

## FRP바닥판용 신축이음장치 개발

박종섭<sup>1\*</sup> 이영호<sup>2</sup>

### Development of Bridge Expansion Joint for Fiber Reinforced Polymer Deck

Jong-Sup Park<sup>1\*</sup> and Young-Ho Lee<sup>2</sup>

**요약** 본 연구에서는 중공형 섬유보강폴리머(Fiber Reinforced Polymer : FRP)바닥판이 적용된 교량에 적합한 신축이음장치를 개발하고자 신축이음장치의 설계기준 및 특성을 분석하였다. 또한, 신축이음장치를 선정하는 기준이 되는 설계 신축량 산정법과 FRP바닥판 상세를 검토하여, 강콘크리트 거더 교량에 적용 가능한 FRP바닥판용 신축이음장치를 개발·제안하였다.

**Abstract** This paper presents design specifications and characteristics of bridge expansion joints to develop new type-joints in fiber reinforced polymer decks. Based on properties of the fiber reinforced polymer decks and fundamental process to calculate their expansion length, new expansion joints for fiber reinforced polymer decks on typical steel or concrete girder are developed and proposed.

**Key words** : Expansion joint, Bridge deck, Fiber reinforced polymer, Expand behavior

#### 1. 서론

교량의 구조는 크게 상부구조와 하부구조로 나눌 수 있는데, 상부구조는 하중재하, 온도변화, 콘크리트의 크리프와 건조수축, 프리스트레싱 및 자연재해 등에 의해 움직임을 갖게 된다. 이러한 교량 상부구조의 움직임을 고려하여 신축이음장치가 개발되었으며, 구조물의 이동 시스템에 있어서 중요한 역할을 수행하게 된다. 신축이음장치는 교량의 필요 신축량을 토대로 선정하며, 거더의 길이, 거더의 높이, 거더와 바닥판 형식과 같은 교량 종류 등에 따라 달라진다.

최근 섬유강화복합재료(Fiber Reinforced Composite Material)를 교량바닥판에 적용하는 연구가 급격하게 증가하고 있으며, 1990년대부터 복합소재로 제작된 바닥판을 일부 도로교 가설에 적용하고 있다. 복합소재가 새로운 교량바닥판 재료로 관심을 받고 있는 이유는 복합재료가 경량재료이면서 고강도이고, 강재 및 콘크리트에 비해서 전반적인 내구성이 우수하다는 것이다. 섬유보강폴리

머(Fiber Reinforced Polymer : FRP) 바닥판의 경우에도 기존의 콘크리트 바닥판과 마찬가지로 교량의 시간장이 길어질수록 온도변화에 의해 발생하는 바닥판의 응력과 변위를 수용할 수 있는 신축이음을 새로운 재료로 제작된 FRP바닥판에 적용하기 위해서는 기존 교량바닥판에 적용되는 신축이음의 성능 및 구조 형식의 개선, 또는 새로운 형식의 신축이음 개발이 필요하다.

한만협[1]등은 도로봉합제를 이용한 무조인트형 신축이음장치를 시험교량에 설치하여 그 거동특성을 연구하여 발표한 바 있다. 이정우[2]등은 레일타입과 핑거타입의 신축이음장치가 설치된 교량에서 신축이음장치에 따른 진동과 소음 발생을 현장실험을 통해 분석하고자 하였다. 두 논문은 각각 기존 바닥판 형식인 콘크리트 바닥판과 강바닥판을 대상으로 하였다. Dexter[3]등은 기존 교량에 사용되는 신축이음장치의 피로성능을 연구하여 설계기준을 제시한 바 있다. 그러나 대부분의 연구와 실험등은 기존 콘크리트와 강바닥판에 대한 것으로서 교량의 수명을 획기적으로 연장하기 위한 새로운 형식의 FRP바닥판에 대한 설계기준 및 성능에 대해 발표된 바가 없다.

본 연구에서는 기 개발된 FRP바닥판에 적용할 수 있는 신축이음장치를 제안하고자 다음과 같은 내용의 연구를 하였다. 먼저, FRP바닥판에 적용가능성 여부를 검토

<sup>1</sup> 상명대학교 공과대학 토목환경공학부 교수

<sup>2</sup> 한국건설기술연구원 구조연구부 선임연구원

\*교신저자: 박종섭(jonpark@smu.ac.kr)

하고자 기존 교량 조인트에 관한 자료를 수집, 정리하였다. FRP바닥판의 신축거동에 큰 영향을 미치는 기본물성인 온도에 따른 열팽창 시험을 수행하여 그 결과를 수록하였다. 또한, 교량의 신축 거동에 영향을 미치는 다른 인자들에 따른 FRP바닥판의 영향을 검토하였다. 특히, 하중에 따른 영향을 검토하고자 구조해석을 실시하였다. 최종적으로 신축장이 100m이하인 교량의 포장형식에 따른 FRP바닥판용 신축이음장치를 제안하였다.

## 2. 교량 신축량 설계

교량의 신축량 산정시 온도변화( $\Delta T_t$ ), 콘크리트의 건조수축( $\Delta L_s$ )과 크리프( $\Delta L_c$ ), 활하중에 의한 보(거더)의 처짐( $\Delta l_r$ ), 교대·교각의 침하와 활동, 종단경사의 영향으로 인한 변위, 사고 및 곡선교에서의 변위를 고려하여야 한다. 보통의 경우 온도변화와 콘크리트교의 경우 건조수축, 크리프에 의한 신축량을 기본 신축량으로 취급하고 기타 온도오차, 시공오차, 하중, 예상치 못한 부등침하, 신축이음장치의 품질오차 등에 의한 신축량은 여유량으로 취급하며 기본 신축량의 20%를 취한다. 또한 종단구배에 의한 연직변위에 의해 발생하는 신축량과 경사곡선에서 이음부 방향의 변위에 의한 신축량 등은 구조적으로 필요한 경우에 산정된다. 차량하중, 풍하중, 단부침하의 영향이 크다고 판단되면 별도로 계산하여 설계 신축량을 보정하여야 하는데 강교에서 활하중의 영향이나 현수교, 사장교에서의 풍하중의 영향은 크기 때문에 설계 신축량 산정 시 고려되어야 할 중요인자이다. 표 1은 신축량 설계시 고려되는 교량형식 및 온도변화범위, 선평창계수를 나타내고 있다. 표2는 신축장 100m 이하인 경우 설계 신축량 계산식을 나타내고 있다.

표 1. 온도변화 및 온도 신축량(도로교 설계기준[4])

교량형식	강교				콘크리트교	
	상로교		하로교 & 강상판		RC교 & PC교	
온도범위	보통 지방	한랭 지방	보통 지방	한랭 지방	보통 지방	한랭 지방
	-10~+40	-20~+40	-10~+50	-20~+50	-5~+35	-15~+35
선평창계수	1.2×10 <sup>-5</sup>				1.0×10 <sup>-5</sup>	

표 2. 설계 신축량 산정식(도로교 설계기준[4])

교량형식	강교				콘크리트교			
	상로교		하로교 & 강상판		RC교		PC교	
지역구분	보통 지방	한랭 지방	보통 지방	한랭 지방	보통 지방	한랭 지방	보통 지방	한랭 지방
기본 신축량 (1) ( $\Delta L_t$ ) + ( $\Delta L_s$ ) + ( $\Delta L_c$ )	0.6L	0.72L	0.72L	0.84L	0.5L	0.6L	0.7L	0.8L
여유 신축량 (2) ( $\Delta L_b$ ) × 0.2 + 10	0.12L + 10	0.14L + 10	0.14L + 10	0.14L + 10	0.1L + 10	0.12L + 10	0.14L + 10	0.16L + 10
설계 신축량 (1)+(2)	0.72L + 10	0.86L + 10	0.86L + 10	1.01L + 10	0.6L + 10	0.72L + 10	0.84L + 10	0.96L + 10

주) 단위 : 신축길이 L (m), 신축량 (mm)

## 3. FRP바닥판 교량의 신축이음장치

기존의 콘크리트 또는 강재 바닥판과 달리 FRP바닥판은 시공사례 자체가 거의 없고 FRP바닥판용 신축이음에 대한 연구도 매우 미진한 상태이다. 국내에서는 FRP바닥판에 신축이음을 적용하여 시공한 사례는 없는 실정이다. 본 절에서는 기 개발(건설기술연구원[5])된 FRP바닥판 모듈을 토대로, FRP바닥판의 온도신축과 관련된 열팽창 계수 실험결과 및 활하중 영향에 따른 FRP바닥판의 휨강성과 변위를 검토하였다. 또한, FRP 바닥판용 교량포장형식을 고려하여 새로운 신축이음장치를 제안하였다.

### 3.1 FRP 바닥판의 열팽창 계수

FRP부재의 복부 좌굴, 그리고 보와 바닥판의 처짐 실험결과를 토대로 구조적으로 취약한 부분에 대하여 FRP 바닥판 단면을 보완하여 그림 1의 모듈이 개발되었다[5]. FRP바닥판은 그림 1의 모듈을 여러 개 연결하여 필요한 길이(신축장)를 제작하게 된다. 이러한 FRP부재는 재료적 성질이 매우 다른 구조재이므로 강재 또는 콘크리트 구조에 효과적으로 적용하기 위해서는 신축량 산정시 큰 영향을 미치는 열팽창계수에 대한 정확한 파악이 필요하다.

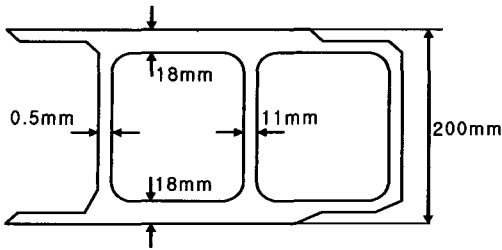


그림 1. FRP바닥판의 기본 모델

FRP바닥판의 플랜지와 복부의 섬유방향과 섬유직각 방향에 대하여 KS M3015 열경화성 플라스틱 일반시험 방법에 의거하여 열팽창 시험을 한국화학시험연구원에 의뢰하여 실시하였다. 시험체는 플랜지와 복부의 섬유방향과 섬유직각방향에 대하여 폭 12.5mm, 길이 120mm의 막대 모양의 시험체를 각각 세 개씩 제작하였으며 실험결과는 표 3에 기술하였다.

표 3. FRP바닥판 부재의 열팽창계수

	플랜지		복부	
	섬유방향	섬유직각방향	섬유방향	섬유직각방향
시험체 1	$5.3 \times 10^{-6}$	$12.0 \times 10^{-6}$	$5.8 \times 10^{-6}$	$9.6 \times 10^{-6}$
시험체 2	$4.3 \times 10^{-6}$	$11.0 \times 10^{-6}$	$5.8 \times 10^{-6}$	$11.0 \times 10^{-6}$
시험체 3	$4.3 \times 10^{-6}$	$8.5 \times 10^{-6}$	$4.7 \times 10^{-6}$	$12.0 \times 10^{-6}$
평균	$4.6 \times 10^{-6}$	$11.0 \times 10^{-6}$	$5.4 \times 10^{-6}$	$10.9 \times 10^{-6}$

강재나 콘크리트 거더에 FRP바닥판을 시공하였을 때 열팽창률 차이에 의한 거더와 바닥판에서의 응력의 발생 정도를 파악하기 위해서는 거더의 축방향과 변형 방향이 동일한 바닥판 플랜지의 섬유직각방향 열팽창률이 가장 중요한 설계 변수이다. 표 3에 나타난 바와 같이 FRP바닥판 플랜지의 섬유직각방향 열팽창계수( $1.1 \times 10^{-5}$ )는 기존의 강재( $1.2 \times 10^{-5}$ )나 콘크리트( $1.0 \times 10^{-5}$ )의 열팽창계수와 매우 유사한 값을 가지고 있다. 이와 같이 강재 또는 콘크리트와 FRP바닥판의 열팽창계수가 유사하기 때문에 FRP바닥판을 가설하였을 때 열팽창률 차이로 인해서 발생하는 응력 및 변형율도 기존의 콘크리트 및 강재 바닥판에서 발생하는 응력 및 변형율과 유사하며, 신축이음의 설치가 필요한 개소 또한 기존의 바닥판과 유사함을 알 수 있다.

### 3.2 활하중에 의한 FRP바닥판의 휨강성 및 종방향 변위

활하중에 의한 보의 처짐 영향으로 발생하는 신축량은 사용된 거더의 형식 즉 강교와 콘크리트교로 크게 구분지

을 수 있다. 도로교 설계기준[4]은 보의 회전각을 강교의 경우 1/150, 콘크리트교의 경우 1/300을 고려하도록 하고 있다. 본 연구에서는 H형강보와 FRP바닥판이 연결된 경우, H형강만 설치된 경우, 그리고 FRP바닥판만 설치된 경우로 구분하여 재하하중과 변위 상관관계를 검토하여 각 경우가 휨강성에 미치는 영향을 분석하였다.

표 4와 그림 2에 나타난 결과와 같이 H형강보의 휨강성이 FRP바닥판의 휨강성의 12배이며, H형강과 FRP바닥판이 사용된 경우 휨강성이 일부 증가함을 알 수 있다. 따라서, 강·콘크리트 바닥판과 같이 신축량 설계에 영향을 미치는 보의 처짐은 FRP바닥판 적용 여부에 큰 영향을 받지 않음을 알 수 있다.

표 4. 상부구조 구성별 휨강성 비교

구분	실험결과		유한요소 해석결과 휨강성 (kN/mm)
	휨강성 (kN/mm)	휨강성 평균 (kN/mm)	
H형강 +FRP바닥판	14.46	16.20	12.71
	16.44		
	15.82		
	17.71		
	15.33		
H형강	11.67	12.12	11.71
	12.57		
	1.00		
FRP바닥판	0.94	0.96	0.52
	0.95		
	0.95		

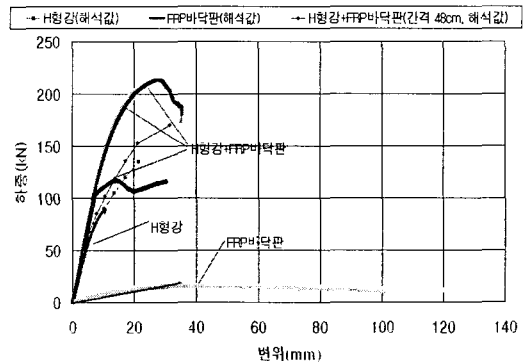


그림 2. 상부구조 구성별 하중-변위 곡선

FRP바닥판이 설치된 교량의 종방향 변위와 FRP바닥판의 처짐변위를 도로교 설계기준[4]의 허용값과 비교하

여 기존 신축량 산정식 적용성 여부를 검토하였다. 그림 3과 같은 FRP바닥판이 시험 시공된 교량을 선정하여 1등급 설계하중인 DB24 하중을 재하시 구조해석을 통하여 변위를 계산하였다. 재하하중의 위치는 그림 4와 같으며, 구조해석프로그램ABAQUS를 이용하여 3차원 유한요소해석을 실시하였다. 교량의 길이는 11m이고 폭은 4.3m이며, 거더의 간격은 2m로서 3주형교이다.

하중 재하에 따른 대상 구조물의 종방향 최대 변위는 9.80mm로써 도로교 설계기준에 제시된 강교의 허용 처짐값에서 “기타의 슬래브가 있는 플레이트 거더”의 제한 변위(11,000/500=22mm)를 충분히 만족하는 것으로 나타났다. 또한, FRP바닥판에 발생한 최대 변위는 11.49mm이며 거더에 대한 상대 변위, 즉 국부변위는 1.69mm가 발생하여 바닥판의 제한 변위인 2.5mm(2000/800=2.5mm)를 만족하였다. 따라서, FRP바닥판이 설치된 교량의 활하중에 의한 보의 처짐 영향을 고려한 신축량 산정시 도로교 설계기준이 제시하고 있는 교량 형식별 회전각이 적용가능하다.

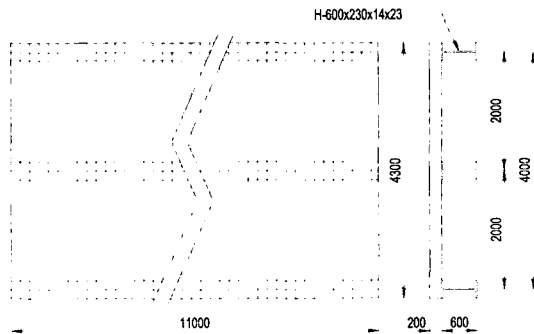


그림 3. 해석 대상 교량 (단위 : mm)

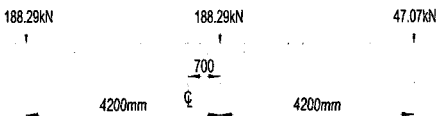


그림 4. 재하 차량의 하중 모델

### 3.3 교면포장형식을 고려한 FRP바닥판의 신축이음장치

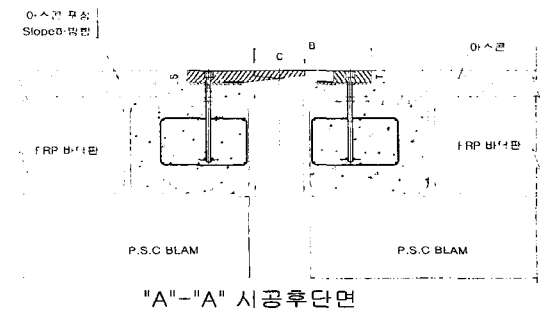
FRP바닥판은 철근콘크리트 및 강재바닥판과 비교하여 내구성이 우수하고 내화학적 및 내염성이 탁월하며, 특히 방수성 및 내식성이 매우 우수하기 때문에 기존 교량바닥판보다 포장의 역할이 상당히 축소될 수 있으며, 이로 인해 포장방법이 다양해질 수 있다. 표 5의 두 가지 FRP교량바닥판 교면포장 방법이 제안되었다[5]. 제안된

형식은 기존의 일반 아스팔트 교면포장 방법과 비교하여 개질아스팔트 교면포장의 경우 생애주기비용분석결과 최소20~40% 정도의 비용 절감 효과가 있는 것으로 기대되었고, 폴리머 콘크리트 교면포장의 경우 포장두께가 1/5 정도로 감소하여 더욱 경제적이다.

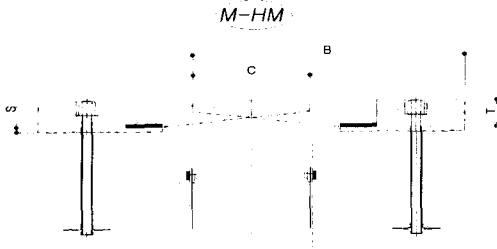
표 5. 교면포장 비교

구분	기존(아스팔트) 교면포장	폴리머 콘크리트 교면포장	개질아스팔트 교면포장
시공 단면			

표 5에 제안된 폴리머 콘크리트 표면포장의 경우 포장두께가 10mm이고, 개질아스팔트 교면포장의 포장두께는 80mm이다. 기존 신축이음제품 중 가장 작은 제품의 높이는 Trans Flex형의 HTF 0035/90와 HTF 0045/90로서 80mm이다. 포장두께가 80mm인 개질 아스팔트 교면포장을 적용하는 경우 FRP 바닥판의 이음부에 Trans Flex 형의 HTF 0035/90와 HTF 0045/90이 사용 가능하며, 각각의 가능 설계신축량은 35mm와 45mm이다. 두 신축이음 제품은 30m 또는 40m 신축장을 가지는 교량에서 적용 가능하다. 폴리머 콘크리트 표면포장을 사용하는 경우 FRP 바닥판 셀의 상부 플랜지 일부를 제거하고 신축이음장치 설치 후 무수축 콘크리트를 타설하여 일체화 및 보강을 실시하거나 FRP 바닥판 사이 일정 공간을 만들어 신축이음장치 설치 후 무수축 콘크리트를 타설하는 방법이 가능할 것이다. 그림 6~8은 FRP바닥판이 사용된 강교와 PC교에 적용 가능한 신축이음장치 상세를 보여주고 있다. 본 상세는 신축이음장치제작 전문업체인 협성실업(주)의 협조로 개발되었다.



"A"- "A" 시공 후 단면



제품 상세도

규격	A	B	C	D	E	T	S
50	55	125	56			35	25
75	68	150	68			35	25
100	80	195	113			45	25
150	105	235	129			45	25

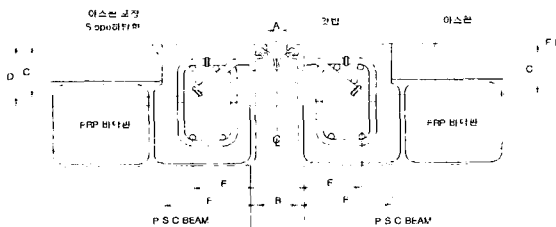
그림 6. FRP바닥판용 핑거신축이음 설치 및 제품 상세도 (단위 : mm)



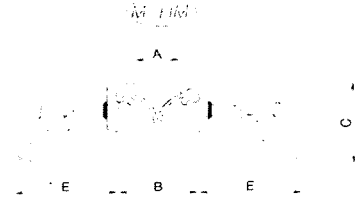
레일형 단면

제품 CODE	형식	A			B			C	D	E	F	단중 kg/m
		최소	중간	최대	최소	중간	최대					
MHM 0080/90	MH 80	0	40	80	50	90	130	200	280	125	200	27

그림 7. FRP바닥판용 레일신축이음 설치 및 제품 상세도 (단위 : mm)



"A"-A" 시공후단면



레일형 단면

제품 CODE	형식	A			B			C	D	E	F	단중 kg/m
		최소	중간	최대	최소	중간	최대					
MHM 0080/90	MH 80	0	40	80	50	90	130	200	280	125	200	27
MHM 0100/90	MH 100	0	50	100	50	100	150	135	200	150	300	28

그림 8. FRP바닥판용 레일F형 신축이음 설치 및 제품 상세도(단위 : mm)

그림 6은 핑거신축이음 장치가 설치된 상세를 나타내고 있으며, FRP바닥판 상부에 신축이음장치를 설치하고 무수축 콘크리트를 타설하여 일체화를 실시하였다. 무수축 콘크리트가 타설되는 연결부 FRP바닥판 셀 내부에는 철근을 일부 배치하여 보강하였다. 그림 7은 레일형 신축이음 장치가 설치된 상세를 나타내고 있다. 그림 7에 나타난 바와 같이 핑거형 신축이음과 유사하게 바닥판과 신축이음장치를 볼트로 연결한 후 연결부 FRP바닥판 셀 내부에 무수축 콘크리트를 타설한다. 바닥판 하부에서 포장 표면까지의 높이("D")는 그림에 나타난 바와 같이 280 mm로서 개질 아스팔트 교면 포장형식이 적용될 때 사용 가능한 형식이다. 그림 8은 레일 F형 신축이음 장치가 설치된 상세를 나타내고 있다. 그림 8 설치 상세도와 같이 연결부 FRP바닥판의 상부 플랜지를 제거하고 그곳에 신축이음장치를 설치한 후, 무수축 콘크리트를 타설하는 형식이다. 연결부 FRP바닥판 셀 내부는 다수의 보강철근을 배치하여 바닥판 상부플랜지 제거로 인한 불일체화를 최소화하고 내구성 및 휨강성 증가를 위해 추가적인 철근을 배근하였다. 이 형식 또한, 80mm의 포장 두께를 가지는 개질 아스팔트 교면 포장이 적용될 때 사용 가능하다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 중공형 FRP 바닥판이 적용된 교량에 적합한 신축이음장치를 개발하고자 신축이음장치의 설계 기준 및 특성을 파악하였다. 또한, 신축이음장치를 선정하는 기준이 되는 설계신축량 산정 방법을 검토하여,

FRP바닥판 상세에 적절한 FRP바닥판용 신축이음장치를 개발제안하였다.

- (1) FRP바닥판 플랜지의 섬유직각방향 열팽창계수는  $1.1 \times 10^{-5}$ 으로써 기존의 강재나 콘크리트의 열팽창계수와 매우 유사한 값을 가지고 있다. 이와 같이 강재 또는 콘크리트와 FRP바닥판의 열팽창계수가 유사하기 때문에 FRP바닥판을 가설하였을 때 열팽창률 차이로 인해서 발생하는 응력 및 변형률도 기존의 콘크리트 및 강재 바닥판에서 발생하는 응력 및 변형률과 유사하며, 신축이음의 설치가 필요한 개소 또한 기존의 바닥판과 유사함을 알 수 있었다.
- (2) 활하중에 의한 보의 처짐 영향으로 발생하는 신축량은 사용된 거더의 형식 즉 강교와 콘크리트교로 크게 구분지을 수 있다. FRP바닥판이 설치된 교량의 활하중에 의한 보의 처짐 영향을 실험결과와 해석결과를 검토한 바, 신축량 산정 시 도로교 설계기준[4]이 제시하고 있는 교량 형식별 회전각을 적용할 수 있음을 확인하였다.
- (3) 폴리머 콘크리트 표면포장의 경우 포장두께가 10mm이고, 개질아스팔트 교면포장의 포장두께는 80mm이다. 기존의 신축이음제품 중 가장 작은 제품의 높이는 Trans Flex형의 HTF 0035/90와 HTF 0045/90로서 80mm이다. 따라서, 폴리머 콘크리트 표면포장을 사용하는 경우 FRP 바닥판 셀의 상부 플래지 일부를 제거하고 신축이음장치 설치 후 무수축 콘크리트를 타설하여 일체화 및 보강을 실시하거나 FRP 바닥판 연결부에 일정 공간을 만들어 신축이음장치와 보강 철근 설치 후 무수축 콘크리트를 타설하는 방법이 가능하다.
- (4) FRP 바닥판과 신축이음장치는 볼트를 이용하여 일체화하고 무수축 콘크리트를 타설하여 볼트 설치로 인한 바닥판의 일부 손상을 보강함으로써 신축이음장치의 성능 발휘 및 바닥판의 내구성 증진을 유도하였다.

## 참고문헌

- [1] 한만엽, 김지훈, “도로봉합제를 이용한 무조인트형 신축이음장치의 거동특성연구”, 대한토목학회논문집, 21권 4-A호, pp493-503, 2001.7
- [2] 이정우, 광종원, 최은석, 진원중, 박성룡, “교량 신축이음장치의 진동/소음 실험”, 대한토목학회 정기학술대회, pp1976-1979, 2004.10
- [3] Dexter, Connor, Kaczinski, Fatigue Design of Modular Bridge Expansion Joints, National Cooperative Highway Research Program, Report 402
- [4] 한국도로교통협회, 도로교 설계기준, 2005년
- [5] 한국건설기술연구원(KICT), 장수명 합리화 바닥판 개발 II (3차년도), 건기연 연구보고서 2004-055

### 박 종 섭(Jong Sup Park)

[정회원]



- 1994년 2월 : 고려대학교 토목환경공학과 (공학사)
- 1996년 8월 : 고려대학교 토목환경공학과 (공학석사)
- 2002년 12월 : Auburn University (공학박사)
- 2005년 9월 ~ 현재 : 상명대학교 토목환경공학부 전임강사

<관심분야>

구조공학, 교량공학, 강구조좌굴, 유지보수

### 이 영 호(Young Ho Lee)

[정회원]



- 1993년 2월 : 고려대학교 토목환경공학과 (공학사)
- 1995년 2월 : 고려대학교 토목환경공학과 (공학석사)
- 1999년 3월 : Osaka University (공학박사)
- 2001년 12월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 구조연구부 선임연구원

<관심분야>

콘크리트구조, 복합구조, 유지보수, 내진공학