

## 건식그루빙을 사용한 공항 활주로의 마찰 및 수막현상 특성평가

Evaluation of Friction and Hydroplaning Characteristic in  
Airfield Using Dry Grooving Method

박 태 순\*

Park, Tae Soon

### Abstract

Since the advent of turbojet aircraft with their greater weight and high landing speed, breaking performance on runway surface has become more critical. Under certain weather conditions(wet weather, winter), hydroplaning or unacceptable loss of traction can occur, resulting in poor braking performance and possible loss of directional control.

To address this concern, a number of research project were conducted by NASA, FAA, USAF. The various method which was reported the advantage of the increasing the friction and decreasing the hydroplaning effect. A-2 section of inchon international airport was grooved using dry grooving method. In order to evaluate the effectiveness of the dry grooving method, the surface was spray with water and measured the fiction factor and the depth of the water using Mu meter and water depth measuring device. The field test results showed that the fiction factor was increased and the depth of the water decreased. The dry grooving method illustrated the reduction of hydroplaning and also, no distress on the runway.

**Keywords :** dry grooving, hydroplaning, friction factor, mu meter, runway

### 요지

초대형 항공기의 출현으로 인하여 활주로 표면의 마찰저항 성능이 중요하게 되었다. 우천시나 겨울철과 같은 특정한 기후에서 활주로 표면은 수막현상과 마찰력의 손실이 발생하여 항공기의 브레이크 기능이 저하되어 제동력을 잃게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위해 많은 연구가 미국항공우주국, 미공군, 미연방항공청 등에 의해 수행되었다. 그 결과 다양한 종류의 마찰저항이 큰 포장표면 처리 방법이 개발되었다. 이러한 설계방법 가운데 대표적인 방법이 그루빙이다. 포장 그루빙 공법은 활주로 표면에 마찰저항을 증가시키고 수막현상을 감소시켜주는 장점이 있는 것으로 보고되고 있다. 본 연구는 인천국제공항의 A-2구간에 수행된 건식 그루빙의 시공결과를 평가한 것이다. 그루빙 시공중에 온도 케이지를 사용하여 포장체+의 온도를 측정하고 건식 그루빙중에 온도변화를 측정하였으며 컷트날의 마찰로 발생하는 그루빙 시공이 완료된 활주로에 물을 살수하고 뮤 미터와 수심측정기를 사용하여 마찰계수와 수심을 계측하였다. 시험결과, 그루빙은 포장체에 손상을 주지 않았으며 활주로 표면은 마찰저항이 증가하고 수막현상을 감소하는 효과가 현저하게 나타나서 건식 그루빙의 효과는 매우 큰 것으로 평가되었다.

**핵심용어 :** 건식 그루빙, 수막현상, 마찰계수, 마찰계수 측정 장비, 활주로

\* 정회원 · 서울산업대학교 토목공학과 조교수(tpark@duck.snut.ac.kr / Tel: 02-970-6506)



## 1. 서 론

대형 제트 항공기의 등장과 함께 활주로 포장 표면의 마찰저항과 수막현상이 큰 문제가 되기 시작하였다. 이러한 문제점의 발생원인은 첫 번째로 제트 항공기는 프로펠라 항공기에 비해 빠른 속도로 착륙한다는 사실과 두 번째로 ILS(계기착륙장치)등 착륙보조시설의 진보에 의해 기상조건이 나쁠 때(우천시, 겨울)에도 이·착륙을 할 수 있게 되었기 때문이다. 이러한 착륙 기술의 진보로 인하여 유럽과 미국에서는 1950년도에서부터 노면의 마찰저항과 수막현상에 대한 연구가 수행되어 왔다. 1960년도에 NASA(미항공우주국)에서는 항공기 실물 크기의 차륜을 사용하여 항공기와 같은 속도로 시험을 수행하여 수막현상에 대한 연구 및 대책을 연구했다. 또한 1967년 이후 NASA, USAF(미공군), FAA(미연방항공청)에서 B-77, L-1101 등 실제의 항공기를 사용한 수많은 시험을 실시하여 습윤(濕潤)활주로의 마찰저항에 대한 문제점이 명백해져 활주로의 마찰저항을 개량하는 방법으로 그루빙이 검토되었고, 1970년대 초반부터 위성던 내셔널 공항 등의 많은 공항 활주로 등에서 그루빙시공을 실시하여 활주로의 마찰저항성 향상을 위한 연구가 시작되었다.

한편 우리나라와 가까운 일본에서도 지방간선 공항의 제트기의 취항과 대형기 도입에 따른 항공기 이착륙의 안전성 향상을 위해 1970년도에는 습윤(濕潤)활주로 안전기준조사연구위원회가 설립되었고, 지상측정차의 선정과 활주로의 관리 기준안을 작성하여, 그루빙 시험시공과 그 효과를 측정하였다. 그 결과를 기초로, 1976년도에는 공공 비행장으로서는 최초로 후쿠오카, 마쓰야마, 야마카타공항 등의 활주로에 본격적으로 그루빙 공사가 실시되었다.

이러한 많은 연구 수행 결과 활주로에 그루빙을 시공함으로서 노면의 마찰저항이 개량되고, 포

장표면의 배수효과가 좋아져 같은 강우량(降雨量)에서도 그루빙이 없을 때와 비교하여 노면 수심이 상당히 낮아져 수막현상에 대한 큰 효과를 발휘하였다. 또한 타이어와 노면사이에 물이 빠져나가는 길이 생겨 타이어와 활주로 노면이 직접 접촉하는 면적이 커지는 효과로 인하여 포장표면의 마찰계수가 증가하여 활주로의 마찰저항성을 증가시켰다.

본 연구는 국내에서는 처음으로 아스팔트 활주로상에 그루빙을 실시하기 위하여 건식 및 습식 방법에 대하여 검토하였다. 검토한 결과 습식은 슬리지의 처리량이 너무 많이 발생하여 처리가 곤란하고 처리비용도 고가이기 때문에 건식 그루빙 방법에 대하여 검토하였다.

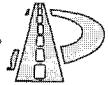
그러나 건식 그루빙 시공시 텁날의 마찰로 열이 발생하여 아스팔트 활주로 포장에 변형이 발생할 것이라는 우려가 제기 되었다. 변형에 대한 문제에 대해 활주로 포장체에 깊이별로 온도 센서를 매설한 후 그루빙 시공시 센서의 온도변화를 계측하여 건식 그루빙공법의 타당성을 검증하였다. 또한 그루빙 시공 전과 그루빙 시공 후 물을 살수하여 각각의 마찰저항과 수심을 측정, 활주로의 마찰저항성 향상과 수막현상의 감소 효과를 비교 분석하였다.

## 2. 그루빙이론

### 2.1 마찰저항이론

항공기가 지상을 주행할 때 그 중량은 타이어를 사이에 두고 지면에 지지되며, 주행 중에 항공기가 정지하기 위해서는 타이어는 노면으로부터 정지하기 위해 마찰 저항력이 필요하다.

노면과 타이어 사이의 마찰저항력은 그때의 노면과 타이어 상태에 따라 변화하는데 노면과 타이어 사이에서 발휘할 수 있는 저항력에는 한계가 있으며 그 한계를 초과하는 힘이 발생하는 경



위에 타이어는 노면에서 미끄러지게 된다.

이와 같이 타이어가 노면 위를 미끄러질 때 타이어와 노면사이에 작용하는 마찰력을 일반적으로 마찰저항력( $F$ )이라고 부르며, 이 마찰저항력( $F$ )을 타이어 하중( $W$ )으로 나눈 값을 미끄럼 마찰 계수( $\mu$ )라고 부른다. 즉,

$$\mu = F/W$$

그림 1은 마찰 저항이론을 나타낸 것이다.

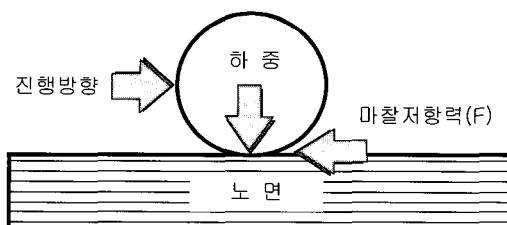


그림 1. 마찰저항 이론

## 2.2 마찰저항에 영향을 미치는 요소

마찰저항은 습윤(濕潤)노면이 건조노면보다 작고, 속도가 증가하면 감소하는 경향이 있는데 그 관계는 그림 2에 나타나 있다.

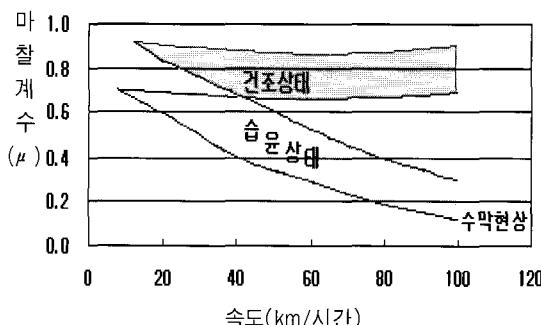


그림 2. 마찰계수와 주행속도와의 관계

이것은 속도가 증가함에 따라 타이어 전면(前)

면)에서 물의 동압력 증가와 유체의 점성효과에 의한 윤활작용 때문에 접촉면적이 점차적으로 작아지기 때문이다. 노면에 수막이 생기면 속도가 증가함에 따라, 결국 타이어는 노면으로부터 벗어나고 수막에 의해 타이어가 지지되지 못하는 상태가 되는 것이다. 타이어의 이러한 현상을 수막 현상이라고 부른다.

그림 3은 활주로의 마찰저항에 영향을 주는 각 요소간 관계를 나타낸 것이다.

노면의 마찰저항에 영향을 미치는 요소는 다음과 같다.

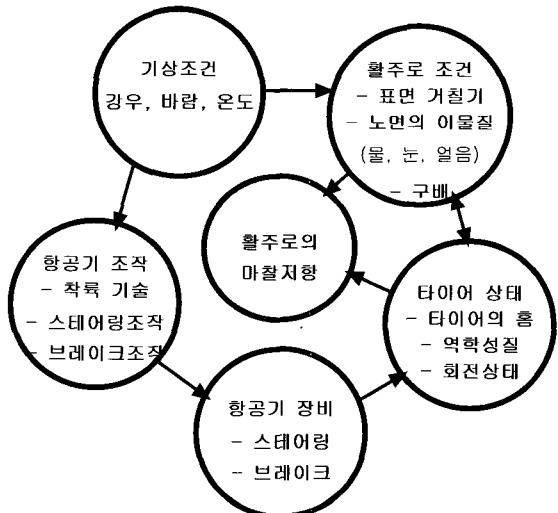


그림 3. 활주로의 마찰저항에 영향을 미치는 각 요소간 관계

### 2.2.1 노면의 배수특성

앞서 설명한 것과 같이 노면의 수막두께는 수막현상에 중요한 역할을 하므로 노면의 배수특성에 따라 마찰저항은 크게 향상시킬 수 있다.

### 2.2.2 타이어와 노면사이에서의 배수

타이어와 노면사이의 물은 마찰저항을 감소시



키는 요인이 되기 때문에 타이어와 노면사이에서 배수는 미끄럼저항을 향상시킨다. 또한, 타이어의 접지면(tread)과 노면의 거칠음과도 깊은 관계가 있다.

### 2.2.3 타이어의 회전상태

일반적으로 건조 및 습윤상태에 관계없이 타이어의 회전상태는 미끄럼저항력에 큰 영향을 미친다. 미끄럼율이 0%라는 것은 차륜이 자유롭게 회전하고 있는 상태를 의미하며, 미끄럼율이 100%라는 것은 완전하게 미끄러지고 있는 상태를 의미한다. 차륜이 완전하게 미끄러져 버리면 미끄럼 마찰계수가 저하함과 동시에 미끄럼 저항이 없어서 항공기를 전혀 조작 할 수 없기 때문에 항공기의 제동장치에는 브레이크를 세게 걸을 때 바퀴가 정지된 채 미끄러져 나가지 않도록 앤티스키드 시스템(Antiskid system)이 설치되어 있다.

## 2.3 표면조직 및 배수

마찰저항 또는 수막현상에 대한 포장조직의 영향을 논의할 때, 포장 표면을 설명하기 위해 공통적으로 사용하는 두 용어는 미세조직(microtexture)과 중간조직(macrotecture)이다. 미세조직은 눈으로는 식별이 안되지만 촉감으로는 명백히 알 수 있는 사포(sandpaper)를 만지는 느낌- 작은 개개 골재 입자로 구성된 포장 표면의 미세한 총의 거칠기(roughness)를 나타낸다. 중간조직은 전체적으로 포장 표면을 볼 때 눈에 보이는 거칠기를 말한다. 미세조직은 느린 속도로 운항중인 항공기의 마찰저항을 제공해주고 매크로조직은 빠른 속도로 운항중인 항공기의 마찰저항을 제공해준다. 또한 항공기가 착륙하거나 이륙할 때 적절한 마찰 저항을 제공해 준다.

중간조직의 기본적인 기능은 물이 항공기의 타이어 밑에서 빠져 나올 수 있는 길을 만들어내는

것이다. 이 배수 기능은 항공기의 속도가 빨라지고, 타이어 접지면(tread)의 깊이가 감소하고 물의 깊이가 증가함에 따라 더 중요해진다. 이 세 가지 요인은 모두가 수막현상을 형성하는데 기여한다. 양질의 미세조직은 많은 물이 빠져나간 후에도 남아 있는 잔여 수막을 타이어가 뚫고 나가는데 필요한 일정 정도의 "날카로움(sharpness)"을 제공한다. 두 가지 특성은 마찰저항성이 큰 포장 표면을 형성하는데 꼭 필요하다.

그러나 구조의 결모양으로 차각을 일으킬 수 있다. 거칠게 보이는 표면은 물이 빠져나갈 수 있는 적절한 배수로를 제공해 줄 수 있지만 포장활주로에서 굽은 골재는 교통량에 의해 매끈매끈해 질 수 있는 둥글거나 분쇄되지 않은 광물 입자로 구성되어 있어 활주로 표면에 비가 올 때 미끄러지기 쉽게 만든다. 마찬가지로 덜 거칠게 보이는 표면도, 비가 올 때 반짝반짝 빛나는 모습이라고 할지라도, 만약 그것이 우수한 미세조직의 특성을 가졌다면, 반드시 미끄러운 노면특성을 보이지는 않을 것이다.

물론 모든 포장은 기본적인 배수를 위한 적절한 횡방향 경사(transverse slope)를 가지고 시공되어야 하고 큰 강우시에도 신속히 물을 제거할 수 있도록 준비되어 있어야 한다.

## 3. 그루빙 현장시험 및 결과

### 3.1 개요

공항 활주로의 그루빙 시공방법으로는 습식과 건식방법이 있는데 그루빙 시공방법에 대한 특별한 규정은 없다. 그러나 외국의 경우 그루빙 날의 소모와 작업시 커터 날에서 발생하는 열을 식히기 위해서 습식을 주로 사용하고 있는 것으로 알려져 왔다. 하지만 국내의 경우 습식장비 도입에 따른 경비의 발생, 메이커 선정 등의 문제로 인하여 경비 절감과 국내 기술 발전 및 축척을 위하-



그림 4. 건식 그루빙 장비

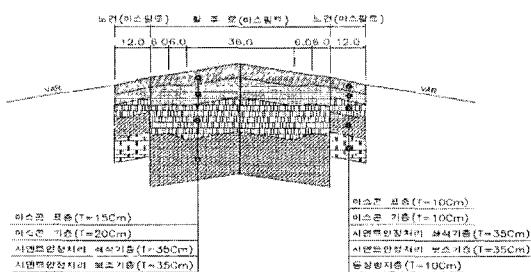


그림 5. A-2 구간 활주로 표준 단면

여국내 기술진에 의해서 제작된 건식 그루빙 장비(배쳐형, 절삭폭 0.52m, 그루빙 깊이 0.6mm)를 사용하여 영종도 국제 공항의 A-2구간에서 건식 그루빙을 실시하였다. 그림 4는 현장시험에 사용한 건식 그루빙 장비이다.

A-2 구간의 활주로 포장에는 AP-5의 아스팔트를 사용하였으며, 활주로 포장 표면은 그루빙 공사 실시에 영향을 끼칠만한 균열은 거의 없었다. 포장 표면의 구배는 최소구배 1%, 최대구배 2%, 평균구배 1.5%이며, 평탄성에 대해서는 3m프로화일 미터로 측정한 결과 최대의 凹凸이 17mm, 평균 4.8mm였다(그림 5 참조).

### 3.2 포장온도 측정

그루빙 시공시 발생하는 열로 인한 포장체의

온도상승을 알아보기 위해 포장체 내부에 온도센서를 매설하여 건식 그루빙 시공시 포장체의 온도변화를 계측하였다. 현장시험에 앞서 포장체의 온도변화를 알아보기 위해 온도센서를 표면에서 10mm, 22mm, 32mm, 43mm 깊이에 매설하고 오후 2시와 오후 8시 2회에 걸쳐 포장체의 온도변화를 계측하였다. 표 1은 포장체의 온도변화를 계측한 결과이다.

표 1. 포장체의 온도변화 계측결과

구 분	측정일자 : 2000년 6월 21일	
	온도 (°C)	측정시간 : PM 8시
포장표면	43.5	32.4
10mm	43.2	31.4
22mm	45.3	35
32mm	45.0	35.5
43mm	43.6	35.7
65mm	41.3	-

그루빙 시공으로 발생하는 열로 인한 온도상승을 계측하기 위해서 이번에는 온도센서를 표면에서 8mm, 10mm, 12mm, 14mm, 16mm 깊이에 각각 센서를 매설하고 포장체의 온도를 계측하였다(그림 6, 그림 7 참조). 표 2는 그루빙 작업시 포



그림 6. 건식 그루빙 시공 장면

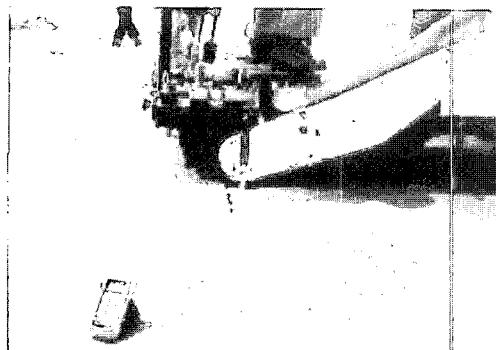
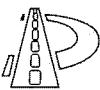


그림 7. 온도계측 장면

표 2. 그루빙 작업시 포장체의 온도변화 계측결과

측정일자	2000년 6월 21일 / PM 2:00			
대기온도	32 °C	포장표면 온도	43.5 °C	
측정위치	센서 설치 깊이	그루빙 전 온도	그루빙 후 온도	온도차
1	8mm	44.8°C	45.6°C	0.8°C
2	10mm	45.8°C	46.0°C	0.2°C
3	12mm	47.6°C	48.0°C	0.4°C
4	14mm	47.8°C	48.0°C	0.2°C
5	18mm	49.3°C	49.7°C	0.4°C

장체의 온도변화를 측정한 결과이다.

### 3.3 마찰저항 및 수심 측정

그루빙 시공의 유·무에 따라 마찰계수와 수심의 변화를 측정하여 마찰저항성 향상과 수막현상 감소효과를 알아보았다. 시험은 활주로에 살수차를 사용하여 물을 살수한 후 뮤(Mu)미터와 수심 측정기를 사용하여 마찰계수와 수심을 측정하였다. 시험결과는 표 3에 정리하였다.

### 3.4 그루빙의 유지상태 시험

하중으로 인한 그루빙의 유지상태를 측정하기

표 3. 마찰계수와 수심 측정결과

주행	구간	거리 (m)	그루빙 전 측정결과		그루빙 후 측정결과	
			$\mu$ 값	수심 (mm)	$\mu$ 값	수심 (mm)
갈 때	a	840	0.43	0.25	0.67	0
	b	"	0.70	0.2	0.75	0
	c	"	0.54	0.25	0.73	0
올 때	c	"	0.62	0.13	0.76	0.1
	b	"	0.70	0.06	0.76	0.1
	a	"	0.56	0.13	0.67	0.1

위해 그루빙이 시공된 포장체를 활주로로부터 절삭 채취하여 실내에서 휠트래킹 시험을 실시하였다. 차륜하중은 그루빙이 생긴 직각방향로 바퀴를 위치하여 동적 안정도를 측정하였다(그림 8참조).

시험은 60°C에서 실시하였으며 100회 주행마다 그루빙의 깊이변화를 측정하여 그루빙이 완전히 없어질 때까지 주행을 계속 하였으며 그때의 주행 횟수를 기록하였다.

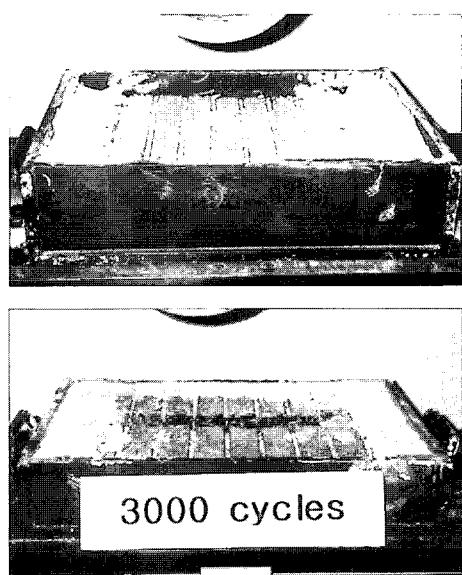
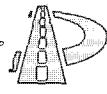


그림 8. 그루빙 포장체의 휠트래킹 시험 전·후



### 3.5 시험결과 분석

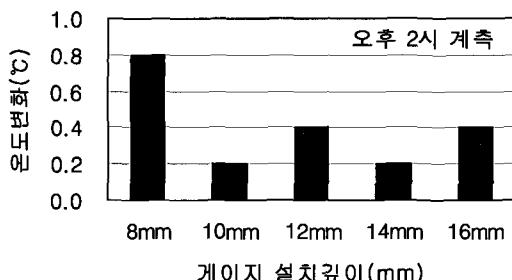
포장체의 온도를 측정한 결과 표 1에서 알 수 있듯이 오후 2시의 포장표면의 온도는 43.5°C로 측정되었으며 깊이 22mm와 32mm에서 약 2°C 정도 상승하였으며 65mm 깊이에서는 약 2°C 정도가 저하되는 경향을 보였다. 이 온도 계측결과는 국내 일부지역에서 수집한 대기온도와 포장표면 온도와의 관계를 통계분석을 통하여 예측한 관계식(식 1)과 일치하는 경향을 보이고 있다.<sup>(1)</sup> 계측 결과에 의하면 표면 하 20mm~50mm 사이에서 포장 온도가 가장 높은 온도로 나타나고 있다.

$$Y = 7.7421 \times e^{0.0552X} \quad (1)$$

여기서, Y=포장 표면 온도

X=대기온도

또한, 포장온도가 하강하기 시작하는 오후 6시 이후의 포장온도 변화 특성을 분석하기 위해서 오후 8시에 포장온도를 계측하였는데, 오후 8시에 측정한 온도 계측결과 역시 오후 2시에 측정한 온도 변화와 비슷한 경향을 보여주었다. 하지만 일부구간에서는 계측결과가 예측결과와 차이를 보여준 것은 일몰후에는 대기온도가 급격히 하강하는 대신 포장 표면온도 서서히 낮아지기 때문인 것으로 판단된다.



그루빙 작업으로 인한 온도의 변화는 그림 9에 보인 것처럼 그루빙 하부에 가장 가까이 있는 8mm 깊이에 매설한 센서로부터 측정된 45.6°C는 포장온도 44.8°C에 비하여 0.8°C로 가장 높았다. 그러나 0.8°C의 상승은 아스팔트 포장의 변형에 영향을 줄 정도로 커다란 온도 변화는 아니었기 때문에 전식 그루빙으로 인한 온도의 상승은 크게 우려할 만한 상승이 아닌 것으로 판단된다.

그루빙 시공전과 그루빙 시공 후에 마찰계수와 수심을 측정한 결과, 그림 10에서 알 수 있듯이 마찰계수는 그루빙 시공 전에 비하여 0.06~0.18 정도 증가하였으며, 전 구간에 걸쳐 마찰계수가 일정하게 나타나는 특징을 보여 주었다. 수심측정 결과에서도 그루빙 시공 후에는 물이 고이지 않는 것으로 나타나 그루빙으로 인한 마찰저항의 향상은 물론 수막현상의 감소로 인해 공항 활주로의 안전에 크게 기여할 수 있을 것으로 예측을 할 수 있다.

그루빙 시공을 실시한 포장체를 절삭하여 실내에서 휠 트래킹시험을 실시한 결과 동적안정도는 526mm/회로 그루빙시공을 하지 않은 경우와 비슷하였으며 그루빙으로 인한 소성변형의 영향은 없는 것으로 나타났다. 또한 0.6mm로 그루빙 흄은 차륜이 약 2500~3000회 통과할 경우 그루빙이 완전히 없어지는 것을 확인하였다.(그림 8참조).

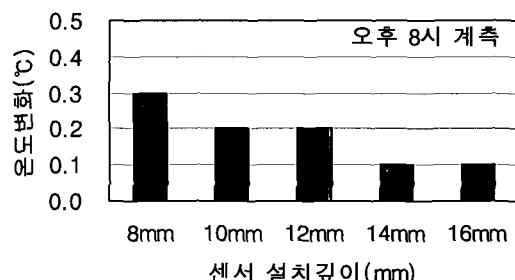


그림 9. 그루빙 작업시 포장체의 온도변화

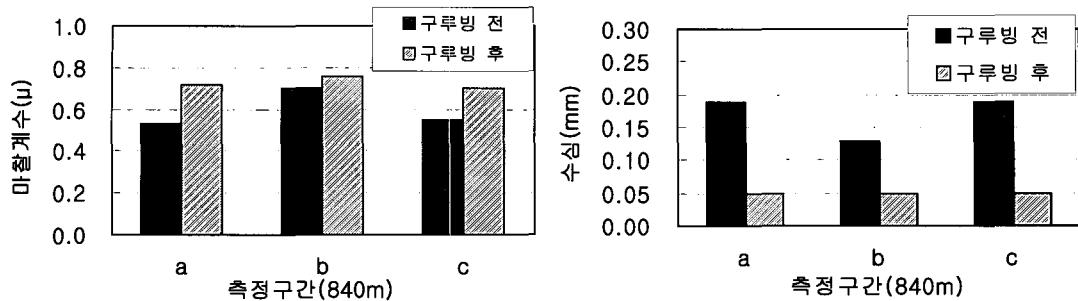


그림 10. 그루빙 시공 전·후의 마찰계수 및 수심 측정 결과

#### 4. 결론

공항 활주로의 마찰저항 향상과 수막현상 감소를 위해 실시한 건식그루빙 시공으로 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 건식 그루빙 시공시 발생하는 열로 인한 포장체의 온도를 계측한 결과 포장체의 변형을 발생시킬만한 온도변화가 발생하지 않았다.
- (2) 그루빙 시공 후 활주로의 마찰계수는 증가하고 수심은 낮아져 항공기의 이·착륙시 안전운항에 큰 도움이 될 것으로 평가된다.
- (3) 휠 트래킹 시험결과에서 알 수 있듯이 그루빙의 흡은 항공기의 운행이 계속될수록 깊이가 낮아지고 변형이 발생하게 되므로 여름철의 포장온도 상승을 예측하여 고온 특성을

고려한 배합설계가 필요할 것으로 판단된다.

#### 감사의 글

본 연구는 서울산업대학교 교내 학술 연구에 의하여 연구되었음.

#### 6. 참고문헌

1. 고석범, 김수삼, "신뢰도 변화를 고려한 아스팔트 포장 표면온도결정 및 PG 산정연구", 중앙대 생산공학 연구소 논문집, 2000
2. David L Bennett, "Measurement, Construction and Maintenance of Skid-Resistant Airport Pavement Surface" Advisory Circular, U.S Department of Transportation, FAA 99. 3
3. Richard. Malone, "Surveys of Grooves in 19 Bituminous Runways", Report No. F- AA-RD-79-28, 1979. 1

(접수: 2001. 4. 24)