 보여주었다(James, 2012).

항공기 착륙 시 발생하는 고무 퇴적물은 그루빙 내부에 쌓여 단면을 줄일 수 있으며, 항공기의 착륙 하중은 단면 붕괴를 일으켜 단면을 폐쇄시킬 수도 있다. 반면 사다리꼴 그루빙은 설계상 기존 그루빙이 제공하는 6.35mm의 폭과는 달리 상부가 12.7mm 폭을 갖기 때문에 고무퇴적 및 붕괴로 인한 폐쇄에 더 잘 저항할 수 있다. 또한 117°의 경사각을 갖는 사다리꼴 그루빙 벽은 90°의 경사각을 갖는 기존 그루빙의 수직 벽보다 구조적으로 더 견고해지기 때문에 붕괴를 방지하는 데 도움이 될 수 있다. 이는 또한 항공기 착륙 시 타이어에 작용하는 손상 저감 및 고무퇴적물 감소로 이어질 수 있다. 이는 FAA National Airport Pavement Test Facility를 이용한 하중시험을 통해 검증되었다. 시험 결과 휠 하중 34ton이 10,362회 반복 적용 후에 심각한 변형과 폐쇄를 보였던 기존 그루빙과는 달리 사다리꼴 그루빙은 본 형상을 유지하고 있는 것으로 나타났다(James, 2012).

사다리꼴 그루빙의 경우, 활주로 표면에 강제적으로 물이 빠져나갈 수 있는 동일한 배수 면적을 제공함과 동시에 오리피스 둘레(orifice perimeter)를 28% 감소시켜 배수 시 발생하는 저항력을 줄일 수 있다. 이를 통해 사다리꼴 그루빙은 기존 그루빙과 거의 동일한 수막현상 감소를 제공할 것으로 예상된다.

FAA는 기존 정사각형 그루빙이 적용되더라도 최대 76.2mm 간격 및 그 이상의 간격으로 수막현상에 대한 저항성을 얻을 수 있음을 확인하였다(Agrawal et al., 1981). 더욱이 NASA에서는 50.8mm 간격의 기존 그루빙과 38.1mm 간격의 기존 그루빙이 거의 동일한 성능임을 확인하였다(Yager, 1968). 특히 강우 시 기존 그루빙 포장은 100km/h 미만의 속도에서는 사다리꼴 그루빙보다 약간 더 높은 미끄럼 저항을 갖으나, 100km/h 이상에서는 사다리꼴 그루빙이 설치된 포장이 더 나은 배수 용량으로 인해 향상된 성능을 보였다(Pasindu and Fwa, 2015).

기존 연구와 사다리꼴 그루빙에 대한 이론적 분석 결과 다양한 측면에서 기존 정사각형 그루빙 대비 우수한 성능이 확보될 것으로 예상된다. 수막현상 감소 성능, 고무 퇴적물로 인한 단면 폐쇄에 대한 저항성,

성능이 향상될 수 있으며 항공기 적재량이 많아 붕괴 및 고장에 대한 내성이 더 좋을 수 있다는 점도 지적됐다. 예방 분야에서 기존 정사각형 그루빙과 동등 이상의 성능을 발휘할 수 있다는 것을 보여주었다.

2.2 사다리꼴 그루빙 시험시공

2.2.1 사다리꼴 그루빙 절삭부재

시험시공에 앞서 Table 3의 사다리꼴 형상 기준에 따른 시공이 가능한 블레이드를 개발 및 제작을 시행하였다. 일반적으로 그루빙 시공을 위해 절삭 블레이드가 요철(凹)구조 형태로 결합되어 그라인딩 드럼을 형성하게 된다. 이러한 드럼은 모터에 의해 고속회전하면서 활주로 포장 표면을 일정 깊이로 절삭하여 요철구조를 형성하게 된다.

사다리꼴 그루빙 블레이드는 Fig. 4(a)의 횡단면을 기준으로 바닥면형성부(bottom surface forming part)와 양측면에 빗면형성부(inclined surface forming part) 다수가 Fig. 4(b)의 종단면과 같이 간격을 두고 돌출형성됨에 따라 이들 조합 의해 사다리꼴 단면구조로 절삭하게 된다. 이때, 바닥면형성부, 빗면형성부의 수치는 사다리꼴 그루빙 형상 기준(하부 6.35mm, 상부 12.70mm, 높이 6.35 mm)에 근거하여 개발 및 제작되었으며, 실물은 Fig. 5와 같다.

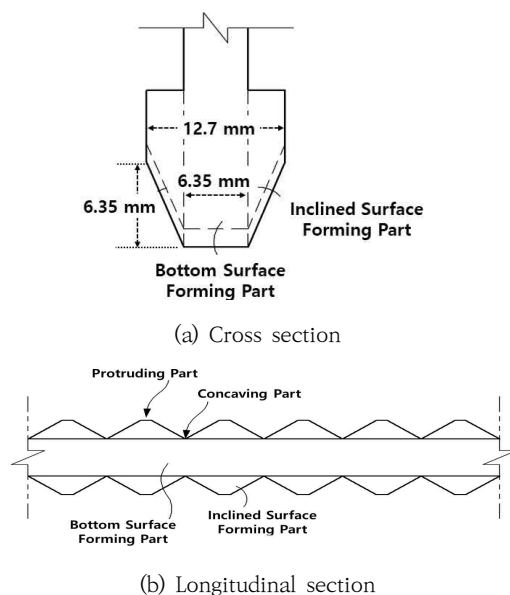


Fig. 4. Cross section and longitudinal section of trapezoidal-shaped blade



Fig. 5. Trapezoidal-shaped blade

2.2.2 시험시공

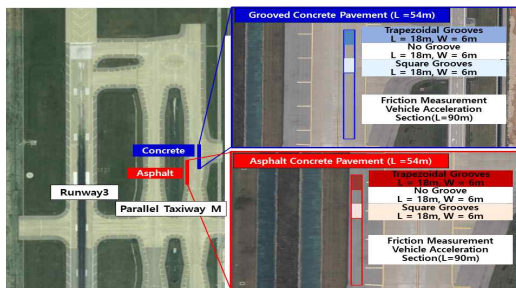
공항 활주로 적용성 평가를 위한 시험시공은 Fig. 6(a)의 인천국제공항 M-19 유도도로에 Fig. 6(b)와 같이 아스팔트 및 콘크리트 포장에서 각각 이루어졌다.

설치 폭과 길이는 각각 인천국제공항의 콘크리트 포장 슬래브의 줄눈간격인 6m와 마찰측정을 위한 최소 길이인 18m를 고려하여 Table 5와 같다.

비교분석의 신뢰도를 확보하기 위해 시험시공 구간 중간에 그루빙 미설치 구간을 배치하였으며, 마찰 측정 장비(Skiddometer)의 가속을 위한 구간 90m를 포함하고 있다. Fig. 7은 현장에서의 그루빙 절삭작업의 모습이다.



(a) Location of test section in Incheon Airport



(b) Test construction details

Fig. 6. Test construction site in Incheon Airport

Table 5. Test construction size

Classification		Trapezoidal groove	No groove	Square groove	Accelerations section
Asphalt & concrete pavement	Width (m)	6	6	6	6
	Length (m)	18	18	18	90



Fig. 7. Test construction

2.3 사다리꼴 그루빙 적용성 평가

2.3.1 현장 적용성 평가

사다리꼴 그루빙의 공항 활주로 적용성은 기존 정사각형 그루빙 대비 성능의 발현정도를 현장평가를 통해 이루어졌다. 이를 위한 현장검증 방법은 Table 6과 같다.

2.3.2 현장 평가 결과

2.3.2.1 그루빙 형상 검토 및 시공성

그루빙 시공결과를 육안으로 확인한 결과 Fig. 8과 같이 형상별로 시공됨이 가능함을 확인하였다.

Table 6. Field test method

Classification	Test method
Comparison of geometry	Measurement of grooves width and depth
Macrotexture	$M_g = \frac{WD + M_u(S - W)}{S}$
Drainage performance	Measure the time to reach the surface dry state after spraying the same volume
Skid resistance	(ASTM) E1960-03, Standard Practice for Calculating International Friction Index of a Pavement Surface.

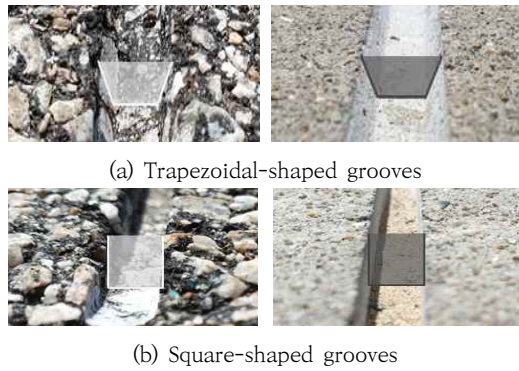


Fig. 8. Cross-section comparison by groove

또한 그루빙 형상별 설치 규격 만족 여부를 확인하기 위해, 시험시공 후 20개 위치에서 3개 지점에 대한 평균값을 Table 3, 4의 기준 값과 비교하였다. 그 결과, Table 7과 같이 폭, 깊이 모두 목표치인 ± 1.6 mm의 시공오차를 만족하고, 설치간격 역시 0~3mm를 만족함에 따라 사다리꼴 그루빙이 규격에 따라 실제 시공이 가능한 것으로 확인되었다.

사다리꼴 하부 폭이 기준 대비 약 1mm 더 큰 것은 블레이드 제작 오차에 의해 발생한 것으로 실제 시공 시 블레이드 규격 조정으로 해소 가능할 것으로 판단된다.

2.3.2.2 Macrotexture 산정

항공기가 고속이동에 영향을 주는 macrotexture의 증가정도를 확인하기 위해 측정된 그루빙 수치값과 기존 연구결과(Kim et al., 2016)에 따른 그루빙이 시공되지 않은 인천국제공항 아스팔트 포장의 평균 macro-

texture(0.52mm)에 근거하여 그루빙이 설치된 포장 표면의 macrotexture를 식(2)로 계산하였다. 그 결과, Table 8과 같이 사다리꼴 그루빙의 경우 1.95mm로 1.56mm인 정사각형 그루빙 대비 25% 정도 향상됨을 확인하였다. 이는 고속이동하는 항공기에 향상된 마찰 저항력을 제공하여 항공기 운항 안전에 기여할 것으로 판단된다.

2.3.2.3 배수 성능 평가

활주로의 배수성능은 항공기 타이어와 활주로 표면 간에 수막형성 발생 잠재성에 크게 영향을 미친다. 이에 표면 배수 성능 평가를 위해 그루빙 형식별 시험구간(길이 18m × 폭 6m) 내에 살수를 통한 표면 전체에 균질한 수막형성 후 수막제거까지의 시간 측정하여 개선정도를 비교 평가하였다. 이때, 시험구간의 균질한 수막형성을 위해 폭 6m로 살수 가능한 차량을 이용하여 32km/h(9.0m/sec) 속도로 이동하면서 0.27 l/m^2 (15 l/sec)를 살수하였다.

이는 육안으로 수막형성 확인이 가능한 수준인 0.25mm보다 조금 많은 양이다. 수막의 제거정도는 Fig. 9와 같이 육안으로 확인하였으며 시험구간에 전체에 형성된 수막이 완전히 사라진 상태(표면건조상태)로 정의하였다. 총 시험은 시험구간별로 3회 실시하였

Table 8. Macrotexture for each groove

Classification	M_g (mm)	W (mm)	D (mm)	M_u (mm)	S (mm)
Trapezoidal	1.95	13.13	7.32	0.52	55.9
Square	1.56	6.35	6.68	0.52	37.5

Table 7. Numerical measurement of groove

Classification			Width (mm)		Depth (mm)		Spacing (mm)	
			M	S	M	S	M	S
Con'c	Square		6.27	6.35	6.64	6.35	37.2	38
	Trapez	Top	12.41	12.70	6.22	6.35	56.7	57
		Bottom	7.29	6.35				
Asp	Square		6.33	6.35	6.68	6.35	37.5	38
	Trapez	Top	13.13	12.70	7.32	6.35	55.9	57
		Bottom	7.62	6.35				
	Square		6.33	6.35	6.68	6.35	37.5	38

* M: Measured, S: Standard.



Fig. 9. Comparison square & trapezoidal groove with hydroplaning status

으며 그 결과는 Table 9와 같이 사다리꼴 그루빙이 정사각형 그루빙 대비 평균 5초 정도 배수가 빨라 배수성이 7~9% 이상 우수한 것으로 분석되어 강우 시 수막현상 감소로 항공기 운항 안전성 증대에 기여할 것으로 예상된다.

2.3.2.4 미끄럼 저항성 평가

그루빙 형상 별 표면 미끄럼 저항성을 확인하기 위해 Fig. 3의 마찰 측정 장비(Skiddometer)를 활용해 시험시공구간의 포장 표면 상태별 마찰계수 측정 시험을 실시하였다. 그 결과 Fig. 10과 같이 고속조건에서 사다리꼴 그루빙 설치구간이 표면 상태에 상관없이 높은 마찰계수를 보였다.

표면건조상태, 시험 속도 85km/h 이상에서 사다리꼴 그루빙이 설치된 콘크리트 포장의 마찰계수는 각각 0.76과 0.69로 기존 그루빙 마찰계수인 0.7, 0.66 대비 각각 8.5, 4.5% 향상되었으며, 아스팔트 포장의 경우 각각 0.94와 0.87로 8.0% 향상되었다. 이를 통해 고속주행 시 표면건조상태에서 사다리꼴 그루빙의 마찰계수가 기존 그루빙 대비 평균 7.0% 향상된 것으로 확인되었다.

표면습윤상태, 측정 속도 85km/h 이상에서 사다리꼴 그루빙이 설치된 콘크리트 포장의 마찰계수는 0.70로 기존 그루빙의 마찰계수 0.52 대비 34.6% 향상되었으며, 아스팔트 포장의 경우 각각 0.84와 0.76으로 10.5% 향상되었다. 이를 통해 표면습윤상태에서 85km/h 이상의 고속 이동시 사다리꼴 그루빙의 마찰계수가 기존 그루빙 대비 평균 22.6% 향상된 것으로 확인되었다.

Table 9. Drainage performance evaluation by groove shape

Classification		Drainage time (sec)		Remark
		Concrete	Asphalt	
Trapezoidal groove	1	49	63	7~9%
	2	51	66	
	3	51	65	
	Average	50.3	64.6	
Square groove	1	53	69	
	2	57	68	
	3	56	72	
	Average	55.3	69.6	

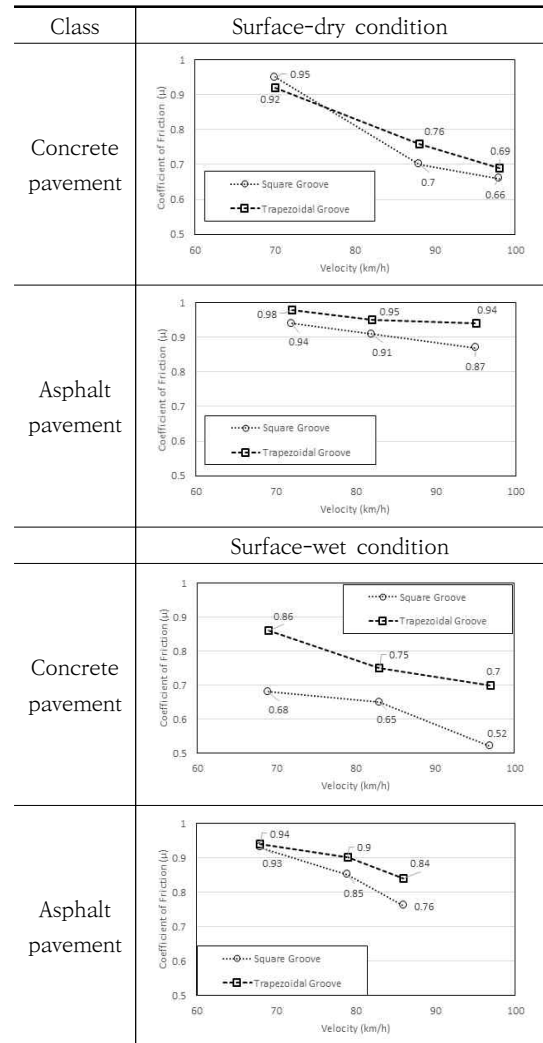


Fig. 10. Friction test results for each groove shape

표면건조 상태에서 시험 속도가 증가하고, 포장표면이 습윤상태일수록 사다리꼴 그루빙이 기존 그루빙 대비 미끄럼 저항성이 향상되는 경향을 보였다. 이를 통해 항공기 제동능력 향상에 따른 운항 안전성 증대가 예상되며, 특히 항공기 착륙속도가 200km/h 이상인 점을 고려 시 사다리꼴 그루빙의 미끄럼 저항효과가 훨씬 클 것으로 예상된다.

2.3.3 적용성 검증

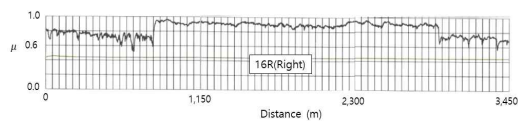
시험시공 결과 사다리꼴 그루빙이 기존 정사각형 그루빙 대비 macrotexture, 배수성능, 미끄럼 저항성 측면에서 성능 개선을 확인하였다. 이에 인천국제공항 신

설 활주로인 16R/36L에 사다리꼴 그루빙을 적용하였으며, 기존 정사각형 그루빙이 적용된 인천국제공항 15R/33L, 15L/33R, 16L/34R 활주로의 마찰계수 측정결과와 비교하였다. 16R/36L 활주로의 마찰계수는 Table 10 및 Fig. 11과 같이 평균 0.82 ~ 0.86으로 해당 시험속도인 65km/h에서의 신설활주로 표면의 설계수준인 0.82를 만족하여 운영 활주로서의 충분한 미끄럼 저항성을 확보하였다.

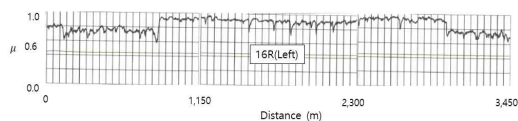
정사각형 그루빙이 적용된 인천국제공항 15R/33L, 15L/33R, 16L/34R 활주로 및 사다리꼴 그루빙이 설치된 ORD 10/28 활주로의 마찰계수는 비교결과는 Table 11과 같다. 이 때, 15L/33R, 16L/34R, 16R/34L, ORD 10/28는 신설 및 그루빙 설치 직후 측정된 결과이나 15R/33L은 운영 중에 측정된 결과이다. 또한 인천국제공항 15R/33L, 16R/36L과 ORD 10/28 활주로의 시험속도는 65km/h이며 16L/34R 활주로는

Table 10. Coefficient of friction(RWY 16R/34L)

Direction	Velocity (km/h)	Length (m)	Coefficient of friction			
			A	B	C	Average
16R → 34L	66	3,450	0.79	0.9	0.83	0.84
16R → 34L	66	3,450	0.79	0.9	0.85	0.85
34L → 16R	65	3,450	0.81	0.86	0.78	0.82
34L → 16R	67	3,450	0.86	0.91	0.8	0.86



(a) Coefficient of friction(34L→16R)



(b) Coefficient of friction(16R→34L)

Fig. 11. Friction test results(RWY 16R/34L)

Table 11. Comparison of coefficient of friction

Airport	6RWY	Test speed (km/h)	Coefficient of friction			
			A	B	C	Average
ICN	15R/33L	66	0.73	0.69	0.69	0.70
	15L/33R	66	0.81	0.80	0.85	0.82
	16L/34R	95	0.75	0.79	0.65	0.73
	16R/34L	66	0.81	0.89	0.82	0.84
ORD	10/28	66	0.81	0.78	0.88	0.82

95km/h로 서로 다르다. 하지만 모두 해당 속도에서의 유지보수 계획수립 수준 대비 우수한 신설 활주로 마찰력 수준인 0.82, 0.74를 만족하고 있으며 15R/33L의 경우 유지보수 계획수립 기준치인 0.6 이상을 만족하고 있다. 사다리꼴 그루빙이 설치된 인천국제공항 16R/34L과 ORD 10/28의 평균 마찰계수는 각각 0.84와 0.82로 정사각형 그루빙이 설치된 15L/33R의 마찰계수인 0.82와 유사한 수준을 보였다. 이를 통해 사다리꼴 그루빙의 활주로 적용성을 확보하였으며, 기존 그루빙 이상 또는 동일한 수준의 마찰성능이 확보되었음을 확인하였다.

III. 결 론

본 연구에서는 사다리꼴 그루빙의 국내 공항 활주로 적용을 위한 시험시공과 성능 평가를 진행하여, 연구범위 내에서 다음과 같은 결론을 도출하였다.

첫째, 시험시공 결과 사다리꼴 그루빙의 형상은 요구규격과 시공오차 범위를 만족함에 따라 현장 적용이 가능한 것으로 확인되었다.

둘째, 사다리꼴 그루빙에 따른 포장표면 macro-texture는 1.95mm로 기존 그루빙의 1.56mm 대비 25% 정도 향상되었다. 이는 고속 이동하는 항공기에 향상된 미끄럼 저항력을 제공할 것으로 판단된다.

셋째, 배수 성능평가 결과 동일조건에서 사다리꼴 그루빙이 기존 그루빙 대비 7~9% 향상된 배수성능을 보임에 따라 수막현상 감소로 항공기 운항 안전성 증대에 기여할 것으로 예상된다.

넷째, 사다리꼴 그루빙이 설치된 표면의 마찰계수는 표면건조 상태에서 이동속도가 증가할수록, 포장표면이 습윤상태일수록 증가하는 경향을 보임에 따라 항공기 착륙속도가 200km/h 이상인 점을 고려 시 미끄럼 저항효과는 더 향상될 것으로 예상된다.

다섯째, 사다리꼴 그루빙을 인천국제공항 16R/34L 활주로에 설치 후 마찰력 측정결과 0.84로 시험속도 (65km/h)에서의 신설활주로의 설계수준인 0.82를 만족하였으며, 정사각형 그루빙이 적용된 15L/33R, 16L/34R 및 사다리꼴 그루빙이 적용된 ORD 10/28과 동일한 수준의 마찰성능이 확보됨에 따라 사다리꼴 그루빙의 활주로에 적용성을 검증하였다.

이에 본 연구에서 실시한 사다리꼴 형상 그루빙의 성능평가 결과는 공항당국자와 설계자들에게 활주로 그루빙 설치 시 명확한 선택기준을 제공함으로써 일관성 있는 설계와 활주로 포장 성능 유지관리의 틀을 마련하게 될 것으로 기대된다.

감사의 글

본 논문은 인천국제공항공사의 연구지원으로 수행되었으며 이에 관계자분들께 감사드립니다.

References

1. ICAO, "Airport Services Manual Part 2, Pavement Surface Condition(Fourth Edition) Doc9137-AN/898", International Civil Aviation Organization, 2002, pp.1-1.
2. Chen, J.-S., Huang, C.-C., Chen, C.-H., and Su., K.-Y., "Effect of rubber deposits on runway pavement friction characteristics", Transportation Research Record: Journal of the TRB, 2068(1), Jan. 2008, pp.119-125.
3. Henry, J. J., "NCHRP synthesis of highway practice 291: Evaluation of pavement friction characteristics. TRB", National Research Council, 2000, pp.19-20.
4. Rogers, M. P., and Garget, T., "A skidding resistance standard for the national road network", Highways and Transportation, 38(4), 1991, pp.10-13.
5. Shin D.-W., and Shin, H.-C., "The study on the minimum requirements for the design of an airpark used in light aircraft operations", Journal of the Korean Society for Aviation and Aeronautics, 17(2), 2009, pp.18-22.
6. FAA, "Measurement, Construction, and Maintenance of Skid-Resistant Airport Pavement Surfaces. AC No: 150/5320-12C", Federal Aviation Administration, 1997, p.6, p.19.
7. Patterson Jr, J. W., "Evaluation of trapezoidal shaped runway grooves(DOT/ FAA/TC-TN 12/7)", Federal Aviation Administration, 2012, p.1, pp.54-54.
8. Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MOLIT), "Airport Safety Operation Standards", Notice 2013-830, 2013, p.14, p.17.
9. Airport Cooperative Research Program (ACRP), "Impact of airport rubber removal techniques on runways (synthesis 11)", Transportation Research Board, 2008. p.8.
10. American Society for Testing and Materials (ASTM), "Standard Specification for a Size 4.00 - 8 Smooth Tread Friction Test Tire", 2020, p.2.
11. ICAO, "Runway surface condition assessment, measurement and reporting, Cir 329 AN/191", International Civil Aviation Organization, 2012, p.2, p.6.
12. Yager, T. J., "Comparative breaking performance of various aircraft on grooved and ungrooved pavements at the landing research runway," Paper No. 3 NASA SP-5073, National Aeronautics and Space Administration Langley Research Center, 1968, p.36, pp.43-44.
13. Agrawal, S. K., and Daiutolo, H., "The braking performance of an aircraft tire on grooved portland cement concrete surfaces", Report No. FAA-RD-80-78, Federal Aviation Administration, Jan. 1981, pp.18-22.
14. Pasindu, H. R., and Fwa, T. F., "Improving wet-weather runway performance using trapezoidal grooving design," Transportation in Developing Economies, 1, 2015, pp.1-10.
15. Kim, Y.-U., You, K.-H., and Cho, N.-H., "Development of the rubber removal primer to reduce pavement damage for removal of rubber deposits in runways," Journal of the Korean Society of Civil Engineers, 36(4), 2016, pp.695-704.