

# 활주로 고무 퇴적물 제거를 위한 포장 파손 저감형 사전처리제 개발 연구

김영웅\* · 유광호\*\* · 조남현\*\*\*

Kim, Young-Ung\*, You, Kwang-Ho\*\*, Cho, Nam-Hyun\*\*\*

## Development of the Rubber Removal Primer to Reduce Pavement Damage for Removal of Rubber Deposits in Runways

### ABSTRACT

Rubber deposited during aircraft landing is known as the main cause of reducing surface friction force on wet surfaces. Thus, rubber deposits are removed at regular intervals for sae airplane landing. The high-pressure waterblast method, widely used for the removal of rubber deposits, is regarded as the main cause for the loss of surface material because in this method, water hits the surface directly at a high pressure. In this study, a rubber removal primer is developed to reduce surface damage by lowering the pressure of waterblast relatively during the removal of rubber deposits such that the deposits are removed efficiently even with a lower water pressure. To achieve this, basic materials appropriate for the primer were selected and their performance, penetration rate, and site applicability were evaluated. Based on the evaluations, the proportion of additive required for improving the performance of the basic materials was first determined. Then, the optimum mix ratio was derived through the evaluation of the effect on pavements, and the development of the rubber removal primer was completed.

**Key words** : Rubber removal primer, Rubber deposit, Rubber removal, Pavement surface damage, High-pressure waterblast

### 초 록

항공기 착륙 시 발생하는 고무퇴적물은 젖은 노면에서의 표면 마찰력을 감소시키는 주원인으로 안전한 항공기 착륙을 위해 주기적인 제거를 실시하고 있다. 제거작업에 주로 사용되는 고압살수 방법은 고압의 물로 직접 표면을 타격함에 따라 표면 재료 유실의 원인이 되고 있다. 본 연구에서는 고무 제거시 살수 압을 상대적으로 낮추어 표면 파손을 저감시키고, 저수압에도 효율적으로 고무퇴적물을 제거할 수 있는 사전 처리제 개발을 진행하였다. 이를 위해 사전 처리제에 적합한 기초재료를 선정하여 성능 평가, 침투율 평가, 현장 적용성 평가를 진행하였다. 이를 토대로 기초재료의 성능 개선에 필요한 첨가제의 비율을 1차적으로 선정하였고, 포장 영향성 평가를 통해 최적배합을 도출하여 고무제거 사전처리제 개발을 완료하였다.

**검색어** : 고무제거 사전처리제, 고무 퇴적물, 고무제거, 포장표면 손상, 고압살수

## 1. 서론

항공기 착륙시 활주로 표면과 항공기 타이어의 마찰에 의해 발생하는 열은 타이어의 주원료인 고무에 중합반응(polymerization)을 야기해 활주로 표면에 딱딱하고, 매끄러운 고무층 형성하게 한다(Cotter et al., 2008). 이러한 고무 퇴적물(rubber deposit)의 누적은 포장 표면의 microtexture와 macrotecture을 현저하게 감소시켜 젖은 노면에서의 표면 마찰력을 감소시킨다(McKeen et al., 1984).

\* 종신회원 · 수원대학교 토목공학과 박사과정 (The University of Suwon · yukim@airport.kr)

\*\* 종신회원 · 수원대학교 토목공학과 교수 (The University of Suwon · khyou@suwon.ac.kr)

\*\*\* 정회원 · 교신저자 · 인천국제공항공사 공항연구소 선임연구원 (Corresponding Author · Incheon Airport · t99ending@airport.kr)

Received February 2, 2016/ revised April 28, 2016/ accepted June 17, 2016

따라서 고무 퇴적물 제거는 항공기의 안전한 착륙을 위해 필수적이며, 활주로 미끄럼 저항을 유지할 수 있도록 제거 시기에 대한 기준을 규정하고 있다. 이를 위해 세계 각 공항에서는 공항별 운영여건에 적합한 방법을 이용해 고무제거 실시하고 있다. 현재 국내에서는 제거효율이 양호하고, 공항 운영에 효율적인 고압살수(high pressure waterblasting)방법을 사용하고 있다. 이 방법은 포장 표면을 물로 직접 타격하기 때문에 그루브(groove) 손상, 재료 유실 등 마찰력에 영향을 주는 파손을 발생시키고 있다(Water, 2005). 하지만 포장 표면 파손을 줄이기 위해 수압을 낮추게 되면 고무 제거 효율이 낮아져 수압을 낮출 수 도 없는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 고무 퇴적물 제거 시 살수압을 낮추어 표면 파손을 저감시키고, 낮아진 수압에도 고무 퇴적물을 효율적으로 제거하기 위한 사전처리제 개발을 진행하였다.

고무제거 사전처리제는 고무 자체의 결합력 및 고무와 포장 표면 사이의 결합력을 저하시켜 낮은 수압에서 고무 퇴적물이 제거될 수 있도록 분해능과 침투율이 높아야한다. 동시에 살수 방법과의 조화와 친환경 재료로서 현장 적용성이 확보되어야 하며, 무엇보다 포장체에 대한 영향성이 작아야 한다. 이러한 조건을 만족하는 재료 개발을 위해 기초재료의 선정, 적용성 및 성능평가, 성능개선을 위한 첨가제 혼합비 결정, 포장 영향성 평가를 통한 최적 혼합비를 도출하였다.

본 연구에 적합한 다양한 종류의 재료를 검토하여, 친환경적이고 고무 분해효과가 예상되는 재료를 기초재료로 선정하였다. 선정된 기초재료에 대한 고무 분해능 평가, 제거 효율 평가, 현장 적용성 평가를 실시하였다. 이를 토대로 재료의 성능 개선을 위한 첨가제 선정과 1차 혼합비 산정한 후 아스팔트 표면 인장강도, 콘크리트 ASR (Alkali-Silica Reaction) 및 Scaling 평가를 진행하여 가장 영향이 적은 최적 혼합비의 고무제거 사전 처리제를 개발하고자 하였다.

## 2. 활주로의 고무 퇴적물

### 2.1 제거 주기

활주로 착륙 및 제동 구역에 누적되는 고무 퇴적물은 표면의 microtexture와 macrotecture 모두를 현저하게 감소시켜 젖은 노면에서의 표면 마찰력을 감소시키게 된다. 일반적으로 활주로는 표면 macrotecture 증가시키고, 원활한 표면 배수를 유도하여 젖은 상태 시 노면의 수막현상의 가능성을 줄여 안전 수준을 향상시키기 위한 그루브를 설치하게 된다. 고무 퇴적물은 이러한 그루브 막힘의 주원인으로 안전한 착륙과 제동 표면을 유지하기 위해 주기적 제거가 요구되어 진다. 이에 따라 FAA에서는 Table 1과 같이 항공기 착륙횟수에 따른 고무 퇴적물 제거 주기를 규정하고 있다.

Table 1. Rubber Deposit Removal Frequency (FFA, 1997)

Number or Daily Turbojet Aircraft Landing per Runway End	Suggested Rubber Deposit Removal Frequency
Less than 15	2 Years
16 to 30	1 Year
31 to 90	6 Months
91 to 150	4 Months
151 to 210	3 Months
Greater than 210	2 Months

### 2.2 제거 기술

고압살수, 화학적 제거, shot blasting, 물리적 제거(sandblasting, scraping, brooming, milling, grinding 등) 등이 일반적으로 사용되고 있다(ACRP, 2008). 이중 본 연구와 작간접적으로 관련된 고압살수 방법과 화학적 제거 방법에 대해 검토하였다.

고압살수 방법은 노즐이 설치된 회전식 장치 및 흡입장치를 통해 일정 압력으로 물을 포장표면에 타격시켜 고무를 제거함과 동시에 발생하는 잔해를 흡입하여 처리한다. 이 방법은 (1) 비교적 빠른 작업속도(743~1,641 m<sup>2</sup>/h) (Speidel, 2002), (2) 합리적 비용, (3) 신속한 대처 가능(Toan, 2005) 등의 장점을 가지고 있다. 반면 (1) 포장표면 재료유실, (2) 그루브 손상, (3) 대기 온도의 영향 등의 단점을 가지고 있다. 특히 이 방법은 장비 운영자의 숙련도에 따른 작업결과가 상당한 차이가 나타나게 되는데 Fig. 1은 적정치 않는 수압 및 적용 시간에 따른 표면 및 그루브 파손을 보여주고 있다.

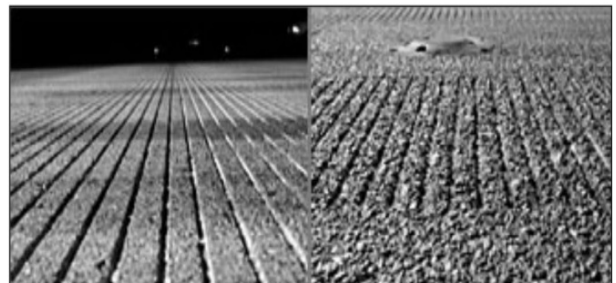


Fig. 1. Runway Grooves, Before and After Improperly Conducted Waterblast Method (ACRP, 2008)

화학적 제거는 고무 퇴적물을 느슨하게 하는 재료를 살포하여 brushes, brooms, scrapers 등의 장비를 이용해 포장 표면에서 고무를 분리하여 처리한다. 발생하는 잔해는 일반적으로 살수를 통해 제거하는데, 현장 여건에 따라 진공흡입기가 포함되는 경우도 있다. 이 방법은 (1) 포장 손상 가능성 최소화, (2) 기존 장비 및 인력 활용 가능, (3) 비교적 빠른 처리속도(743~1,641 m<sup>2</sup>/h)

등의 장점을 가지고 있다. 반면, (1) 환경적 문제, (2) 아스팔트 포장에 대한 영향, (3) 그루브 안의 고무를 완전하게 제거 하지 못함, (4) 신속한 대처 어려움 등의 단점이 있다.

따라서 본 연구에서 고압살수 방법과 화학적 제거 방법의 장점을 살리고 단점을 보완할 수 있는 고무 제거 사전처리제를 개발하고자 한다.

### 2.3 고압살수 작업 진해의 성분 분석

고압살수 방법을 이용해 고무 퇴적물 제거 시 표면 파손정도를 파악하기 위해 국내 공항 활주로에서 고무 제거 후 수거된 잔해의 열중량 분석(TGA: thermo gravimetry analysis) 시험을 수행하였다. 이는 가열 시 일어나는 재료의 무게 변화를 통해 성분을 분석하는 방법이다(Reina et al, 1998). 시험 결과 온도 변화에 따른 질량 변화는 Fig. 2와 같이, 유기물 11.7%, carbon black 5.8%, ash (무기물, 아스팔트 골재)가 82.5%로, 고압살수 제거 작업 시 상당한 표면재료가 유실됨에 따라 표면 파손이 일어나고 있음을 확인할 수 있었다.

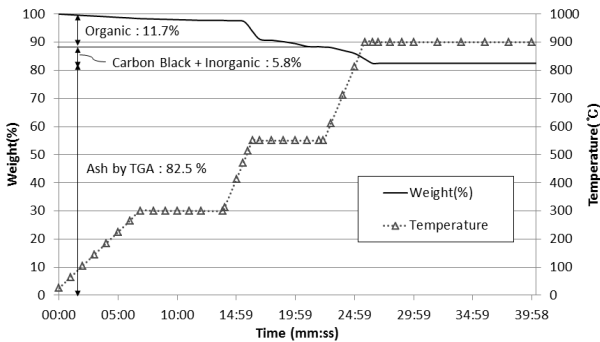


Fig. 2. TGA Result for the Rubber Deposit

## 3. 기초재료 평가 및 성능개선

### 3.1 기초 재료의 선정

기초재료 선정을 위해 산업현장 등에서 사용되는 다양한 종류의 오염물 제거제, 세척제 및 화학제들을 검토하였다. 이중 환경영향성이 적으며, 고무 분해효과가 예상되는 재료를 기초재료로 선정하였다. 이때 환경 영향성은 재료로 인한 BOD와 COD 변화 정도에 근거하였다. 그 결과 유류 오염 제거제로써 사용되고 있는 E-Cleaner (가칭)가 본 연구의 목적에 가장 적합한 재료로 선정되었다. 이와 유사한 성격을 갖는 일반적인 합성세제는 계면활성제 성분으로 비누(지방산계), 석유계(a-olefin sulfonate) 및 식물계(alcohol sulfate, alcohol ether sulfates)등으로 구분되는데 이들은 동일 분자내에 친수기와 소수기를 동시에 갖는 물질로 계면에 흡착되어

자유에너지를 낮추고 대상 물질의 성질을 변화시켜 물에 용해시킬 수 있게 한다. 반면 본 연구에서 사용하고자 하는 재료는 친환경 제품으로써 효소 및 미생물에 의한 자연 분해를 유도하는 재료로, Fig. 3과 같이 유기물질이 미생물에 의해 분해되어 미생물의 세포 물질로 전환되거나 에너지원으로 이용되어 CO<sub>2</sub> 및 H<sub>2</sub>O로 분해시킨다.

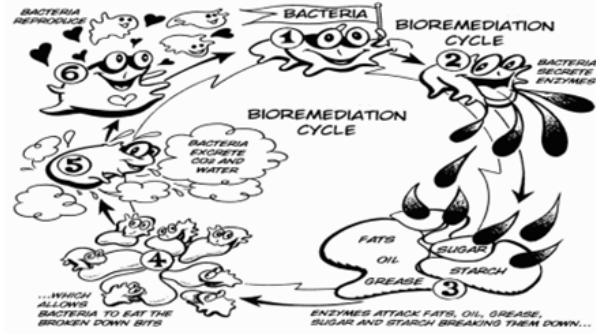


Fig. 3. Bioremediation Cycle

### 3.2 기초 재료 적합성 평가

기초 재료의 적합성 검토를 위해 공항 활주로에서 고무퇴적물이 누적된 시편을 채취하여 고무 제거정도를 평가하였다. 이를 위해 시편 표면을 기초재료 적용부분과 미적용 부분으로 구분하여, 각 표면에 기초재료와 물을 약 5분간 잔류시킨 다음 마른 천으로 30회 문질러 닦아내었다. 그 결과 Fig. 4와 같이 미처리 구역은 일부 고무 퇴적물이 제거 되었지만, macrotexture 내부의 고무는 제거 되지 않음을 확인 할 수 있었다. 반면 기초재료 적용 부분은 선명하게 표면 macrotexture가 나타나는 수준으로 고무 퇴적물의 제거 효과를 확인할 수 있었다.

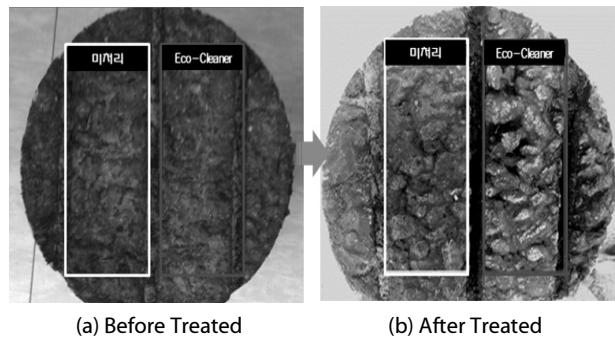


Fig. 4. Extent Evaluation of Rubber Deposit Removal

### 3.3 기초재료의 고무 침투율 평가

기초재료의 고무에 대한 결합력 저하 정도 즉, 침투율을 검토하기

위해 기초재료와 물이 담긴 용기에 합성 및 천연 고무시편을 함침하여 무게 변화를 측정하였다. 합성고무는 30일, 천연고무는 6일 정도 실험을 진행하였다. 그 결과 합성고무의 경우 Fig. 5(a)와 같이 기초재료에 의한 무게변화가 물에 비해 평균 2.3배 정도 더 발생하였고, 천연고무의 경우 Fig. 5(b)와 같이 평균 3.2배 정도 더 발생하였다. 이를 통해 고무에 대한 기초재료의 침투율이 물보다 우수함을 확인하였으나, 짧은 시간 내 기초재료의 침투가 일어날 수 있도록 개선이 필요함을 확인하였다.

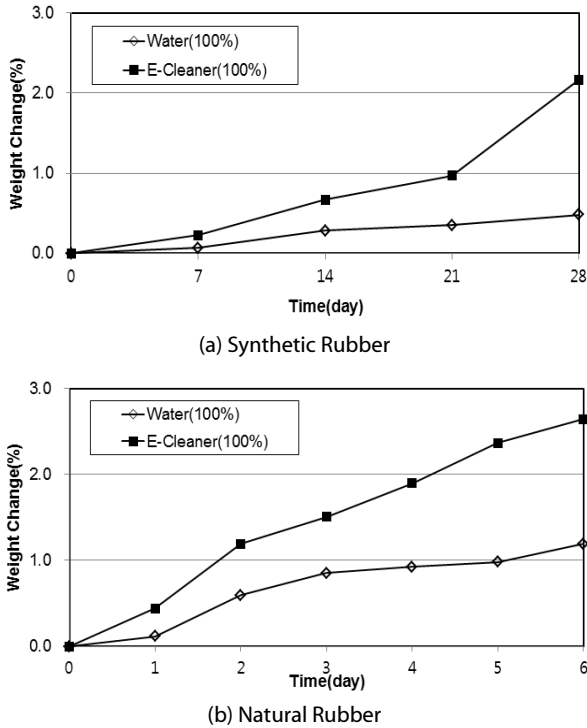


Fig. 5. Weight Change Due to the Basic Material of Rubber

### 3.4 기초재료의 현장 적용성 평가

현장 적용시 기초재료의 문제점 및 개선사항 도출을 위해 국내 S-공항의 고무가 퇴적된 활주로 구간에서 사전 현장 적용성 평가를 진행하였다. 이를 위해 기초재료를 살포 후 일반 살수차(소방차량)로 표면 정리 시 표면 상태 및 재료의 변화를 육안 조사하였다. 표면의 고무제거 정도를 육안으로 확인한 결과, 고압살수 등의 물리적 작용이 없었기에 고무퇴적물 제거 효과는 확인하기 어려웠으며, 기초재료 적용구간에 이를 제거하기 위해 살수시 다량의 거품이 발생하였다. 이를 통해 고압살수 장비와 함께 제거 작업을 진행할 시 거품 발생을 억제하기 위한 기초재료의 성능 개선이 필요함을 확인하였다.

### 3.5 성능개선을 위한 첨가제 비율 결정

기초재료의 거품 발생 억제 및 침투 효과 개선을 위한 첨가제의 종류 및 혼합비율 산정을 위한 실내실험을 진행하였다.

첫 번째로 기초재료의 거품 발생 억제를 위해 이에 효과적인 첨가제(A)의 혼합 비율에 따른 거품발생량을 확인하였다. 이를 위해 기초재료와 첨가제(A)를 Table 2의 무게비로 혼합한 후 물에 50배(1000 ml)희석하여 1,300 rpm의 회전속도로 30초간 교반시켰다. 그 결과 Fig. 6과 같이 첨가비율이 증가함에 따라 거품 발생량은 감소하였으며, 그 효과는 1.25% 이상일 때 일정해지는 경향을 보였다. 따라서 본 실험결과에 따른 첨가제(A)의 혼합비율은 첨가제의 비율을 1.25%로 결정하였다. 이는 또한 첨가제의 비율이 높아질수록 경제적이지 못한 점도 고려한 것이다.

Table 2. Mixing Ratio of Additive(A) for Antifoam

Weight Percentage (%)		Weight (g)	
Basic Material	Additive(A)	Basic Material	Additive(A)
99.7	0.3	19.94	0.06
99.3	0.7	19.86	0.14
99.0	1	19.8	0.2
98.75	1.25	19.75	0.25
98.5	1.5	19.7	0.3

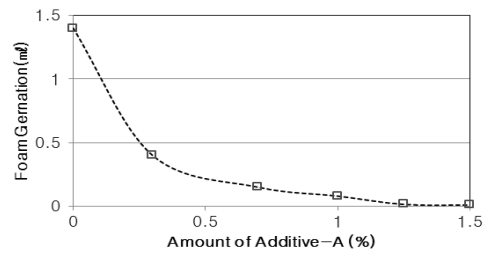


Fig. 6. Additives (A) Ratio by Foam Generation

두 번째로 침투 활성 효과 개선 위해, 표면장력 감소효과가 있는 첨가제(S)의 혼합비율에 따른 표면장력 변화를 확인하였다. 또한 첨가제(S)는 금속 부식에 대한 억제 효과가 있어, 이에 따른 평가를 병행하였다. 이때 첨가제(A)의 혼합비율은 앞선 결과에 따라 1.25%로 고정하고 기초재료와 첨가제(S)를 Table 3의 무게비로 혼합한 후 물에 50배(1000 ml)희석한 용액에 대한 표면장력과 금속판 부식 정도를 평가하였다.

기초재료의 표면장력은 34.8 dyne/cm (물 72.7 dyne/cm)으로, 첨가제(S)의 비율에 따른 표면 장력 변화는 Fig. 7과 같이 첨가비율이 높을수록 표면장력이 낮아지는 경향을 보였다. 또한 시간경과에 따른 부식 발생 정도를 확인한 결과 첨가량이 증가할수록 효과가 증가하지만 첨가 비율 4% 부터 부식 억제 효과가 일정한 경향을

Table 3. Mixing Ratio of Additive(A) and Additive(s)

Weight Percentage (%)			Weight (g)		
Basic Material	Additive (A)	Additive (S)	Basic Material	Additive (A)	Additive (S)
96.75	1.25	2.0	19.35	0.25	0.4
95.75	1.25	3.0	19.15	0.25	0.6
94.75	1.25	4.0	18.95	0.25	0.8
93.75	1.25	5.0	18.75	0.25	1.0

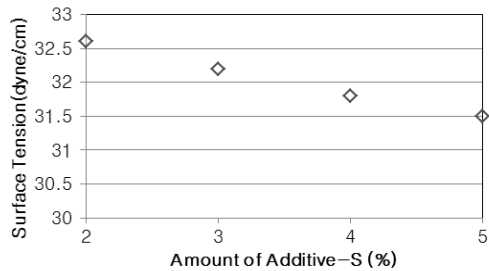


Fig. 7. Additives (S) Ratio by Change of Surface Tension

보였다. 표면장력, 부식 억제 및 경제적 측면에서 첨가제(S)의 혼합비율은 4%가 적절하다고 판단하였다. 이때 혼합용액은 기초재료 보다 약 10% 정도 낮은 표면 장력을 갖게 된다.

이를 통해 성능개선을 위한 기초재료 및 첨가제 A, S의 혼합비를 94.75:1.25:4로 1차적으로 선정하였다. 이에 대한 최종 확정본 연구의 주목적이 포장 영향성 최소화이기 때문에 포장 영향성 평가를 통해 이루어지게 된다.

#### 4. 포장 영향성 평가를 통한 최적혼합비 도출

고무제거 사전처리제 개발의 최종단계로, 앞서 도출된 기초재료와 첨가제의 비율에 기초한 포장 영향성 평가를 통해 최적 혼합비를 도출하고자 하였다. 이는 대상 재료의 표면 잔류로 인해 포장에 미치는 영향을 평가하여, 영향이 가장 적은 혼합비를 최적 혼합비로 선정하고자 한 것이다. 포장 재료에 대한 영향성을 평가 시험규격은 Table 4와 같으며, 시험내용은 다음과 같다.

Table 4. Test Specification for Pavement Material

Classification	Test Specification
Surface Tensile Strength	LFV Method2-98 (Effect of De-icing Fluid on The Surface Tensile Strength of Asphalt Concrete for Airfields - Adhesion Test)
ASR	ASTM C1260 (Potential Alkali Reactivity of Aggregate (Mortar-Bar Method))
Scaling	SIS SS 13 72 44 (Concrete testing—hardened concrete—Scaling at Freezing)

#### (1) 아스팔트 포장 영향성시험

액체화 현상(유체화, 아스팔트가 묽어지는 현상)

#### (2) 콘크리트 포장 영향성시험

알칼리골재반응, 스케일링(Scaling)

이를 위한 혼합비는 Table 5와 같이 control 1개와 개발재료 혼합비별 12개를 포함하는 총 13개에 대한 시험을 진행하였다. 개발재료의 경우 물에 50배 희석하여 사용하였으며, 혼합비별 3회씩 시험을 진행하였다.

Table 5. Mixing Ratio of Test Solution

Mixing Ratio (%)			Identification No.	Remark
Basic Material	Additive (A)	Additive (S)		
0	0	0	Control	Water or 1N (NaOH)
100	0	0	No.1	
96	1	3	No.2	
95	1	4	No.3	
94	1	5	No.4	
96.75	1.25	2	No.5	
95.75	1.25	3	No.6	
94.75	1.25	4	No.7	
93.75	1.25	5	No.8	
96.5	1.5	2	No.9	
95.5	1.5	3	No.10	
94.5	1.5	4	No.11	
93.5	1.5	5	No.12	

#### 4.1 시험 방법

##### 4.1.1 아스팔트 포장 표면 인장 강도 시험

Table 5의 혼합비 중 아스팔트 혼합물 표면인장강도에 영향이 가장 적은 혼합비를 찾기 위해, 아스팔트 포장에 대한 제설제 영향성

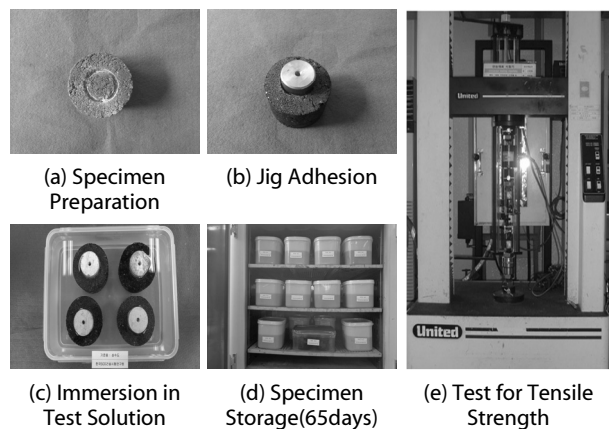


Fig. 8. Test for Surface Tensile Strength of Asphalt

평가 방법인 LFV Method 2-98 (Ekblad and Edwards, 2001)을 준용하여 Fig. 8과 같이 시험을 진행하였다.

이를 위해 국내 A공항 활주로 아스팔트 포장 재료를 이용해 Mashall 방법에 따라 직경 100±5 mm, 높이 60±10 mm, 바인더 함량 5.7%, 공극율 7±1%에 해당하는 공시체 39개(13×3)를 제작하였다. Fig. 8(a), 8(b)와 같이 각 시편 표면에 5 mm 깊이, 50 mm 직경으로 saw cutting 하여, 그 부분에 인장시험을 위한 지그를 부착하였다. 각 시편은 Fig. 8(c), 8(d)와 같이 혼합비별 용액에 침지하여 외부에 영향을 받지 않도록 밀봉된 저장 용기에 65일간 보관하였다. 이 후 Fig. 8(e)의 인장강도시험 장비를 이용해 10 mm/min의 인장력을 가하여, 시편 파괴 시 최대 인장력에 따른 최대 인장강도 값을 Eq. (1)에 따라 산출하였다.

$$\sigma_{\max} = \frac{F_{\max}}{A} \quad (1)$$

여기서,  $\sigma_{\max}$ (N/mm<sup>2</sup>)는 파괴식 표면 인장,  $F_{\max}$ (N)는 기록된 최대 인장력,  $A$ (mm<sup>2</sup>)는 시험 면적이다.

#### 4.1.2 콘크리트의 ASR 영향성 시험

대상 혼합비 중 콘크리트 ASR에 대한 영향성이 가장 적은 혼합비를 찾기 위해, ASTM C 1260 (2009)에 의거하여 모르타르 바를 이용한 ASR 영향성 평가를 진행하였다. 이 방법은 모르타르 양생 후 혼합비별 용액에 침전시켜, 그에 따른 길이 변화를 통해 ASR 영향 정도를 평가하게 된다. 시편제작에 필요한 골재(국내 A-공항 활주로 포장 재료) 입도 및 시멘트는 각각 ASTM C1260과 ASTM C 150 (2004)에 기준하였으며, 모르타르 시편은 ASTM

C490 (2004)에 따라 25 mm × 25 mm × 285 mm 크기로, 39 (13×3)개를 제작하였다. 시험은 Figs. 9(a)-(e)와 같이 모르타르를 제작하여 초기 길이를 측정 후 NaOH 수용액 및 혼합비별 용액에 침지시켜 80°C가 유지되는 챔버에 재령 16일까지 반응을 유도시켜 길이변화량을 측정하였다. 이때 침지 이후부터 1일, 5일, 9일, 14일 및 16일에 각각 길이변화량을 측정하여 Eq. (2)을 이용하여 길이변화율을 산출하였다.

$$Lenth\ Variation\ Ratio(\%) = \frac{X_i - X_1}{L_0} \times 100 \quad (2)$$

여기서,  $L_0$ (285 mm)는 기준길이,  $X_1$ 은 기준으로 한 시점에서의 측정치,  $X_i$ 은 계획재령 시점  $i$ 에서의 측정치이다.

#### 4.1.3 콘크리트의 Scaling 영향성 시험

Table 5의 혼합비 중 콘크리트 동결융해에 대한 영향성이 가장 적은 혼합비를 찾기 위해, SIS (2005) SS 13 72 44에 의거해 혼합비별 용액 적용에 따라 박리된 재료의 무게를 측정하여 scaling 영향성을 확인하였다. 콘크리트 표면의 동결 저항성을 평가하여 최적의 배합을 도출하고자 하였다. 콘크리트 혼합물(국내 A-공항)은 Table 6과 같다.

Table 6. Concrete Mix Design for Scaling Test

Specified Strength (Mpa)	Gmax (mm)	Slump (mm)	Air Content (%)	W/C (%)	
4.5	40	20	5.3	37.3	
S/A (%)	Weight per unit volume of Concrete (kg/cm <sup>3</sup> )				
	W	C	S	G	AE
35.5	137	368	652	1190	1.84

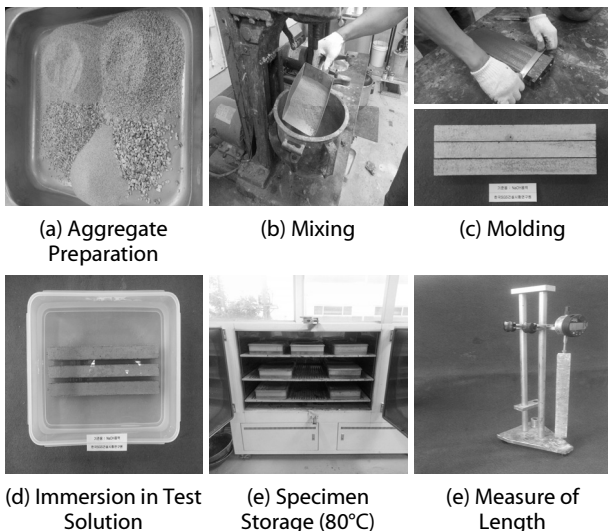


Fig. 9. Test for Concrete ASR (Mortar-Bar)

본 시험을 위해 Fig. 10(a)-(d)와 같이 한 변 150 ± 2 mm의 정육면체 시편 39 (13×3)개를 제작하여, 대상 동결 표면을 제외한 나머지 표면은 고무 피복으로 덮고, Fig. 11의 온도구배에 따라 동결융해 시험을 진행하였다. 이때 동결융해 사이클은 24시간을 1사이클로 하여 7±1, 14±1, 28±1, 42±1 및 56사이클에 박리량을 측정하였고, 총박리량은 Eq. (3)에 의하여 계산하였다.

$$Material\ Loss(Kg/m^2) = M_n/A \quad (3)$$

여기서,  $M_n$ (mg)은 n 사이클 후 박리된 전체의 무게,  $A$ (150×150 mm<sup>2</sup>)는 시험체의 표면적이다.

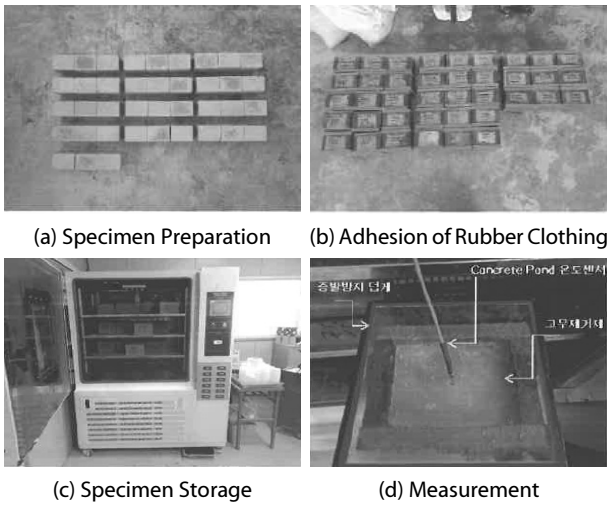


Fig. 10. Test for Scaling Resistance of Concrete

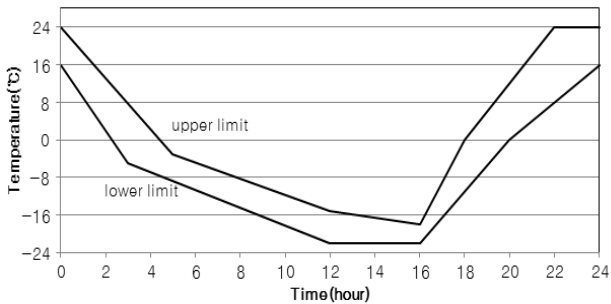


Fig. 11. Temperature Curve for Scaling Test

## 4.2 포장 영향성 평가 결과

### 4.2.1 아스팔트 포장 표면 인장 강도

개발재료의 혼합비에 따른 아스팔트 포장 표면 인장강도 시험 결과는 Fig. 12와 같다. LFV Method 2-98에서는 판정 기준을 시험용액에 침지된 시편의 표면인장강도가 control 시편 대비 50% 이상으로 규정하고 있다. 본 시험결과 control 시편체의 표면인장강도는 0.95 MPa으로, 대부분이 판정기준인 0.475 Mpa을 만족하였다.

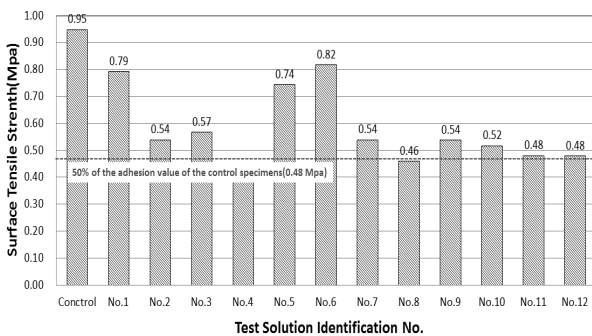


Fig. 12. Test Results of Surface Tensile Strength

따라서 판정기준을 만족하는 No. 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9를 대상 후보로 선정하였고, 콘크리트 포장 영향성 평가 결과를 고려하여 최적 혼합비를 결정하고자 하였다.

### 4.2.2 콘크리트 포장의 ASR 영향성 평가

혼합비별 용액 및 control 용액(1N NaOH)에 따른 ASR 영향성 평가 시험 결과는 Fig. 13과 같다. 이는 각 시험용액에 침수 누적일수에 따른 길이변화율을 나타낸 것으로, 모든 혼합비에서 control 용액 보다 작은 길이변화가 있었으며, 최종 길이변화율이 0.1% 미만으로 ASR에 대한 영향은 미비한 것으로 판단된다. 따라서 모든 혼합비는 최적 혼합비의 대상 후보로 고려되며, 표면인장강도 결과와 scaling 영향성 평가 결과와 함께 검토하여 최적 혼합비를 결정하고자 하였다.

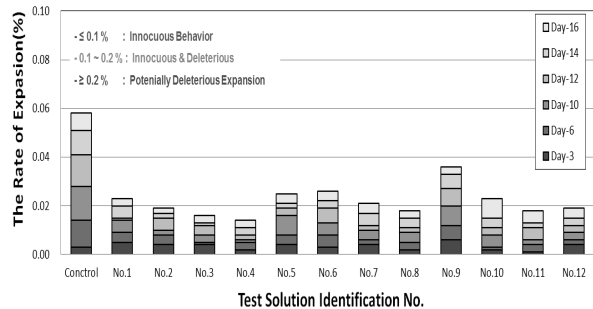


Fig. 13. Test Results of Concrete ASR

### 4.2.3 콘크리트의 scaling 영향성 평가

혼합비에 따른 콘크리트 표면 scaling 영향성 시험 결과는 Fig. 14와 같다. 이는 56cycle 누적 박리량을 나타낸 것으로, Table 7의 기준에 따른 분류 시 혼합비별 상당한 차이를 보였다. Control 용액(증류수)이 적용된 시편 및 혼합비 No.1, 2, 3, 6, 7, 10, 12가 적용된 시편이 Table 7의 판정기준 very good에 해당하였다. 따라서 이에 해당하는 혼합비를 대상 후보군으로 선정하고, 앞선 평가 결과를 고려하여 최적 혼합비를 산출하고자 하였다.

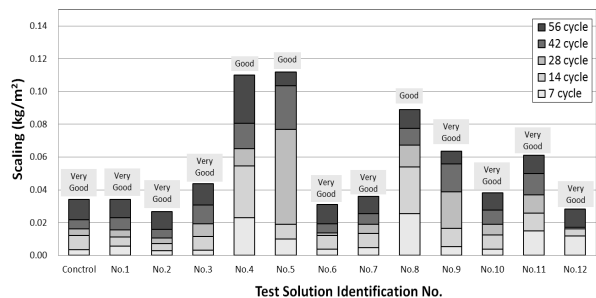


Fig. 14. Test Results of Scaling Resistance

Table 7. Acceptance Criteria for the Scaling Results According to SS 137244

Scaling resistance	Requirements
Very Good	The accumulated scaling after 56 cycles must not exceed 0.1 kg/m <sup>2</sup> for any of the tested specimens
Good	The average accumulated scaling after 56 cycles must not exceed 0.5 kg/m <sup>2</sup> and m56/m28<2.
Acceptable	The average accumulated scaling after 56 cycles must not exceed 1.0 kg/m <sup>2</sup> and m56/m28<2.
Unacceptable	(any other case)

### 4.3 최적 혼합비 도출

혼합비율에 따른 포장 영향성 평가 결과를 토대로 최적 혼합비를 결정하기 위해 각 시험별 기준을 만족여부를 Table 8과 같이 확인하였다. 그 결과 No.1, 2, 3, 6, 7, 9, 10 혼합비가 본 연구에서 실시한 포장 영향성 평가 기준을 모두 만족하였다. 이들 중 No.9가 포장에 영향성이 가장 컸고, No. 2, 3, 7, 10의 경우 아스팔트 표면인장강도가 기준치 대비 70% 미만으로 최종 후보군에서 제외하였다. 나머지 후보군인 No.1과 No.6 중에 표면인장강도와 scaling 저항성 부분에서 더 영향이 적은 No.6을 최적 혼합비로 결정하였다. 이는 기초재료 성능개선을 위해 선정된 혼합비인 No.7 (94.75:1.25:4)와 비교하면, 첨가제(S)가 1% 감소한 것으로, No.7 혼합비 보다 표면 장력이 0.4 dyne/cm 만큼 증가하게 된다. 하지만

Table 8. Pavement Impact Assessment Results by the Mixing Ratio

Type of Test	Surface Tensile Strength	ASR	Scaling
Acceptance Criteria	> 0.48 (Mpa)	< 0.1%	<0.1 (kg/cm <sup>2</sup> ) Very Good
Identification No.			
No.1	○	○	○
No.2	○	○	○
No.3	○	○	○
No.4	×	○	×
No.5	○	○	×
<b>No.6</b>	<b>○</b>	<b>○</b>	<b>○</b>
No.7	○	○	○
No.8	×	○	×
No.9	○	○	○
No.10	○	○	○
No.11	×	○	○
No.12	×	○	○

본 연구의 주목적인 포장 영향성 측면에서의 우수성을 고려하여 기초재료, 첨가제(A), 첨가제(S)의 최적 혼합비를 95.75 : 1.25 : 3으로 한 고무제거 사전처리제 개발을 완료하였다.

### 5. 현장 적용성 평가

개발된 고무제거 사전처리제의 현장 적용성 평가를 위해 국내 A공항 활주로 아스팔트 재료로 포장된 도로를 개발 재료의 적용과 미적용 구간으로 구분하여, Fig. 15을 장비를 이용해 고압살수 작업을 실시하였다. 이때 고무퇴적에 일반적으로 사용되는 수압인 120, 150 Mpa 적용하여 개발재료 적용구간에서의 거품 발생정도를 육안으로 확인하였고, 적용구간과 미적용구간의 표면 재료 유실량을 비교 평가하였다.



Fig. 15. Waterblaster

표면 재료 유실량은 표면 macrotexture를 측정하기 위한 sand patching을 이용한 MTD 측정방법인 Fig. 16의 원리를 통해 측정하였다(ASTM E965, 2006). 유실량 측정을 위해 먼저 고압살수 전에 규정된 시험재료( $V(25,000mm^3)$ )를 표면에 고무 펠친 후 펼쳐진 부분의 평균 지름을 측정하여 Eq. (4)를 통해  $MTD_i$ 를 산출하였다(ASTM E1845, 2005). 다음으로 고압살수 적용 후 동일한 구간에 동일한 방법으로 재료가 펼쳐진 부분의 평균 지름인  $D_w$  측정하여 Eq. (5)를 이용해 재료 유실량을 산출하였다.

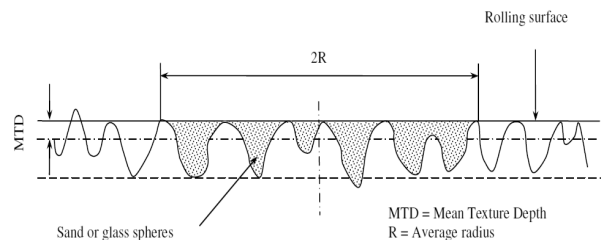


Fig. 16. MTD (Mean Texture Depth) (E. Freitas, P et. al, 2008)



$$MTD_i = \frac{4V}{\pi D_i^2} \quad (4)$$

$$Material\ Loss(mm^3) = V - \frac{D_w \cdot \pi \cdot MTD_i}{4} \quad (5)$$

여기서,  $MTD_i$ (mm)는 고압살수 전 표면 macrotexture의 평균 깊이,  $V$  ( $25,000mm^3$ )는 표본 재료의 부피,  $D_i$ (mm)는 고압살수 전 재료로 덮인 부분의 평균 지름,  $D_w$ (mm)는 고압살수 적용 후 재료로 덮인 부분의 평균 지름이다.

개발재료 살포 유무 및 적용 수압에 따른 재료 유실량을 비교하면 Fig. 17과 같다. 비교 구간에서 동일 수압 120, 150 Mpa이 적용하였을 때, 개발재료 적용 구간은 각각 6,044, 8,181  $mm^3$  재료 유실이 발생하였고, 미적용 구간은 각각 6,021, 8,197  $mm^3$ 의 재료 유실이 발생함에 따라 고무제거 사전처리제가 재료 유실에 영향을 주지 않음을 알 수 있었다. 또한 개발재료 적용 구간에 고압살수시 거품발생은 전혀 발생하지 않아, 현장 평가 결과 영향성이 없음을 확인하였다.

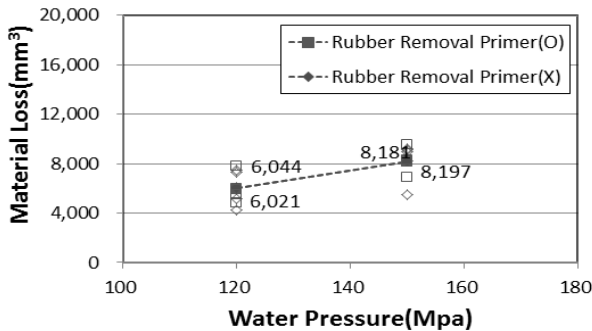


Fig. 17. Comparison of Surface Material Loss by Rubber Removal Primer

## 6. 결론

본 연구에서는 고무퇴적물 제거 살수 압을 상대적으로 낮추어 포장 표면 파손을 저감시키고, 낮은 수압에도 고무퇴적물을 효율적으로 제거하기 위한 사전 처리제 개발 연구를 진행하여 연구범위 내에서 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- (1) 국내 A공항에서 고압살수를 통해 제거된 잔해의 TGA 분석결과 유기물 11.7%, carbon black 5.8%, ash (무기물, 아스팔트 골재)가 82.5%로, 고압살수 제거 작업 시 상당한 표면재료가 유실됨에 따라 표면 파손이 일어나고 있음을 확인 할 수 있었다.
- (2) 환경 친화적인 미생물, 효소 기반의 재료를 기초재료로 선정하여 실제 항공기 착륙 시 고무가 퇴적된 시편의 표면에 적용한

결과, 적용하지 않은 부분 대비 상당한 효과를 보였다.

- (3) 기초 재료에 대한 현장 적용시 효율 증대 및 현장 적용성 확보를 위한 성능 개선을 통해 금속 부식 방지, 표면장력을 줄이기 위한 첨가제(S)의 비율 4%와 거품 최소화를 위한 첨가제(A)의 비율 1.25% 1차적으로 선정하였다.
- (4) 금속 부식 방지 및 표면장력, 거품최소화에 따라 선정된 첨가제 -A, S의 최적 배합을 찾기 위해 포장 영향성에 대한 실내 실험 결과 최종적으로 고무제거 사전처리제의 재료별 최적 비율은 기초재료 : 첨가제(A) : 첨가제(S) = 95.75 : 1.25 : 3로 산출하여 최종개발을 완료하였다.
- (5) 아스팔트 포장에 대해 현장 적용성 검토 결과, 고무제거 사전처리제가 재료유실에 영향이 없으며, 고압살수 적용시 거품발생이 없음을 확인하였다.

## 감사의 글

본 논문은 국토교통부와 국토교통과학기술진흥원의 연구개발사업인 “저탄소 녹색 공항 포장 시공 및 유지관리 기법개발”의 연구지원으로 수행되었으며 이에 관계자분들께 감사드립니다.

## References

- Airport Cooperative Research Program (ACRP) (2008). “Impact of airport rubber removal techniques on runways (synthesis 11).” *Synthesis of Airport Practice*, Transportation Research Board Washington, D.C.
- American Society for Testing and Materials (ASTM) C1260 (2009). *Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of Aggregates (Mortar-Bar Method)*, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA.
- American Society for Testing and Materials (ASTM) C150 (2004). *Standard Specification for Portland Cement*, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA.
- American Society for Testing and Materials (ASTM) C490 (2004). *Standard Practice for Use of Apparatus for the Determination of Length Change of Hardened Cement Paste, Mortar, and Concrete*, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA.
- American Society for Testing and Materials (ASTM) E1845 (2005). *Standard Practice for Calculation Pavement Macrotexture Mean Profile Depth*, Annual Book of Standards, Vol, 4.04. West Conshohocken, PA, USA.
- American Society for Testing and Materials (ASTM) E965 (2006). *Standard Test Method for Measuring Pavement Macrotexture Depth Using a Volumetric Technique*, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA.
- Cotter, B., Smith, S. and Rutland, C. (2008). “Expeditionary runway

- rubber removal capability. Research Report.” *Air Force Research Laboratory, Materials and Manufacturing Directorate*, Tyndall AFB, Fla., p. 38.
- Ekblad, J. and Edwards, Y. (2001). Precision of LFV Method 2-98: Effect of De-Icing Fluid on the Surface Tensile Strength of Asphalt Concrete for Airfields—Adhesion Test, *Research Report TRITA-VT AR 05:01, Stockholm, Sweden: AVD För Vägteknik*, 26pp.
- Federal Aviation Administration (FAA) (1997). Advisory Circular 150/5320-12C. *Measurement, Construction, and Maintenance of Skid-Resistant Airport Pavement Surfaces*, Federal Aviation Administration. U.S. Department of Transportation. Washington.
- Freitas, E., Pereira, P., Antunes, M. L. and Domingos, P. (2008). *Analysis of Test Methods for Texture Depth Evaluation Applied in Portugal*, Guimaraes, Portugal.
- McKeen, R. G. and Lenke, L. R. (1984). “Alternatives for runway rubber removal from porous friction surfaces.” *Air Force Engineering and Services Center*, Engineering and Services Center, Tyndall AFB, Fla., p. 15.
- Reina, J., Velo, E. and Puigjaner, L. (1998). “Thermogravimetric study of the pyrolysis of waste wood.” *Thermochim. Acta*, Vol. 320, No. 1-2, pp. 161-167.
- Speidel, D. J. (2002). Airfield Rubber Removal, Proc. *2002 Federal Aviation Administration Technology Transfer Conference*, Atlantic City, N.J., pp. 1-7.
- Swedish Standard Institute (2005). *Betongprovning -Hårdnad betong-Avflagningvid frysning, SS 13 72 44 (Concrete testing - Hardened concrete - Scaling at freezing. In Swedish)*, SIS, Stockholm.
- Toan, D. V. (2005). Runway Friction Performance in NZ, *Presented at Transit New Zealand International Conference on Surface Friction for Roads and Runways*, Christchurch, New Zealand, pp. 1-12.
- Waters, J. C. (2005). UHP Watercutting—Rejuvenating the Microtexture of Polished Surfacing, *Presented at Transit New Zealand International Conference on Surface Friction for Roads and Runways*, Christchurch, New Zealand, pp. 1-10.