

다웰바 자동삽입 공법의 현장 공용성 검증

Verification of Field Applicability for Dowel Bar Automatic Insertion Method

손덕수* · 권순민** · 이재훈*** · 김형배****

Sohn, Deuk Su · Kwon, Soon Min · Lee, Jae Hoon · Kim, Hyung Bae

1. 서 론

줄눈 콘크리트 포장에 시공되는 다웰바는 인접 슬래브로 하중을 전달해주며, 단차를 감소시켜 결과적으로 포장의 공용성을 향상시켜 준다. 다웰바는 슬래브의 중간 깊이에 진행방향 및 포장면과 평행하게 시공되어야 온도 및 습도 변화로 발생하는 줄눈의 거동에 영향을 주지 않는다. 다웰바의 시공상태가 불량하면 하중전달 효과가 감소하고 줄눈의 건전한 거동을 방해해 스폐링이나 균열과 같은 파손을 유발할 수 있다. 다웰바 시공 상태에 영향을 주는 요소는 매우 다양하다. 콘크리트 혼합물의 특성, 콘크리트 포설 과정, 시공 중 품질관리, 다웰바 시공방법, 줄눈절삭위치 등이 시공상태에 영향을 주는 주요 요소이다. 이 중에서, 다웰바 시공방법은 직접적으로 연관되는 가장 중요한 요소이다.

다웰바의 시공방법은 크게 두 가지로 나눌 수 있는데, 하나는 바스켓(basket)을 이용한 인력시공 방법이고, 다른 하나는 자동삽입기(DBI, dowel bar inserter)를 이용한 기계화시공 방법이다. 현재 국내에서 사용하는 다웰바 시공방법은 바스켓을 이용한 인력시공 방법으로 국내에서는 바스켓이라는 용어 대신 어셈블리(assembly)라는 용어를 사용하고 있다. 바스켓 시공방법은 인력을 사용하기 때문에 거치의 정확성은 높지만 시공과정이 복잡해지고 작업효율이 떨어지는 단점이 있다. 반면, 자동삽입기를 이용한 시공방법은 삽입된 다웰바의 시공상태를 확인하기 어렵고 포장면에 삽입자국이 남아 미관상 보기 안좋은 단점이 있으나 작업 효율은 매우 좋다.

1970년대 후반에 개발된 다웰바 자동삽입 방법은 유럽의 대부분의 나라에서 다웰바 시공방법으로 사용되고 있다. 미국에서는 다웰바 자동삽입 방법이 다소 늦게 적용되기 시작했으며, 1996년 미연방도로국에서는 작업효율 및 시공성 측면에서 자동삽입 방법을 사용할 것을 장려하기 시작했다. 이 후, 다웰바의 시공상태를 비파괴 방법으로 조사할 수 있는 GPR, MIT-SCAN 등의 장비가 개발되면서 자동삽입 방법의 시공성에 대한 다양한 검증이 진행됐다. 그 결과, 자동삽입 방법이 바스켓 시공방법과 동일하거나 더 우수한 시공성을 보인다는 결과를 보여주고 있어 자동삽입 방법 적용이 점차 확대되고 있다.

국내에서는 바스켓을 이용한 인력시공방법으로 다웰바가 시공되고 있다. 90년대 후반, 자동삽입 방법이 잠시 소개되었으나 콘크리트 혼합물의 낮은 슬럼프와 시공 후 다웰바 시공상태에 대한 검증방법의 부재로 더 이상 확대되지 못하고 사라졌다. 이 후, 2002년 한국도로공사 시험도로 일부 구간에 다웰바 자동삽입 공법이 시험적으로 적용되었으며 2007년 이 구간에 대한 추적조사가 진행됐다. 그 결과, 다웰바 자동삽입 구간의 시공상태가 바스켓 시공 구간에 비해 더 좋은 것으로 나타났다. 본 연구는 시험도로에서의 경험을 바탕으로 콘크리트 포장의 시공 효율을 높이고 비용을 절감할 수 있는 다웰바 자동삽입 공법에 대해 시험시공을 통한 현장 공용성 검증을 진행하였다.

* 정회원 · 한국도로공사 도로교통연구원 선임연구원 · 공학석사(E-mail : mgsds@ex.co.kr)

** 정회원 · 한국도로공사 도로교통연구원 선임연구원 · 공학석사(E-mail : soonmini2@ex.co.kr) -발표자

*** 정회원 · 한국도로공사 도로교통연구원 선임연구원 · 공학석사(E-mail : ranian74@ex.co.kr)

**** 정회원 · 한국도로공사 도로교통연구원 책임연구원 · 공학박사(E-mail : kimhyun3@ex.co.kr)



2. 콘크리트 포장의 다웰바

2.1 다웰바 시공상태

다웰바의 시공상태는 콘크리트 슬래브 속에 매설된 다웰바의 위치 수평·수직 위치 및 방향에 따라 그림 1과 같이 5가지 형태로 표현할 수 있다. 다웰바의 시공상태는 서론에서 밝힌 것과 같이 줄눈의 건전한 거동 및 줄눈에서의 하중전달에 영향을 주며 궁극적으로는 콘크리트 포장의 파손에 영향을 준다. 1986년 Tayabji는 실내실험 및 현장조사를 통해서 표 2와 같이 다웰바의 시공상태가 포장에 미치는 영향을 정리하였다. 이후, 다웰바 엇갈림이 포장의 공용성에 미치는 영향에 대해 실내시험, 역학적 해석, 현장조사 등을 통한 다양한 연구가 진행됐다(Burnham, 1999; Khazanovich and Gotlif, 2003; Odden et al., 2004; Lechner, 2005; Leong, 2006; Prabhu et., 2006). 그 결과, Tayabji의 주장대로 수평·수직엇갈림은 줄눈부의 스포링이나 균열을 유발할 수 있으며, 각 방향으로의 유동은 하중전달율을 감소시킬 수 있는 것으로 밝혀졌다.

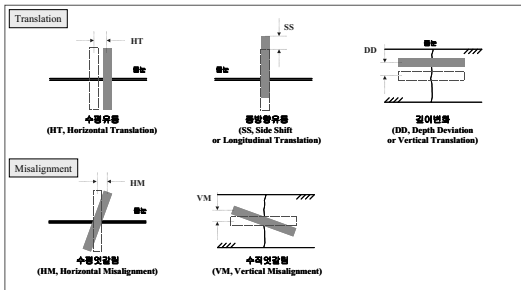


그림 1. 다웰바의 5가지 시공상태(이재훈외, 2007)

표 1. 다웰바 엇갈림의 영향(Tayabji, 1986)

시공상태	스폴링	균열	하중전달
수평유동	no	no	yes
종방향유동	no	no	yes
깊이변화	yes	no	yes
수평엇갈림	yes	yes	yes
수직엇갈림	yes	yes	yes

공용성에 영향을 주는 중요한 요소인 다웰바의 시공상태 기준은 표 2와 같이 각 나라, 기관마다 다르게 적용되고 있다. 표 2를 보면, 미국의 경우 다웰바의 엇갈림 허용기준을 최소 5mm에서 최대 14mm까지 다양하게 적용하고 있다. 다웰바 시공기준에 대한 통일된 가이드라인 제시를 목적으로 연구가 진행된 NCHRP 10-69 연구결과에서는 각종 실내 및 현장 공용성 평가결과 엇갈림이 13mm 이내에 들어야 공용성에 나쁜 영향을 주지 않는 것으로 보고하고 있다. 유럽에 속하는 영국과 독일의 엇갈림 기준은 각각 10mm, 19mm로 미국보다는 상대적으로 엇갈림 허용값이 큰 편이다. 국내의 경우, 2009년 발행된 ‘시멘트 콘크리트 포장 생산 및 시공 지침’에서 엇갈림 허용기준을 30mm로 제시하고 있다. 특이한 점은 국내 기준의 경우 깊이변화 대신에 최소덮힘두께를 사용하고 있는데 이는 다웰바의 콘크리트 피복두께를 기준값으로 사용하는 방법이다.

표 2. 국가별(기관별) 다웰바 시공상태 기준

국가 또는 기관		수직엇갈림 (길이 457mm 당)	수평엇갈림 (길이 457mm 당)	종방향유동 (길이 457mm 당)	깊이변화 (mm)
미국	미연방항공국	6	6	N/A	N/A
	NCHRP	13	13	51	13
	텍사스	6	6	N/A	N/A
	아이오와	6	6	N/A	N/A
	미주리	13	13	13	25
	일리노이	5	5	N/A	N/A
	사우스 캐롤라이나 오하이오	14 N/A	14 N/A	76 13	19 13
영국	10	10	N/A	N/A	
독일	19	19	51	N/A	
대한민국		30	30	50	100(최소덮힘두께)

2.2 다웰바 시공방법

다웰바의 시공방법은 크게 두 가지로 분류할 수 있다. 첫 번째는 다웰바와 다웰바를 지지하는 구조물로 구성된 어셈블리를 만들어 인력으로 슬래브 포설 직전 하부층에 거치시키는 바스켓 시공방법이다. 현재 우리나라에서 일반적으로 시공하는 방법이 바스켓 시공방법이다. 다웰바 어셈블리는 다웰바를 지지하는 체어바와 체어바를 지지해주는 크로스바와 스페이서로 구성되어 있다. 체어바는 A형, J형, U형 등 다양한 형태가 있으며 국내에서는 J형 체어바를 사용하고 있다.



그림 2. 바스켓 시공방법

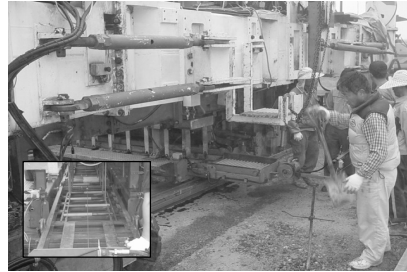


그림 3. 자동삽입기(DBI) 시공방법

바스켓 시공방법은 인력으로 진행되기 때문에 작업자의 숙련도에 따라 다웰바 시공상태가 크게 달라진다. 일반적으로 바스켓 시공방법에서 다웰바 시공상태에 영향을 주는 요소는 다음과 같다(Fowler and Gulden, 1983; Tayabji, 1986, Leong, 2006).

- 바스켓의 견고함, 제작시의 품질 관리
- 바스켓의 보관 및 운반시의 관리
- 바스켓 고정 견고함
- 줄눈 절삭 위치

다웰바의 또 다른 시공방법은 다웰바 자동삽입기를 이용한 기계식 시공 방법이다. 자동삽입 방법은 그림 3과 같이 슬립폼 페이퍼 중간에 장착되어 포설된 콘크리트 혼합물에 다웰바를 표면에서부터 수직으로 삽입하는 방법이다. 자동삽입 방법에 대한 공용성 검증은 1980년대부터 꾸준히 진행되어 왔으며, 다웰바 시공상태를 비파괴로 조사할 수 있는 특수장비(GPR, MIT-SCAN, Covermeter 등)의 개발로 2000년대 들어 활발히 진행되었다. 그 결과, 바스켓 시공방법 이상의 공용성능을 보이는 것으로 나타나고 있다(Rao, 2005; Yu, 2005). 자동삽입 시공방법에서 다웰바 시공상태에 영향을 주는 주요 요소는 다음과 같다.

- 콘크리트 혼합물의 조성
- 자동삽입 장비 조작(숙련도)
- 줄눈 절삭 위치
- 현장에서의 품질 관리 및 감독

3. 현장시험시공

3.1 시험시공 개요

2008년 9월 다웰바 자동삽입 시공방법에 대한 검증을 위한 현장시험시공이 대전당진간고속도로 건설구간에서 진행됐다. 시험시공 구간의 총 연장은 1,168m로(중간에 1개소 교량 포함) 3일 동안 172개의 줄눈시공이 진행됐다. 이 구간은 편도 2차로 구간으로 대부분 절토구간이다. 시험시공에 사용된 페이퍼는 독일 Wirtgen社의 SP 1600 장비로 모듈화된 다웰바 자동삽입 장비를 페이퍼 중간에 탈 부착할 수 있도록 되어 있다. 이 장비는 2002년 한국도로공사 시험도로에서 사용된 장비로 그 당시 약 200m 구간에 걸쳐 다웰바 자동삽입 공법을 시공한 경험이 있다.

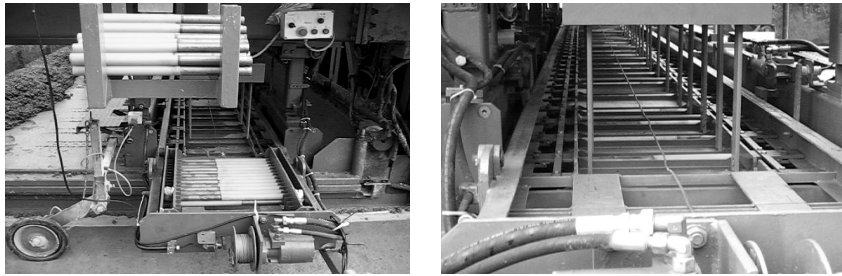


그림 4. 다웰바 자동삽입 시험시공 모습(SP 1600)

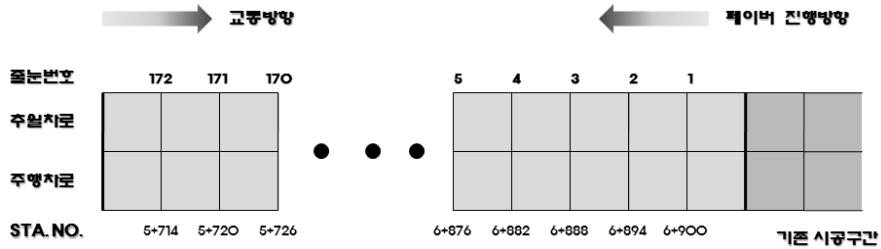


그림 5. 시험시공 구간 줄번호

3.2 추적조사

시험시공 구간에 대한 추적조사는 두 가지 측면에서 진행됐다. 첫 번째는 자동삽입 공법의 공용성을 검증하는 과정으로 다웰바의 시공상태에 대한 조사를 수행했다. 두 번째는 시공된 줄눈의 공용성을 검증하는 과정으로 줄눈에서의 하중전달율에 대한 조사를 수행했다.

다웰바의 시공상태 조사는 비파괴 조사 장비인 MIT-SCAN2를 사용했다. 시험시공 구간 중 시공줄눈을 제외한 총 172개 줄눈에서 1, 2차로에 전체에 대한 시공상태 조사를 수행했다. 조사는 길어깨에서 중분대 방향으로 진행했다. 시험시공 구간과의 상대평가를 위해서 기존 바스켓 시공구간 중 40개의 줄눈을 선정하여 동일한 방법으로 조사를 실시했다.



그림 6. 다웰바 시공상태 측정(MIT-SCAN2)



그림 7. 하중전달율 측정(HWD)

줄눈에서의 하중전달율은 HWD(heavy weight deflectometer) 장비를 이용해 측정했다. 하중전달율은 모든 줄눈에서 진행되지는 않았다. 다웰바 시공상태 조사결과 전반적으로 자동삽입 구간에서 종방향유동이 기준값 보다 높게 나왔고, 이러한 결과가 구조적으로 어떤 영향을 주는지 파악하기 위하여 하중전달율 조사가 진행됐다. 따라서, 종방향유동이 +175.7에서 -92.7까지 분포하는 19개 줄눈을 선정하여 30시간 동안 4회에 걸쳐 하중전달율 측정이 진행됐다(여기서 +는 진행방향으로 -는 진행 반대방향을 의미함).

4. 공용성 분석

4.1 다웰바 시공상태

그림 8은 자동삽입 구간에서 측정된 다웰바 시공상태 분석결과이다. 매설깊이의 경우, 평균 157.9mm로 대부분 슬래브 중앙에 위치하고 있는 것으로 나타나 시공상태가 매우 좋았다. 그림에서 보는 것처럼, 얇거나 깊게 매설되는 경우에도 $\pm 50\text{mm}$ 내에 분포하고 있어 우리나라의 최소토타입두께(100mm) 규정을 만족하는 것으로 나타났다.

종방향유동의 경우, 그림에서 보는 것과 같이 발생량도 크며 분포도 줄눈마다 편차도 큰 것으로 나타났다. 종방향유동량의 평균값은 45.8mm, 표준편차는 20.8mm이며 전체의 42.4%가 기준값($\pm 50\text{mm}$)을 넘는 것으로 나타났다. 수직엇갈림의 경우, 4번 줄눈에서 기준값($\pm 30\text{mm}$)보다 높은 45.7mm가 측정됐지만 전체적으로는 평균 5.0mm로 매우 좋은 상태를 보이고 있었다. 수평엇갈림의 경우도 전체 평균값이 6.9mm로 기준값($\pm 30\text{mm}$)을 만족하고 있는 것으로 나타났다.

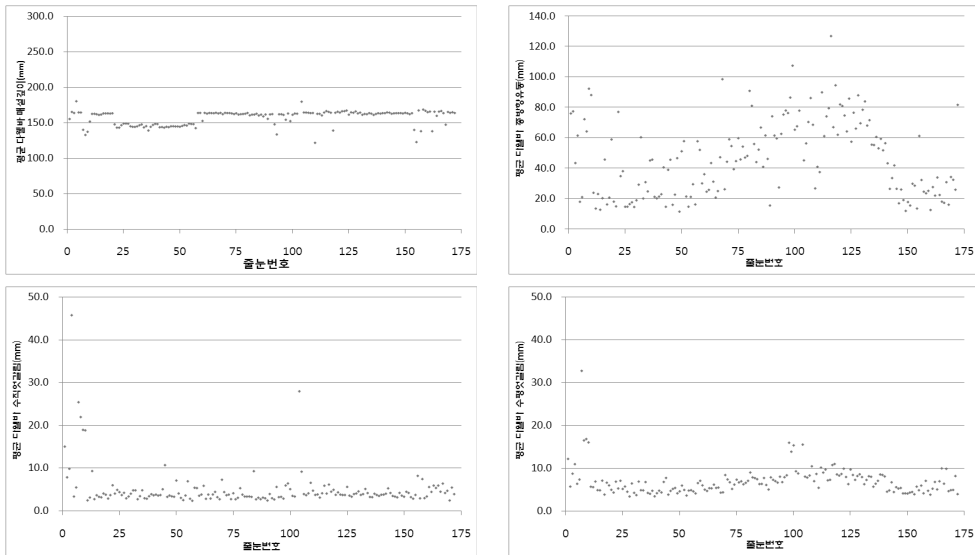


그림 8. 자동삽입 구간의 다웰바 시공상태
(좌측위부터 시계방향으로 매설깊이, 종방향유동, 수평엇갈림, 수직엇갈림)

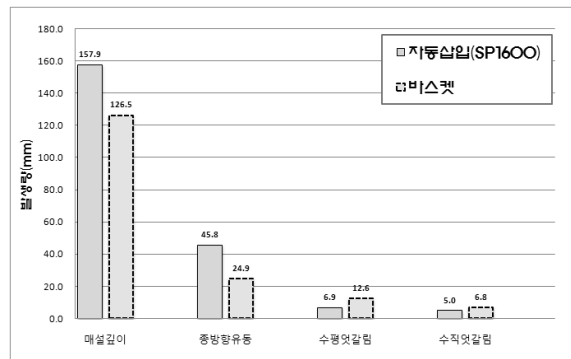


그림 9. 다웰바 시공상태 비교(자동삽입 vs 바스켓)

그림 9는 자동삽입 구간과 바스켓 구간에서의 측정값을 각 항목별로 비교한 결과이다. 매설깊이의 경우, 자동삽입 공법이 평균 157.9mm로 바스켓 공법 보다 시공상태가 좋게 나타났다. 수평엇갈림 및 수평엇갈림 또한, 바스켓 공법 보다 더 좋은 시공상태를 보이고 있다. 반면, 종방향유동량은 바스켓 공법을 적용한 구간이 평균 24.9mm로 나타나 자동삽입 공법 보다 좋은 시공상태를 보였다.

4.2 종방향유동과 하중전달율

다웰바의 종방향유동이 콘크리트 포장의 구조적 거동에 미치는 영향을 분석하기 위해 수행한 하중전달율 측정시험 결과는 그림 10과 같다. 이 경우, 대부분의 하중전달율값이 80%를 넘었으며 44번 줄눈(종방향유동량 -19.4mm)에서 측정된 값만 75%내외를 보였는데 이 줄눈의 경우, 줄눈폭이 8mm 내외로 과도한 줄눈 벌어짐으로 하중전달율이 낮게 나타난 것으로 판단된다. 외국의 사례와는 다르게 하중전달율과 종방향유동량은 상관성을 보이지 않는 것으로 나타났는데 이는 강성이 높은 린콘크리트 기층을 사용하는 우리나라 콘크리트 포장의 특성이 반영된 것으로 생각된다.

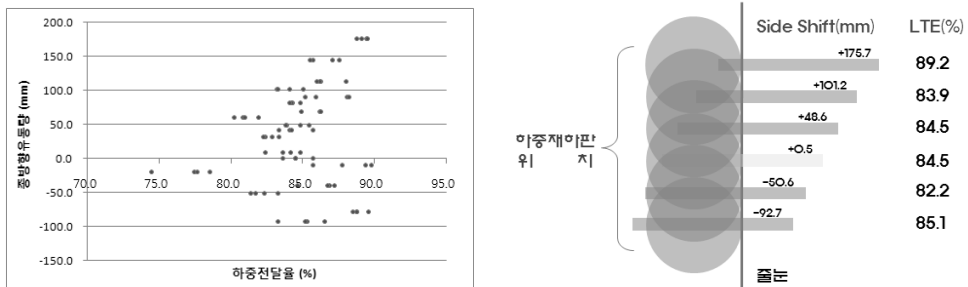


그림 10. 종방향유동량과 하중전달율 분포

5. 결론

다웰바 자동삽입 공법에 대한 공용성을 검증하기 위해 현장시험시공을 실시하고 다웰바 시공상태를 조사하였다. 다웰바 시공상태 중 종방향유동량을 제외한 나머지 3개 항목은 인력으로 시공하는 바스켓 시공방법 보다 더 좋은 시공상태를 보였다. 종방향유동의 경우, 다음과 같은 여러 복합적인 이유로 큰 오차가 발생한 것으로 판단된다.

- 장비운영자의 숙련도 부족 : 페이퍼의 진행속도를 분당 1m로 가정할 때, 자동삽입장비 작동시 1초의 오차가 발생할 경우 약 17mm의 종방향유동이 발생하게 됨 페이퍼
- 줄눈 절삭작업시 발생하는 오차 : 통상 10mm ~ 20mm

따라서, 향후 자동삽입 방법을 적용할 경우, 장비의 실제 동작속도를 고려하여 설계위치에 다웰바가 매설될 수 있도록 페이퍼의 진행속도를 조절하거나 자동삽입장비의 작동위치를 페이퍼 진행속도에 연동시키는 등 적절한 대안이 필요할 것으로 판단된다.

참고 문헌

1. 이재훈외, 시공방법에 따른 다웰바 시공상태 분석, 한국도로학회 논문집, 2007. 6
2. NCHRP, Guidelines for Dowel Alignment in Concrete Pavements, NCHRP REPORT 637, 2009
3. Tayabji, S.D. (1986). Dowel Placement Tolerances for Concrete Pavements. In Transportation Research Record: Journal of Transportation Research Board, No. 1062, TRB, National Research Council, Washington, D.C