

동절기 교량구간의 안전관리 대책

Safety Management Alternatives in Winter Bridge Sections

김영록* · 정준화** · 노관섭***

Kim, Young Rok · Jeong, Jun Hwa · Noh, Kwan Sub

1. 서론

우리나라의 기후는 크게 강우가 적은 기후(주로 봄과 가을, 3월말-6월중순, 8월, 10월-11월초)와 강우가 많은 기후(여름), 그리고 동절기 기후(11월중순-이듬해 3월중순)로 구분해 볼 수 있다. 도로에 수분이 잔존하게 되는 여름철과 동절기는 타 계절에 비해 상대적으로 안전관리가 필요한 시기이다.

도로포장면이 수분에 의해 젖은 상태가 되면 주행차량의 타이어 마찰면에 수막이 형성되어 미끄러짐 현상을 유발할 수 있다. 이러한 현상은 비동절기 강우시 주로 나타나는 현상이며, 동절기에 노면에 수분이 있을 경우 기온강하로 인해 결빙이 발생되고 주행차량의 미끄러짐을 유발시킬 수 있다. 특히 일조량이 적은 상습결빙구간이나 동절기 교량구간은 일반 도로구간(토공구간)과 비교하여 지열이 없고, 위치 상 계곡과 같은 곳에 건설되기 때문에 일조량이 낮아 결빙은 빠르게 진행되는 반면 해빙은 느리게 진행되는 특성이 있다.

동절기의 기온특성은 오후부터 기온이 낮아져 새벽까지 결빙이 진행되고, 일조가 시작되는 오전부터 해빙이 시작되어 오후 3시~4시까지 진행된다. 다시 야간에 서리가 내려 도로에 수분이 남아있게 되고 심야에 다시 결빙되는 과정을 되풀이하게 되는데 교량구간이나 상습 결빙구간은 일조가 가장 많은 한낮에 해빙이 잠깐 진행되다가 지열이 없고 강풍이 발생하는 지형적 특성상 곧바로 준 결빙상태 또는 결빙상태로 남아있게 된다.

연중 4개월여 동안 동절기가 지속되는 국내 기후상황과 이 시기에 타 도로구간에 비해 위험요소가 많은 교량구간은 체계적이고 과학적인 안전관리가 반드시 필요하며 구체적으로 동절기 교량구간의 안전을 저해할 수 있는 원인별 안전관리 대책을 수립하여야 할 것이다.

따라서, 본 연구에서는 동절기 교량구간의 안전문제의 원인에 대한 구조적 검토를 통해 원인별 안전관리 개념을 설정하고, 전체적인 안전관리체계를 정립하여 원인별 세부안전관리기술을 제시해 보고자 한다.

2. 동절기 교량구간의 안전문제 및 안전관리 개념

본 절에서는 동절기 교량구간의 안전측면에서 발생할 수 있는 문제의 구조를 검토하고 이를 토대로 동절기 안전문제 원인별 안전관리 개념을 설정하고자 한다.

2.1 동절기 교량구간의 안전문제 구조도

동절기 교량구간의 안전을 저해하는 요소로 본 연구에서는 노면 수분이 기온강하에 의해 결빙되는 것을 주 초점으로 설정하였다. 교량노면에 수분을 발생시키는 원인으로는 눈, 비, 안개, 서리 등인데, 본 연구에서는 동절기 강설과 관련된 수분에 초점을 두었다. 1차적으로 결빙이 발생하게 되면 교량노면의 마찰력은 감소하며, 이는 운전자의 급제동 및 급격한 핸들조작으로 인해 미끄러짐 사고 발생 가능성을 높일 수 있으며, 최악

*정회원 · 한국건설기술연구원 도로연구부 연구원 · 공학석사 · 031-910-0181(E-mail : busbay@kict.re.kr)

**정회원 · 한국건설기술연구원 도로연구부 수석연구원 · 공학박사 · 031-910-0171(E-mail : jhjeong@kict.re.kr)

***정회원 · 한국건설기술연구원 도로연구부 수석연구원 · 공학박사 · 031-910-0163(E-mail : kсно@kict.re.kr)

의 경우, 교량구간을 이탈하여 추락상황까지 발생할 수 있다. 이 때문에 동절기 교량구간에서는 노면의 마찰력이 떨어지지 않도록 미리 예방하는 것과 운전자의 주의를 향상시켜 위험한 상황에 대비할 수 있도록 해야 하며, 근원적으로 결빙요인을 제거 또는 발생을 억제하는 부분에 초점을 맞추어야 한다. 물론 이러한 안전대책에도 불구하고 돌발상황이 발생하게 되는 경우도 함께 고려한 대책이 마련되어야 하는데, 최종적으로 대형차량과의 정면충돌이나 교량 밖으로의 추락을 방지할 수 있는 대책이 여기에 해당된다고 볼 수 있다.

그림 1은 동절기 교량구간의 안전문제 구조도를 나타내고 있다. 전체적으로 동절기 교량구간의 안전문제는 원인을 파악하고 원인으로 초래될 수 있는 위험상황과 이에 대한 대책을 마련하는 것이 커다란 흐름이다. 초래될 수 있는 위험한 결과는 마찰력 저하로 인한 미끄럼 사고이며, 이에 대응하기 위해 노면마찰력을 향상시키고, 운전자의 주의를 향상시키며, 결빙요인을 제거하거나 발생을 억제하는 대책을 마련할 수 있다.

이러한 대책들을 통해 예상되는 효과는 동절기 교량구간의 사고감소와 동절기 도로서비스의 향상이다.

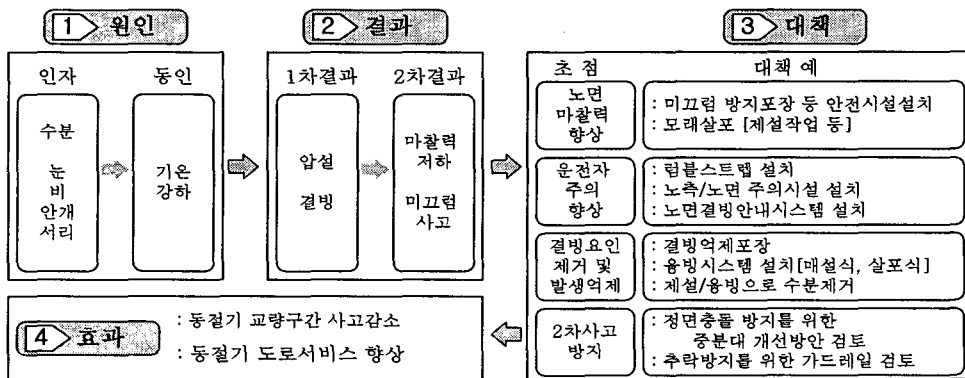


그림 1. 동절기 교량구간 안전문제 구조도

2.2 동절기 교량구간 안전관리 개념도

동절기 교량구간의 안전관리를 위해 본 연구에서는 그림 2와 같이 안전관리 개념을 설정하였다. 이 개념도는 교량구간을 접근하는 운전자의 관점에서 교량 진입 전부터 사전 주의구간, 감속·적응구간, 교량구간으로 구분하여 구간별로 관리하도록 한 것이다.

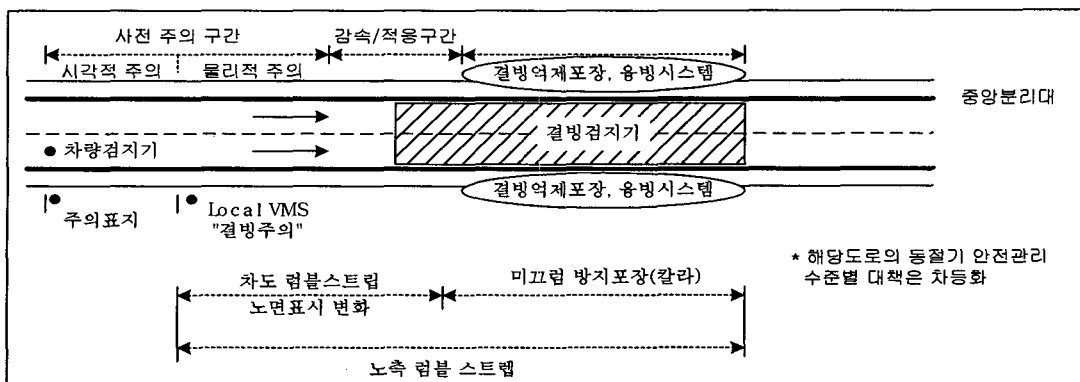


그림 2. 동절기 교량구간 안전관리 개념도

사전 주의구간은 시각적 주의구간과 물리적 주의구간으로 구분할 수 있는데 시각적 주의구간은 표시판이



나 안내전광판 등을 이용하여 전방에 교량이 있음을 알리는 구간이다. 물리적 주의구간은 운전자에게 실제로 전방에 교량이 있음을 느끼게 해 주어야 하는 구간으로 볼 수 있다. 물론 두 가지 구간이 반드시 필요한 것은 아니며, 교량구간의 현장 상황에 맞게 고려하여 설치되어야 할 것이다. 시각적 주의구간에는 주의표지가, 물리적 주의구간에는 교량을 인지할 수 있는 각종 기술-예를 들어, 럼블스트립의 설치, 노면표지의 변화 등이 적용될 수 있을 것이다.

감속·적용구간은 사전 주의구간을 통해 운전자가 전방에 교량의 존재를 인지하고 대비를 할 수 있는 시간을 확보할 수 있도록 일정구간을 확보해 주는 개념을 가진 구간이다. 이 구간의 안전관리대책은 물리적 주의구간에서부터 시작하여 연속적으로 적용할 수 있다.

교량구간에는 실질적으로 급제동이나 급격한 핸들조작에 의한 미끄럼이 발생할 가능성이 높은 구간으로 노면마찰력을 향상시키기 위해 결빙억제포장, 용빙시스템, 시각적인 주의효과를 높이기 위해 색상이 있는 미끄럼 방지포장 등을 고려해 볼 수 있다.

본 연구에서 제시하는 안전관리 개념은 상시적으로 설치하는 것과 동절기 등에 검지기(센서)에 의해 시스템적으로 작동할 수 있는 시설로 구분해 볼 수 있는 바, 효과적인 방안은 노면 상황에 따라 능동적으로 대응하는 시스템이 될 수 있으며, 이때에는 차량이나 결빙상황을 검지할 수 있는 검지기가 필요하다. 그림 2는 일반적인 교량구간의 안전관리 개념이며 안전관리 시설 적용시에는 해당 구간의 위험도나 경제적 타당성 등을 고려하여 그 수준별로 차등화 하는 대책을 마련해야 한다.

3. 안전관리 대책

본 절에서는 앞절에서 언급한 원인별 안전관리대책을 그림 3과 같이 재정립하였다. 동절기 교량구간의 안전문제에 대응하기 위한 교량 인지기술과 안전관리대책으로 구분하여 체계를 정립하였으며 자동화 기술과 상시 고정식 기술로 구분하여 세부 기술들을 정리하였다. 세부 기술에는 실제 교량에 적용된 기술도 있고 본 연구에서는 아이디어로서 제시한 기술도 있다.

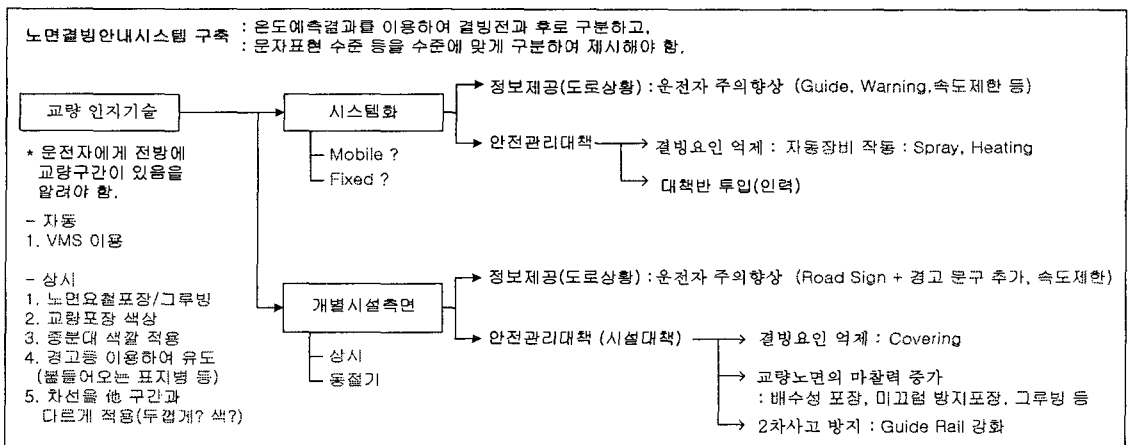


그림 3. 동절기 교량구간 안전관리 개념도

3.1 교량 인지기술

전방에 교량이 있음을 알려서 운전자가 주의를 기울이게 하는 교량 인지기술은 도로전광표지(VMS : Variable Message Sign)와 같은 첨단시설을 이용하는 방안과 교량현장에 직접 설치 및 적용하는 기술로 구분할 수 있다. VMS를 이용하는 경우에는 노면결빙안내시스템과의 호환도 가능하며, 이 시스템은 교량인지기술 및 안전관리대책에 모두 해당한다고 볼 수 있다. 상시적으로 설치하여 운전자에게 전방의 교량구간에 대

해 사전에 알리고 주의하게 하는 인지기술은 전방 도로 주행방향을 따라 노면요철포장을 하는 방법(그림 4)과 횡방향으로 그루빙 하는 방법, 교량포장을 칼라 미끄럼 방지 포장으로 하여 시인성을 높이는 방법(그림 5), 중앙분리대 색상을 적용하는 방법(그림 6), 경고등을 이용하여 교량구간임을 알 수 있도록 나타내는 방법(그림 7), 불빛이 점등되는 표지병을 타 도로구간과 다르게 적용하는 방법(그림 8, 9), 차선표시를 타 구간과 달리 두껍게 또는 색상을 넣어 표시하는 방법(그림 10) 등을 제시하였다.



그림 4. 주행방향 노면요철포장

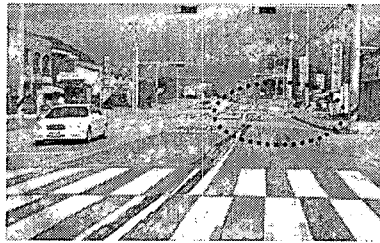


그림 5. 교량의 칼라 미끄럼방지 포장

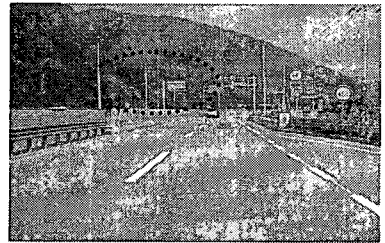


그림 6. 중앙분리대 색상 적용

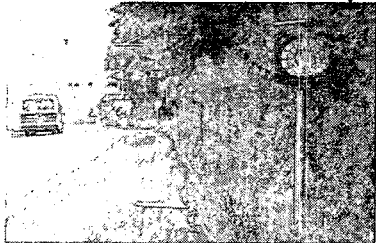


그림 7. 경고등을 이용하는 방법

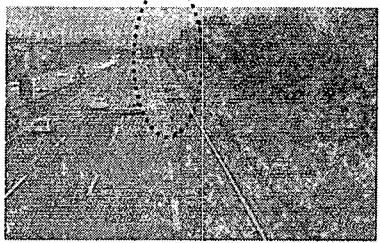


그림 8. 점멸등 표지병

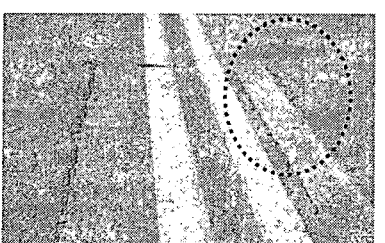
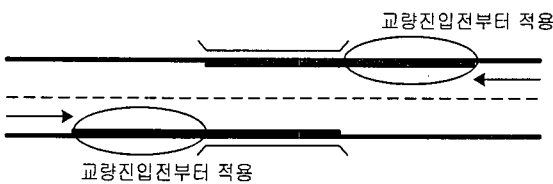
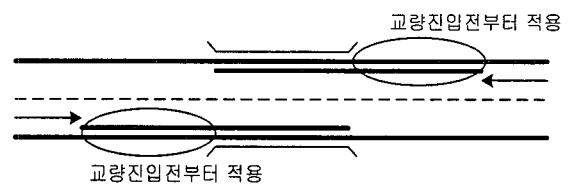


그림 9. 점멸등 표지병 시공방법



a. 두껍게 적용하는 방법



b. 두줄로 적용하는 방법

그림 10. 차선표시를 타 구간과 다르게 적용

미국의 예인 그림 4를 보면 노면요철포장이 차선표시 외부에 시설되어 있으나, 유럽의 경우는 차선표시 안쪽에 설치되어 있다. 차로를 이탈할 우려가 있는 경우에도 효과적인 수 있으나, 시각적으로도 충분히 전방에 교량구간이 있음을 인지할 수 있는 방법이라 하겠다. 그림 5는 미끄럼방지포장은 아니며 단순한 색상을 적용한 포장이지만, 교량구간 전방에 시설하여 시인성을 높일 수 있는 대안이다. 그림 6은 국내 일반국도 교량구간에 설치된 예로 중앙분리대를 교량상판 시공상의 문제로 콘크리트 방호벽으로 하지 않고 물이든 플라스틱 충격흡수시설로 한 경우이다. 전국 모든 교량이 그림 6과 같은 것은 아니지만 충분히 고려해 볼 만한 시설로 제안한다.

그림 7은 경고등을 이용하는 방법으로 교량구간임을 나타낼 수 있는 경고등을 고안하여 교량인지시설로 사용할 수 있을 것이다. 다만, 경고등의 설치간격을 좁게 하여 너무 많이 사용하게 되면 안전운전에 방해가 될 소지가 있다. 그림 8은 점멸등 표지병을 이용하여 교량의 시인성을 높이는 방법을 제안한 것으로 시공방법은 제설작업 등을 고려하여 그림 9와 같이 노면의 높이와 동일하게 설치하는 방안이 효과적이라 하겠다. 그러나 점멸등 표지병은 에너지가 필요하다는 측면에서 다소 비 경제적인 대안일 수도 있으나, 태양열이나



지열 등을 이용할 수 있는 방법이 개발된다면, 야간이나 시정이 악화되는 경우에 상당히 효과적인 방법이랄 수 있다. 그림 10은 차선표시를 타 구간과 다르게 적용하는 방법이다. 교량 전방구간에서부터 차선표시 두께를 두껍게 한다든지, 차선표시를 두 줄로 한다든지, 색상을 달리 한다든지 하는 방법으로 교량구간의 인지를 높여주는 방법이다.

이 외에도 여러 가지 아이디어가 많이 있을 수 있으나, 중요한 것은 가장 효과적인 것을 채택하여 모든 교량구간에 일관되게 적용하는 것이다. 일관되게 적용된 기술만이 반복 학습을 통해 운전자가 쉽게 교량구간임을 인지할 수 있을 것으로 판단된다.

3.2 안전관리 대책의 시스템화

동절기 교량구간의 안전관리 대책은 원인별로 노면의 마찰력 향상, 운전자의 주의향상, 노면결빙요인 억제 및 방지대책으로 구분하였으나, 본 절에서는 크게 첨단 기술을 이용하는 등의 안전관리 대책의 시스템화 측면과 기존의 고정식 기술을 이용하는 개별시설 측면의 대책으로 구분하였다.

안전관리 대책의 시스템화하는 경우를 보면 가장 중요한 것이 노면의 상황을 정확하게 검지할 수 있는 검지기이다. 검지기는 도로관리 차량에 부착하여 도로구간을 모니터 하면서 검지하는 방식과 현장 도로노면에 매설하여 검지하는 고정식으로 구분할 수 있다. 고정식과 이동식을 선택하는 부분은 현장상황 및 도로관리청의 관리용량(팀원 또는 장비현황), 예산 등의 문제에 따라 달라질 수 있을 것이다.

운전자의 주의를 향상시키기 위한 방법으로 그림 11은 결빙경고 메시지를, 그림 12는 안내메시지를 예로 들어 표현한 것이며, 그림 13은 미국의 워싱턴 주에서 운영하고 있는 속도제한 안내 사례를 보여주고 있다.



그림 11. 결빙경고 메시지 표출 예



그림 12. 안내메시지 표출 예



그림 13. 속도제한 예

결빙요인을 억제하는 대책으로는 노면 가열기술, 자동염화물 살포기술이 있는데, 이 시스템은 도로노면에 설치된 기상센서에서 기온의 변화에 따라 작동되도록 되어있다. 최근에는 도로전광표지와 연계시켜 운전자의 주의를 향상시킴과 동시에 적극적인 안전관리 대책을 적용하고 있는 추세이다.

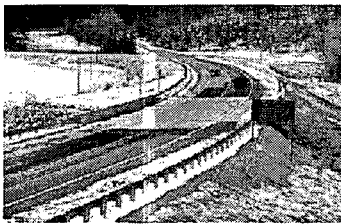


그림 14. 교량노면 가열기술



그림 15. 자동염화물 살포기술

3.3 개별 시설측면의 안전관리 대책

개별 시설측면의 안전관리 대책에서 운전자의 주의를 향상시키는 방법은 기존의 도로표지 등을 이용한 방안을 검토해 볼 수 있다. 기존의 도로표지판은 상시적으로 현장에 설치되어 있거나 임시표지판 등이 설치

되어 있어 운전자의 주의를 향상시키는 데에 큰 효과가 없는 것이 사실이다. 따라서, 이러한 시설들은 동절기에만 설치한다든지, 또는 표지판의 형식을 일관되게 해 주는 것이 중요하다.

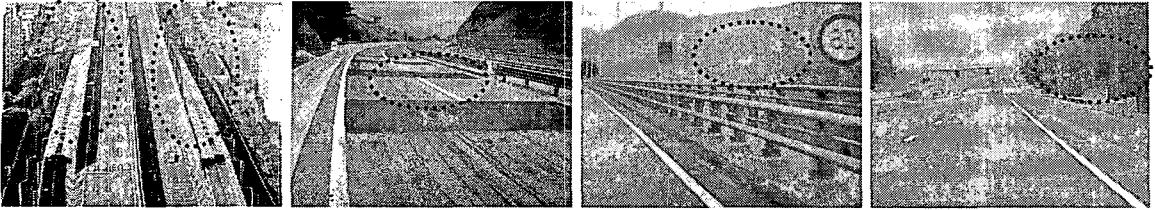


그림 16. Covering 그림 17. 미끄럼방지포장 그림 18. 이중 가드레일 그림 19. 가드레일(미국)

결빙요인을 억제하는 대책에서 적용할 수 있는 기술 아이디어는 도로를 수분으로부터 차단시키는 것이다. 그림 16은 연결로 구간에 주변지역에 대해 차음을 목적으로 지붕을 씌운 사례지만, 노면이 수분에 노출되는 것을 피할 수 있어 결빙문제는 나타나지 않는다. 그림 17은 노면의 마찰력을 높여주는 이격식 미끄럼방지포장이다. 전면식과 이격식의 특성을 파악/검토하여 적용시 신중을 기해야 한다. 그림 18과 19는 차량의 추락 등을 방지하기 위해 설치된 가드레일이다. 그림 18은 국내 사례로 주변특성상 보행자가 많이 다니는 곳이 아니기 때문에 보행자 보호보다는 차량추락 방지용으로 시공된 것으로 판단된다.

4. 결론 및 향후 연구과제

본 논문에서는 동절기 교량구간의 안전문제에 대한 구조를 살펴보고, 원인해결을 위한 안전관리대책을 검토하였다. 도로에 적용하는 안전시설 및 기술은 교량구간에만 한정하여 적용할 수 없기 때문에 그림 3에서 정립한 체계에 따라 상시적으로 설치하여 운전자로 하여금 전방에 교량구간이 있음을 인지할 수 있도록 시설 및 기술의 일관성을 갖도록 하는 것이 중요하다.

본 논문에서 제시한 기술 및 시설에 대한 부분은 현재 국내에서 사용하고 있거나 목적은 다르나 약간의 응용을 통해 교량구간의 안전문제를 해결할 수 있는 대안을 제안하였으며 결론은 다음과 같다.

- 교량 인지기술은 자동화기술이나 상시시설을 각각 이용할 수는 있으나 각각의 특성에 맞게 일관성을 가질 수 있도록 적용해야 한다. 자동화기술은 노면의 상황을 정확하게 검지해 낼 수 있어야 한다.
- 교량구간의 안전관리 대책은 교량 인지기술과는 달리 해당 교량구간이 가지고 있는 안전문제에 따라 적용하면 될 것으로 판단된다. 시스템화 측면이나 개별시설 측면의 대책이 함께 각각 적용될 필요는 없으며 교량구간의 안전문제를 초래하는 원인에 따라 적용되어야 한다.
- 교량 인지기술이나 안전관리 대책은 적용대상 교량구간의 위험도에 따라 결정되어야 하나, 도로의 기능이나 비용/효과 측면을 고려하여 합리적으로 선택되어야 한다.

향후, 교량 인지기술을 어떤 방식(자동화기술 또는 상시시설)을 적용할 것인지에 대한 적절한 기준이 마련되어야 할 것이며, 안전관리 대책을 적용할 때 위험도를 산정하는 방법과 도로의 기능, 경제적 타당성을 정량화하는 방안이 마련되어야 할 것이다.

참고문헌

1. 도로안전시설 설치 및 관리지침, -시선유도시설편, 미끄럼방지포장편, 교량관리편- 건설교통부.
2. 건설교통부 · 한국건설교통기술평가원, 안개다발지역의 안전관리시스템 개발, 한국건설기술연구원, 2002.
3. FHWA, *Improving Highway Safety at Bridges on Local Roads and Streets*, 1998.
4. Federal Highway Administration, *Heated Bridged Technology*, 1999.
5. Kentucky Transportation Center, *Evaluation of Automated Bridge Deck Anti-Icing System*, University of Kentucky, 2001.
6. Federal Highway Administration, *Best Practices for Road Weather Management version 2.0*, May 2003.