



시공방법에 따른 다웰바 시공상태 분석

Analysis of Dowel Bar Placement Accuracy with Construction Methods

이재훈* 김형배** 권순민*** 권오선****
 Lee, Jae Hoon Kim, Hyung Bae Kwon, Soon Min Kwon, Ou Sun

Abstract

Dowel bars in the jointed concrete pavement are used to both provide load transfer across pavements joints and prevent the joint faulting leading to longer service life. On the contrary, the misplacement of dowel bar can provide negative results including the joint freezing(locking) that may cause the joint spalling and unexpected mid-slab cracking. The dowel bar can be placed using the assembly or dowel bar inserter (DBI) during the concrete pavement construction. In the domestic practice of the concrete pavement construction, the dowel bar is placed using the assembly method. This study primarily focuses on the comparison of these two dowel placement methods using the field data from the KHC test road in which both dowel placement methods have been applied to a certain length of the concrete pavement. The field data regarding the alignment of the dowel bars placed by both methods was collected using MIT-SCAN2, a nondestructive measuring equipment, and processed to compute Joint Score and Running Ave. Joint Score which are used as indicators of the dowel bar performance. The comparison of the methods for the dowel bar placement using these indicators shows that the DBI method provided much better alignment of the dowel bars reducing the risk of joint freezing than the assembly method. In order to improve the quality of the dowel bar placement using the assembly method, the current weak points of the assembly method including the fabrication, storage, and installation of dowel bar assembly were investigated and the solution was suggested. The improved dowel bar sets based on the suggested solution have been applied to an actual practice of the concrete pavement construction. The field data shows that the improved assembly method suggested in this study can highly reduce the risk of joint freezing.

Keywords : jointed plain concrete pavement, dowel bar, assembly, dowel bar inserter, MIT-SCAN2, joint score

요 지

줄눈 콘크리트 포장에서 다웰바는 하중을 전달해주는 역할과 단차를 감소시켜줌으로써 궁극적으로 포장의 공용성을 높여 주는 역할을 수행한다. 그러나, 다웰바의 시공상태가 불량할 경우에는 오히려 줄눈잠김 등을 유발하여 스폐링이나 균열을 초래하여 공용성을 떨어뜨릴 수 있다. 다웰바의 시공방법은 다웰바 어셈블리 시공방법과 다웰바자동삽입기를 이용한 시공방법이 있는데 국내에서는 어셈블리를 이용한 시공방법만이 사용되고 있다. 본 연구에서는 비파괴 조사장비인 MIT-SCAN2를 이용하여 한국도로공사 시험도로에 시공된 다웰바자동삽입 시공구간과 다웰바 어셈블리 시공구간에 대한 다웰바 시공상태 및 Joint Score와 Running Ave. Joint Score를 산출하여 비교 분석해 보았다. 그 결과, 다웰바자동삽입 시공방법이 다웰바 어셈블리 시공방법에 비해 깊이변화, 수평/수직엇갈림에서 매우 우수한 시공상태를 보이는 것으로 나타났으며 줄눈잠김의 위험 또한 다웰바 어셈블리 시공방법에 비해 매우 낮다는 점을 발견했다. 또한, 국내 다웰바 어셈블리 시공방법의 문제점을 다웰바 어셈블리의 생산, 보관, 시공 측면에서 분석하였다. 문제점 분석을 토대로 다웰바의 체어형태, 고정방법을 개선하여 시험시공을 수행한 결과, 모든 시공상태 항목이 개선되었음을 알 수 있었으며, 특히 수평/수직엇갈림이 크게 개선되어 줄눈잠김에 대한 위험성이 줄어들음을 알 수 있었다.

핵심용어 : 줄눈 콘크리트 포장, 다웰바, 어셈블리, 다웰바자동삽입기, MIT-SCAN2, 조인트 스코어

* 정회원 · 한국도로공사 도로교통기술원 연구원
 ** 정회원 · 한국도로공사 도로교통기술원 책임연구원
 *** 정회원 · 한국도로공사 도로교통기술원 전임연구원
 **** 정회원 · 한국도로공사 도로교통기술원 연구원



1. 서론

줄눈 콘크리트 포장(jointed plain concrete pavement)에서 다웰바(dowel bar)는 불연속면인 줄눈에 설치되어 슬래브에 가해지는 교통하중을 인접 슬래브로 전달하여 분산시켜주는 역할을 수행한다. 또한, 슬래브간의 부등침하로 인해 발생하는 단차(faulting)를 감소시켜주는 역할을 수행한다. 그러나, 이러한 다웰바의 역할은 다웰바가 설계위치에 정확하게 시공되었을 경우 기대할 수 있다. 실제 시공 현장에서는 슬래브 포설중에 다웰바 또는 다웰바 어셈블리에 가해지는 하중 때문에 시공오차가 발생한다. 이렇게 발생한 다웰바의 시공오차는 오히려 줄눈을 구조적으로 취약하게 만들거나, 건전한 거동을 방해하여 스폐링, 균열 등의 파손을 유도하여 슬래브 공용성을 저하시키는 요인이 되기도 한다. 따라서, 다웰바의 정확한 시공은 콘크리트 포장의 설계수명을 보장하고 불필요한 유지보수비용을 절감할 수 있는 중요한 요소라 할 수 있다.

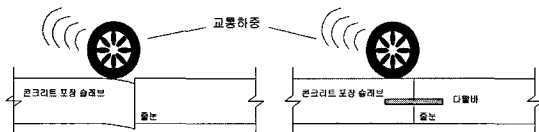


그림 1. 다웰바의 역할

이전까지 다웰바는 슬래브가 포설되고 나면 콘크리트 속에 묻혀버리기 때문에 그 시공상태를 확인하기 위해서는 직접 코어링 등을 통해 포장체에 손상을 가해주거나, 철근탐지기나 GPR(Ground Penetrating Radar)과 같은 비파괴장비를 이용해 시공상태를 파악하기도 하였으나 전자의 방법은 많은 시간과 비용이 소요되고 후자의 경우는 그 정확도가 매우 낮아 많은 어려움이 있었다. 그러나 최근에는 MIT-SCAN2라는 다웰바 시공상태만을 전용으로 측정·분석하는 장비가 개발되어 손쉽게 다웰바의 시공상태에 대한 분석을 수행할 수 있게 되었다.

국내 콘크리트 포장의 다웰바 시공은 다웰바 어셈

블리(dowel bar assembly)를 이용하여 시공하는 방법만을 사용하고 있다. 다웰바 어셈블리 이용한 시공방법은 그림 2와 같이 다웰바, চে어바(chair bar), 크로스바(cross bar), 스페이서(spacer)로 구성된 어셈블리를 제작하여 슬래브 하부층에 미리 고정시키고 난 후 페이퍼를 이용해 슬래브를 포설하는 시공 방법이다. 그러나 해외에서는 다웰바 어셈블리를 이용한 시공법 외에 다웰바자동삽입기(DBI, dowel bar inserter)라는 기계장비를 이용하여 슬래브의 포설 도중에 다웰바를 자동으로 시공하는 방법이 일반화되어 사용되고 있다. 일반적으로 다웰바자동삽입기를 이용하는 방법은 다웰바 어셈블리 시공법에 비해 인력의 소모가 적고, 어셈블리를 구성할 필요가 없어 비용이 저렴하며 전체적인 콘크리트 포장 시공 공정도 단순해져 비용-효과적인 방법으로 알려져 있다. 그러나, 다웰바자동삽입 시공방법은 시공된 후의 다웰바 시공상태에 대한 검증이 미비하여 국내에서는 사용이 되지 않고 있다. 해외의 연구사례를 살펴보면, 다웰바 어셈블리와 다웰바자동삽입 시공방법의 다웰바 시공상태는 거의 유사하거나 오히려 다웰바자동삽입기를 이용한 방법이 보다 더 우수한 것으로 보고되고 있다(Donahue 2003, Yu 2005).

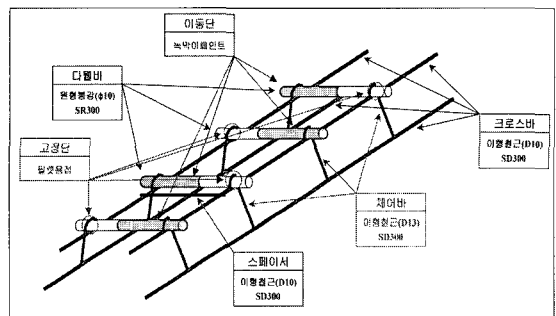


그림 2. 국내 고속도로 공사에서 사용되는 표준 다웰바 어셈블리 형태

본 연구에서는 2002년 중부내륙고속도로에 건설된 한국도로공사 시험도로에서 수행된 다웰바자동삽입 시험시공구간의 20개 줄눈에 대한 다웰바 시공상태를 MIT-SCAN2 장비를 이용하여 분석하고, 그 결과를 다웰바 어셈블리 시공구간과 비교 분석해 보



았다. 또한, 현재 국내에서 일반적으로 사용되는 다웰바 어셈블리 시공방법의 문제점을 분석하여 개선 방안을 수립하고 시험시공을 실시하여 그 효과를 검증하였다.

2. 다웰바의 시공방법 및 상태

2.1 다웰바 시공방법

다웰바의 시공방법은 서론에서 간략하게 설명한 것과 같이 크게 2가지로 구분된다. 첫 번째는 국내에서 일반적으로 사용하는 방법으로 다웰바 어셈블리를 이용한 시공방법이다. 다웰바 어셈블리 시공방법은 페이퍼가 콘크리트 슬래브를 포설하기 전에 줄눈 위치에 다웰바 어셈블리를 인력을 이용하여 설치하는 방법으로 다웰바 어셈블리의 형상에 따라 다양한 형태가 존재한다. 그림 3은 다웰바 어셈블리에서 다웰바를 지지해주는 체어바 중에서 가장 널리 사용되는 3가지 형태의 체어바의 모습이다. 국내에서는 (1)번 그림의 J형 체어바를 표준으로 사용하고 있다.

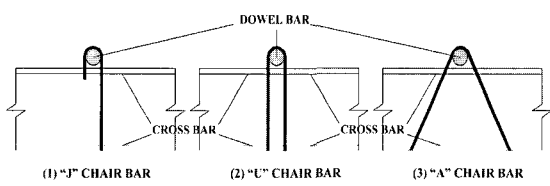
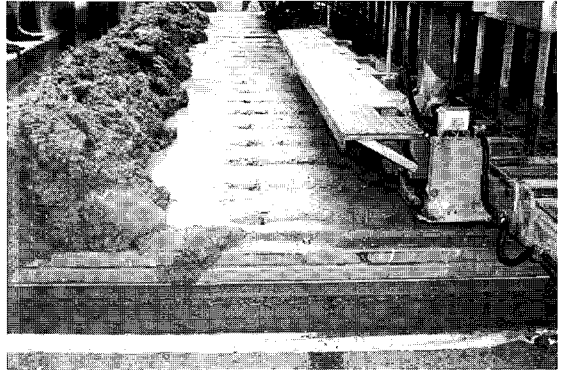


그림 3. 체어바의 다양함 형태

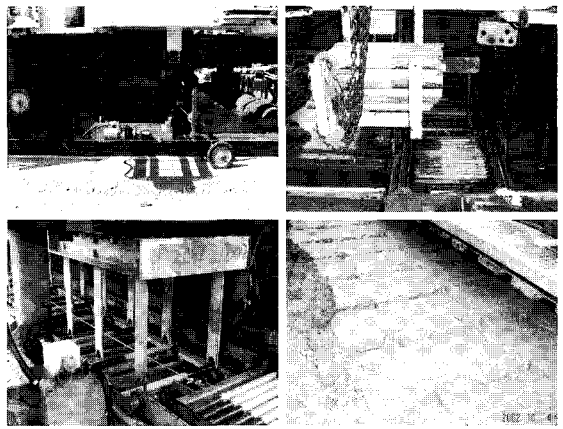
다웰바 어셈블리 시공방법은 어셈블리를 구성하기 때문에 다웰바의 설치위치를 인위적으로 조정할 수 있으며, 비교적 정확한 위치에 시공할 수 있다는 장점이 있다. 그러나, 다웰바를 설치할 인력이 필요하고 콘크리트 시공 공정이 복잡해지며 공장에서 미리 생산되는 다웰바의 운송 및 보관과정에서 다웰바 어셈블리에 손상이 올 수 있다는 단점이 있다.

두 번째 시공방법은 콘크리트 포장 페이퍼의 중간에 장착되는 다웰바자동삽입기를 이용하여 자동으로

다웰바를 설치하는 방법이다. 다웰바자동삽입기를 이용한 시공모습 및 방법은 그림 4와 같다.



(a) 다웰바자동삽입 시공 전경



(b) 시공과정

그림 4. 다웰바자동삽입기를 이용한 다웰바 시공

다웰바자동삽입기를 이용한 시공방법은 바스켓 시공방법과 비교하여 다웰바 어셈블리를 제작할 필요가 없기 때문에 시공단가가 절감되며, 소요인력 또한 줄어들게 되어 전체적인 공사비의 절감효과를 가져온다. 또한, 페이퍼 시공전에 바스켓을 설치하는 절차가 생략되기 때문에 공정이 단순해져 효율이 올라가는 장점이 있다. 그러나, 다웰바 삽입시 포크에 가해지는 진동 때문에 포장표면에 자국이 생길 수 있으며, 콘크리트 혼합물의 상태에 따라 무거운 자중을 가진 다웰바의 시공상태가 변할 수 있다는 단점이 있다.



2.2 다웰바 시공상태

다웰바 시공상태는 다웰바의 위치 이동방향 및 상태에 따라 5가지 형태로 분류된다(Tayabji 1986, Donahue 2003, Elfino et. 2007, Yu 2007). 다웰바의 시공상태는 정위치에서의 변화에 따라 3가지의 이동(translation)과 2가지의 엇갈림(misalignment)으로 분류되며 그림 5는 이 5가지 시공상태를 보여준다.

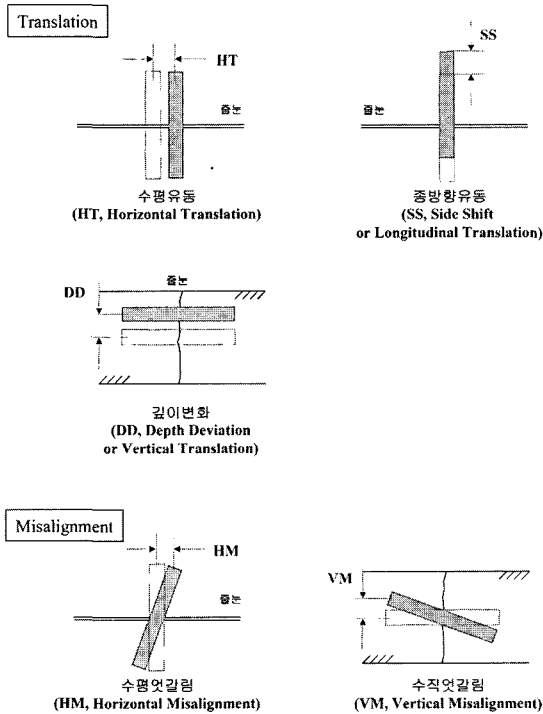


그림 5. 다웰바 시공상태

- 수평이동(HT, Horizontal Translation) : 다웰바가 줄눈 방향을 따라 이동한 상태
- 종방향이동(SS, Side Shift or Longitudinal Translation) : 다웰바가 슬래브의 종방향으로 이동한 상태
- 깊이변화(DD, Depth Deviation or Vertical Translation) : 다웰바가 슬래브의 깊이 방향으로 이동하여 매설깊이가 변화한 상태

- 수평엇갈림(HM, Horizontal Misalignment or Horizontal Skew) : 다웰바가 슬래브 표면과 평행한 방향으로 각이 틀어진 상태
- 수직엇갈림(VM, Vertical Misalignment or Vertical Skew) : 다웰바가 슬래브 깊이 방향으로 각이 틀어진 상태

다웰바의 5가지 시공상태는 콘크리트 포장의 공용성에 영향을 주는 것으로 알려져 있다. 종방향이동의 경우, 이로 인해 다웰바의 삽입 길이가 일정값 이상 확보되지 못하면 콘크리트 포장의 단차가 발생할 위험이 크게 증가하는 것으로 알려져 있다(Burnham 1999). 깊이변화는 다웰바를 덮고 있는 콘크리트 혼합물의 최소 두께로 바꾸어 생각할 수 있으며, 이 두께가 얇아질수록 스포링 또는 다웰바의 부식과 같은 문제가 발생할 수 있다. 수평엇갈림과 수직엇갈림은 줄눈의 자유거동과 상관성이 있는 항목으로 엇갈림이 심하면 줄눈잠김(joint locking, freezing)이 발생하여 줄눈부에 스포링이나 균열을 초래할 수 있다. 줄눈잠김이란 콘크리트 포장 슬래브의 온도가 변화해도 줄눈폭의 변화가 없는 현상이다(이승우 2001). 이러한 줄눈잠김 현상은 시공초기 줄눈절단을 시행했지만 유도균열이 발생하지 않았거나 유도된 균열이 슬래브를 관통하지 못했을 경우 발생한다. 또한, 콘크리트 포장의 하중전달을 위해 설치한 다웰바의 시공상태가 불량하거나 다웰바에 부식이 발생하여 정상적인 줄눈거동을 방해하였을 경우에도 발생할 수 있다.

그림 6과 그림 7은 다웰바의 시공상태와 포장 공용성과의 상관관계를 보여주는 현장 및 실내시험 데이터다. 그림 6은 다웰바의 종방향이동에 따른 삽입 길이와 단차발생과의 상관성을 보여주는 현장 데이터로 삽입길이가 60mm 이하가 되면 슬래브에 발생한 단차가 급격히 증가함을 알 수 있다. 그림 7은 실내에서 슬래브와 줄눈의 모형을 만들고 인위적으로 다웰바에 엇갈림을 주어 시험한 결과로 2H9NU의 경우 줄눈이 17mm 가량 벌어졌을 경우 파손이 발생

되는 것을 알 수 있다. 여기서, 2H9NU는 2개의 다웰바를 수평으로 서로 다른 방향으로 1/9라디안 만큼의 엇갈림을 준 상태를 의미한다. 그러나, 다웰바의 시공상태와 공용성과의 상관성은 아직까지 명확하게 결론이 내려지지 않은 상태이다. 실제로 다웰바의 시공상태가 매우 안좋은 줄눈 콘크리트 포장인 수십 년 동안 사용되었음에도 불구하고 그 공용성이 매우 좋은 경우도 있다(Yu 2005).

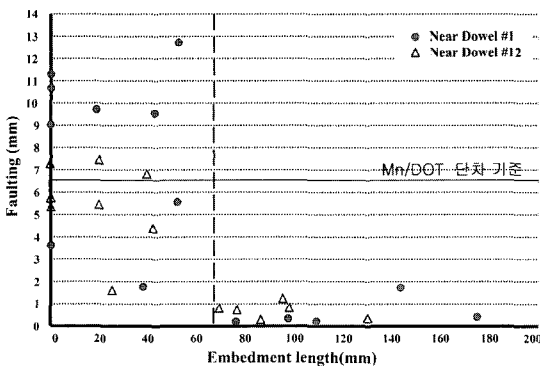


그림 6. 다웰바의 종방향유동과 단차(Burnham 1999)

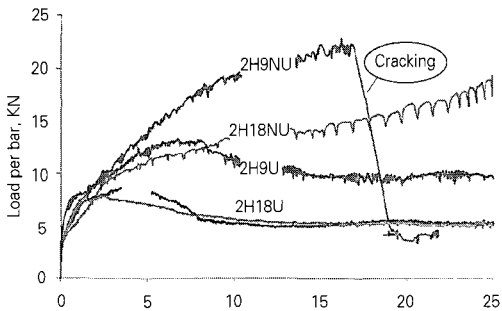


그림 7. 다웰바의 엇갈림과 균열(Prabhu 2006)

다웰바의 시공상태에 대한 국내기준은 아직 규정되어 있지 않다. 『고속도로공사 전문시방서(한국도로공사 2004)』에서는 다웰바의 시공상태와 관련하여 3.13.4항에서 다음과 같이 규정하고 있다.

- 다웰바 및 타이바는 설계도서에 따라 정확한 위치에 설치해야 한다.
- 다웰바 및 타이바를 체어에 지지할 경우, 체어는

철근을 용접 조립한 것이어야 하며, 철근을 견고하게 고정하여 시공중에 변형이 생기지 않도록 해야 한다.

또한, 『공사현장 품질관리실무(한국도로공사 2000)』에서는 다웰바의 설치와 관련해서 다음과 같이 규정하고 있다.

- 다웰바의 방향은 포장면과 수평으로 차선방향에 평행하게 제작 설치한다.

다웰바의 시공상태에 대한 기준은 각 나라마다 서로 다르게 규정되어 있다. 특히, 5가지 시공상태 중에서 엇갈림에 해당하는 2개 항목에 대해서는 줄눈잠김의 위험을 고려하여 매우 엄격한 기준을 수립하여 적용하고 있다. 표 1은 미국과 캐나다의 주요 주에서 적용하고 있는 다웰바의 엇갈림 시공상태 기준을 정리한 것이다.

표 1. 미국과 캐나다 주요 주의 다웰바 엇갈림 시공상태 기준

지역 명	다웰바 엇갈림 기준	지역 명	다웰바 엇갈림 기준
Arkansas	수평 : 25.4mm 수직 : 25.4mm	Minnesota	수평 : 6.4mm 수직 : 6.4mm
Arizona	수평 : 12.7mm 수직 : 12.7mm	South Carolina	수평 : 9.5mm 수직 : 19.1mm
California	수평 : 30.0mm 수직 : 30.0mm	Washington	수평 : 12.7mm 수직 : 12.7mm
Michigan	수평 : 3.2mm 수직 : 3.2mm	Quebec	수평 : 6.0mm 수직 : 12.0mm

출처 : http://www.pavement.com/Concrete_Pavement/Technical/State_Practices

현재 미국에서는 『NCHRP Project 10-69, Guidelines for Dowel Alignment in Concrete Pavement』를 수행하면서 다웰바의 시공상태에 대한 통합기준 마련을 위한 연구를 수행중에 있다. 본 연구에서는 국내기준이 수립되지 않은 상황과 국외 기준이 매우 다양하게 적용되고 있는 점을 고려하여 위 연구와 관련되어 2007년도에 발표된 논문에서 제시한 표 2의 잠정기준을 다웰바 시공상태 평가기준으로 사용하였다(Yu 2007).

표 2. 다웰바 시공상태 기준(Yu 2007)

시공상태 항목	오 차 기 준
종방향 유동(SS)	50mm(2in)
깊이 변화(DD)	슬래브 깊이 중간에서 ±5mm(1in)
수평엇갈림(HM)	15mm(0.6in)
수직엇갈림(VM)	15mm(0.6in)

2.3 Joint Score와 Running Ave. Joint Score

다웰바의 시공상태를 정량적으로 표현해주는 지수로 Joint Score가 있다(Yu 2005.) Joint Score는 각 줄눈에서 다웰바의 5가지 시공상태 중 수평/수직 엇갈림값을 이용해 산정하는 지수로 엇갈림값을 사용하기 때문에 해당 줄눈의 잠김위험성을 나타내는 지수다. 해당 줄눈의 Joint Score를 구하는 절차는 다음과 같다.

- 해당 줄눈을 구성하는 각 다웰바의 수평/수직엇갈림값을 구한다.
- 개별 다웰바의 수평/수직엇갈림값 중에서 큰 값을 취해 최대엇갈림값을 구한다.

ex) 1번 다웰바의 수평/수직엇갈림값이 각각 6mm, 8mm

라면 1번 다웰바의 최대엇갈림값은 8mm

- 표 3을 참고하여 개별 다웰바의 최대엇갈림값에 해당하는 가중치를 구한다.
- 해당 줄눈의 개별 다웰바의 가중치를 모두 더한 값에 1을 더한다.

만약, 14개의 다웰바로 구성된 2차로 줄눈에서 10개는 최대엇갈림값이 15mm 이하이고 17mm가 2개,

표 3. Joint Score 산정을 위한 다웰바 엇갈림 가중치

엇갈림 범위(mm)	가중치
$10 < d \leq 15$	0
$15 < d \leq 20$	2
$20 < d \leq 25$	4
$25 < d \leq 38$	5
$38 < d$	10

23mm가 2개라면, 이 줄눈의 Joint Score는 $2+2+4+4+1$ 을 해서 13이 된다. 이러한 방법으로 구해진 줄눈의 Joint Score는 표 4와 같이 그 상태에 따라, 4개 범주로 분류되어 줄눈잠김 위험성을 나타낸다.

표 4. Joint Score에 따른 줄눈 상태

Joint Score(S) 범위	줄눈 상태
$S < 5$	줄눈잠김 위험이 매우 적음
$5 < S \leq 10$	줄눈잠김 위험이 적음
$10 < S \leq 15$	줄눈잠김 위험이 보통 수준임
$15 < S$	줄눈잠김 위험이 높음

줄눈의 잠김에 따른 콘크리트 포장 슬래브의 공용성 저하 위험은 1개의 줄눈의 상태만 알아서는 정확하게 평가하기 어렵다. 줄눈의 잠김은 연속적으로 2개 이상 발생해야 슬래브의 거동에 영향을 주고 균열과 같은 파손으로 진행될 수 있기 때문이다. 따라서, 개별 줄눈의 잠김위험을 나타내는 Joint Score는 Running Ave. Joint Score로 전환하여 연속된 줄눈의 잠김위험을 평가하는 지수로 사용된다. Running Ave. Joint Score는 앞서 구한 개별 줄눈의 Joint Score를 이용하여 그림 8과 같은 절차를 걸쳐 구한다.

- 개별 줄눈의 Joint Score를 구한다.
- 개별 줄눈의 Joint Score 값 중에서 10 이상의 값은 모두 10으로 변환한다(Cap Joint Score).
- Running Ave. Joint Score를 구하려는 줄눈의 전·후 각각 2개씩의 Joint Score의 평균을 구한다.
- 구한 평균값을 서로 비교하여 큰 값이 해당 줄눈의 Running Ave. Joint Score가 된다.

Running Ave. Joint Score의 최대값은 10으로 이 값이 나오면 해당 줄눈의 전 또는 후에 줄눈잠김의 위험이 높은 줄눈들이 연속적으로 놓여있는 것을 의미하기 때문에 줄눈의 잠김위험을 보다 합리적으로 나타낼 수 있다.

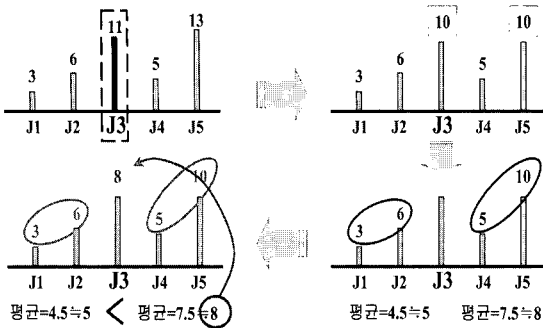


그림 8. Running Ave. Joint Score의 계산 절차

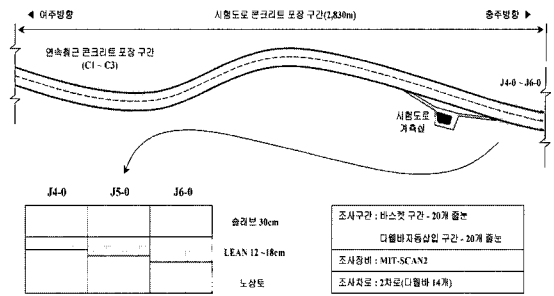


그림 9. 조사대상 구간 개요

3. 현장조사

3.1 현장조사 개요

다웰바자동삽입기를 이용한 시험시공은 2002년 10월 중부내륙고속도로에 있는 한국도로공사 시험도로에서 수행되었다. 시험시공구간은 그림 9에서 보는 시험도로 콘크리트 포장구간 중 J4-0~J6-0 구간으로 총 연장 320m, 편도 2차로로 구성되어 있다. 슬래브 두께는 30cm, 린콘크리트층이 있으며, 동상방지층이 생략된 성토구간에 시공되었다. 구간은 모두 동일날짜에 시공이 되었으며, 20개의 줄눈에서 다웰바자동삽입기를 이용한 시공방법이 수행되었고 나머지 구간에서는 일반적인 다웰바 어셈블리 시공방법이 사용되었다.

현장조사는 2005년 7월 수행되었다. 조사대상 줄눈은 다웰바자동삽입기를 이용한 시공방법이 연속된 20개 줄눈에서만 시공된 점을 감안하여 다웰바 어셈블리 시공구간에서도 임의로 연속된 20개를 선정하여 조사하였다. 또한, 향후 콘크리트 포장 공용성 조사 및 줄눈 거동분석의 편의성을 고려하여 다웰바가 14개씩 들어간 2차로 줄눈만을 조사대상으로 선정하였다.

3.2 다웰바 시공상태 조사장비

본 연구에서는 다웰바의 시공상태를 측정하기 위해 비파괴조사 장비인 MIT-SCAN2 장비를 사용하였다. 독일에서 개발된 이 장비는 1MHz 미만의 주파수를 갖는 전자기장을 이용하여 단층촬영방법으로 콘크리트 속에 매설되어 있는 다웰바의 상태를 측정한다. 이 장비는 GPR과는 달리 콘크리트 포장의 배합상태, 시멘트 조성 등에 따라 틀려지는 유전률에 영향을 받지 않으며 다웰바 시공상태 조사전용으로 개발되어 조사방법 및 해석이 쉽다는 장점이 있다.

MIT-SCAN2 장비는 자기장을 발산하고 응답신호를 수집하는 센서부분, 측정과정에 대한 설정 및 데이터 저장기능을 갖는 제어 컴퓨터, 센서가 일정 위치로 이동이 가능하게 하는 섬유강화 플라스틱으로 이루어진 궤도 이렇게 크게 3부분으로 구성되어 있다(MIT, 2002). 센서부분은 그림 10에서 보는 것과 같이 장방형 몸체에 이동을 위한 4개의 바퀴가 모서리에 부착되어 있다. 제어 컴퓨터는 기존의 상용제품을 장비에 맞추어 개조한 것으로 크기가 작아 휴대가 간편하며 측정시에는 센서부분의 상판에 부착하여 사용하도록 되어 있다. 줄눈에서의 스캔이 종료되면 일차적으로 제어 컴퓨터에 달린 액정화면을 통해 측정결과를 확인할 수 있으며, 그 결과를 일차적으로 출력할 수 있도록 자체 인쇄기능이 장착되어 있다. 궤도부분은 센서부분에서 발생하는 자기장이 모든

금속에 대한 간섭을 받기 때문에 가벼운 재질의 강화 플라스틱으로 만들어져 있다.

MIT-SCAN2 장비는 간단한 조작만으로도 줄눈의 다웰바 상태를 측정할 수 있다는 장점을 가지고 있다. MIT-SCAN2 장비를 이용한 다웰바 상태 측정 방법은 다음과 같다.

- 궤도로 조립하여 첫 번째 지지대의 끝단을 슬래브 단부와 일치시키고 궤도의 중심을 줄눈과 일치시킨다.
- 센서부분과 제어 컴퓨터를 연결하고 제어 컴퓨터에서 측정할 구간의 다웰바 종류, 차로폭, 다웰바 간격 등 관련정보를 입력한다.
- 센서부분을 궤도 끝단 위에 얹어서 출발위치를 확인한 후 서서히 이동하여 측정을 시작한다.
- 궤도의 다른 끝까지 이동하여 측정이 종료되면 제어 컴퓨터를 이용해 측정 데이터의 이상 유무를 확인하고 다음 줄눈으로 이동한다.

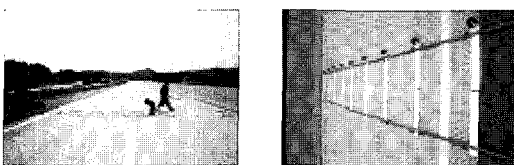
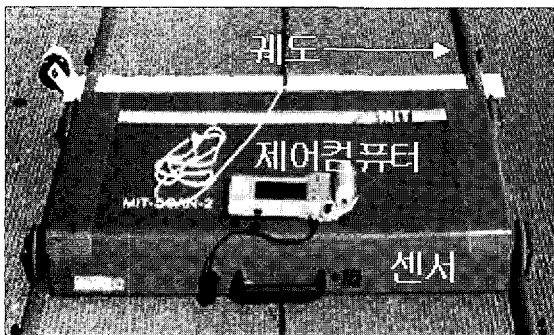


그림 10. MIT-SCAN2 장비구성 및 측정 과정

제어 컴퓨터에 저장된 측정 데이터는 MIT-SCAN2의 전용 해석 프로그램인 MagnoProof를 이용해 일반 PC에서 정밀분석이 가능하다. 그림 11은 MagnoProof 프로그램을 이용한 분석모습과 그 결과를 보여 준다. 분석결과는 엑셀형태의 표와 함께 자기장 응답신호의 강도에 따른 등고선 지도 형태로 나타난다.

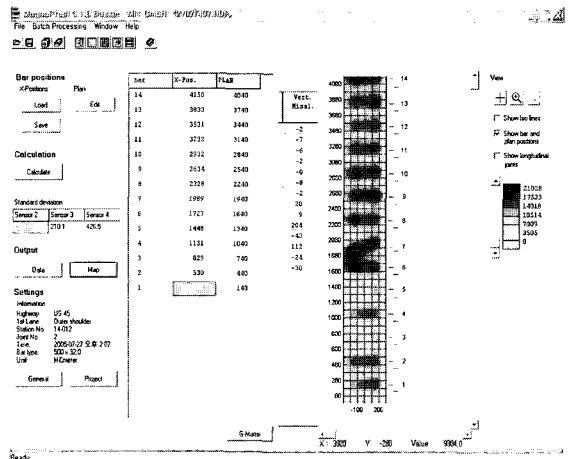


그림 11. 전용해석 프로그램 MagnoProof와 해석 사례

4. 다웰바 시공상태 분석결과

조사대상 구간의 줄눈 40개에 대해 MIT-SCAN2 장비를 이용하여 다웰바 시공상태 분석을 수행하였다. 다웰바의 시공상태는 2.2절에서 설명한 5가지로 분류하여 분석하였다. 이 중에서 콘크리트 포장의 공용성에 별다른 영향을 주지 않는 수평유동(HT)를 제외한 4개 항목에 대한 분석결과는 다음과 같다.

4.1 종방향유동 및 깊이변화 분석결과

다웰바 어셈블리 시공구간과 다웰바자동삽입 시공구간의 종방향유동값 분포는 그림 12와 같다. 다웰바 어셈블리 시공구간의 경우 표 2에서 제시한 기준을 만족하는 줄눈은 전체의 19개로 조사줄눈의 95%



가 시공기준을 만족하는 것으로 나타났다. 특히, 다웰바 어셈블리 시공구간 대상줄눈의 80%가 20mm 이하의 종방향유동값을 보여 이 시공방법이 종방향 유동에는 매우 뛰어난 시공성을 보이는 것으로 나타났다. 반면, 다웰바자동삽입 시공구간은 전체줄눈의 50%인 10개 줄눈이 시공기준을 넘어선 종방향유동 값을 보여 이 항목에 대한 시공성이 상대적으로 매우 낮은 것으로 나타났다.

다웰바의 매설 깊이를 나타내는 깊이변화는 표준 매설깊이인 15cm를 기준으로 할 때, 다웰바 어셈블리 시공구간과 다웰바자동삽입 시공구간 모두 시공 기준인 25mm 이하의 오차가 발생한 것으로 나타났다. 특히, 다웰바자동삽입 시공구간의 경우 95%의 줄눈에서 5mm 이하의 오차가 발생한 것으로 나타나 이 항목에 있어서 뛰어난 시공성을 보이는 것으로 나타났다.

4.2 수평엇갈림 및 수직엇갈림 분석결과

두 비교대상 구간의 수평/수직엇갈림값의 분석결과는 그림 14, 그림 15와 같다. 다웰바자동삽입 시공구간의 경우 전체 줄눈이 시공기준에 만족하는 수평/수직엇갈림값을 보여 좋은 시공성을 보여주고 있다. 특히, 수직엇갈림에 있어서 20개의 줄눈 모두가 5mm 이하의 수직엇갈림값을 보여 설계한 시공위치에 정확하게 시공되었음을 알 수 있었다. 반면, 다웰바 어셈블리 시공구간은 수평엇갈림에서는 25%에 해당하는 5개 줄눈이, 수직엇갈림에 있어서는 20%에 해당하는 4개 줄눈이 시공기준을 벗어난 것으로 나타나 시공성에 다소 문제가 있는 것으로 나타났다.

그림 16은 다웰바 어셈블리 시공구간과 다웰바자동삽입 시공구간의 4개 시공상태와 다웰바가 이탈할 개수를 항목별로 전체줄눈값을 평균하여 나타낸 그

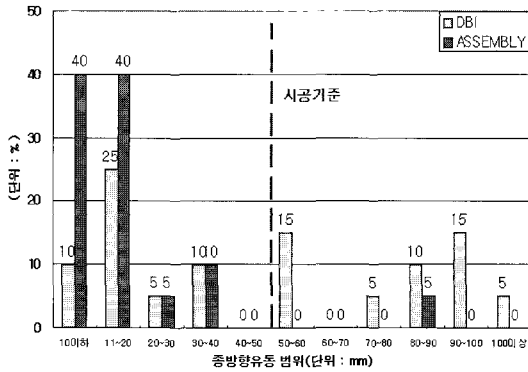


그림 12. 종방향유동 분포

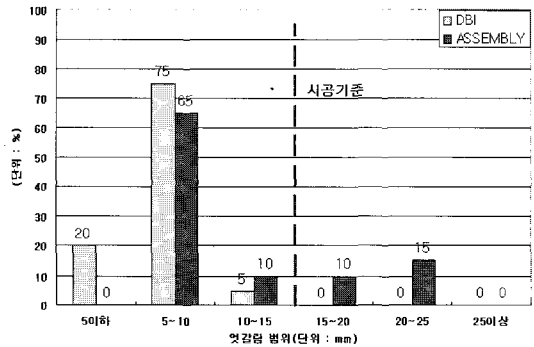


그림 14. 수평엇갈림 분포

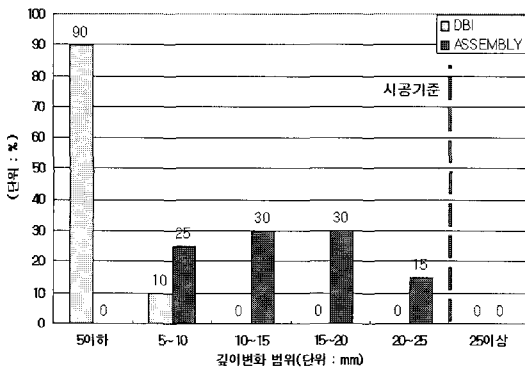


그림 13. 깊이변화 분포

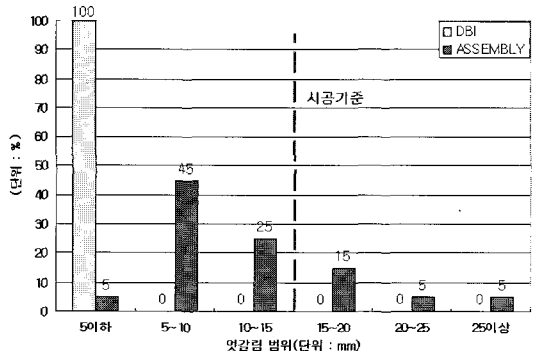


그림 15. 수직엇갈림 분포

래프다. 두 시공방법 모두 각 시공상태는 시공기준을 만족하는 것으로 나타났다. 그러나, 두 시공방법을 상대적으로 비교하면 종방향유동을 제외한 모든 항목에서 다웰바자동삽입 시공방법이 다웰바 어셈블리를 이용한 시공방법 보다 다웰바 설치 후 시공상태가 좋은 것으로 나타났다.

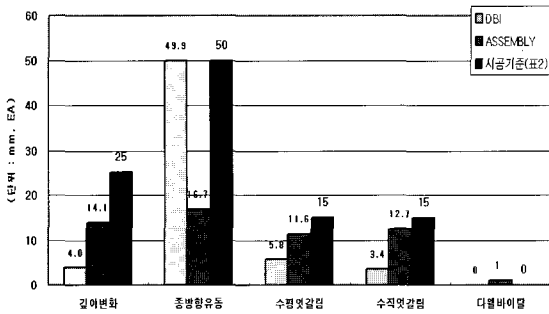


그림 16. 시공방법에 따른 다웰바 시공상태 비교

4.3 Joint Score 및 Running Ave. Joint Score 분석결과

두 비교대상 구간의 Joint Score 분포는 그림 17, 그림 18과 같다. 다웰바 어셈블리 시공구간의 경우 3개를 제외한 17개 줄눈에서 Joint Score의 값이 10보다 높게 나와 대부분의 줄눈에서 잠김위험성이 존재하는 것으로 나타났다. 특히, 줄눈잠김이 발생할 위험이 매우 높은 Joint Score가 15초과인 줄눈이 12개나 나타나 줄눈잠김에 대해 매우 위험한 상황인 것

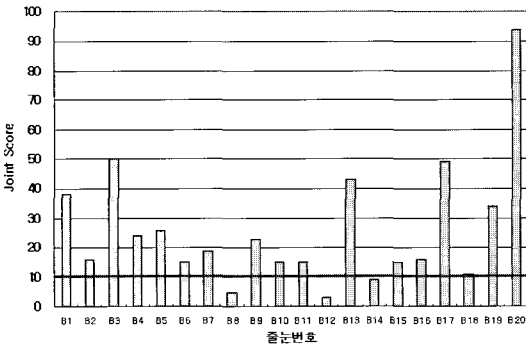


그림 17. 다웰바 어셈블리 구간의 Joint Score

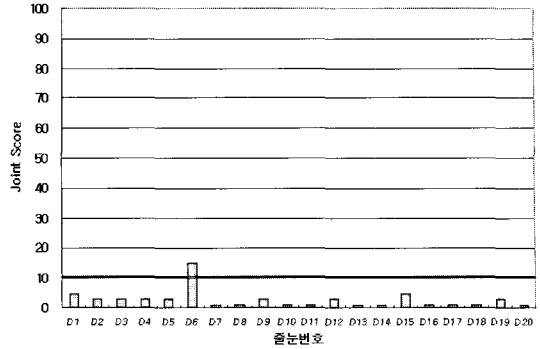


그림 18. 다웰바자동삽입 구간의 Joint Score

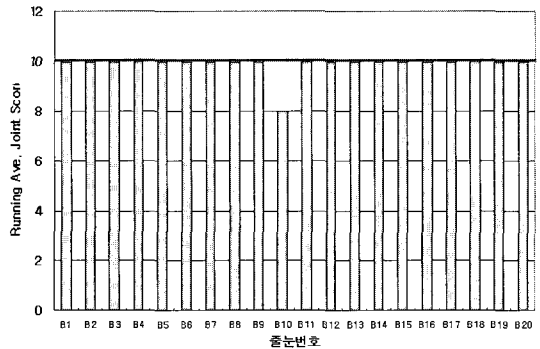


그림 19. 다웰바 어셈블리 구간의 Running Ave. Joint Score

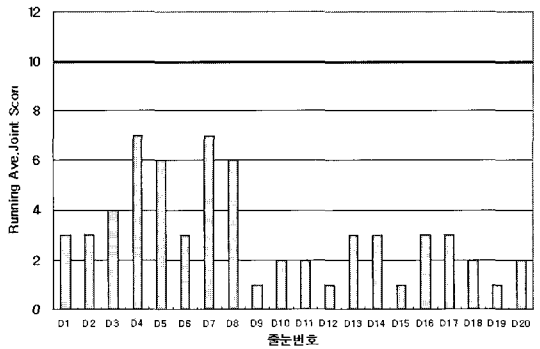


그림 20. 다웰바자동삽입 구간의 Running Ave. Joint Score

으로 분석됐다. 다웰바자동삽입 시공구간의 경우, Joint Score의 값이 10보다 높게 나온 줄눈은 1개에 불과해 줄눈잠김 위험이 거의 없는 것으로 나타났다.

그림 19과 그림 20은 앞서 구한 Joint Score를 이용해 두 비교대상 구간의 Running Ave. Joint Score를 구한 결과이다. 다웰바 어셈블리 시공구간



의 경우 1개의 줄눈을 제외한 모든 줄눈에서 Running Ave. Joint Score가 10이 나와 구간의 전반적으로 줄눈잠김이 연속적으로 발생하여 포장 공 용성을 저하시킬 위험이 큰 것으로 분석됐다. 반면, 다웰바자동삽입 시공구간은 모든 줄눈의 Running Ave. Joint Score가 10 이하로 나와 해당구간에서 줄눈잠김이 연속적으로 발생할 가능성이 매우 적은 것으로 나타났다.

4.4 분석결과 종합

다웰바의 시공방법에 대한 다웰바 시공상태를 4가지 시공상태 항목과 2가지 지수를 이용하여 분석해 본 결과 종방향유동을 제외한 모든 항목에서 다웰바 자동삽입 시공방법이 다웰바 어셈블리 시공방법 보다 우수한 것으로 나타났다. 종방향유동의 경우, 다웰바자동삽입기에 부착된 바퀴형태의 거리측정장치가 기층의 평탄성 및 잡물 등에 의해 오작동을 하여 시공상태가 불량한 것으로 판단된다. 그러나, 이 결과는 비교대상이 각각 20개의 줄눈으로 매우 소량이 기 때문에 본 연구의 결과를 일반화하기에는 다소 무리가 있으며 향후 더욱 많은 현장자료를 이용한 추가 연구가 필요하다.

5. 문제점 분석 및 개선방안

다웰바의 시공상태 분석결과 다웰바자동삽입 시공방법이 다웰바 어셈블리 시공방법에 비해 매우 우수한 것으로 나타났으나, 이는 서론에서 밝힌 것과 같이 해외사례에서 두 시공방법이 거의 비슷한 다웰바 시공상태를 보이는 것과는 다소 차이가 있는 분석결과이다. 따라서, 국내 다웰바 어셈블리 시공방법의 문제점을 분석하여 이를 보완하여 시험시공을 실시하고 그 결과를 분석하였다.

5.1 문제점 분석

현행 국내에서 시행중인 다웰바 어셈블리 시공방법의 문제점에 대해 생산, 보관, 시공으로 구분하여 문제점을 분석해 표 5로 정리하였다.

표 5. 현행 국내 다웰바 어셈블리 시공방법의 문제점

구분	항목	문제점
생산	체어바 형태	현행 국내 체어바의 형태는 J형으로 크로스바와의 용접점이 3지점으로 지지력이 부족하여 어셈블리의 형태 변형의 위험이 높음
	필렛용접 두께	다웰바 고정단과 체어바의 필렛용접 폭은 20mm로 규정되어 있으나 용접두께에 대한 규정이 미흡
보관	어셈블리 보관형태	규정*상 비틀림이 발생하지 않도록 3개 이상 쌓지 않도록 하고 있으나 현장에서는 8개 이상 쌓아 적재
시공	어셈블리 고정방법	규정*과 다른 형태로 강재를 설치하며 사용되는 고정핀의 수도 다름
	콘크리트 혼합물 하차	페이퍼 진 콘크리트 혼합물 하차를 다웰바 어셈블리 위에 직접 하기 때문에 이 충격으로 다웰바 어셈블리의 용접이 파손되거나 형태 변형이 발생할 수 있음

*: 한국도로공사 공사현장 품질관리실무 2000

이 중에서 생산에서의 문제점은 체어바의 형태 및 다웰바와의 용접 불량에 있다. 그림 21에서 보는 것과 같이 J형 체어바는 크로스바와의 용접점이 3개소로 그림 3의 A형이나 U형에 비해 용접점이 부족하

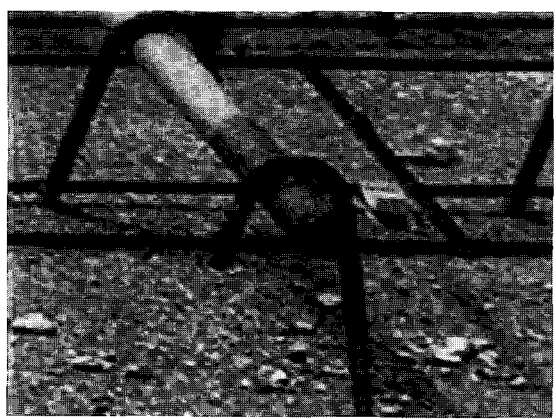


그림 21. J형 체어바

고 이로 인해 전체적인 다웰바 어셈블리의 강도가 부족해 비틀림이 발생할 수 있다. 또한, 다웰바 고정단과 체어바는 필렛용접으로 연결하도록 되어 있는데 현행 규정상 용접폭만을 20mm로 규정하고 있고 용접두께(leg)에 대한 규정이 없는 상황이다.

다웰바 어셈블리는 강재로 구성되어 있기 때문에 그 자중이 매우 크다. 그렇기 때문에 규정상 3개 이상 쌓아서 보관해서는 안되나 그림 22에서 보는 것과 같이 현장에서는 편의상 규정 이상으로 쌓아서 보관하는 경우가 많다. 이런 경우, 자중에 의해 다웰바 어셈블리의 형태가 비틀어지거나 어셈블리의 각 용접 부위가 파손될 위험이 많다.

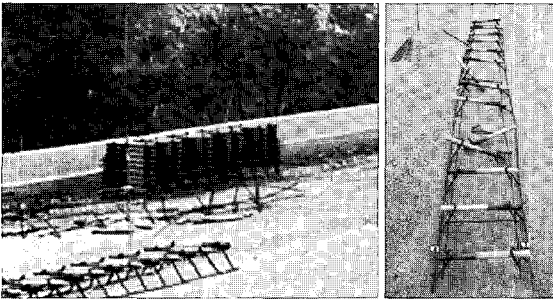


그림 22. 다웰바 어셈블리 과다적재로 인한 불량

다웰바 어셈블리 시공방법의 시공에 있어서는 가장 큰 문제점은 그림 23에서 보는 것과 같이 부적절한 다웰바 어셈블리의 고정방법이다. 국내 다웰바 어셈블리의 표준고정방법은 총 6개 지점에 강재를 이용하여 크로스바를 기준으로 양쪽에 고정편을 박아 기층에 고정시키도록 되어 있다. 그러나, 현장에서는 6개 지점에서 어셈블리를 고정하기는 하나 강재를 반으로 접어 한 지점에 한 개의 고정편만을 박아 기층과 고정시킨다. 따라서, 표준규정방법에 비해 실질적인 지지력은 1/2로 줄어든다.

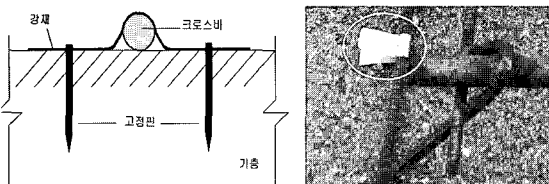


그림 23. 다웰바 어셈블리 표준고정방법 및 현장고정방법

5.2 다웰바 바스켓 개선 시험시공

표 5에서 제시한 5개 항목의 문제점중에서 체어바의 형태, 어셈블리 고정방법에 대해 개선하고 국내 규정에 맞추어 개선형 다웰바 어셈블리를 제작하여 시험시공을 수행하였다. 그림 24는 개선형 다웰바 어셈블리의 모습이다. 개선형 다웰바 어셈블리는 1차로용 3개, 2차로용 3개를 제작하여 시공하였다.

표 6. 다웰바 어셈블리 시공방법 개선사항

항 목	현 행	개선 방안
체어바 형태	J형	U형
어셈블리 고정방법	6개소 12개 고정편 사용	다웰바의 각 고정단마다 고정편 설치
기 타	다웰바의 전단면을 ASTM 규정에 맞는 도료로 코팅	

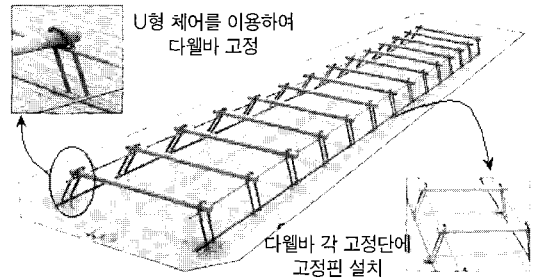


그림 24. 개선형 다웰바 어셈블리

그림 25는 시험시공 후 MIT-SCAN2를 이용하여 다웰바 시공상태를 분석한 결과를 앞서 분석한 다웰바 어셈블리 시공구간과 다웰바자동삼입 시공구간과 비교한 결과이다. 앞서 두 구간과의 형평성을 고려하여 개선형 다웰바 시험시공 구간의 분석에는 2차로용 다웰바 어셈블리만 사용하였다. 그림 25에서 보듯이, 개선형 다웰바 어셈블리는 다웰바 어셈블리 시공구간과 비교할 때, 전 항목에서 시공상태가 좋아졌음을 알 수 있다. 특히, 수평/수직얼갈림값은 각각 4.2mm, 4.3mm가 나와 다웰바 어셈블리 시공구간에 비해 60% 가량 감소하여 개선효과가 크게 나타났음



을 알 수 있다. 이러한 시험시공결과를 볼 때, 현행 다웰바 어셈블리를 이용한 다웰바 시공방법 또한, 문제점 개선을 통해 다웰바 시공상태를 크게 개선할 수 있을 것으로 판단된다.

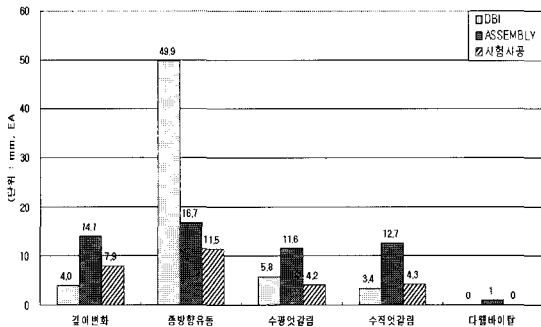


그림 25. 개선형 다웰바 어셈블리 시공상태 분석결과

6. 향후계획 및 결론

본 연구에서는 기존에 시공된 다웰바자동삽입 시공구간과 국내에서 일반적으로 수행되고 있는 다웰바 어셈블리 시공구간에 대한 다웰바 시공상태를 조사하고 그 결과를 비교하였다. 그러나, 조사대상이 된 구간이 각 시공방법에 따라 20개씩으로 다소 부족한 상황이며, 바스켓 시공방법을 개선한 시험시공도 3개 줄눈에서만 수행되어 그 효과에 대한 객관적인 자료로 삼기에는 미흡한 부분이 있다. 이에 다웰바자동삽입 및 개선형 바스켓에 대한 추가 시험시공을 실시하여 보다 객관적이고 합리적인 결과를 도출할 예정이다.

본 연구에서는 국내에서 사용하고 있지 않는 다웰바자동삽입 시공방법의 다웰바 시공상태를 다웰바의 오차 상태와 Joint Score 및 Running Ave. Joint Score를 이용하여 다웰바 어셈블리 시공방법과 비교·분석하였다. 또한, 현행 국내 다웰바 어셈블리 시공방법의 문제점을 분석하고 이를 보완·개선하여 시험시공을 실시하였다. 이러한 일련의 절차를 거쳐 다음

과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 다웰바자동삽입 시공구간은 다웰바 어셈블리 시공구간에 비해 깊이변화, 수평엇갈림, 수직엇갈림의 크기가 적어 시공성이 더 좋은 것으로 나타났다. 따라서, 다웰바자동삽입 시공방법의 도입을 긍정적으로 검토해야 할 것으로 판단된다.
- 다웰바자동삽입 시공구간과 다웰바 어셈블리 시공구간의 Joint Score 및 Running Ave. Joint Score를 분석해본 결과, 다웰바자동삽입 시공구간은 줄눈잠김의 위험이 매우 낮은 반면 다웰바 어셈블리 시공구간은 대부분의 줄눈에서 줄눈잠김 위험이 매우 높은 것으로 나타났다.
- 현행 다웰바 어셈블리 시공방법의 문제점을 생산, 보관, 시공으로 나누어 분석했으며 이를 개선한 시험시공을 실시해 본 결과 다웰바 시공상태를 크게 향상시킬 수 있는 것으로 나타났다.

참고문헌

MoDOT. (2003). Investigation of Dowel Bar Placement Accuracy with a Dowel Bar Inserter. Report No. RDT03-009, Missouri Department of Transportation. Jefferson City, MO.

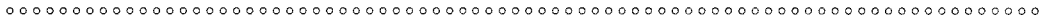
MIT. (2002). MIT Scan-2/-2F Instruction for Use. Magnetic Imaging Tools, GmbH. Dresden, Germany.

PCA. (2005). Dowel Bar Alignments of Typical In-Service Pavements. PCA R&D Serial No.2894. Portland Cement Association.

VTRC. (2006). Field Demonstration of Magnetic Tomography Technology for Determination of Dowel Bar Position in Concrete Pavement. VTRC 06-R40. Virginia Transportation Research Council.

CTRE. (2002). Assessment of Dowel Bar Research. CTRE, Iowa State University

Yu, H.T. (2007). The Need for Improved Specifications on Dowel Bar Placement



- Tolerance. A paper presented at the 86th annual meeting of the TRB. *Transportation Research Board, Washington, D.C.*
- Elfino, M.K., Hossain, M.S. and Yu, H.T. (2007). Virginia Experience in Evaluating Dowel Bar Alignment Measuring Equipment. A paper presented at the 86th annual meeting of the TRB. *Transportation Research Board, Washington, D.C.*
- Prabhu, M.P., Varma, A.H. and Buch, N. (2007). Experimental and Analytical Investigations of the Mechanistic Effects of Dowel Misalignment in Jointed Concrete Pavements. A paper presented at the 86th annual meeting of the TRB. *Transportation Research Board, Washington, D.C.*
- 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.*
- Yu, H.T. and Kim, H.B. (2005). Use of MIT Scan-2 in Dowel-Alignment Evaluation. *The 5th ICPT.*
- [http://www.pavement.com/Concrete Pavement/Technical/State Practices](http://www.pavement.com/ConcretePavement/Technical/StatePractices)
- 이승우. (2001). 콘크리트포장의 줄눈의 잠김에 대한 연구. 한국도로포장공학회지

접 수 일: 2007. 4. 25
심 사 일: 2007. 4. 27
심사완료일: 2007. 5. 31