

콘크리트 포장 조기건식줄눈절삭공법의 현장 공용성 검증

Field Evaluation of Early-entry Dry Saw Cutting Method

이재훈* · 박준영** · 권오선*** · 김형배****

Lee, Jae Hoon · Park, Jun Young · Kwon, Oh Sun · Kim, Hyung Bae

1. 서 론

콘크리트 포장의 줄눈은 온도 및 습도변화에 의하여 발생하는 무작위 균열의 발생을 제어할 목적으로 시공된다. 줄눈의 시공은 1차 3mm, 2차 6mm 폭으로 절삭되며 2차 절삭은 줄눈재의 종류에 따라 25~60mm 깊이로 시공되고 있다. 유지관리 과정에서도 줄눈보수 및 주기적인 줄눈재 교체작업이 진행되고 있어 교통차단을 유발하고 이로 인해 도로이용자의 불편은 물론 막대한 유지관리 비용이 소요되고 있다. 이와 같이, 줄눈은 콘크리트 포장의 시공 및 유지관리 과정에서 가장 까다로운 부분이며 파손이 빈번하게 발생하는 취약부로서 콘크리트포장 전체의 공용성 저하에 큰 영향을 준다. 따라서, 줄눈은 시공 및 유지관리 과정에서 가장 파손이 쉽게 발생하기 때문에 특별한 관심과 주의가 필요하다.

현재 국내에서 사용되고 있는 줄눈의 절삭방법은 습식절삭방법이며 이 방법의 경우 완전히 굳지 않은 콘크리트 포장의 강도저하에 치명적인 영향을 줄 수 있는 물을 사용하기 때문에 조기에 절삭을 시행할 수 없다. 따라서, 대기온도가 급격히 상승하는 하절기에는 절삭시기 조절이 어려워 조금만 늦어도 수화반응 또한 급속히 진행되어 1차 줄눈절삭 이전에 슬래브에 횡방향의 무작위 관통균열이 발생하여 추가적인 재시공이 빈번히 발생하고 있다. 이에 반해, 1980년대 후반에 미국에서 콘크리트 포장에 도입된 조기건식줄눈절삭공법은 콘크리트의 강도발현 초기에 줄눈절삭을 시행하여 슬래브에 발생하는 무작위 균열을 방지하고 절삭 깊이를 줄여 작업속도를 증가시킬 수 있는 효과적인 줄눈절삭방법이다. 조기건식줄눈절삭 공법은 줄눈절단깊이의 경량화 및 하중분산을 통해 콘크리트의 강도 발현 초기에 줄눈절삭을 시행하는 공법이다. 이 경우, 줄눈절삭시기를 앞당겨 절삭깊이를 줄임으로(슬래브 두께의 1/10) 건식으로 줄눈절삭이 가능하며 작업속도 또한 매우 빠르다. 또한, 줄눈절삭공정의 단순화로 시공효율을 증대시킬 수 있으며, 고온에서 콘크리트 포장을 시공할 경우, 무작위 균열의 발생위험을 현저히 감소시킬 수 있다. 이 조기건식 절삭법은 1980년대 후반에 콘크리트 포장 분야에 도입되었으며, 현재 미국 내 25개 이상의 주에서 사용되고 있다.



그림 1. 습식줄눈절삭(좌) 및 조기건식줄눈절삭(우)

* 정회원 · 한국도로공사 도로교통연구원 선임연구원 · 공학석사(E-mail : ranian74@ex.co.kr) -발표자
** 정회원 · 한국도로공사 도로교통연구원 연구원 · 공학석사(E-mail : parkjevel@hotmail.com)
*** 정회원 · 한국도로공사 도로교통연구원 선임연구원 · 공학석사(E-mail : poor2461@ex.co.kr)
**** 정회원 · 한국도로공사 도로교통연구원 책임연구원 · 공학박사(E-mail : kimhyun3@ex.co.kr)

조기건식줄눈절삭 방법으로 줄눈 끝단까지 절삭하는 경우 상향방식의 회전으로 줄눈 단부에 스폐링이 발생할 수 있다. 이렇게 손상된 구간은 시간이 경과함에 따라 추가적인 균열이나 파손을 일으킬 수 있다. 이를 보완하기 위하여, Iowa 주 교통국에서는 콘크리트 포장도로에 조기건식줄눈절삭 방법을 사용해 시공할 경우, 콘크리트 포장의 끝단에서 대략 1/2~3/4in 전에 절삭을 멈추는 “Short Joint” 방식을 개발하였다. 현장 시험 시공을 통해 기존의 절삭방식과 비교한 결과 Short Joint 방법이 줄눈 끝단의 파손 보다 적게 유발하는 것으로 나타났다. 또한 Short Joint 방법은 줄눈재가 흘러내리는 것을 방지하기 위해 기존에 사용되던 Duct tape dam 형성작업을 생략할 수 있어 시간 및 비용의 절감효과를 가져오는 것으로 나타났다(Robert Steffes 외, 2003). 미연방도로국(FHWA)에서 발간하는 CPTP(Concrete Pavement Technology Program)에서는 조기건식 줄눈절삭 공법은 콘크리트 포설 후 1~4시간이면 절삭이 가능하고 줄눈의 깊이도 줄일 수 있는 유용한 줄눈 시공방법으로 소개하고 있다(CPTP, 2007). 단, Iowa 주립대학의 연구에 따르면 플라이 애쉬를 사용한 콘크리트 배합의 경우 조기건식절삭을 시행한 줄눈에서 습식절삭을 시행한 줄눈보다 평균적으로 균열이 5~10배 정도 더 늦게 발생하는 것으로 나타나 이 경우 주의가 필요한 것으로 나타났다. (Kejin Wang 외, 2009)

이같은 국외 연국 사례를 토대로 본 연구에서는 콘크리트포장의 조기건식줄눈절삭 공법의 시험시공을 통하여 줄눈 공용성을 향상 시키는 것을 목적으로 하고 건식 줄눈의 절삭시기 등의 시공성 검토와 균열유도율, 줄눈거동량, 라벨링 발생율, 평탄성, 소음도와 같은 줄눈의 단기 공용성 평가를 수행하였다.

2. 줄눈 시공법 평가

2.1 시험시공 개요

시험시공은 콘크리트 포장의 수축줄눈에서 기존습식절삭과 조기건식절삭 공법의 상대 비교를 통해 현장 적용성 평가를 수행하였다. 시험시공은 목포-광양고속도로(오산터널~작천교) 광양방향에서 3월경에 3일간 진행되었다. 이 구간은 터널과 교량사이의 성토부이며 30cm 두께의 콘크리트 슬래브와 15cm 두께의 린 콘크리트 기층이 시공되는 구간이다. 시험시공 구간의 총 연장은 1,122m 이다. 그림 2는 각각 시험시공 구간의 구성과 구간별 실제 시공진행 내역을 보여준다. 시험시공 단면설계는 줄눈절삭의 중요 변수인 포장체 온도변화와 관련되는 포장시공 시기별로 절삭 방법을 선정했다.



그림 2. 시험시공 일차별 시공 구간

2.2 온도조건

시험시공이 진행된 시기는 3월 하순으로 일찍저기온은 콘크리트 포장을 시공하기에는 다소 낮았으며 일교차가 크게 벌어졌다. 줄눈절삭이 시작 이후의 일교차가 10℃ 이상으로 크게 발생해 절삭부위에 유도균열이 유도되기 좋은 기상조건을 형성하였다.

콘크리트 내부의 온도자료 수집을 위해 일반습식구간(S1)과 조기건식절삭구간(S6)에 I-button을 매설하였다. 시험시공에 쓰인 I-button은 슬래브표면 깊이에 따라 상(3cm), 중(15cm), 하(27cm)로 온도변화를 측정하였다.

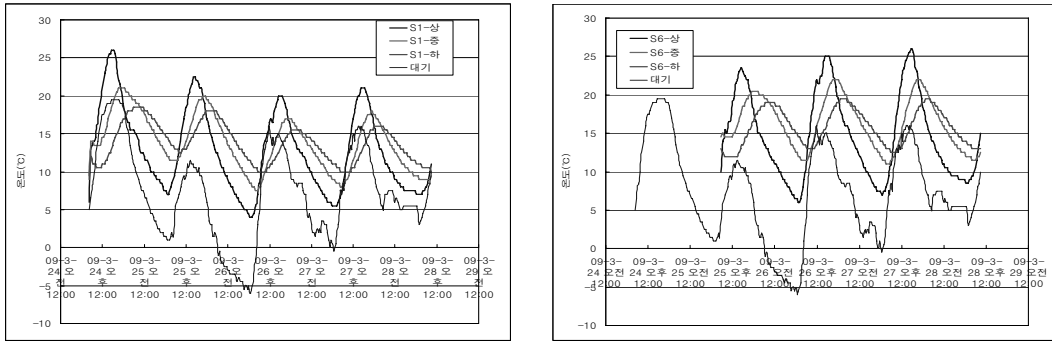


그림 3. I-button으로 측정한 슬래브 내부의 온도변화(좌:S1, 우:S6)

2.3 시공성 검증

2.3.1 습식줄눈절삭

기준구간인 S1 구간을 포함한 S1~S3 구간은 습식줄눈절삭 구간이며 2일 동안 시공이 진행됐다. 습식줄눈절삭 구간의 줄눈절삭은 시공 후 약 20시간 이상이 지난 다음날 새벽에 진행됐다. S2 구간의 일부 줄눈에서 줄눈절삭시기를 위한 시험절삭을 수행한 결과 약 22시간이 줄눈절삭을 위한 임계시간으로 나타났다.

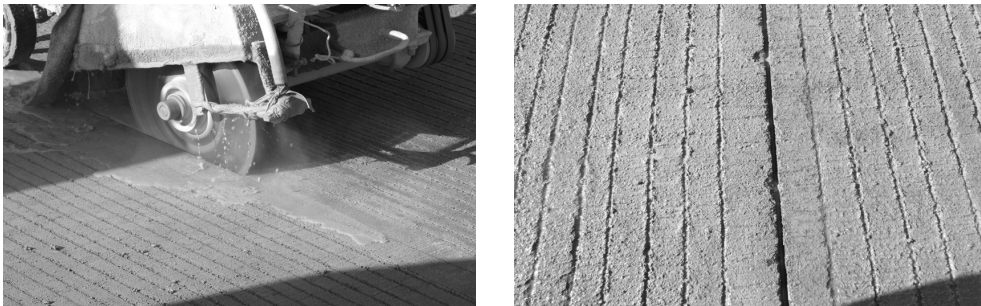


그림 4. 습식줄눈절삭 및 절삭한 줄눈 모습

2.3.2 조기건식줄눈절삭

S4~S6 구간은 조기건식줄눈절삭 구간으로서 하루 동안 줄눈절삭시공이 진행됐다. 조기건식줄눈절삭 중 오전시공 구간은 포설 후 9시간이 지난 당일 오후 6시 경부터 절삭이 진행됐다. 조기건식줄눈절삭 방법의 경우 컷팅날의 회전방향이 상향이기 때문에 줄눈 끝단에서 절삭이 완료되기 전에 파손이 발생하였다. 따라서, 그림 5와 같이 줄눈절삭을 끝단에서 5cm 가량 앞에서 완료하였다. 절삭이 진행되지 않은 부분은 자연적으로 균열이 유도되나 본 시험시공에서는 하향으로 회전하는 습식절삭기를 이용해 추가로 절삭해 주었다.



그림 5. 조기건식줄눈절삭 및 절삭한 줄눈 모습

3. 줄눈 시공법 현장평가

3.1 균열유도율

균열유도율은 S1, S3, S6, S5, S4에서 수행됐다. S1과 S3는 1일 시공구간으로 습식줄눈절삭이 진행된 구간이고, S6에서 S4까지 또한 1일 시공구간으로 조기건식줄눈절삭이 진행된 구간이다. 조사는 슬래브의 길어깨 단부에서 육안으로 관찰하여 절삭부 끝단부터 슬래브 하부까지 관통균열이 발생한 경우를 기준으로 균열유도 여부를 판단하였다. 균열의 폭에 대한 제한은 없었으며 조사는 매일 오전 10시와 오후 3시에 2차례에 걸쳐서 진행됐다.

그림 6의 좌측은 각 구간 줄눈별로 균열이 발생한 시간을 정리한 것이다. 오후에 시공된 S3, S5, S6구간은 절삭 후 30시간 이내에 모든 줄눈에서 균열유도가 이루어졌다. 반면, 오전에 시공한 S1, S6구간은 일부 줄눈에서 균열유도가 다소 더디게 진행된 것을 확인할 수 있다. 그림 4.2의 우측은 절삭방법을 기준으로 절삭 후 시간에 따른 균열유도율을 정리한 것이다. 습식절삭방법이 다소 빠르게 균열유도가 진행된 것으로 보이지만 조기건식줄눈절삭시 나타난 저온현상을 감안하면 조기건식줄눈절삭공법도 높은 균열유도율을 보이고 있다.

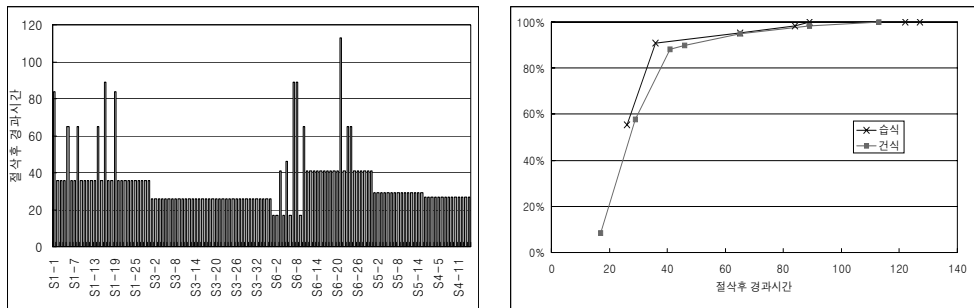


그림 6. 구간별 균열유도시간(좌측) 및 절삭방법별 균열유도율 변화(우측)

3.2 줄눈거동량

줄눈거동량 조사는 S1, S3, S6, S5에서 수행되었다. 조사 대상 구간은 크게 습식절삭구간(S1, S3), 건식절삭구간(S6, S5)과 오전 시공구간(S1, S6), 오후 시공구간(S3, S5)으로 구분할 수 있다. 각 구간의 줄눈 거동량 측정에는 각 10개의 줄눈에 데멕 포인트(Demec point)를 부착한 후 데멕 게이지(Demec Gauge)를 이용하여 측정하였다. 줄눈 거동량은 72시간(1일 6회 이상)을 연속 측정하였고 측정시 슬래브의 내부 온도와 표면 온도를 측정하였다.

그림 7은 각 구간에 대해 슬래브 내부 온도변화에 따른 줄눈폭 변화량을 나타낸다. 각 그림에서 기울기는 단위온도변화당 줄눈거동량(mm/°C)으로 표현할 수 있는데 모든 구간이 비슷한 결과를 보이며 잘 거동하고

있다. 오전시공구간(S1, S6)과 오후시공구간(S3, S5)의 줄눈거동량 분포를 살펴보면 오전시공구간이 보다 넓게 분산되어 있음을 확인할 수 있다. 이는 오전에 시공한 구간은 줄눈 간에 시간적 편차를 두고 균열유도가 되면서 줄눈거동량에 차이가 발생한 것으로 콘크리트 포설 시기가 줄눈거동량에 큰 영향을 주고 있다는 것을 알 수 있다.

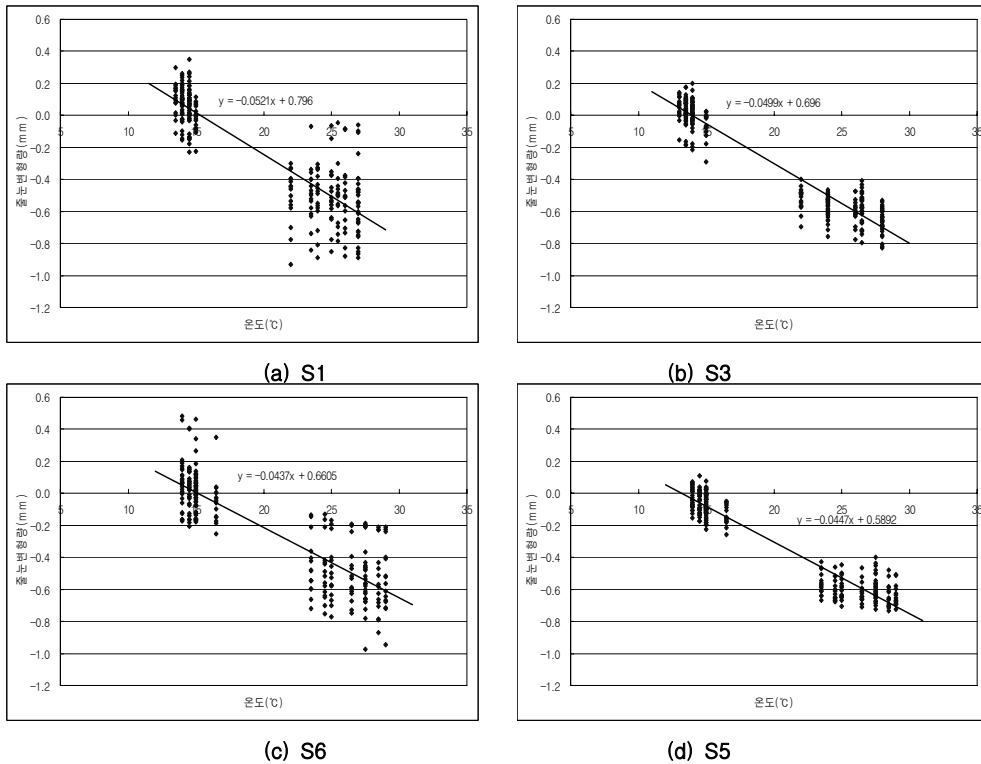


그림 7. 각 구간의 슬래브 내부 온도별 줄눈 변화량

3.3 라벨링 발생율

줄눈부에서의 라벨링(raveling)이란 줄눈시공과정에서 슬래브 표면에서부터 골재나 시멘트 페이스트가 늘리거나 떨어져 나가는 파손으로 장기적으로 스폐링으로 발전할 수 있는 콘크리트 포장의 파손의 한 형태이다. 본 연구에서는 줄눈절삭 후 각각의 줄눈에 발생한 라벨링을 육안으로 조사하였다. 이 조사에서 장기적인으로 손상 가능성이 큰 30mm 이상의 폭을 갖는 라벨링의 수를 조사하였다. 또 이와는 별도로 30mm 이하의 라벨링이 다수 발생한 상태가 불량한 줄눈에 대해서도 별도로 분류하였다.

표 1은 라벨링과 관련하여 수행한 육안조사결과를 보여준다. 조사결과, 습식절삭 구간에서는 총 38개의 라벨링이 발생한 것으로 나타났으며 건식절삭구간에서는 4개의 라벨링이 발생한 것으로 나타났다. 습식절삭구간에서는 줄눈당 평균 0.58개의 라벨링이 발생하였고 건식절삭구간에서는 줄눈당 평균 0.07개의 라벨링이 발생하였다. 상태불량 구간도 습식절삭 구간에만 8개 줄눈에서 발생하였고 건식절삭 구간에서는 발생하지 않아 건식절삭방법이 줄눈의 내구성 측면에서 보다 우수한 것으로 나타났다.



표 1. 라벨링발생을 조사결과(■은 시공상태가 전반적으로 좋지 않은 줄번호 의미)

줄번호	라벨링수	줄번호	라벨링수	줄번호	라벨링수	줄번호	라벨링수	줄번호	라벨링수	줄번호	라벨링수
S1-1	0	S1-22	0	S3-14	2	S3-35	0	S6-20	0	S5-11	0
S1-2	1	S1-23	0	S3-15	1	S3-36	1	S6-21	0	S5-12	0
S1-3	0	S1-24	0	S3-16	0	S6-1	0	S6-22	0	S5-13	0
S1-4	0	S1-25	0	S3-17	1	S6-2	0	S6-23	0	S5-14	0
S1-5	0	S1-26	0	S3-18	0	S6-3	0	S6-24	0	S5-15	0
S1-6	0	S1-27	0	S3-19	2	S6-4	0	S6-25	0	S4-1	0
S1-7	0	S1-28	0	S3-20	0	S6-5	0	S6-26	0	S4-2	0
S1-8	0	S1-29	0	S3-21	1	S6-6	0	S6-27	0	S4-3	0
S1-9	3	S3-1	0	S3-22	0	S6-7	0	S6-28	0	S4-4	0
S1-10	1	S3-2	0	S3-23	0	S6-8	0	S6-29	0	S4-5	0
S1-11	0	S3-3	0	S3-24	0	S6-9	0	S6-30	0	S4-6	0
S1-12	1	S3-4	0	S3-25	0	S6-10	1	S5-1	0	S4-7	0
S1-13	0	S3-5	0	S3-26	0	S6-11	0	S5-2	0	S4-8	0
S1-14	0	S3-6	4	S3-27	0	S6-12	0	S5-3	1	S4-9	0
S1-15	1	S3-7	0	S3-28	0	S6-13	0	S5-4	0	S4-10	0
S1-16	0	S3-8	1	S3-29	0	S6-14	0	S5-5	0	S4-11	0
S1-17	0	S3-9	2	S3-30	0	S6-15	0	S5-6	1	S4-12	0
S1-18	0	S3-10	0	S3-31	1	S6-16	0	S5-7	0	S4-13	0
S1-19	0	S3-11	0	S3-32	0	S6-17	0	S5-8	0	S4-14	0
S1-20	0	S3-12	1	S3-33	3	S6-18	1	S5-9	0	습식	38개
S1-21	0	S3-13	1	S3-34	0	S6-19	0	S5-10	0	건식	4개

3.4 평탄성

시험시공 구간의 초기 평탄성을 측정하기 위하여 포터블 워킹 프로파일 미터를 사용하였다. 포장의 평탄성은 IRI값으로 평가되며 그 기준은 1.6m/km이다. 전체 시험시공 구간의 주행차로 중앙(Center)부와 휠패스(Wheel path)에서 각각 3회씩 84m(14개 슬래브) 길이에 대해 평탄성을 측정하였다.

워킹 프로파일 미터를 이용한 평탄성 조사 결과 표 2와 같다. 습식구간(S2, S1, S3)과 건식구간(S6, S5, S4)의 평균 IRI값을 비교하면 상대적으로 습식구간이 건식구간보다 약 0.1~0.3m/km만큼 더 평탄성이 좋은 것으로 나타났다. 전반적인 IRI 수치를 보면 측정연장이 프로파일 미터의 최소 측정 구간인 100m에 미치지 못하므로 기준 값보다 다소 높은 IRI값이 나온 것으로 판단된다.

표 2. 시험 단면 구간의 평탄성결과

구분		S2	S1	S3	S6	S5	S4
Center	1	1.71	1.74	1.66	1.77	1.58	1.89
	2	1.83	1.71	1.48	2.03	1.71	1.84
	3	1.75	1.77	1.82	1.72	1.70	1.93
	평균	1.76	1.74	1.65	1.84	1.66	1.89
Wheel path	1	1.70	1.86	1.71	1.88	1.85	2.33
	2	1.57	1.91	1.73	2.09	1.66	2.28
	3	-	1.77	1.92	2.00	1.90	1.93
	평균	1.64	1.85	1.79	1.99	1.80	2.18
평균		1.70	1.79	1.72	1.92	1.73	2.03

3.5 줄번호 주행소음

줄번호 및 줄번호의 유·무에 따른 주행소음의 변화를 평가하기 위해 소음측정을 실시하였다. 타이어와 노면 사이의 주행소음 측정은 음원 근거리에서 마이크로폰을 설치하여 등가소음도를 측정하는 CPX(close proximity)방법을 사용하였다.



그림 8. 줄눈부 주행소음 측정을 위한 차량 및 마이크로폰

본 소음측정은 구간별 상대비교를 위한 것으로 그림 4.7과 같이 차량의 전륜부 양측에 각각 1개씩의 마이크로폰을 설치하여 주행시 발생하는 음원을 수집하고 이를 차량내부의 신호분석기에서 프로그램을 이용해 분석하는 방식으로 진행됐다. 각 구간에서 80km/h의 속도로 5회씩 측정이 이루어졌다.

그림 9는 시험시공 구간에서 측정한 A가중치 등가소음도를 1/3 옥타브밴드로 분석한 결과를 보여준다. 팔호안의 값은 평균 음압값이다.

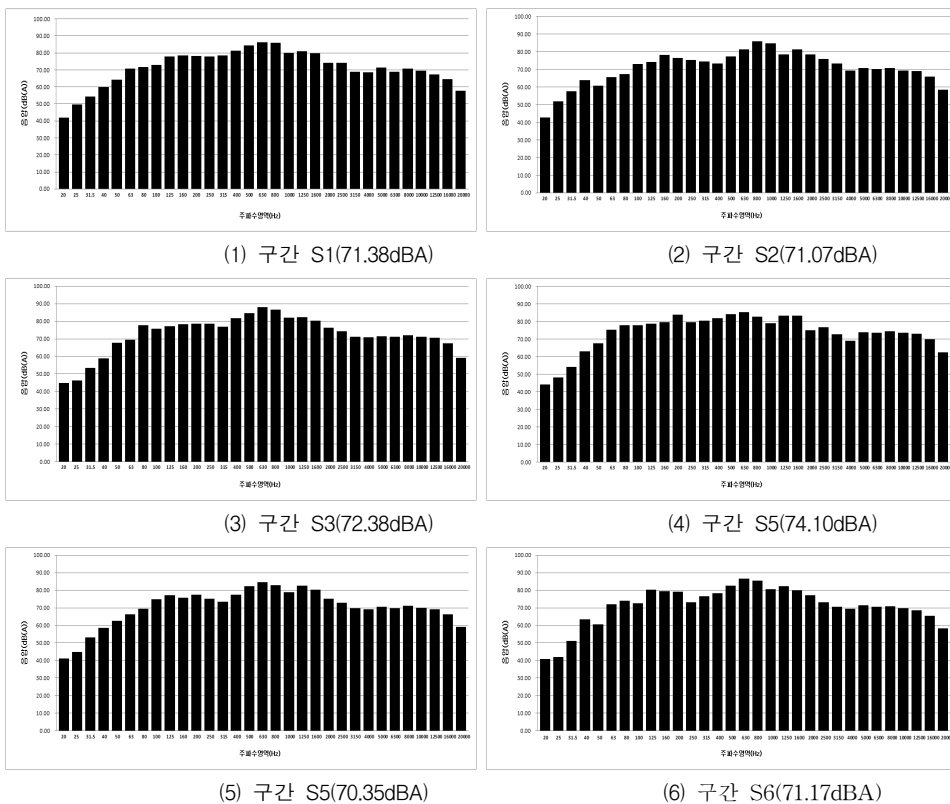


그림 9. 주행속도 80km/h에서의 구간별 소음분포



표 3. 시험시공 구간 음압 평가결과(80km/h 주행시)

구분	단 면	소음도(dBA)	평균(dBA)
습식구간	S1, S2, S3	71.38, 71.07, 72.38	71.61
건식구간	S4, S5, S6	74.10, 70.35, 71.17	71.87

줄눈부 주행소음 측정결과, 습식과 건식의 절삭방법은 평균 0.26dBA의 차이를 보여준다. 이는 매우 미미한 차이이므로 줄눈절삭 방법에 따른 소음저감 효과는 별다른 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 그러나, 본 연구에서 수행한 소음측정 방법의 경우 줄눈부에서의 소음이 아닌 구간 전체의 주행소음이기 때문에 향후 조사방법을 변경하여 보다 정확하게 줄눈부 소음의 변화에 대한 측정을 진행할 예정이다.

4. 결 론

소음저감, 평탄성 개선, 시공비용 절감 등 여러 가지 장점이 있는 조기건식줄눈절삭방법은 기존 습식줄눈 절삭방법에 비해 무작위 균열의 발생 가능성을 줄여주고 작업공정을 단순화할 수 있기 때문에 효율적인 줄눈절삭방법으로 알려져 있다. 본 연구는 줄눈부 공용성능 향상을 통한 포장 전체의 공용성 향상을 목표로 진행되었다. 이를 위하여 고속도로 일부 구간에서 3월경 조기건식줄눈절삭에 대한 시험시공을 실시하였다.

시험시공에 적용된 여러 요소들에 대한 객관적인 공용성능을 평가하기 위하여 시공 후 다양한 추적조사가 진행됐다. 추적조사는 목적에 따라 크게 3가지 항목으로 구분할 수 있다. 첫 번째는, 줄눈의 올바른 형성 여부를 확인하는 것으로 균열유도율과 줄눈거동량에 대한 조사가 이루어졌다. 두 번째는 적용된 기술의 시공성을 평가하는 것으로 라벨링 발생여부에 대한 조사가 진행됐다. 마지막으로, 기능적 공용성을 평가하는 방법으로 평탄성 및 소음에 대한 조사가 진행됐다. 시공성 및 공용성 측정 결과, 조기건식줄눈절삭공법은 일반 습식줄눈절삭공법에 비해 줄눈절삭 시기를 22시간에서 9시간으로 13시간 앞당길 수 있었다.(오전시공 구간 기준) 라벨링 발생율을 비교한 결과, 조기건식줄눈절삭 구간은 줄눈당 0.07개, 습식절삭구간은 0.58개로 나타났다. 시공구간의 줄눈 거동량은 줄눈절삭방법 보다는 줄눈시공시기의 영향을 더 크게 받는 것으로 나타났다. 워킹 프로파일 미터를 이용하여 각 구간별 평탄성을 측정한 결과, 습식절삭 구간이 조기건식줄눈절삭 구간보다 우수한 것으로 나타났다. 시험시공 구간에 대한 소음측정 결과는 줄눈 절삭방법에 따라 소음저감 효과가 없는 것으로 나타났다.

참고 문헌

1. Steffes, R., and B. J. Siljeborg, 'Early Entry Sawed PCC Transverse Joint Ends', Report MLR-97-5, 2003.
2. The Concrete Pavement Technology Program (CPTP), 'Early-Entry Sawing of Portland Cement Concrete Pavements', 2007.
3. Kejin Wang, Jiong Hu, Fatih Bektas, Peter Taylor, and Halil Ceylan, 'Crack Development in Ternary Mix Concrete Utilizing Various Saw Depths', IHRB project TR-587, 2009