

80 MPa급 고강도 콘크리트를 활용한 2거더교 RC 장시간 바닥판의 최소두께

배재현 · 유동민 · 황훈희* · 김성태*

한국도로교통협회 기술국 · *한국건설기술연구원
(2014. 7. 8. 접수 / 2014. 8. 20. 수정 / 2014. 8. 26. 채택)

Minimum Thickness of Long-Span RC Deck Slabs for 2-girder Bridges Designed by 80 MPa Concrete

Jae-Hyun Bae · Dong-Min Yoo · Hoon-Hee Hwang* · Sung-Tae Kim*

Korea Road & Transportation Association · *Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology
(Received July 8, 2014 / Revised August 20, 2014 / Accepted August 26, 2014)

Abstract : To ensure durability and light weight of bridges, high-strength concrete is required for long-span deck slabs. Such a technology eventually extends the life of bridges and improves the economic efficiency. The results of this study suggests a formula for calculating the minimum thickness of long-span deck slabs built with high strength concrete. The minimum thickness is proposed based on the limit states indicated in the CEB-FIP Model Code and the Korean Highway Bridge Design Code(limit state design). The design compressive strength of concrete used for the study is 80 MPa. Moreover, the required thickness for satisfying the flexural capacity and limiting deflection is estimated considering the limit state load combination. The formula for minimum thickness of deck slabs is proposed considering the ultimate limit state(ULS) and the serviceability limit state(SLS) of bridges, and by comparing the Korean Highway Bridge Design Code and similar previous studies. According to the research finding, the minimum thickness of long-span deck slab is more influenced by deflection limit than flexural capacity.

Key Words : minimum thickness, high-strength concrete, long-span bridge deck, limit state design, RC deck

1. 서론

최근 사회간접자본시설(Social overhead capital facilities)의 수명 연장은 국가적 중대 관심사가 되고 있다. 그 중 교량은 국내의 경우 평균 설계 수명이 50년 정도로, 70년 ~ 200년 정도인¹⁾ 선진국에 비해 상대적으로 많은 유지관리비용이 소요되며 잦은 보수, 보강, 교체로 인해 교통 체증과 안전 문제를 유발시키고 있다.

특히, 교량의 철근콘크리트바닥판(이하 바닥판)은 평균 수명이 17년이라는 보고사례에서 알 수 있듯이 손상 위험이 매우 높은 부재이므로 내구성 향상을 위한 대책이 가장 절실한 대상이라고 할 수 있다²⁾.

바닥판의 잦은 손상은 차량 하중을 직접 지지하는 기능적 특성상 중차량의 통행에 따른 피로가 직접적 원인으로 작용하는 것으로 알려져 있으며, 염분에 의

한 부식과 동결 융해 등 화학적 및 환경적 요인에 의해 가속화되어 편칭전단 형태로 발현된다³⁾. 이러한 문제를 해결하기 위해 현장 품질관리를 강화하고 바닥판 최소두께 규정을 지속적으로 증가시키는 등 다양한 노력을 기울여왔으며, 최근에는 고성능 재료의 개발과 적용을 통하여 내구성 향상과 동시에 구조물의 경량화와 슬림화를 추구하려는 시도가 진행되고 있다⁴⁾⁵⁾.

고성능 재료는 강도 및 내구성 등 성능이 뛰어난 반면 일반적인 철근콘크리트에 비해 가격이 높아 단면 슬림화를 통해 경제성을 확보해야 활용 가치를 증대시킬 수 있다. 즉 고성능 재료의 특성을 극대화할 수 있도록 합리적인 바닥판 최소두께 기준을 제시하여야 한다.

그러나 도로교설계기준⁶⁾의 바닥판 최소두께 규정은 주로 거더 간격이 좁은 교량바닥판을 대상으로 제시되었기 때문에 경량 및 슬림화를 위해 필연적으로 수반되

* Corresponding Author : Hoon-Hee Hwang, Tel : +82-02-3490-1041, E-mail : poonhee@krta.co.kr

Korea Road & Transportation Association, 805, DaewangPangyoro, Sujeong-gu, Seongnam-si, Gyeonggi-do 461-703, Korea,

는 장시간 바닥판을 대상으로 적용하면 바닥판이 두꺼워져 고정하중의 영향이 증가되는 문제점이 있다⁷⁾. 이를 개선하기 위해 2거더교의 RC 및 PSC 장시간 바닥판의 최소두께를 합리적으로 제안하기 위한 다수의 연구^{3), 8)-12)}가 수행되었으나 일반적인 콘크리트와 철근을 사용한 경우를 대상으로 하였으므로 고성능 재료의 구조적 장점을 반영하지 못하였다.

따라서 이 연구에서는 한계상태설계기준에 기반하여 80 MPa급 고강도 콘크리트를 적용한 철근콘크리트 구조를 갖는 장시간 바닥판의 최소두께식을 극한한계상태와 사용한계상태 검토를 통해 제안하였다. 이 때 장시간 바닥판이 적용되는 소수거더교의 대표적 형식인 2개의 거더만으로 지지된 도로교의 거더 내측 정모멘트부 바닥판을 대상으로 하였으며, 거더 간격 즉 바닥판의 지간은 실제 적용사례¹³⁾를 참고하여 4 m~10 m 범위로 한정하였다. 특히 지간 8 m 이상의 지간을 가지는 바닥판은 실용적 관점에서 볼 때 채택 가능성이 매우 드물기는 하지만 해외에 사례가 있으며 고강도 재료의 적용성을 검토하는 의미에서 연구 범위에 포함하였다.

2. 바닥판 최소두께 기준

국내·외 바닥판 정모멘트부의 최소두께기준은 Table 1과 같으며, 설계 및 현장 여건을 고려하여 최소두께 이상의 값을 사용하고 있다. 국내 기준은 시공 기술력과 환경적 요인(과적 차량 통행, 제설제 살포) 등을 고려하여 해외보다 높은 두께를 요구하고 있으며, 이러한 기준으로 인해 고성능 재료를 적용하는 경우에도 관련 연구나 실험적 검증이 수행되지 않으면 최소

Table 1. Minimum Depth for Bridge Decks

Nations and Codes	Minimum Depth for Decks
United States of America, AASHTO LRFD Bridge Design Specifications, 2012 ¹⁴⁾	7" (178 mm)
Canada, Canadian Highway Bridge Design Code, 2010 ¹⁵⁾	175 mm
Japan, 道路橋示方書·同解説, 2012 ¹⁶⁾	max(160 mm, 40L+110)
Republic of Korea, Korean Highway Bridges Design Code(Limit State Design), 2010	<ul style="list-style-type: none"> • Traditional Design : max(220 mm, 40L+130) • Empirical Design : 240 mm
Republic of Korea, Korean Highway Bridges Design Code(Limit State Design), 2012 ¹⁷⁾	<ul style="list-style-type: none"> • Traditional Design - Steel bridges : 220 mm - Concrete bridges : 240 mm • Empirical Design : 240 mm

Where, L : length of deck slab(m)

두께 기준을 준용할 수 밖에 없어 재료 특성과 경제성 향상을 충분히 기대하기 어렵다. 따라서 교량 형식이나 재료 특성을 고려한 합리적인 바닥판 최소두께식이 제시되어야 한다.

3. 유한요소해석

하중효과에 의한 바닥판의 단면력을 산정하기 위해 유한요소해석을 수행하였다. 국내 하중 특성을 반영하기 위해 활하중 및 하중계수, 하중조합은 도로교설계기준(한계상태설계법)(2012)를 준용하였다. 즉, 활하중 재하를 위한 표준트럭하중으로는 4개의 축으로 구성된 KL-510 모형을 채택하였고, Table 2와 같이 극한한계상태 하중조합II, 사용한계상태 하중조합 I를 적용하였으며, 바닥판 지간이 늘어남에 따라 과도한 하중효과가 반영되는 것을 막기 위해 다차로재하계수를 고려하였다.

바닥판 유한요소모델은 장시간 바닥판의 경계인 거더 간격 4 m 이상부터 6, 8, 10 m를 대상으로 모델링하였으며, 영향면 해석을 수행하여 주어진 하중에 의한 최대모멘트, 최대처짐값을 도출하였다. 이 때 바닥판 해석모델은 1377개의 4절점 Plate 요소를 사용하여 구축하였으며, 경계조건은 2개의 거더축을 따라 단순지지하여 안전측의 결과를 유도하였다(Fig. 1). 해석은 범용구조해석프로그램인 MIDAS Civil LSD+를 사용하였다.

4. 한계상태를 고려한 최소두께

4.1. 극한한계상태를 고려한 최소두께

도로교설계기준(한계상태설계법)(2012)는 70 MPa 이하인 보통 및 고강도 콘크리트와 경량콘크리트에 대하여 규정되어 있으며, 재료의 강도가 높아지면 재료 특

Table 2. Load combinations and load factors

Limit States	Load Combinations
The Ultimate Limit State II	1.25 DC + 1.50 DW + 1.40 LL
The Serviceability Limit State I	1.00 DC + 1.00 DW + 1.00 LL

Where, DC : dead load of structural components and nonstructural attachments
 DW : dead load of wearing surfaces and utilities
 LL : vehicular live load

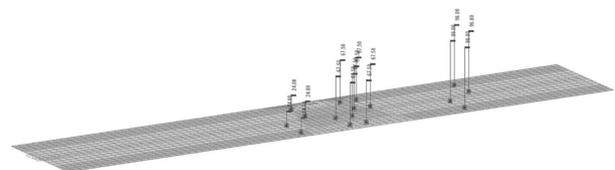


Fig. 1. The finite element analysis model of slab($L=4.0$ m).

성과 거동 특성이 달라지게 된다.

이 연구에서는 80 MPa급 고강도 콘크리트를 사용하여 바닥판의 최소두께를 산정하였으며, 재료의 특성을 고려한 단면설계를 위해 120 MPa까지 적용 가능한 CEB-FIP Model Code(2010)¹⁸⁾에 따라 휨 강도에 의한 바닥판 최소두께를 도출하였다.

도로교설계기준(한계상태설계법)(2012)와 CEB-FIP Model Code(2010)은 모두 한계상태를 기반으로 한 설계 기준이며, 실질적인 콘크리트 재료특성을 반영한 설계를 위하여 응력-변형률 곡선 모델을 제공하고 있다. 두 설계기준의 개념은 같으나 제한하는 콘크리트 강도가 상이함에 따라 계수들에 있어 약간의 차이를 가진다.

Fig. 2은 CEB-FIP Model Code(2010)에서 제한하는 콘크리트의 응력-변형률 곡선으로 최대강도 일 때 변형률, ϵ_{c1} 과 극한변형률, $\epsilon_{c,lim}$ 은 Code에서 제시하는 0.0028, 0.0031을 적용하였다. 또한, 탄성계수 역시 Code에서 제시한 식 (1)을 이용하여 산정하였다.

$$E_{ci} = E_{c0} \alpha_E \left(\frac{f_{ck} + \Delta f}{10} \right)^{1/3} \quad (1)$$

여기서 α_E 는 골재 종류에 따른 계수로서 0.9를 적용하였고 E_{c0} 는 21500 MPa를 적용하였다.

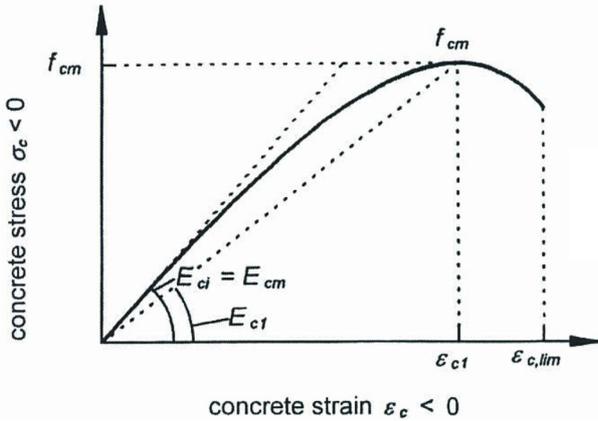


Fig. 2. Schematic representation of the stress-strain relation for uniaxial compression¹⁹⁾.

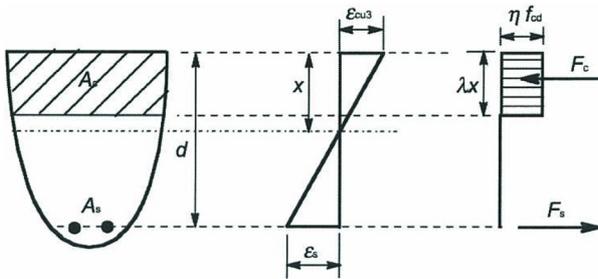


Fig. 3. Rectangular stress distribution²⁰⁾.

또한, Code에서는 Fig. 3과 같이 콘크리트 압축응력과 압축 깊이에 특정한 계수를 적용하여 등가응력사각형으로 환산하여 간단히 계산할 수 있도록 하였다. 압축응력높이계수(λ)와 평균압축응력계수(η)는 식 (2), (3)과 같다.

$$\lambda = 0.8 - \left(\frac{f_{ck} - 50}{400} \right) \text{ for } 50 < f_{ck} \leq 90 \text{ MPa} \quad (2)$$

$$\eta = 1.0 - \left(\frac{f_{ck} - 50}{200} \right) \text{ for } 50 < f_{ck} \leq 90 \text{ MPa} \quad (3)$$

따라서 식 (2), (3)에 의해 압축응력높이계수와 평균 압축응력계수는 각각 0.725, 0.85를 적용하였다. 또한, 콘크리트와 철근의 재료계수는 각각 0.67, 0.87을 적용하였다. 피복두께는 환경조건, 재료특성 및 사용수명 등에 따라 매우 다양하게 계산되므로 일반적이고 보편인 경우만을 고려하여 40 mm로 가정하였다.

유한요소해석을 통해 얻어진 최대휨모멘트에 저항할 수 있는 최소 수준의 두께를 도출하였다. 이 때 두께를 줄이기 위해 철근의 사용량을 늘리더라도 부재의 연성 파괴는 확보되어야 하므로 사용된 철근비는 최대철근비를 넘지 않는 수준으로 제한하였다. 또한, 실제 바닥판 설계 시에는 철근 간격 규정에 따라 배치될 수 있는 철근 상세가 제한적이므로 철근 직경 및 철근 강도에 따라 실제 배근량이 조정되어 두께 결정에 영향을 미치게 된다. 따라서 이 연구에서는 4가지 지간(4, 6, 8, 10 m)에 대하여 철근의 항복강도(400, 500, 600 MPa)를 달리하여 바닥판의 최소두께를 산정하였다.

Fig. 4는 철근의 항복강도에 따른 지간별 바닥판 최소두께로서 바닥판 지간이 늘어남에 따라 요구되는 모멘트의 크기도 증가되므로 이에 비례하여 바닥판 두께

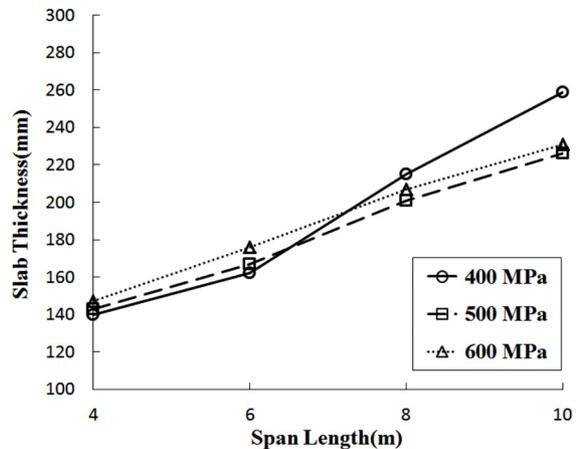


Fig. 4. Minimum Thickness of slab according to the yield strength of reinforcement.

가 늘어나는 결과를 보였다. 그러나 항복강도가 400 MPa인 철근을 사용한 지간 8 m 이상에서는 바닥판 두께가 급격히 증가하였는데, 이는 설계에서 요구되는 철근량과 실제로 배근할 수 있는 철근량의 차이 때문이다. 즉, 지간이 늘어남에 따라 바닥판에 발생하는 하중효과가 커지게 되면 설계에서 요구되는 철근량이 늘어나지만, 바닥판 철근 배근 간격 규정은 100 mm~300 mm 범위로 제한되며 직경에 대해서 9.53 mm~22.2 mm 범위의 철근을 표준으로 권장하므로 인장축에 실제로 배근이 가능한 철근량은 단위폭 당 10개 및 최대 3871 mm² 이하로 한정된다. 따라서 부재가 요구되는 휨 저항 성능에 이르게 하기 위해서 두께를 증가시키게 되며, 이러한 효과가 반영된 결과로 볼 수 있다. 또한, 위의 경우를 제외하면 고강도 철근을 사용할수록 바닥판 단면의 두께를 오히려 증가시켜야 하는 것으로 나타났는데, 이는 부재의 연성 파괴를 유도하기 위한 최대철근비가 고강도 철근일수록 작게 계산되어 사용할 수

있는 철근량이 축소되었기 때문이다. Fig. 5에는 바닥판 지간에 따른 철근의 항복강도별 바닥판 최소두께를 나타내었다.

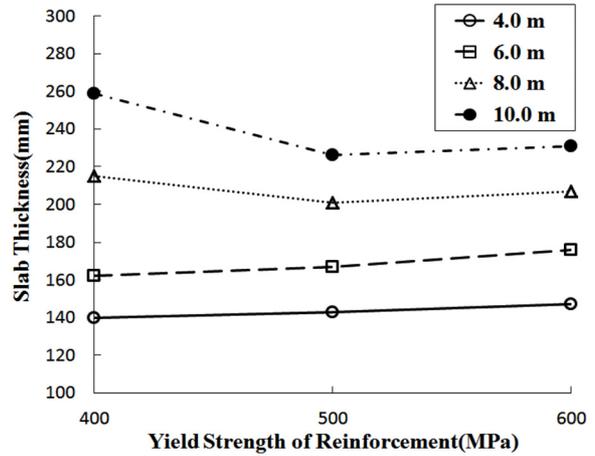
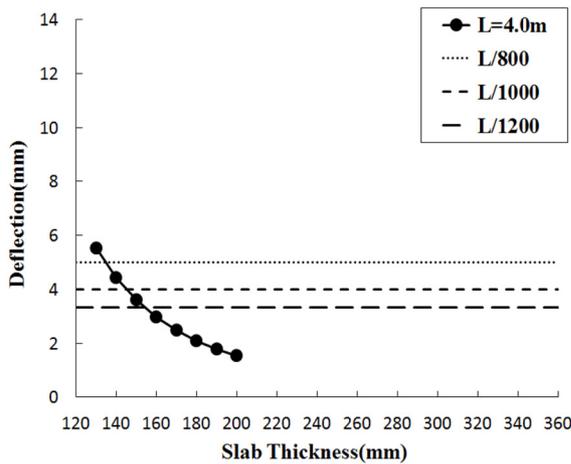
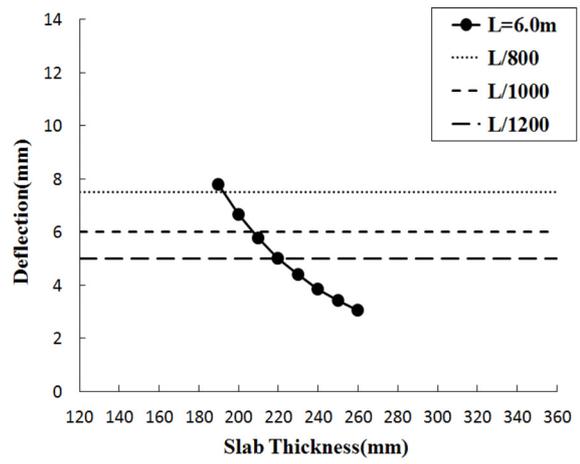


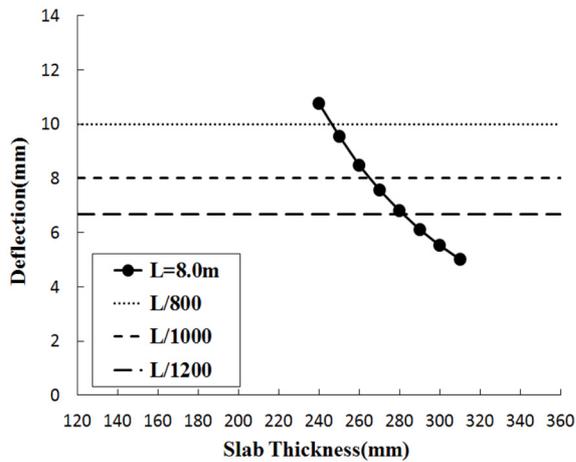
Fig. 5. Minimum thickness of slab according to the span length of slab.



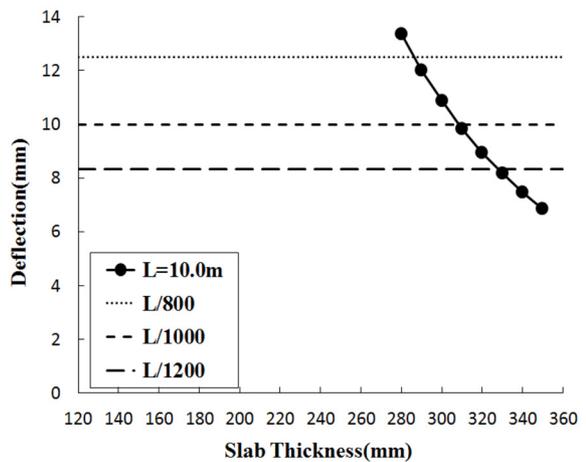
(a) Span length : 4.0 m



(b) Span length : 6.0 m



(c) Span length : 8.0 m



(d) Span length : 10.0 m

Fig. 6. Deflections according to the slab thickness.

한편 설계기준에서는 운하중의 작용에 의한 바닥판의 뒤틀림전단 거동을 검토하기 위하여 정적재하상태에 기초한 평가식을 제시하고 있으며 휨설계에서 요구되는 두께로 약 1.4배 이상의 충분한 안전성을 가지는 것으로 검토되었다. 이 때 바닥판은 두께가 얇은 부재로서 일반적으로 전단철근이 배근되지 않으므로 전단 보강되지 않은 경우에 국한하였다.

4.2. 사용한계상태를 고려한 최소두께

도로교설계기준(한계상태설계법)(2012)에서는 사용한계상태에 대해 정상적인 사용조건 하에서 응력, 변형, 균열폭, 처짐을 제한하는 규정을 두고 있다. 여기에서는 사용한계상태 하중조합에 의해 유발된 철근의 인장응력이 $0.8f_y$ 를 초과하지 않는 것으로 가정하였고 설계기준의 철근 지름 및 간격 등 철근상세 규정을 준용함으로써 균열폭이 허용 한계값 이내에 있는 것으로 간주하였다. 따라서 활하중과 그 동적 효과에 의해 유발되는 바닥판의 처짐이 한계값(δ_{max})을 초과하지 않도록 바닥판 지간별 최소두께를 산정하였다.

$$\begin{aligned} \delta_{max} &= L/800 \quad (\text{사람의 통행이 없는 경우}) \\ &= L/1000 \quad (\text{제한된 수의 사람이 통행}) \\ &= L/1200 \quad (\text{많은 사람이 통행하는 경우}) \end{aligned}$$

여기서 δ_{max} 는 설계기준에서 제시하는 최대 처짐 제한값(m)이며, L 은 바닥판 받침부 중심간 거리(m)이다.

바닥판 두께에 따른 처짐값의 변화를 Fig. 6에 나타내었으며, 동일 지간에서 바닥판 두께가 증가할수록 처짐은 감소하는 경향을 보이고 있다.

Fig. 7은 지간별로 처짐 한계값을 만족시키는 바닥판 최소두께를 나타낸 것으로 바닥판 지간이 증가할수록 요구되는 바닥판의 두께도 증가하는 것으로 나타났다.

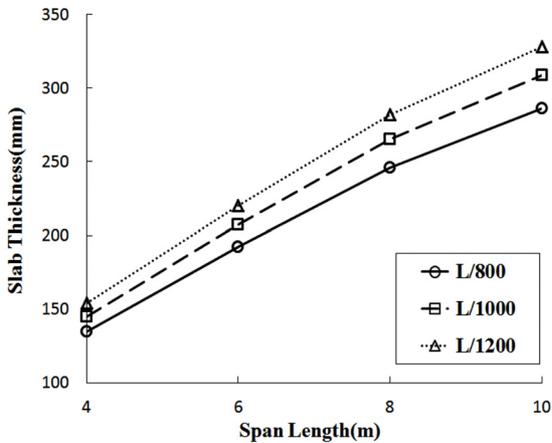


Fig. 7. Minimum thickness for deflection limits.

많은 사람이 통행하는 경우 처짐 한계값($L/1200$)을 만족시키기 위한 바닥판 두께는 지간이 4, 6, 8, 10 m 일 때 각각 154.16, 220.11, 281.75, 327.89 mm로 나타났으며, 제한된 수의 사람이 통행하거나 사람의 통행이 없는 경우에는 요구되는 바닥판의 두께가 감소된다.

5. 최소두께의 비교

극한한계상태와 사용한계상태를 만족하는 바닥판의 최소두께를 비교하고 바닥판 지간별로 가장 지배적인 최소두께를 이용하여 최소두께식을 제안하였다.

Fig. 8은 4장에서 나온 결과를 한 그래프에 도식한 것으로서 지간 4 m의 경우를 제외한 거의 모든 지간에서 사용한계상태에 대한 처짐 제한을 충족하기 위해 필요한 바닥판 두께가 최소두께를 결정하는 요인을 지배하는 것으로 나타났다. 또한, 바닥판 지간이 늘어남에 따라 극한한계상태에 따른 휨에 대한 저항성능을 확보하기 위해 필요한 두께와 사용한계상태에 따른 처짐 제한을 충족하기 위해 필요한 두께의 차이의 폭이 커지는 것으로 나타났다.

각 지간별로 요구되는 두께 중 가장 큰 값을 이용하여 직선회귀분석을 통해 관계식을 도출하고 이를 모든 경우의 수가 안전측의 결과를 나타내도록 평행 이동하면 다음과 같은 식 (4)를 얻을 수 있다.

$$t_{min} = 29L + 50 \quad (4)$$

여기서 t_{min} 은 바닥판의 두께(mm)이며, L 은 바닥판의 지간(m)으로 4 m~10 m의 범위이다.

위의 식(4)에 따른 최소두께를 선행 연구¹²⁾ 결과 및 기존 도로교설계기준(2010)의 최소두께 규정과 비교하여 Fig. 9에 나타내었다. 제안식($29L + 50$)에 의한 최소

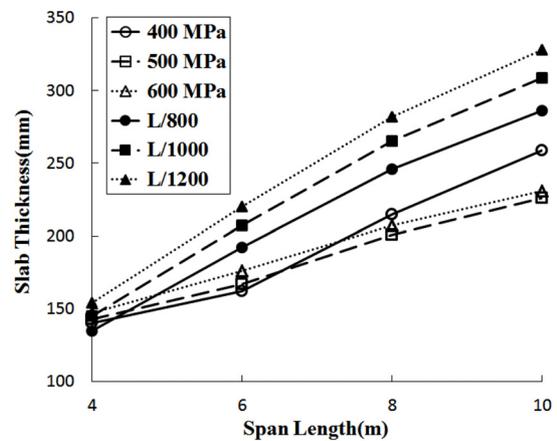


Fig. 8. Comparison of the thickness for limit states.

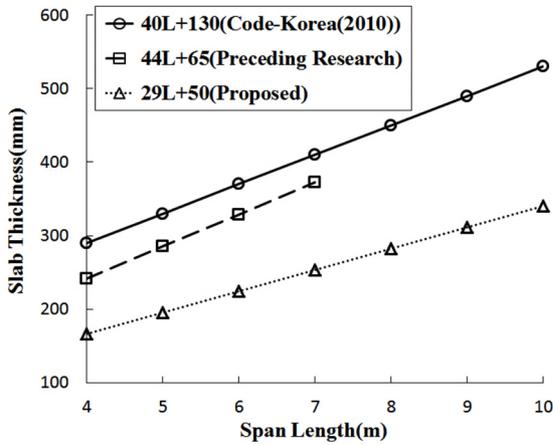


Fig. 9. Comparison of the minimum thickness.

두께는 지간 4 ~ 7 m의 구간에서 166 ~ 253 mm의 범위의 값을 갖는 것으로 나타났다. 이는 선행 연구에서 제안된 최소두께(44L+65)에 비해 약 68 % 수준이며 평균적으로 약 98 mm 감소된 결과이다. 선행 연구는 한계상태설계기준에 기반하여 이 연구와 유사한 방법론을 가지고 수행되었으며, 콘크리트의 설계기준강도가 30 MPa인 일반콘크리트를 적용하는 경우를 대상으로 하였으므로 이러한 차이는 고강도 재료의 적용을 통하여 얻을 수 있는 효과로 판단된다.

한편, 식(4)의 결과는 기존 도로교설계기준(2010)의 최소두께(40L+130)에 비해 57~64 % 수준으로 상대적으로 크게 감소된 결과를 보였다.

6. 결론

이 연구에서는 고강도 재료를 활용한 장지간 바닥판의 최소두께식을 제안하였다. 이를 위해 CEB-FIP Model Code(2010)과 도로교설계기준(한계상태설계법)(2012)에 따라 극한한계상태 및 사용한계상태에 대해 80 MPa급 콘크리트와 항복강도가 각각 400 MPa, 500 MPa 및 600 MPa인 철근의 재료적 특성을 반영한 검토를 수행하였으며, 이 같은 과정을 통해 얻어진 결론은 다음과 같다.

1) 고강도 철근을 사용하면 동일한 배근량에 대해 보다 높은 인장 저항 성능을 얻을 수 있으므로 바닥판 두께를 줄일 수 있을 것이라는 일반적인 기대와는 달리 부재의 연성 파괴를 유도하기 위한 최대철근비가 고강도 철근일수록 작게 계산되므로 고강도 철근을 사용할수록 바닥판 단면의 두께를 증가시켜야 하는 것으로 나타났다. 그러나 이 결과는 최대철근비에 근접한

수치의 철근량을 배근하는 것을 전제로 계산된 두께를 표시하여 얻어진 것이므로 적절한 경제성과 안전성 등을 종합적으로 고려해야 하는 실제 설계에서 고강도 철근의 사용이 불리함을 의미하는 것은 아니다.

2) 바닥판 지간의 증가와 함께 요구되는 모멘트의 크기도 늘어나므로 바닥판 두께가 이에 비례하여 비교적 일정하게 증가하는 경향을 보였으나 지간 8 m와 10 m에서 항복강도가 400 MPa를 사용한 경우에는 급격히 증가되는 양상을 나타내었다. 이러한 경향은 바닥판 철근의 배근 간격 규정을 준수하기 위해 실제 배근할 수 있는 철근량이 요구되는 철근량 이하가 되는 경우에 발생되므로 바닥판의 지간(또는 요구되는 휨 모멘트의 크기)에 따라 적절한 철근의 선정을 위한 검토가 필요하다.

3) 전반적으로 활하중에 의한 처짐 한계를 충족시키기 위해 필요한 바닥판 두께가 휨 강도 검토를 통해 설계된 두께보다 더 큰 값이 요구되어 처짐이 바닥판 최소두께를 결정하는데 지배적인 요소인 것으로 판단된다. 그러나 지간 4 m 이상에서 6 m 미만의 경우에는 휨 강도에 따른 두께가 지배적으로 적용되므로 고강도 재료의 구조적 장점을 가장 효율적으로 이용할 수 있는 구간으로 판단된다.

4) 제안된 최소두께식은 유사한 연구방법론에 따라 30 MPa의 일반적인 콘크리트 강도를 가지는 바닥판을 대상으로 검토한 선행 연구 결과에 비해 약 32 % 감소된 결과를 보였으며, 기존 도로교설계기준(2010)에서 제안하는 최소두께식보다 약 39 % 감소된 결과를 나타내었다.

5) 한편 이 논문에서는 바닥판의 교축 및 교축직각 방향 강성이 동일한 것으로 가정하였으나, 바닥판은 균열 발생에 따라 각 방향의 강성이 달라지므로¹²⁾ 향후 고강도 콘크리트 바닥판의 직교이방성 거동이 바닥판 최소두께 결정에 미치는 영향에 대하여 검토가 필요할 것으로 판단된다.

6) 또한 다양한 환경 조건을 고려한 피복두께의 변화가 최소두께에 미치는 영향과 설계기준에서는 검토요건으로 제시하고 있지 않으나 바닥판에서 실제 파괴형상으로 보고되고 있는 피로에 의한 뚫림전단에 대해 합리적으로 검토할 수 있는 방안에 대해 추가적인 고찰도 요구된다.

감사의 글: 이 논문은 국토교통부/국토교통과학기술진흥원 건설기술연구사업의 연구비지원(13건설연구A02)에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

References

- 1) Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, Development of Long-Life Deck Systems for Bridges - FRP Deck, 2005-059, pp.2, 2005.
- 2) Korea Expressway Corporation, "A Study for Preventive Maintenance of Bridge", Park Chang Ho, 2005.
- 3) H. J. Lee, Y. W. Lee and C. H. Chung, "A Study on the Minimum Thickness of Long Span Decks", Journal of the Korean Society of Civil Engineers, Vol.23, No.5A, pp. 851-857, 2003.
- 4) B. S. Kim, S. W. Kim, S. Y. Park and K. T. Koh, "R&D Activities and Application of High Performance Concrete to Cable Stayed Bridges", 3rd International Symposium on Ultra High Performance Concrete, #1283, 2012.
- 5) H. H. Hwang, D. M. Yoo, S. Y. Park and B. S. Kim, "Optimized Design of UHPC Bridge Deck Slab for Hybrid Cable-Stayed Girder Bridge", Proceeding of 13th REAAA Conference, 04-19, 2009.
- 6) Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs in Korea, Korean Highway Bridges Design Code, Korea Road & Transportation Association, 2010.
- 7) Korean Society of Civil Engineers, "Commentary of Korean Highway Bridge Design Code", 2008.
- 8) H. J. Lee, C. H. Chung and Y. W. Lee, "A Study on the Thickness of Long Span Decks Considering Orthotropy", Journal of the Korean Society of Civil Engineers, Vol.24, No.4A, pp. 731-737, 2004.
- 9) H. H. Hwang, "Minimum Thickness of RC Deck Slab for a Composite Two-Girder Bridge Considering Serviceability and Constructability", Journal of the Korean Society of Civil Engineers, Vol.25, No.6A, pp. 981-988, 2005.
- 10) H. H. Hwang, C. B. Joh, J. W. Kwark and Y. W. Lee, "Minimum Design Thickness of Prestressed Concrete Deck Slabs for Composite Two-Girder Bridges", Journal of the Korean Society of Civil Engineers, Vol.26, No.1A, pp. 183-190, 2006.
- 11) H. J. Lee and C. H. Chung, "Minimum Thickness of Long Span Bridge Deck Slabs for Two-Girder Bridges", Journal of the Korean Society of Civil Engineers, Vol.27, No.3A, pp. 303-311, 2007.
- 12) W. J. Park, H. H. Hwang, "Minimum Thickness of Long Span RC Deck Slabs for Composite 2-girder Bridges Designed by KL-510 load Mode", Journal of the Korean Society of Safety, Vol.29, No.3, pp. 72-78, 2014.
- 13) Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, "Development of Deck System for Two-Girder Bridges", Final Report, 2000.
- 14) AASHTO, AASHTO LRFD Bridge Design Specifications 6th, American Association of State Highway and Transportation Officials, 2012.
- 15) Standards Council of Canada, Canadian Highway Bridge Design Code, CSA International, 2010.
- 16) Japan Road Association, "Standard Specification for Highway Bridges of Japan, 2012.
- 17) Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs in Korea, Korean Highway Bridges Design Code(Limit State Design), Korea Road & Transportation Association, 2012.
- 18) The International Federation for Structural Concrete, "Fib Bulletin 55-56: Model Code 2010, First Complete Draft - Volume 1-2", 2010.
- 19) The International Federation for Structural Concrete, "Fib Bulletin 55: Model Code 2010, First Complete Draft - Volume 1", pp. 120, 2010.
- 20) The International Federation for Structural Concrete, "Fib Bulletin 56: Model Code 2010, First Complete Draft - Volume 2", pp. 22, 2010.