



콘크리트 구조물 팽창줄눈 적정 간격 및 폭 제안 : 콘크리트 중앙분리대 사례

정유석¹⁾ · 이일근²⁾ · 이재하³⁾ · 민근형⁴⁾ · 김우석^{5)*}

¹⁾충남대학교 건설방재연구소 연구교수 ²⁾도로교통연구원 구조물연구실 연구위원 ³⁾한국해양대학교 건설공학과 부교수
⁴⁾충남대학교 토목공학과 박사과정 ⁵⁾충남대학교 토목공학과 부교수

Proposal of Expansion Joint Spacing and Width for Concrete Structures: Concrete Median Barrier Case

Yoseok Jeong,¹⁾ Ilkeun Lee,²⁾ Jaeha Lee,³⁾ Geunhyung Min,⁴⁾ and WooSeok Kim^{5)*}

¹⁾Research Professor, Research Institute for Construction Disaster Prevention, Chungnam National University, Daejeon 34134, Rep. of Korea
²⁾Research Fellow, Structure Research Division, Korea Expressway Corporation Research Institute, Hwaseong 20896, Rep. of Korea
³⁾Associate Professor, Department of Civil Engineering, Korea Maritime and Ocean University, Busan 49112, Rep. of Korea
⁴⁾Doctoral Student, Department of Civil Engineering, Chungnam National University, Daejeon 34134, Rep. of Korea
⁵⁾Associate Professor, Department of Civil Engineering, Chungnam National University, Daejeon 34134, Rep. of Korea

ABSTRACT Spacing and width are key elements of Concrete Median Barrier (CMB) because they accommodate expansion and contraction induced by temperature changes. However, spacing has been empirically installed in CMB without consideration of thermal-mechanical behavior of CMB. This paper aims at proposing the appropriate spacing and width of CMB based on literature review, field investigations, and thermal behavior analysis of CMB. According to literature review on expansion joint spacing, spacing ranges between 6 m and 200 m. The critical length (L_c) was developed based on thermal behavior analysis of CMB, which is the maximum length required to achieve expansion of CMB. In order to prevent CMB blow-ups due to temperature changes, appropriate spacing and width are proposed as follows: spacing 210 m and width 30 mm. In addition, installation location, construction methods and limitations are also considered.

Keywords : concrete median barrier, temperature, expansion joint, spacing, width

1. 서 론

모든 콘크리트 구조물은 타설 후 온도변화와 건조수축 등에 의해 끊임없이 수축·팽창하므로 온도팽창에 의한 손상을 막기 위해 팽창줄눈이 사용되어 왔다. 콘크리트 포장 등을 포함한 콘크리트 구조물의 과도한 팽창은 콘크리트의 박리, 박락을 가져오며 그로 인해 구조물의 구조적 성능과 내구성 저하뿐만 아니라 미관을 해칠 수 있다. 따라서 콘크리트 구조물 기능의 연속성을 방해하지 않으면서 부재의 상대적인 움직임을 가능하게 해주기 위해서는 적절한 팽창줄눈 간격 및 폭의 설계가 필요하다(Byun et al. 1990; Lee et al. 2011). 최근의 고속도로 사건사고에서 나타난 콘크리트 포

장의 솟음이나 교량의 신축이음 흡착과 이후의 솟음은 모두 콘크리트 구조물의 팽창과 연관되어 있는 것으로 추정되어 팽창줄눈의 간격과 폭 설정의 중요성을 다시 한 번 일깨워 주고 있다. 따라서, 본 연구에서는 단순 1방향 팽창 거동하는 콘크리트 중앙분리대를 기준으로 팽창줄눈의 시방을 개발하고자 하였다.

현재 콘크리트 중앙분리대 팽창줄눈 간격은 명확한 설계 및 시공기준 없이 임의로 과거 도로구조물 표준도에 규정된 30 m 간격을 적용하거나 또는 시공주체의 판단에 의해 150~350 m의 1일 기계타설 길이로 설치되고 있다(KEC 2017). 현재 1일 기계타설 길이로 설치되고 있는 중앙분리대의 경우는 경제성, 시공성, 편의성만을 고려하여 임의의 간격으로 팽창줄눈이 설치되고 있다. 이는 하절기 온도팽창에 의해 콘크리트 터짐(blow-up)으로 인한 균열 발생을 야기할 우려가 있다. 결국 콘크리트 중앙분리대 구조성능 및 내구성 저하가 발생하고 그로 인한 도로 이용자의 안전성을 낮추는 결과를

*Corresponding author E-mail : wooseok@cnu.ac.kr
Received August 8, 2018, Revised October 23, 2018,
Accepted January 31, 2019
©2019 by Korea Concrete Institute

초래 할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 도로 이용자의 안전을 높이기 위해 국내외 중앙분리대 팽창줄눈 기준 검토, 국내 고속도로 팽창줄눈 현장조사 및 팽창 메커니즘 분석을 통해 적정 팽창줄눈 간격 및 폭원을 제안하고자 한다.

2. 콘크리트 중앙분리대 팽창줄눈 기준

콘크리트 중앙분리대는 4차로 이상인 고속국도 및 자동차 전용도로 구간에 설치되고 있으며 중앙분리대의 일반적인 기능은 차량의 차로 밖 이탈을 목적으로 한다(MOLIT 2014). 따라서 충돌 시 구조물의 변형에 의한 충격흡수 보다는 차량의 복귀를 주목적으로 변형을 거의 허용하지 않는 강성방호벽인 콘크리트 방호울타리를 중앙분리대용으로 주로 설치한다.

2.1 국내 기준

국내 콘크리트 중앙분리대 줄눈에 관련된 규정은 고속도로 전문시방서(KEC 2012)나 도로공사 표준시방서(MOLIT 2015)에서 찾을 수 있다. 규정에 따르면 수축줄눈의 경우 설

치 위치 및 방법이 명확하게 명시되어 있는 반면에 팽창줄눈의 경우에는 명확한 규정이 없는 실정이다. 팽창줄눈에 관련된 규정의 경우 팽창줄눈 간격 명시 없이 시공 시 기성 팽창줄눈재를 사용해서 20 mm 폭으로 설치한다고만 규정되어 있다. 즉, 팽창줄눈의 적정 간격에 대한 규정은 없는 상태이다. 따라서, 현재의 중앙분리대 팽창줄눈은 시공자의 판단에 따라 임의의 간격 즉, 주로 1일 타설길이인 150~350 m 또는 구조물 접속부에 설치되고 있다(Fig. 1).

2.2 국외 기준

국외 콘크리트 중앙분리대 줄눈에 관련하여 문헌조사를 수행하였다. 호주의 5개 주(Table 1)와 북미(미국, 캐나다) 18개 주(Table 2)의 규정을 확인하였다. 사용되고 있는 팽창줄눈의 간격 기준은 최소 6 m에서 최대 200 m로 조사되어 주마다 편차가 크게 나타났고, 일부 주의 경우에는 팽창줄눈을 두지 않거나, 명시하지 않은 곳도 있었다.

호주의 경우, 주마다 6~200 m의 팽창줄눈 간격을 규정해 두었다. Victoria주는 구체적으로 팽창줄눈을 6 m로 규정하고 있었고, New South Wales주는 도로 콘크리트 포장 줄눈과 일치하는 지점에 팽창줄눈을 설치하고 있었다(Table 1). Queensland주는 기계타설(Extruded barrier)에 의해 설치되고 있는 콘크리트 중앙분리대의 경우 1일 타설길이 또는 최대 200 m 간격으로 팽창줄눈을 설치하고 있으며, South Australia의 경우에는 최소 30 m의 간격을 사용하고 있었다. Western Australia는 팽창줄눈 간격 30 m로 규정해 두었다.

미국의 경우, Table 2와 같이 각 주의 교통국(Department of Transportation)에서 규정한 팽창줄눈 간격을 준수하여 콘크리트 중앙분리대를 시공하고 있다. 조사대상 18개 주에서 8개 주는 팽창줄눈 간격을 명시적으로 규정하고 있고, Delaware 주의 경우 팽창줄눈을 사용하지 않으며, 나머지 9개 주는 구조물 접속부에 설치하고 있다. 팽창줄눈 간격을 규정한 주의 경우도 6~120 m까지 다양한 팽창줄눈 간격을 사용하고 있었다.

팽창줄눈 폭의 경우 몇 개 주(Delaware, Wyoming 등)를 제외하고는 대부분의 주에서 폭을 규정하고 있다. 팽창줄눈 폭의 경우도 팽창줄눈 간격과 유사하게 12~50 mm으로 다양하게 사용하고 있다. 콘크리트 중앙분리대 길이는 온도에 의해서 콘크리트 중앙분리대의 팽창량이 결정되므로 이를 고려하여 팽창줄눈 폭이 결정된 것으로 판단된다.

팽창줄눈의 간격을 구체적으로 규정한 것 외에도 구조물 접속부에 두는 방식(8개 주), 포장 팽창줄눈(또는 포장줄눈)과 일치시키는 방식(5개 주), 1일 타설 길이로 두는 방식(2개 주), 사용은 하고 있으나 간격을 명시하지 않은 방식(2개 주)도 있었다. 특히 New York주의 경우는 중앙분리대 시공 방식에 따라 팽창줄눈의 간격을 다르게 또는 설치할 않는 것으로 조사되었다. 현장 타설 콘크리트 중앙분리대의 경우 6 m마다 팽창줄눈을 설치하였지만 기계타설(Machine formed barriers) 콘크리트 중앙분리대의 경우 구조물 접속부를 제외



Fig. 1 Expansion joints installed in (a) bridge railing and (b) concrete median barrier

Table 1 Expansion joint spacings used in Australia

State	Spacings (m)	Note
Victoria (VicRoads 2012)	6	-
New South Wales (NSW 2017)	4.5	- <i>Concrete pavement joints</i> will be compatible with and coincide with joints. Otherwise provide joint at 4.5 m.
Queensland (Queensland 2017)	≤ 200	- Expansion joints on extruded barriers shall be provided <i>at the end of each day work</i> .
South Australia (South Australia 2011)	≥ 30	- Minimum length of concrete barrier: 30 m
Western Australia (Western Australia 2009)	30	-

Table 2 Expansion joint spacings and width used in U.S. (WisDOT 2009; OG 2010)

State	Spacings (m)	width (mm)	Note
Arkansas	120		- where barriers abut other structures
Delaware	-	-	- no use
Illinois	-		- at pavement expansion joints
Indiana	120	38	- where barriers abut other structures - at the end of each work period pour
Kentucky	-	13	- where barriers abut other structures
Maryland	-	13	- at the end of each day's concrete placement
Michigan	120	25	- where barriers abut other structures
Mississippi	18	25	- always for cast-in-place concrete barriers
Nevada	-	25	- barrier rails on bridges
New Jersey	-	13	- at pavement expansion joints
New York	6	25	- cast-in-place barriers every 20 ft - No expansion joints for machine formed barriers - precast barriers
Ohio	-	19	- using expansion joint but no spacing specified
Oklahoma	60	19	- at a light pole footing - at pavement expansion joints - maximum interval 6 m for contraction joint
Texas	30	25	- matching transverse joints on concrete pavement
Wyoming	-		- using expansion joint but no spacing specified
Ontario	-	12	- where barriers abut other structures
Tennessee	90	50	- where barriers abut other structures
Wisconsin	-	19	- at pavement expansion joints

하고는 팽창줄눈을 설치하지 않았다.

국의 콘크리트 중앙분리대 팽창줄눈 관련 간격을 기준으로 Table 3에 정리하였다. 표에 따르면 상당한 편차가 존재하며 이는 해당 지역의 온도변화, 재료의 특성 등이 반영된 것으로 판단된다. 하지만, 조사된 주들은 공통적으로 구조물의 접속부에 팽창줄눈을 두는 방식을 선호하고 있으며, 가

Table 3 Summary of literature review on expansion joints overseas

Specification	Nation	State
Specific spacing	Australia	Australia: Victoria, Queensland, South Australia, Western Australia
	U.S.	Arkansas, Indiana, Michigan, Michigan, Mississippi, New York, Oklahoma, Texas, Tennessee
Use (no specific spacing)	U.S.	Ohio, Wyoming
Abutting other structures	Australia	South Australia
	U.S.	Arkansas, Illinois, Kentucky, Michigan, New York, Oklahoma, Ontario, Tennessee
Coincidence with pavement expansion joints	Australia	New South Wales
	U.S.	Illinois, New Jersey, Oklahoma, Texas, Wisconsin
No use	U.S.	Delaware

능할 경우 포장 팽창줄눈과도 일치시키고자하는 의도가 있는 것으로 파악된다. 특히 New York주 경우처럼 시공방식에 의한 차이 즉, 기계타설 또는 인력타설 방식에 따른 차이도 고려할 수 있을 것으로 판단된다.

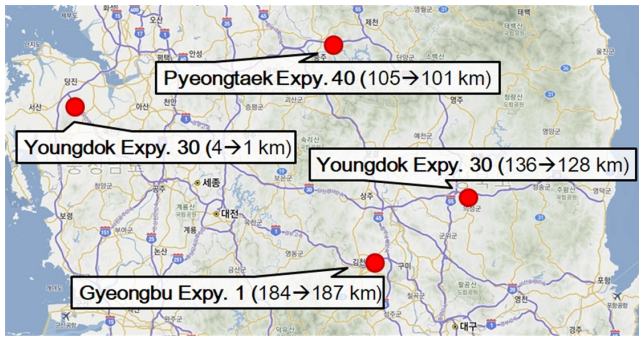
3. 국내 고속도로 팽창줄눈 현장조사

3.1 현장조사 개요

최근 5년간 최종 개통된 고속도로 노선 2개를 포함하여 총 4개 노선(경부 고속도로, 영덕당진 고속도로, 대전당진 고속도로, 평택제천 고속도로)의 팽창줄눈 간격 및 폭 측정을 위한 현장 조사를 하였다(Fig. 2). 현장 측정의 효율성을 제고하기 위해 해당 노선의 전 구간에 대해 개략적으로 조사한 후 특정 구간을 선정하여 상세 측정(Fig. 2(a))을 하였다. 다른 구조물(교량 및 터널)과 인접하게 되는 위치에서는 시공줄눈을 설치하게 되므로 교량과 터널을 포함하는 구간 및 팽창줄눈 간격이 30 m인 구간을 제외한 구간에서 상세 측정이 이루어졌다. 상세 측정 시에는 토탈스테이션 및 워킹미터를 사용하여 팽창줄눈 간격과 폭을 측정하였다(Fig. 2(b)). 팽창줄눈 폭은 온도변화에 따른 콘크리트 중앙분리대의 팽창을 확인하기 위하여 하절기(5~8월)와 동절기(11월)로 두 번 나눠 측정하였다.

3.2 현장조사 결과 분석

현재 공용 중이며 손상이 없는 총 51개의 중앙분리대 팽창



(a)



(b)

Fig. 2 Field investigations: (a) Locations and (b) Methods

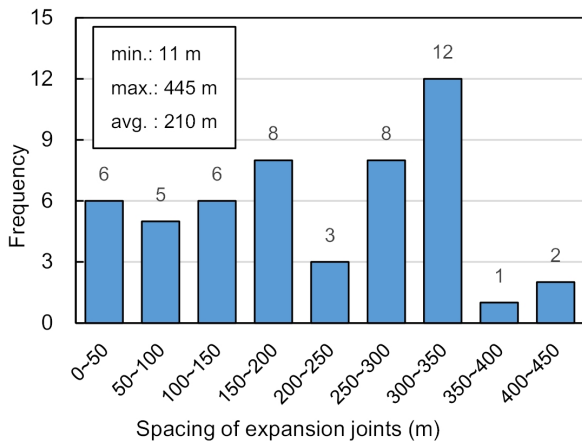


Fig. 3 Results of field investigation of expansion joint spacing in concrete median barriers

줄눈 간격을 조사하여 국내에 시공되고 있는 팽창줄눈 설치 경향을 파악하였다. 최소 간격은 11 m, 최대 간격은 445 m로, 평균 간격은 210 m로 조사 되었다(Fig. 3). 상세 현장조사 결과 중앙분리대 팽창줄눈 간격 300~350 m 구간에 가장 많이 분포하였다. 그리고 통상 1일 기계타설 길이 150~350 m 구간이 상세 조사 구간 전체의 64% (51구간 중 33개 구간) 정도 차지하였다. 따라서 1일 타설 길이에 가장 많이 분포되어 있으며 그 외 간격에도 다수 분포되어 있어 1일 시공 마감부에 시공줄눈을 설치하여 이를 팽창줄눈으로 대체하거나, 시공주체 판단에 따라 팽창줄눈을 설치한 것으로 추정된다.

콘크리트 중앙분리대의 계절적인 온도변화에 의한 팽창수축에 따른 팽창줄눈 폭 변화를 확인하기 위해 중앙분리대 팽창줄눈 폭을 측정하였다. 하절기(5~8월)와 동절기(11월)

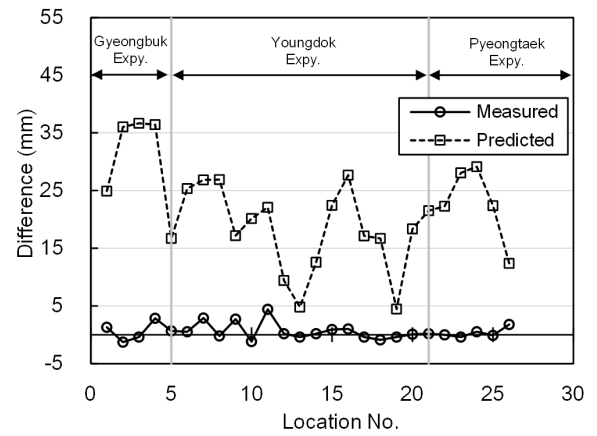
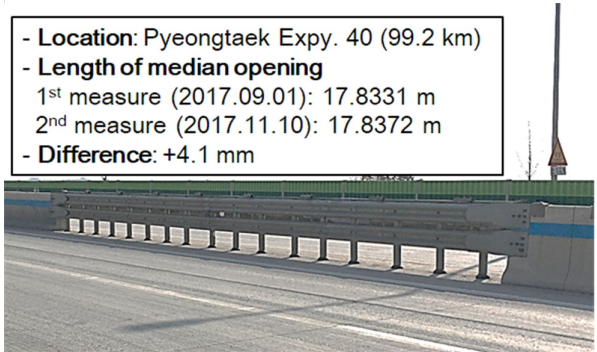


Fig. 4 Results of field investigation of expansion joint width in concrete median barriers



(a)



(b)

Fig. 5 Results of measuring median openings

로 나누어 같은 위치의 팽창줄눈 폭을 측정하여 비교하였다. 현장조사 지점의 하절기와 동절기 온도변화 폭은 10.6~16.4 °C, 팽창줄눈 폭은 하절기 평균 15.8 mm, 동절기 평균 16.3 mm로 측정되었다. 평균적으로 동절기에 측정된 팽창줄눈 폭이 약 0.5 mm 정도 증가하였다. 하지만 하절기와 동절기 평균 팽창줄눈 차이 0.5 mm는 Fig. 4와 같이 중앙분리대의 추정변화길이(Predicted) (예, $\Delta L = \alpha_i \times \Delta T \times L$, 여기서 α_i : 콘크리트 선팽창계수, ΔT : 온도변화량, L : 팽창줄눈 간격의 1/2길이)의 평균 5% 이하의 값으로 측정오차로 판단된다. 따라서 온도에 따른 콘크리트 중앙분리대의 길이변화는 없는 것으로 추정된다. 계절적인 온도변화 10.6~16.4 °C에 대응되는 팽창수축이 중앙분리대에서 측정오차 이내에서 발생하

였으며 현장 조사 동안 온도 팽창에 따른 콘크리트 터짐 (blow-up)과 같은 손상 흔적은 발견되지 않은 것으로 보아 조사 대상의 콘크리트 중앙분리대 조사 시점까지 건전한 상태인 것으로 판단된다.

고속도로 콘크리트 중앙분리대의 팽창줄눈의 경우 실제 폭이 작아 온도신축에 의한 영향도 미미할 것이므로 온도신축에 의한 대변위를 확인하기 위해서 개구부의 간격을 측정하였다(Fig. 5). 중앙분리대의 개구부는 양단이 자유단이므로 중앙분리대의 온도신축이 발생할 경우 눈에 띄는 측정값을 나타낼 것으로 판단하고 개구부 길이를 하절기와 동절기로 나눠 측정하였다. 하지만 측정결과에서 나타나듯이 측정 당시의 온도 차이 10°C만큼 감소했음에도 불구하고 하절기의 측정값과 큰 차이를 나타내지 않았다. 따라서, 고속도로 중앙분리대 팽창줄눈 및 개구부 간격 조사를 통해서 현재 설치된 중앙분리대의 팽창줄눈의 간격은 11~445 m로 편차가 크며, 조사된 중앙분리대의 경우 온도신축이 미미한 것으로 나타났다.

Fig. 6은 현재 콘크리트 중앙분리대의 수축줄눈 및 팽창줄눈의 시공현황을 보여 주고 있다. 고속도로 전문시방서(KEC 2012)나 도로공사 표준시방서(MOLIT 2015)에 따르면 콘크리트 중앙분리대는 현장 기계타설로 시공되며 중앙분리대와 기초콘크리트의 결합을 강화하기 위해 최소 150 mm 이상 두께의 기초콘크리트 위에 길이 250 mm, 직경 25 mm의 철근을 450 mm간격으로 설치하여야 한다. 그리고 수축줄눈의 경우 수축에 의한 균열이 발생하기 전에 폭 6 mm, 깊이 25 mm로 최대 6 m 간격으로 일정하게 설치하며 중앙분리대 기초콘크리트 수축줄눈과 동일한 위치에 설치한다. 또한 팽창줄눈의 경우는 폭 20 mm로 기성 팽창줄눈재를 사용하여 설치하며 시공줄눈으로 사용한다고 명시되어 있다.

현장조사 결과에서도 중앙분리대와 기초콘크리트의 수축줄눈은 6 m 간격으로 설치되어 있는 것으로 조사되었으나 중앙분리대 및 기초콘크리트의 팽창줄눈 위치는 서로 상이한 곳에 설치되어 있는 것으로 확인되었다. 현장조사 결과에 따르면 다음 4 가지로 형태로 중앙분리대와 기초콘크리트의 줄눈이 시공되었다(Fig. 6): ① 중앙분리대 팽창줄눈만 설치, ② 중앙분리대 수축줄눈과 기초콘크리트 팽창줄눈 일치, ③ 중앙분리대 수축줄눈과 기초콘크리트 수축줄눈 일치, ④ 중앙분리대 팽창줄눈과 기초콘크리트 수축줄눈 일치.

이렇게 중앙분리대와 기초콘크리트의 줄눈 시공 위치 상이한 것은 각 구조물의 시공 시기 및 시공자가 서로 다르면서 발생한 것으로 판단된다. 시공현황 조사 결과 중앙분리대의 팽창줄눈이 원활한 역할을 수행하기 위해서는 기초콘크리트의 팽창줄눈과 일치해야 하나, 실제 시공은 그렇지 못한 것으로 조사 되었다. 따라서, 현재 시공된 중앙분리대는 상부 중앙분리대와 하부 기초콘크리트가 Fig. 6과 같이 팽창줄눈이 불일치함으로 인해서 전체의 중앙분리대가 연속적으로 연결되어 있어, 결국 전체의 중앙분리대가 일체거동을 할 것으로 사료된다.

4. 콘크리트 중앙분리대 거동 분석

현장조사 결과를 이해하기 위해 중앙분리대의 온도신축 메커니즘을 파악할 필요가 있다. 일반적으로 콘크리트 중앙분리대 구조체(= 콘크리트 중앙분리대 + 기초콘크리트)에는 온도하중에 의한 팽창력(P_e)과 노반과 기초 사이의 마찰력(P_f)이 작용한다(Kim 2007). 중앙분리대의 팽창력은 온도 및 습도의 영향으로 체적이 변하고 이는 중앙분리대의 종방향 길이변화를 가져오는 팽창력으로 나타난다. 하지만, 기초콘크리트와 노반 사이에는 전단마찰과 골재 맞물림 등으로 인해 마찰저항이 발생하게 된다. 이때 중앙분리대의 팽창력이 마찰력보다 클 경우(팽창구간 내) 중앙분리대의 팽창력에 의해 종방향 팽창이 발생하고(Fig. 7(a)), 마찰력이 팽창력보다 클 경우(비팽창구간 내)에는 중앙분리대의 종방향 변위는 구속되어 움직이지 않는다(Fig. 7(b)). 따라서 주로 중앙분리대 구조체의 양쪽 끝단에서 팽창이 발생하며, 끝단으로부터 일정 길이에 도달하면 마찰력이 더 우세한 구역에 속하게 된다. 하지만 전체 중앙분리대의 길이가 임계길이보다 짧을 경우에는 Fig. 8과 같이 전체구간에서 팽창이 나타날 수 있다. 팽창구간을 나타내기 위해 임계길이(Critical Length, L_c), 즉, 팽창력과 마찰력이 일치하는 지점을 산정하면 중앙분리대의 팽창량을 산정할 수 있다. Fig. 7에서 P_e 는 팽창력, P_{fL} 는 좌측 중앙분리대 마찰력, P_{fR} 는 우측 중앙분리대 마찰력이다.

중앙분리대 구조체의 온도변형을 엄밀하게 평가하기 위해서는 구조체의 상·하면 온도에 대한 실측자료를 바탕으로 하여야 한다. 구조체의 상·하면 온도 차는 대기온도, 일조량, 습도 등에 의해 영향을 받으나 본 검토에서는 대기온도가 구조체 전체에 균일하게 온도가 분포되어 있는 것으로 가정하였다. Fig 7(a)와 같이 팽창력(P_e)은 다음과 같다.

$$P_e = A_c \times E_c (\alpha_t \times \Delta T) \quad (1)$$

여기서, A_c 는 콘크리트 중앙분리대 구조체 단면적, E_c 는 콘크리트의 탄성계수, α_t 는 콘크리트의 선팽창계수, ΔT 는 온도변화이다. 식 (1)이 나타내듯이 중앙분리대 구조체의 팽창력은 중앙분리대의 길이와 상관없이 전 구간에 걸쳐 일정한 값을

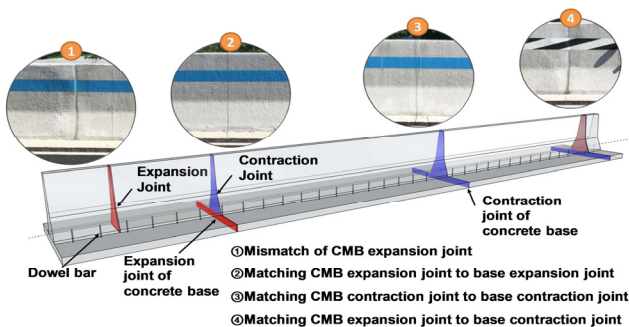
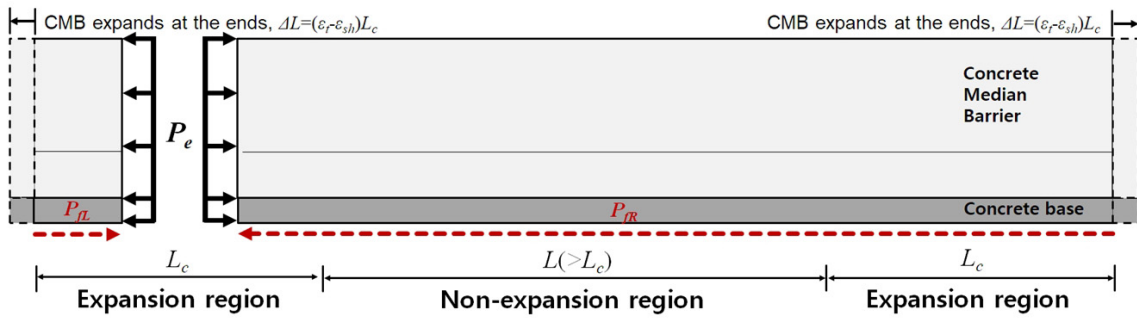
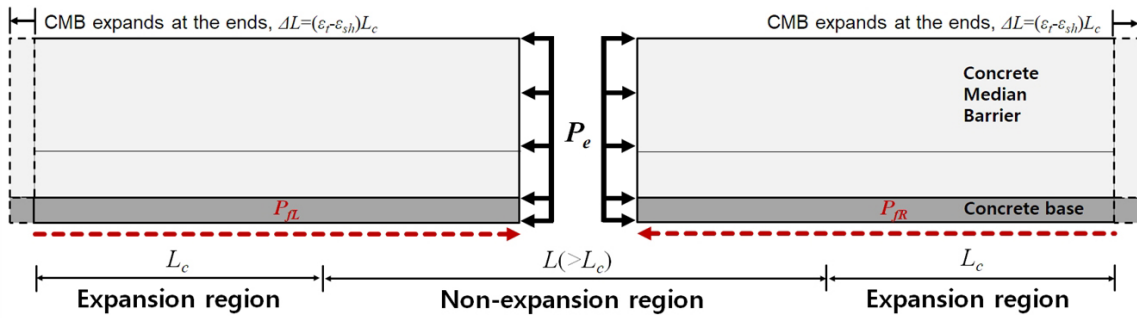


Fig. 6 Current installations of expansion joints in concrete median barrier



(a) Expansion force is larger than friction force ($P_{fL} < P_e, P_{fR} > P_e$)



(b) Expansion force is less than friction force ($P_{fL} > P_e, P_{fR} > P_e$)

Fig. 7 Behaviors of CMB in regions of (a) expansion and (b) non-expansion

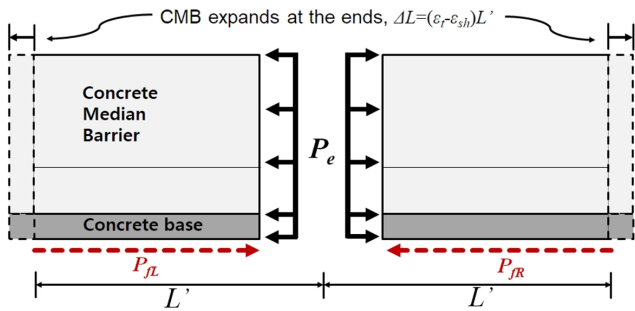


Fig. 8 Behaviors of CMB whose length is less than critical length

나타낸다. 반면에, 하부에 작용하는 중앙분리대의 마찰력 (P_f)은 중앙분리대의 길이에 관한 함수로 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$P_f = \mu(\gamma_c A_c X) \quad (2)$$

여기서, μ = 노반과 기초콘크리트 사이의 마찰계수, γ_c = 콘크리트의 단위중량, X = 중앙분리대의 길이를 나타낸다. 따라서, 식 (1)과 (2)를 이용하여 팽창력(P_e)과 마찰력(P_f)이 평형상태를 이룰 때의 중앙분리대의 길이, 즉 임계길이(L_c)를 산정할 수 있다.

일반적으로, 중앙분리대 구조체의 상·하면 온도차는 대기 온도, 일조량, 습도 등에 의해 크게 영향을 받으나 본 연구에서는 대기온도만을 고려하여 구조체 전체에 균일하게 온도가 분포되어 있는 것으로 가정하였다. 기초콘크리트와 일체화된 중앙분리대 구조체의 경우 타설된 후 발생하는 건조수

축 및 공용 중 온도변화로 인한 구조체 내의 변형은 기초콘크리트와 노반과의 마찰력에 의해 구속된다. 이때 중앙분리대 구조체에 작용하는 힘은 다음 식과 같이 나타낼 수 있으며 사용된 계수는 교량설계에서 적용되는 콘크리트 기준을 적용하였다(MOLIT 2016, MOLIT 2010).

팽창력(온도팽창률+건조수축률):

$$P_e = (\epsilon_t - \epsilon_{sh}) E_c A_c \quad (3)$$

마찰력(기초콘크리트와 노반):

$$P_f = \mu N = \mu(\gamma_c A_c X) \quad (4)$$

여기서,

$$\epsilon_t = \alpha_t \cdot \delta_t$$

ϵ_t : 온도에 의한 콘크리트 변형률(300×10^{-6})

α_t : 선팽창계수 $10 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ 로 가정,

2016 도로교설계기준-한계상태설계법 5.5.1.3(4) (MOLIT 2016)

Δt : 30°C (최고온도 35°C , 시공온도 5°C 로 가정), 2010 도로교설계기준 3.14.1.1(MOLIT 2016)

ϵ_{sh} : 건조수축에 의한 콘크리트 변형률(200×10^{-6}) (철근량 0.5%미만으로 가정, 도설(2010) 2.1.7(5)) (MOLIT 2010)

E_c : 콘크리트 탄성계수

A_c : 콘크리트 중앙분리대 구조체 단면적 (중앙분리대 + 기초콘크리트) 단면적

μ : 마찰계수 (0.55로 가정, 콘크리트와 실트가 섞이지 않은 모래나 자갈)

N : 중앙분리대와 기초콘크리트 무게에 의한 기초콘크

리트와 노반 사이에 작용하는 수직력

γ_c : 콘크리트의 단위중량
 X : 중앙분리대의 길이

팽창줄눈 임계길이를 산정하기 위해 구조체의 팽창력과 구조체에 작용하는 마찰 저항력은 같으므로 정리하면 임계 길이는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \text{식 (3)} &= \text{식 (4)} \\ P_c &= P_{f1} \\ (\epsilon_t - \epsilon_{sh})E_c A_c &= X(\mu\gamma_c A_c) \end{aligned} \quad (5)$$

임계길이(L_c):

$$\therefore L_c = X = \frac{(\epsilon_t - \epsilon_{sh})E_c}{\mu\gamma_c} \quad (6)$$

식 (6)을 사용하여 산정한 예상되는 임계길이(L_c)는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} L_c &= \frac{(\epsilon_t - \epsilon_{sh})E_c}{\mu\gamma_c} \\ &= \frac{(300 - 200)10^{-6} \times 26637 \times 10^6}{0.55 \times 2350 \times 9.8} \\ &= 210 \text{ m} \end{aligned} \quad (7)$$

식 (7)에서 산정된 임계길이(L_c) 210 m는 도로교설계기준-한계상태설계법(MOLIT 2016)에서 규정한 최저시공온도(5°C)와 최고온도(35°C)를 고려한 수치이다. 주어진 온도변화 조건에서 산정된 210 m 임계길이 내에서는 팽창력이 마찰력보다 커 온도에 의한 콘크리트 중앙분리대 길이 변화가 발생하며 임계길이를 초과하는 길이에서는 온도에 의한 콘크리트 중앙분리대 길이 변화는 발생하지 않는다. 다만, 규정을 초과하는 이상온도에서의 임계길이는 210 m를 초과할 수 있으며 식(3)과 (4)를 이용하여 재산정 할 수 있다.

그리고 만약 Fig. 8과 같이 중앙분리대의 길이가 충분히 길이 짧은 경우 즉, 중앙분리대의 한쪽 길이(L')가 임계길이(L_c)보다 짧은 경우에는 전체 중앙분리대의 중심을 기준으로 양쪽으로 중앙분리대의 한 쪽 길이(L')만큼씩 팽창하게 될 것이다.

현장 조사와 콘크리트 중앙분리대 거동분석 결과를 바탕으로 하절기 온도 상승으로 발생 가능한 콘크리트 중앙분리대의 최대 팽창 길이는 21 mm로 예상된다. 현재 시방서에 규정된 팽창줄눈 간격이 20 mm 점을 고려한다면 초과에 따른 대책이 필요 할 것으로 판단된다.

5. 팽창줄눈 설치방안 제안

현장 조사 및 콘크리트 거동분석 결과에 따르면 온도 상승에 따른 콘크리트 중앙분리대 최대 팽창길이는 현재의 팽창 줄눈 폭(20 mm)를 초과하므로 이에 대한 대책이 필요하다.

따라서 콘크리트 포장 팽창줄눈 폭원과의 일관성 유지를 고려하여 팽창줄눈 폭원을 30 mm로 확대하여 주변 구조물에 영향을 주지 않도록 하는 것이 적절할 것으로 판단된다. 또한, 구조물 접속부의 경우는 기초콘크리트와 중앙분리대 팽창줄눈을 동일한 위치에 시공하여 중앙분리대 구조체(= 중앙분리대 + 기초콘크리트) 전체 팽창을 팽창줄눈재가 균일하게 수용케 하는 것이 적절해 보인다. 따라서 팽창줄눈 시공방법은 다음과 같이 요약할 수 있다.

- 1) 콘크리트 중앙분리대 팽창줄눈은 구조물 접속부에 설치하여야 한다.
- 2) 중앙분리대와 기초콘크리트의 팽창줄눈은 동일한 위치에 설치하여야 한다.
- 3) 팽창줄눈은 기성 팽창줄눈재를 사용하여야 하며, 그 폭원은 30 mm로 한다.
- 4) 콘크리트 중앙분리대의 시공온도(시공시작 시점의 온도)는 10°C 이상이어야 하며, 5°C 이하 시공은 동절기 시공역제 차원에서 금지하며 6~9°C 경우에도 극히 예외적인 경우에 한해서 품질관리 책임자의 허가를 득한 후에 시공할 수 있다.

6. 결 론

본 논문은 콘크리트 중앙분리대 팽창줄눈 간격 및 폭을 제안하였다. 이를 위해 국내외 관련 규정 및 현장조사 그리고 콘크리트 중앙분리대의 온도 팽창에 따른 거동 메커니즘을 분석하였으며 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- 1) 조사된 미국과 호주의 팽창줄눈 간격 규정은 6~200 m 까지 상당한 편차와 다양한 간격을 보였으나, 구조물 접속부에 두는 방식과 포장 팽창줄눈(또는 포장줄눈)과 일치시키는 방식이 많은 주에서 사용되고 있었다. 특히 뉴욕주의 경우는 현장 타설 콘크리트 중앙분리대의 경우 6 m마다 팽창줄눈을 설치하였지만, 기계타설 콘크리트 중앙분리대의 경우 구조물 접속부를 제외하고는 팽창줄눈을 설치하지 않았다.
- 2) 총 4개 노선(경부 고속도로, 영덕당진 고속도로, 대전 당진 고속도로, 평택제천 고속도로)의 팽창줄눈 간격 및 폭 측정을 위한 현장 조사를 하였고, 전체 상세 조사 대상 중 64%의 중앙분리대 간격이 1일 기계타설 길이(150~350 m)에 분포하고 있었다. 온도변화에 따른 중앙분리대 길이 변화를 확인하기 위해 하절기와 동절기로 나눠 팽창줄눈 폭과 개구부의 폭을 측정하였으나 온도변화에 따른 중앙분리대 길이변화는 미미한 것으로 나타났다.
- 3) 기초콘크리트와 노반과의 마찰력으로 인해 중앙분리대의 길이변화가 제한되는 길이인 임계길이(L_c)를 사용하여 적절한 팽창줄눈 간격 산정을 위해 중앙분리대 구조체에 발생하는 팽창력과 마찰력을 산정하여 임계 길이 210 m을 산정하고 팽창줄눈 폭 30 mm를 제안하였다.

4) 콘크리트 팽창줄눈 설치 위치 및 시공방법 그리고 제한사항을 제안하였다. 팽창줄눈은 기성 팽창줄눈재를 사용하여 구조물 접속부 및 기초콘크리트 팽창줄눈과 동일한 위치에 설치하며 그 폭원은 콘크리트 포장의 팽창줄눈 폭원과 동일한 30 mm로 제안하였다.

감사의 글

본 연구는 한국도로공사 도로교통연구원과 충남대학교 학술연구비 지원을 받아 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

References

Byun, K. J., Lee, S. M., and Yim, G. J. (1990) Development of analytical model for cement concrete pavements considering joint behavior. *Journal of the Korea Concrete Institute* 2(4), 91-98. (In Korean)

Kim, S. M. (2007) Features of critical tensile stresses in jointed concrete pavement under environmental and vehicle loads. *Journal of the Korea Concrete Institute* 19(4), 449-456. (In Korean)

Korea Expressway Corporation, KEC (2012) *Specifications for the construction of expressway*. Korea Expressway Corporation. (In Korean)

Korea Expressway Corporation, KEC (2017) *Development of an optimized section of SB6 concrete median barrier: Final*. Korea Expressway Corporation. (In Korean)

Lee, S. J., Lee, H. K., Lee, S. H., and Won, J. P. (2011) Quantitative estimation of joint spacing for concrete slab to prevent cracking of drying shrinkage. *Journal of the Korea Concrete Institute* 23(3), 289-294. (In Korean)

Ministry of Land, Infrastructure and Transport, MOLIT (2010) *Road bridge design specifications*. Ministry of Land, Infrastructure and Transport. (In Korean)

Ministry of Land, Infrastructure and Transport, MOLIT (2014) *Guidelines for installation and maintenance of road safety facilities-Safety barrier*. Ministry of Land, Infrastructure and Transport. (In Korean)

Ministry of Land, Infrastructure and Transport, MOLIT (2015) *Specifications for the construction of road*. Ministry of Land, Infrastructure and Transport. (In Korean)

Ministry of Land, Infrastructure and Transport, MOLIT (2016) *Bridge design specifications(Limit state design)*. Ministry of Land, Infrastructure and Transport. (In Korean)

New South Wales Government, NSW (2017) *Standard Drawing, R0720 Safety Barrier Series-Rigid*. New South Wales Road & Maritime.

Ontario Government, OG (2010) *Construction specification for concrete barriers*. Ontario Provincial Standard Specification.

Queensland (2017) *Type F concrete barrier*. Queensland Government Department of Main Roads.

South Australia (2011) *Standard Drawing-Concrete Barrier Installation*. Department for Transport, Energy and Infrastructure, Government of South Australia.

VicRoads (2012) *Standard Drawing 3901 Concrete Barriers Installation Details Type F Shape*. VicRoads.

Western Australia (2009) *Concrete Barrier-Type F design sheet*. Mainroads Western Australia.

Wisconsin Department of Transportation, WisDOT (2009) *Expansion joints in concrete barrier*. Wisconsin Department of Transportation.

요약 콘크리트 중앙분리대의 팽창줄눈은 온도팽창으로 인해 발생하는 응력에 의한 손상을 막기 위해 설치된다. 그러나 설치된 팽창줄눈의 간격은 구체적인 산출 근거나 정량적인 기준 없이 시공주체의 판단에 의해 1일 기계 타설길이를 설치되고 있다. 따라서 본 논문에서는 국내외 콘크리트 중앙분리대의 팽창줄눈 기준 검토, 국내 고속도로 팽창줄눈 현장조사 및 팽창 메커니즘 분석을 통해 적정 팽창줄눈 간격 및 폭원을 제안하고자 한다. 국외 기준 및 국내 현장 조사 결과 다양한 간격으로 팽창줄눈이 설치되고 있었다. 콘크리트 중앙분리대의 팽창 메커니즘 분석을 통하여 기초콘크리트와 노반과의 마찰력으로 인해 중앙분리대의 길이변화가 제한되는 길이인 임계길이(Critical Length) 개념을 제안하였다. 적절한 팽창줄눈 간격 산정을 위해 콘크리트 중앙분리대에 발생하는 팽창력과 마찰력을 산정하여 임계길이 210 m를 산정하고 팽창줄눈 폭원 30 mm를 제안하였다. 또한 팽창줄눈 설치 위치, 시공방법 및 제한사항을 제안하였다.

핵심용어 : 콘크리트 중앙분리대, 온도, 팽창줄눈, 간격, 폭