

# 콘크리트 포장 거친면 마무리 개선방법 연구

## Modification of Surface Texture on Concrete Pavement

박권제\* · 오용권\*\* · 정수호\*\*\*

Park, kwon je · Oh, yong kweon · Jung, soo ho

### 1. 서 론

현재 콘크리트 포장은 공급자 측면의 편의성 및 경제성에 중점을 두고 시공되어 왔다. 그러나 이용자 측면의 승차감, 저소음 등에 대한 서비스 요구 수준의 향상과 외국의 여러 연구사례를 고려할 때 우리나라에서도 콘크리트 포장의 서비스 수준도 개선되어야 할 것으로 판단된다.

콘크리트 포장에서 서비스 수준은 거친면 마무리 방법에 많은 영향을 받는다. 현재 국내에서 사용되고 있는 포장의 거친면마무리는 다양한 검토사항을 고려하지 않고 횡방향 타이닝을 일괄적으로 사용하고 있다. 이에 거친면마무리공법에 대한 기존 문헌 조사를 바탕으로 현장 시험을 통해 여러가지 거친면 마무리 공법을 적용하여 발생될 수 있는 문제점 즉, 소음, 미끄럼저항성, 평탄성, 배수성 및 시공성등을 비교·검토하여 현재 국내에서 시행되고있는 거친면 마무리 방법의 개선방안을 제시하고자 한다.

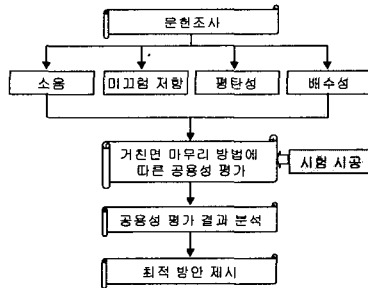


그림 1-1 연구 흐름도

### 2. 거친면 마무리 공법의 개요

#### 가. 거친면 마무리의 특성

거친면마무리는 미끄럼 저항성을 높이기 위해 사용되어 왔으며 다음과 같은 특성이 있다.

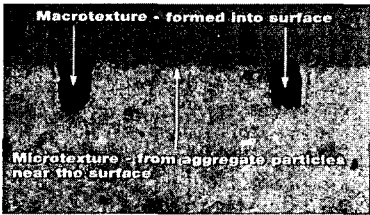
	Micro -texture	포장시공시 콘크리트 모르타르의 세립골재에 의해 만들어지는 노면거칠기
	Macro -texture	굳지 않는 콘크리트에 깊은 줄무늬나 홈을 만들어 물리적 측정이 가능한 노면거칠기 예) 타이닝, 그루빙 등

그림 2-1 콘크리트포장 표면특성

\* 한국도로공사 설계처 부장 · 공학석사 (E-mail: pkj@freeway.co.kr)  
 \*\* 한국도로공사 설계처 과장 · 공학사 (E-mail: oyk21@freeway.co.kr)  
 \*\*\* 한국도로공사 설계처 대리 · 공학석사 (E-mail: sooho777@freeway.co.kr)



**나. 거친면 마무리의 종류**

거친면마무리는 포장의 용도나 위치등을 고려하여 다양한 종류의 공법을 적용하고 있으며 그 종류별 개요는 다음 표2-1과 같다. 표2-2는 시설물의 종류에 따른 거친면 마무리 방법을 보여주고 있다.

표2-1 콘크리트 포장 거친면 마무리 종류별 개요

거친면마무리 종류	공 법 개 요
거친 천 끌기 Burlap Drag	젓은 거친 천을 끌면서 1.5~3mm 깊이의 줄무늬로 성형.
횡방향 쓸기 Transverse Broom	포장 표면을 딱딱한 브러쉬를 이용하여 손이나 기계로 횡방향으로 쓸어서 성형
종방향 쓸기 Longitudinal Broom	횡방향 쓸기와 비슷
임의간격 횡방향 타이닝 Random Traverse Tine (직각이나 비스듬히)	금속 갈퀴를 장착한 기계적장치를 이용하여 성형 최적 치수는 간격 10~75mm, 깊이 3~6mm, 폭원3mm
종방향 타이닝 Longitudinal Tine	포장의 중앙선과 평행하게 성형 최적 치수는 간격 20mm, 깊이 3~6mm, 폭원 3mm
골재 노출 Exposed Aggregate	미경화된 콘크리트 표면의 모르타르를 골재노출기로 긁어내어 조골재를 노출시키는 공법

표 2-2 시설물의 종류에 따른 표층 거친면 마무리 방법

종 류	표층 거친면 마무리 방법
공항 유도도로(high-speed)	횡방향 그루빙
일반도로 (높은 사고발생지역)	종방향 그루빙, 연마 표층
일반도로 (소음에 민감한 지역)	다이아몬드 그라인딩, 연마 표층
고속도로	종방향 및 횡방향 타이닝, 거친 천 끌기와 잔디 떼 모양 끌기(turf drag)
램 프	종방향 및 횡방향 타이닝, 거친 천 끌기와 잔디 떼 모양 끌기(turf drag)
도심부 도로(75km/h 이상)	거친천 끌기, 잔디 떼 모양 끌기(turf drag), (임의간격 종방향 및 횡방향 타이닝)
도심부 도로(75km/h 이하)	거친 천 끌기, 쓸기, 잔디 떼 모양 끌기

**3. 문헌조사**

**가. 소 음**

소음의 종류에는 엔진, 배기장치, 냉각기등에서 발생하는 기계적인 소음과 타이어와 포장표면, 공기역학적, 차량진동으로 발생하는 주행소음이 있으며 고속도로의 주행속도가 80km/hr 이상이면 주행소음에 의해 소음도가 결정된다.

**나. 국외 적용 현황**

표3-1 콘크리트 포장 거친면 마무리 공법관련 외국 적용현황 개요

미 국	- 균등한 횡방향 타이닝의 소음강도가 가장 높음 - 각 주별로 상이하나 종방향타이닝, 횡방향쓸기, 임의간격 횡방향타이닝등 적용
일 본	- 횡방향타이닝을 표준으로하고 있으나 저소음이 요구되는 구간은 골재노출공법 도입중
유 럽	- 골재노출공법을 많이 적용하고 있으며 국가에 따라 횡방향브러싱 및 종방향타이닝을 부분적으로 반영하고 있음



#### 4. 시험시공

시험시공은 중부내륙고속도로 시험도로의 시멘트 콘크리트 포장구간에서 시행하였으며 종방향타이닝(18mm, 26mm), 횡방향 쓸기, 임의간격 횡방향타이닝공법을 시험시공하여 소음, 미끄럼 저항성, 평탄성, 배수성을 측정하였다. 이를 위하여 소음 측정 장비, 미끄럼저항 측정기, 평탄성 측정장비(Profilometer), 배수성 실험을 위한 살수차를 이용하여 실험을 진행하였으며 거친면마무리공법별 대상연장은 다음 그림 4-1과 같다.

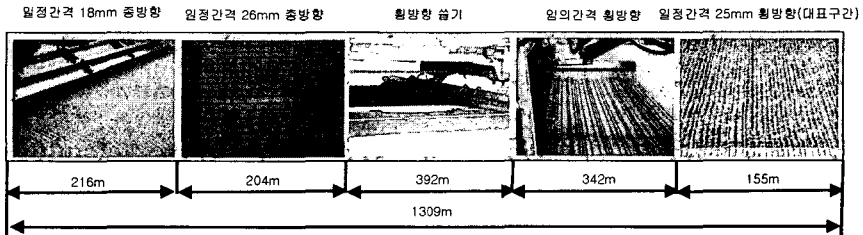


그림 4-1 실험구간 단면계획

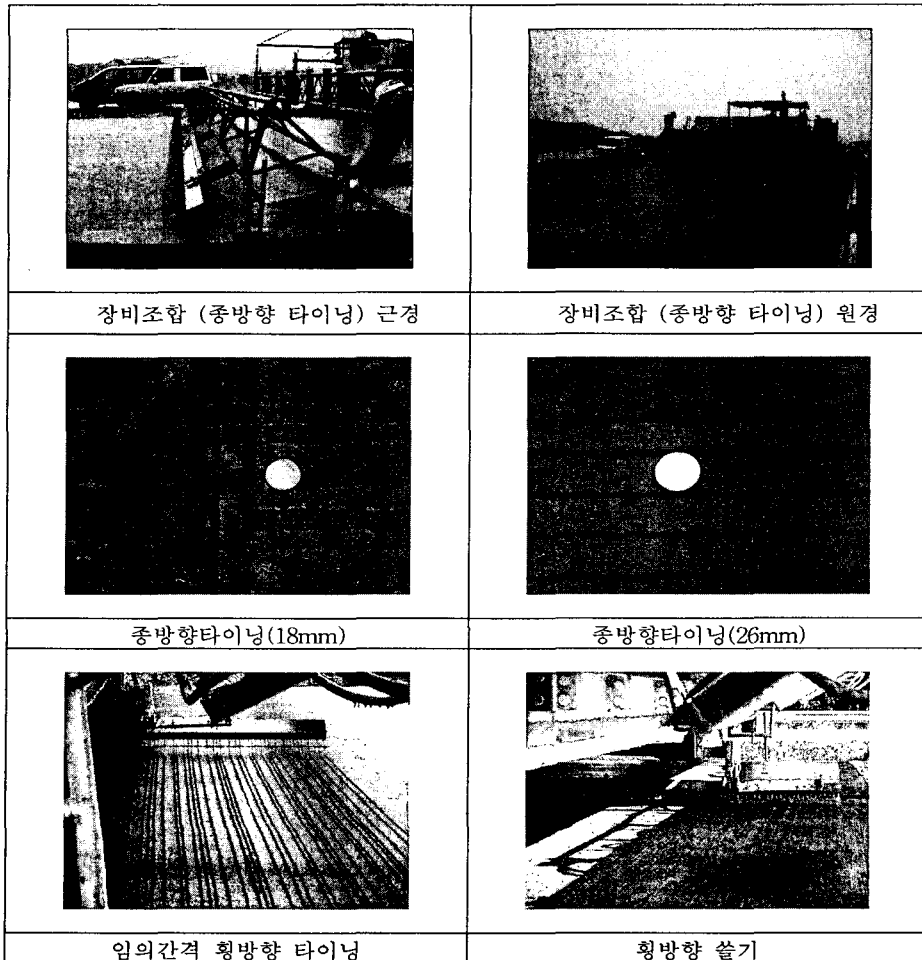


그림 4-2 장비조합 (종방향 타이닝) 및 시공전경



### 5. 거친면 마무리 공용성 평가

#### 가. 소음 측정결과 분석

소음도평가를 위한 설계변수로는 외국 시공사례에서 이미 중요한 변수로 선정된 타이닝 종류와 차량, 속도와의 관계에서 유추하였다. 가장 많이 사용되는 변수로는 타이닝 종류에 따라 차량속도를 변화시키므로서 발생하는 소음정도를 측정하는 것이다. 실험계획은 현재 국내에서 일반적으로 시행되고있는 일정간격 25mm 횡방향 타이닝을 일반구간으로 선정하고, 타이닝 방향과 간격, 마대깔기, 차량, 속도등을 변수로 선정하여 측정하였다. 측정속도는 65km/hr, 80km/hr, 100km/hr로 나누어 측정하였다.

표면처리 차량 속도	일정간격 18mm 종방향 타이닝		일정간격 26mm 종방향 타이닝		횡방향 쓸기		임의간격 횡방향 타이닝		일반구간 (25mm 횡방향 타이닝)	
	승용차	트럭	승용차	트럭	승용차	트럭	승용차	트럭	승용차	트럭
	65km/h	○	○	○	○	○	○	○	○	○
80km/h	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
100km/h	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

그림 5-1 소음 측정 실험계획

소음 측정방법은 미연방도로국(FHWA) 측정기준을 준수하였다. 소음 측정용 마이크로폰은 가장 바깥쪽 주행차선의 중심에서 7.6m떨어진 지점에 위치하고, 지면으로부터 1.5m위에 설치하였다. 이는 지면에서 발생하는 반사음을 최소한으로 줄이기 위함이다. 다음 그림 5-2와 표5-1은 소음측정위치의 개략도와 소음 측정값이다.

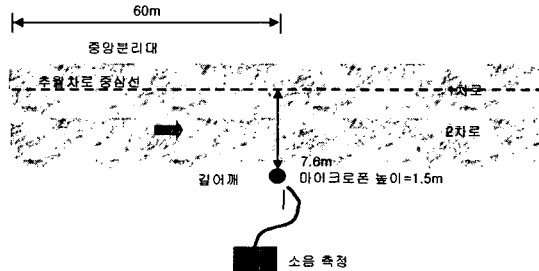


그림 5-2 소음 측정 위치

표 5-1 소음 측정값(dB(A)-L<sub>max</sub>)

표면 처리 방법	소음 측정값(dBA)											
	승용차						트럭					
	차량내부 (km/hr)			차량외부 (km/hr)			차량내부 (km/hr)			차량외부 (km/hr)		
	65	80	100	65	80	100	65	80	100	65	80	100
종방향 18mm	73.5	73.1	73.4	77.7	79.8	82.5	74.7	76.3	77.6	83.8	85.4	88.9
종방향 26mm	72.8	72.8	73.9	79.1	81.3	85.0	72.8	74.5	79.4	85.0	87.7	93.7
횡방향 쓸기	71.8	72.8	73.2	79.4	81.0	84.3	71.3	76.2	78.5	85.7	88.5	95.2
횡방향 임의간격	72.8	71.7	74.1	80.8	82.9	87.1	70.7	76.5	76.5	85.8	88.9	94.0
횡방향 25mm	72.0	70.7	74.0	78.6	81.2	84.0	72.8	76.3	79.7	85.1	90.2	94.4

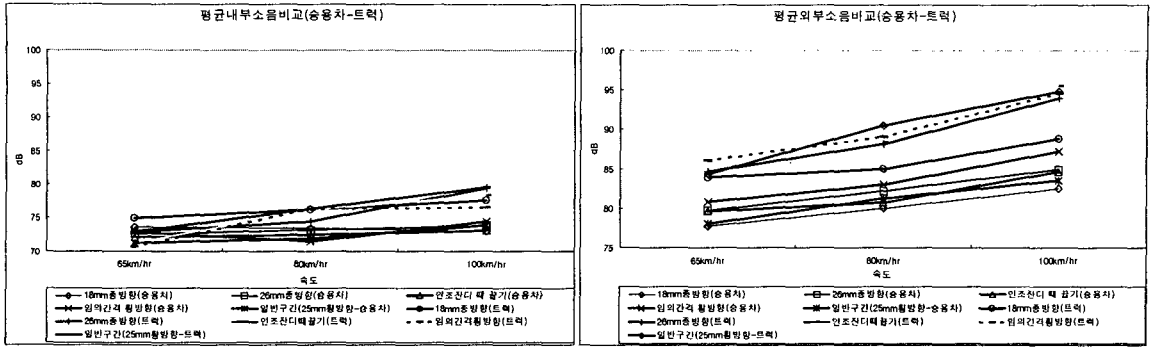


그림5-3 속도변화에 따른 내부소음 비교(승용차-트럭)    그림 5-4 속도변화에 따른 외부소음 비교(승용차-트럭)

나. 미끄럼 저항성 측정결과 분석

미끄럼 저항성 측정은 측정속도를 3가지 수준으로 하고 3회 평균하여 산정하였다. 한국 도로공사에서 보유하고 있는 미끄럼 저항 측정 장비 (PFT, 그림5-5)로 제 2 중부고속도로 일부 구간(2001년 개통된 신설노선)을 대상으로 미끄럼 저항값을 조사하여 분석한 결과 SN값이 40~60 사이 분포를 보였다. 본 연구에서 실험한 결과 값과 비교했을 때 동일한 신설포장이라는 점을 감안했을 경우 비슷한 양상을 보인다고 할 수 있다. 따라서, SN 측정값이 전 구간에서 40을 상회하는 결과값을 보였으므로 일반적인 방법과 동일하게 다른 거친면 마무리 공법을 적용해도 무방하다고 판단된다. 시험시공구간에 대한 마찰저항지수(SN) 측정값은 다음 표 5-2와 같다. 한편 마찰계수(f)는 중방향타이닝의 마찰계수가 횡방향에 비해 다소 낮게 측정되었으나 정지시거 확보를 위한 마찰계수값을 상회하므로 안정성은 충분할 것으로 판단된다. 본 시험구간에 대한마찰계수(f) 측정값은 다음 표 5-3과 같다.



그림 5-5 미끄럼 저항 측정 장비 (PFT)

표 5-2 마찰저항지수 (SN) 측정값

표면처리방법	측정 속도		비 고
	40km/hr	65km/hr	
중방향 18mm	62	53	3회측정
중방향 26mm	62	52	
횡방향쓸기	72	57	
임의간격 횡방향	59	58	
횡방향 25mm	65	58	



표 5-3 마찰계수(f) 측정값

표면처리방법	측정 속도		
	40km/hr	65km/hr	80km/hr
종방향18mm	0.66	0.55	0.42
종방향 26mm	0.75	0.65	0.54
횡방향쓸기	0.81	0.77	0.63
임의간격 횡방향	0.70	0.68	0.50
횡방향 25mm	0.73	0.67	0.48
정지시거를 고려한 종방향 마찰계수	0.37	0.32	0.30

또한 급회에는 측정하지 못했지만 횡방향 마찰계수는 종방향 타이닝이 기존의 횡방향타이닝에 비하여 높게 측정될 것으로 예측되며 이러한 특징은 정지시거확보가 문제가 되는 곡선반경이 작은 구간 특히 인터체인지의 연결로등에서 주행안정성을 확보하는데 유리하게 작용할 것으로 판단된다.

다. 설문조사

설문조사는 현장 근무 직원 39인에 대하여 실시하였으며 승용차 34대, 화물차 5대를 80 ~ 100 km/hr의 속도로 주행후 주행승차감, 소음도, 미끄럼저항성, 수막현상등의 항목에 대해 실시하였으며 설문조사결과 주행승차감 및 소음도는 종방향타이닝이 우수하며 미끄럼저항성 및 수막현상 억제력은 횡방향타이닝이 우수한 것으로 조사되었다. 설문조사결과는 다음 그림 5-3과 같다.

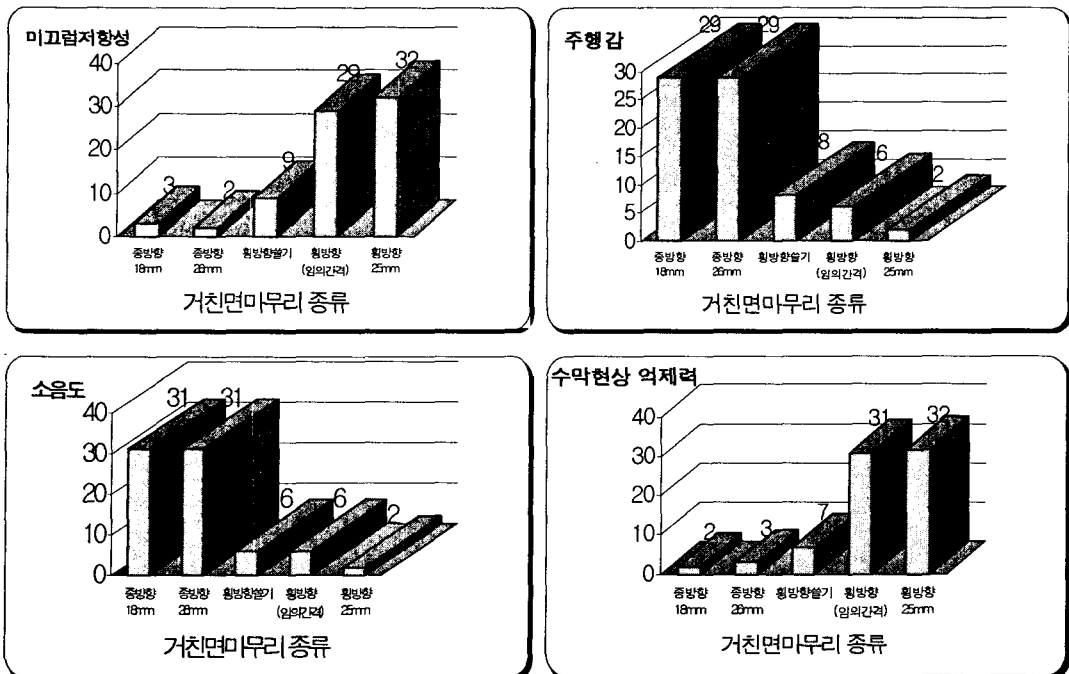


그림 5-6 설문조사 분석결과



## 6. 평가결과 분석

### 가. 평가요약

전체 소음도를 비교한 결과 일정간격 18mm종방향 타이닝이 다른 비교구간보다 약 2~3dBA 소음감소 효과가 있는 것으로 결론 내릴 수 있었다. 또한 타이닝 간격이 증가할수록 소음값도 증가하는 것을 알 수 있었다. 18mm종방향 타이닝과 26mm종방향 타이닝을 비교한 결과 약 2~3dBA 증가함을 볼 수 있었다. 그러나 설문조사 결과 운전자들은 타이닝 간격에 따른 소음도를 비슷하게 느끼고 있었다. 일정기간 공용개시후 재조사가 필요할 것으로 판단된다.

미끄럼 저항성 측정결과는 SN40을 기준으로 했을 경우 전 구간에 대해 양호한 결과를 얻을 수 있었다. 구간별로 SN값이 수치적으로 다소 차이가 나지만 안전성에는 문제가 없는 것으로 판단된다.

평탄성 측정결과 AASHTO 기준인 PrI 16cm/km범위 내에 전 구간이 포함되는 것을 알 수 있었다. 횡방향 쓸기 주행선 구간에서 가장 높은 값을 나타냈지만, 이는 콘크리트 포장 시공오차에 기인한 것으로 판단되며, 실제 운전자를 대상으로한 설문조사에서는 종방향타이닝의 주행감이 가장 좋은 것으로 분석되었다.

육안관측으로 배수성 측정결과 일정간격 26mm종방향 타이닝과 일반구간(일정간격 25mm 횡방향 타이닝)에서 가장 우수한 배수성을 보였다. 반면에 18mm종방향 타이닝과 임의간격 횡방향에서는 배수능력이 저하되었다. 그러나 비가 오고난후 운전자 설문조사에서는 종방향타이닝의 배수 속도가 상대적으로 늦은 것으로 느끼는 것으로 나타났다. 이는 타이닝 홈의 습기가 타이닝 구간에서 잔류수가 남아있기 때문인 것으로 보인다. 공용시에는 문제가 되지 않을 것으로 보이나 이에 대한 추가 연구가 필요할 것으로 판단된다.

### 나. 공법별 순위평가 (Ranking method)

거친면 마무리공법을 적용한 결과를 바탕으로 Ranking method를 적용하여 종합적인 평가를 실시하였다. 문헌조사 결과 거친면 마무리 공법은 소음도 발생여부를 가장 큰 Criteria로 선정하였다. 그리고, 미끄럼 저항성, 주행성, 배수성 등으로 분류하여 측정하였다.

본 연구에서는 최적의 공법을 선정하기 위하여 측정 수준별로 가중치를 적용하여 합산하는 방식으로 산정하였다. 가중치는 공용성 평가시 가장 크게 적용되는 소음을 50%로 하였고, 미끄럼 저항성을 30%, 주행성 15%, 배수성 5%로 임의 적용하였다. 소음 측정결과 일정간격 18mm종방향 타이닝 공법에서 가장 우수하였으며 최종 평가 결과에서도 18mm종방향 타이닝이 가장 좋은 방안으로 나타났다. 따라서, 향후 국내 콘크리트 포장에 종방향 타이닝 적용을 적극 검토해야 할 것으로 판단된다. Ranking Method에 의한 순위표는 다음 표 6-1과 같다.

표 6-1 Ranking Method

변수 항 목	소음	가중치 (0.5)	미끄럼 저항성	가중치 (0.3)	주행성	가중치 (0.15)	배수성	가중치 (0.05)	합계	순위
18mm종방향	1	0.5	5	1.5	1	0.15	4	0.20	2.35	1
26mm종방향	2	1.0	4	1.2	1	0.15	5	0.25	2.60	2
횡방향쓸기	4	2.0	3	0.9	3	0.45	3	0.15	3.50	4
임의간격 횡방향	3	1.5	2	0.6	4	0.60	2	0.10	2.80	3
일반구간	5	2.5	1	0.3	5	0.75	1	0.05	3.60	5



## 7. 결론 및 향후 연구과제

다양한 포장 표면 거친면마무리 공법에 대하여 문헌조사, 시험시공, 설문조사등을 실시한 결과 소음도 및 주행감은 좁은 간격의 종방향타이닝이 가장 우수하였으며 미끄럼저항성은 현재 적용하고 있는 횡방향타이닝이 상대적으로 우수하나 타 공법도 소요기준 값(SN=40)이상 확보가 가능한 것으로 판단된다.

배수성은 타이닝 방향 보다 타이닝의 규격 및 도로의 종·횡단 경사에 지배적인 것으로 분석되었으며 도로 포장의 배수취약구간인 sag부의 경우 포장후 배수용 그루빙 시공이 가능함을 감안시 공법선택에 주요 인자는 아닌 것으로 판단되었다. 상기 검토 결과에 따라 측정항목의 중요도를 감안하여 가중치를 부여한후, 공법별 순위를 산정한 결과 종방향타이닝(18mm)이 가장 우수한 것으로 검토되었다. 향후 우리나라에서도 도로여건에 따라 거친면 마무리방법을 다양화할 필요가 있으며 특히 소음저감이 필요한 구간이나 곡선이 작은 구간등에 대하여는 종방향 타이닝을 적극적으로 적용방안을 검토할 필요가 있을 것으로 보인다.

관련 전문가에 의한 자문과 설계심의를 실시한 결과 전반적으로 소음감소 및 주행성 측면에서 유리한 종방향 타이닝 시행에 원칙적으로 동의하였으나 종방향 배수성과 미끄럼저항성 등에 대한 보완연구 및 향후 표면상태 평가장비의 표준화 및 개발이 필요한 것으로 지적되었다. 또한 배수성 및 잔류수에 의한 노면동결에 대해서는 추적조사후 보완이 필요한 것으로 지적되었다. 따라서 향후 지속적 연구·추적조사를 통하여 개선 발전시켜 나가는 것이 바람직 할 것으로 판단된다.

### 참고문헌

1. Kuemmel, D.A., and others, "Impacts Related to Pavement Texture Selection", Final Report, WI/SPR-06-96, Wisconsin Department of Transportation, Madison, WI, January 1997
2. Wisconsin Department of Transportation, "Noise and Texture on PCC Pavements-Result of Multi-State Study", Final Report, Madison, WI, June 2000
3. Federal Highway Administration, "Highway Traffic Noise in the United State", Washington D.C., 1997
4. 한국도로공사, "소음 예측기법 및 방음시설 설계기준", 2001년 연구보고서,
5. U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration Office of Environment and Planning Noise and Air Quality Branch Washington, D.C. "Highway Traffic Noise Analysis and Abatement Policy and Guidance" June, 1995
6. Wisconsin Department of Transportation "Noise and Texture on PCC Pavements" June, 2000
7. Utah Department of Transportation "Road Pavement Grinding Noise Study" November, 2000
8. FHWA R&D Concrete Pavement Research & Technology "The International Roughness Index" August, 2002
9. Wisconsin Department of Transportation "Noise and Texture on PCC Pavements" June, 2000
10. Transportation Research Board "Geocomposite For Pavement Subsurface Drainage" August 3, 2001
11. ACPA Special Report "Concrete Pavement Surface Texture"
12. 김장호, 장부규, "소음 진동 제어 공학", 지구 문화사, 1. 1996
13. NCHRP Synthesis 268, "Relationship Between Pavement Surface Texture and Highway Traffic Noise"
14. Transportation Research Board "Stop the Whine! Narrow Band Level Measurements of Three Highway Pavements" 1.1997
15. 건설교통부 제정 "도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙-해설 및 지침" 3. 2000