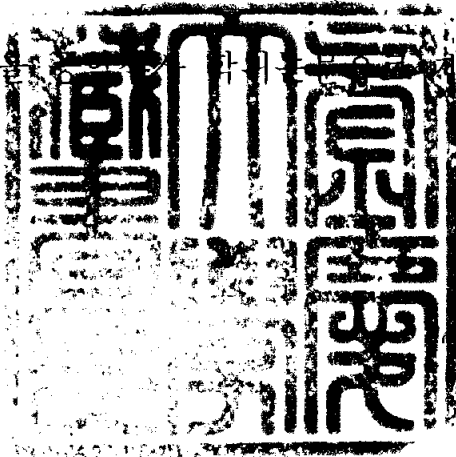


공학석사 학위논문

# 강상판 상형교의 설계에 관한 연구

지도교수 이 동 욱

이 논문은 공학석사 학위논문으로 제출함.



2004년 2월

부경대학교 산업대학원

토 목 공 학 과

정 병 욱

이 논문을 정병욱의 공학석사  
학위논문으로 인준함

2003년 12월 13일

주 심 공학박사 이 환 우



위 원 공학박사 정 두 회



위 원 공학박사 이 동 욱



# 목 차

|                               |     |
|-------------------------------|-----|
| 그림 목차                         | iii |
| 표 목차                          | v   |
| ABSTRACT                      | vi  |
| 1. 서 론                        | 1   |
| 2. 강상판 상형교의 구조해석 및 하중 전달과정    | 3   |
| 2.1 강상판의 구조 및 하중전달과정          | 3   |
| 2.2 강상판 종리브의 설계적용             | 5   |
| 2.2.1 강상판 상형교의 종리브 형상         | 5   |
| 2.2.2 U형 리브 표준단면 및 사용설적       | 6   |
| 2.2.3 U형 리브의 배치               | 8   |
| 2.3 강상판 데크플레이트의 열변형 및 이음 설계   | 9   |
| 2.3.1 강상판의 데크플레이트의 열변형        | 9   |
| 2.3.2 강상판 데크플레이트의 이음          | 12  |
| 2.4 강상판의 U형 리브 이음 상세 설계       | 15  |
| 2.4.1 데크플레이트와 U형 리브의 종방향 용접이음 | 15  |
| 2.4.2 U형 리브 현장용접이음            | 17  |
| 2.4.3 U형 리브의 볼트이음             | 19  |
| 3. 강상판 상형교의 손상사례              | 20  |
| 3.1 국내의 손상사례                  | 20  |
| 3.2 외국의 손상사례                  | 22  |
| 4. 강상판 상형교의 손상에 대한 고찰 및 손상대책  | 25  |
| 4.1 데크플레이트의 손상에 대한 고찰 및 대책    | 25  |
| 4.1.1 강상판 데크플레이트의 열변형         | 25  |
| 4.1.2 강상판 데크플레이트의 고장력 볼트이음    | 27  |

|                                     |    |
|-------------------------------------|----|
| 4.1.3 강상원 테크플레이트의 용접이음              | 27 |
| 4.2 테크플레이트와 U형 리브 종방향 용접이음부         | 29 |
| 4.2.1 테크플레이트와 U형 리브 용접이음부 고찰 및 손상대책 | 29 |
| 4.2.2 U형 리브+U형 리브 현장 용접이음           | 30 |
| 4.2.3 U형 리브의 볼트이음                   | 31 |
| 4.2.4 테크플레이트 현장용접 이음부+횡리브 스켈럼부      | 33 |
| 4.2.5 테크플레이트+U형 리브+횡리브의 교차부         | 33 |
| 4.2.6 횡리브+U형 리브 교차부 슬롯 용접이음부        | 33 |
| 4.2.7 주형웨이브+수직보강재+테크플레이트의 용접이음부     | 34 |
| 5. 결 론                              | 36 |
| 참고문헌                                | 38 |
| 감사의 글                               | 41 |

## 그림 목차

- 그림 2.1.1 강상판의 구조형식
- 그림 2.1.2 교량 강상판의 하중 전달과정
- 그림 2.2.1 강상판의 종리브 형상
- 그림 2.2.2 폐단면 U형 리브 표준 단면
- 그림 2.2.3 U형 리브 배치도
- 그림 2.3.1 교면 포장의 구성
- 그림 2.3.2 구스아스팔트 포설시 교축직각 및 횡방향의 변형상태
- 그림 2.3.3 데크플레이트 고장력 볼트이음 전경
- 그림 2.3.4 데크플레이트 용접이음
- 그림 2.3.5 데크플레이트 현장용접 이음 위치
- 그림 2.4.1 U형 리브의 두께가 6mm일 경우의 필렛용접 형상
- 그림 2.4.2 a) U형 리브의 두께가 8mm일 경우의 홈의 형상
- 그림 2.4.2 b) U형 리브의 두께가 8mm일 경우의 홈용입용접 형상
- 그림 2.4.2 c) U형 리브의 용입깊이
- 그림 2.4.3 Tsing Ma대교(青馬大橋) U형 리브 현장용접이음 전경
- 그림 2.4.4 국내 ○○대교 U형 리브 현장용접이음 전경
- 그림 2.4.5 U형 리브 볼트이음부 측면 및 정면 하부(핸드홀) 상세도
- 그림 3.1.1 U형 리브+U형 리브 현장용접이음부 피로균열
- 그림 3.1.2 데크플레이트+U형 리브 종방향 필렛용접이음부 피로 균열
- 그림 3.2.1 강상판 피로손상 예
- 그림 3.2.2 피로손상이 발생할 수 있는 횡리브 슬롯형상 전경
- 그림 4.1.1 구스아스팔트 포설순서도
- 그림 4.2.1 U형 리브의 용입깊이

그림 4.2.2 흙의 표면 조건

그림 4.2.3 현장이음 설치위치

그림 4.2.4 U형 리브 내부 다이어플램 진경

그림 4.2.5 핸드홀 박이판 진경

그림 4.2.6 피로손상 발생을 감소시키는 슬롯형상

그림 4.2.7 주형웨이브+수직보강재+테크플레이트의 돌림융접부

## 표 목차

표 2.1 국내 주요 교량에 사용된 U형 리브의 단면 제원

# Considerations of a Steel Deck Box Girder Bridge

*Department of Construction Engineering, Graduate School of  
Industry, Pukyong National University*

Byung-Wook Chung

## ABSTRACT

We consider that is reduction of self weight and beauty in bridge along with the construction of long span bridge recently and is building much the steel bridge amount.

Steel deck weights of base plate is light and durability is good in the steel bridge amount, and construction period is selected much in the long span bridge because is short.

There is advantage that steel deck bridge is structure that strengthen Deck plate by longitudinal rib and cross rib and because Deck plate and longitudinal rib act by upper flange of principal penalty while is base plate, hardness is very big, but the welding amount is much because execute assembly welding comparative thin steel plate in complex shape, and because live load acts directly to deck plate, there is shortcoming that fatigue failure is apt to happen in welded joint department.

In this paper, describe about stalk rib that was used structure of

steel plate deck avoiddupois faith and load delivery process and steel plate deck in this treatise and described about heat transformations that happen at Deck plate's package and Deck plate's connection design and spot welded joint of U type rib and high tension bolt connection. Also, presented item that must arrange and analyze, and apply to prevent fatigue failure at countermeasure and Deck plate about damage and U type rib connection details design damage example by fatigue failure that happen in inside and outside of the country's the steel plate deck avoiddupois faith.

transformation analysis by thermal conduction at Guss asphalt pavement design of steel plate deck, and steel plate deck Deck plate field splice must enforce welded joint instead of bolted connection that cause negative impact to faith by section accident department's occurrence by plate and so on. Also, must enforce penetration more than 80% of U type rib thickness at Deck plate and welding of U type rib, and spot welded joint of U type rib has better enforce bolted connection because it can happen that work efficiency decides welding dropping.

## 1. 서 론

최근 현수교, 사장교 등 장대교량의 건설과 더불어 교량에서도 자중을 경감하고 비적인 변을 고려하여 강교량을 많이 건설하고 있다. 강교량에서 강상판은 바닥판의 중량이 가볍고, 내구성이 좋으며, 가설기간도 짧아 장대교에 많이 채택하고 있다<sup>1)~4)</sup>.

강상판 교량은 데크플레이트를 종리브 및 횡리브로 보강한 구조이며, 데크플레이트와 종리브는 바닥판인 동시에 주형의 상부플랜지로도 작용하므로 강성이 매우 큰 장점이 있다. 또한 횡리브는 데크플레이트를 보강하는 동시에 횡형으로서의 기능도 갖는 복합적인 구조이다<sup>5),6)</sup>.

장대교에서 강상판교의 종방향 보강재로서는 비틀림 강성이 큰 관점에서 U형 폐단면 리브(이하 U형 리브)가 많이 사용되고 있다. U형 리브는 비틀림 강성이 크고, 교축방향의 하중분배가 균등하여 지간을 길게 할 수 있다<sup>28)~31)</sup>. 또한 데크플레이트와 U형 리브는 편면만 용접을 실시하므로 용접량이 적어 용접에 의한 변형이 적게되며, 완전 밀폐단면이 되어 단면의 내부가 부식될 염려가 없고 외부만 도장을 실시하므로 도장면적을 경감하는 등의 이점이 있다<sup>7)~9)</sup>.

한편 강상판은 비교적 얇은 강판을 복잡한 형상으로 용접하여 조립을 실시하므로 용접량이 많고, 이로 인한 용접이음부에서의 블로우홀, 용입불량, 슬래그혼입 등과 같은 용접결함과 잔류응력, 면내 및 변외변형의 발생 등이 문제점으로 지적되고 있다. 또한 강상판에서는 분하중이 직접 상판에 작용하므로 용접이음부에 피로균열이 발생하기 쉽다. 이러한 요인들은 강상판의 피로강도를 저하시킨다. 영국이나 일본의 경우 초기 건설된 강상판 교량에서 피로균열 발생사례가 보고되고 있어 국내 강상판 교량에서도 교통량 증가 및 대형화로 인해 피로손상 가능성이 매우 높다고 볼 수

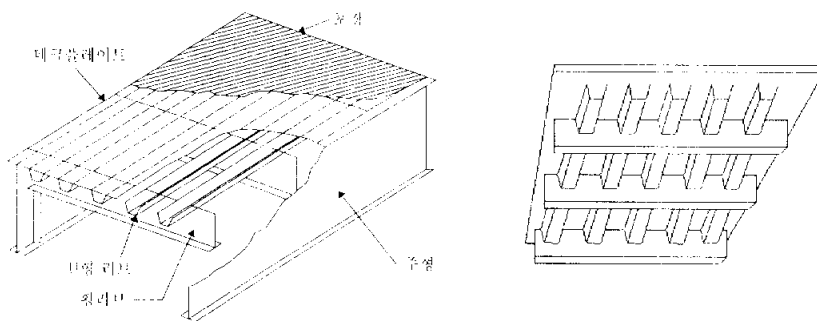
있다<sup>10)~12)</sup>. 특히 데크플레이트는 포장과 관련하여 가설 현장에서 용접이음을 실시하여야 하며 U형 리브도 가설현장에서 용접이음 또는 볼트이음을 실시하여야 하므로 현장이음부에는 시공상의 이유로 인해 구조상세가 복잡해지고, 이로 인해 응력이 집중되어 피로에 취약하기 쉽다.

본 논문에서는 강상판 상형교의 구조 및 하중 전달과정과 강상판에 사용되는 종리브에 대해 기술하고 데크플레이트의 포장시 발생하는 열변형과 데크플레이트의 이음 설계 및 U형 리브의 현장용접이음과 고장력 볼트 이음에 대해 기술하였다. 또한 국내외의 강상판 상형교에 발생하는 피로균열에 의한 손상사례를 정리·분석하고, 손상에 대한 대책 및 데크플레이트와 U형 리브 이음 상세 설계시 피로균열을 방지하기 위해 적용해야 할 사항을 제시하였다.

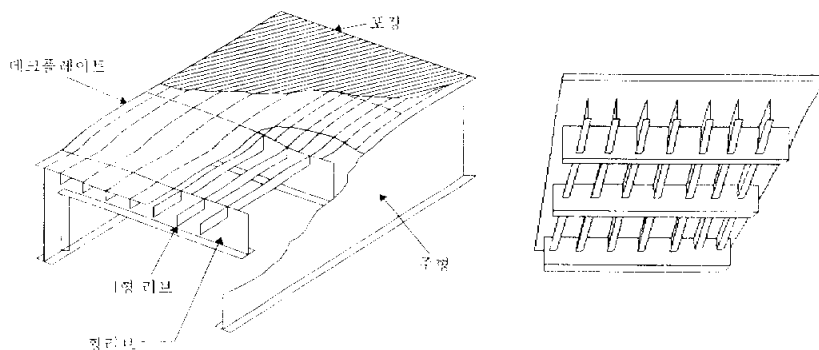
## 2. 강상판 상형교의 구조해석 및 하중 전달과정

### 2.1 강상판의 구조 및 하중전달과정

교량의 강상판은 그림 2.1.1과 같이 데크플레이트에 종리브와 횡리브를 강판에 용접하여 보강한 구조물로서, 데크플레이트는 하중을 직접 지지하고 그 하중을 종리브에 전달하는 역할을 한다. 또한 데크플레이트와 종리브는 바닥판 역할뿐만 아니라 주형의 상부플랜지 역할도 하며, 횡리브는 바닥판을 보강하는 역할뿐만 아니라 횡형으로서의 기능도 갖는 역할을 하는 합리적인 구조이다<sup>4),6)</sup>.



(a) U형 리브를 사용한 강상판의 구조형식



(a) I형 리브를 사용한 강상판의 구조형식

그림 2.1.1 강상판의 구조형식

상상판의 하중전달과정을 살펴보면 그림 2.1.2와 같이 집중하중  $P$ 가 상판에 작용하는 경우, 하중  $P$ 는 종리브와 횡리브 사이의 상판에 작용하기 때문에 종리브와의 교점 E 및 F에 각각  $P_1$  및  $P_2$ 로 분배된다. 그리고  $P_1$ 은 다시 종리브를 통하여 횡리브와의 교점 A 및 C에 각각  $P'_1$  및  $P''_1$ 로 서 전달되며,  $P_2$ 도 마찬가지로 점 B 및 D에 각각  $P'_2$  및  $P''_2$ 로 전달된다. 이들의 힘은 다시 횡리브에 전해져서 주형과의 교점 G, I, K, M 및 H, J, L, N 등에 전달된다<sup>6)</sup>.

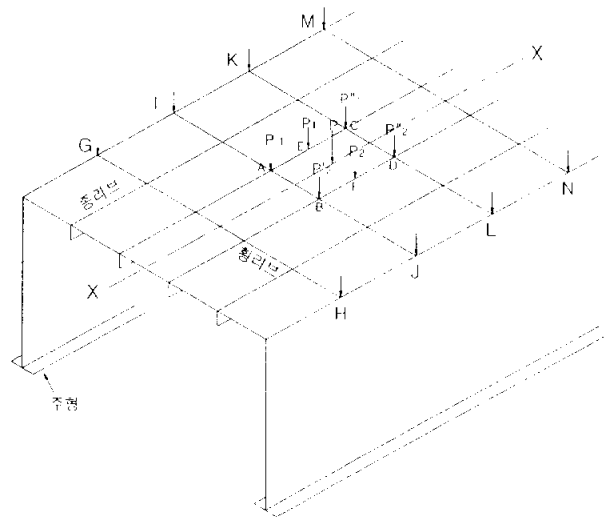


그림 2.1.2 교량 강상판의 하중 전달과정

## 2.2 강상판 종리브의 설계적용

### 2.2.1 강상판 상형교의 종리브 형상

강상판 종리브의 형상은 그림 3.3.1에 나타낸 바와 같이 a)의 평강 단면, b)의 bulb형 단면, c)의 L형 단면, d) T형 단면, e)의 U형 단면, f)Y형 단면, g)V형 단면 및 h)의 구형단면 등이 있다.

그림 2.2.1의 a), b), c), d)와 같이 개단면 리브(open trough rib)는 형상이 단순하며, 곡선반경이 작은 비교적 단면이 작으므로 종리브 지간을 길게 잡기 어려우므로, 횡리브 간격은 조밀해진다.

한편, 폐단면 리브(closed trough rib)는 휨강성이 개단면보다 크기 때문에 종리브 지간을 길게 할 수 있다. 폐단면 리브의 최소 판두께는 부식환경이 양호한 경우는 6mm로 해도 되지만, 강상판에 큰 힘이 부가되는 경우는 8mm 이상이 바람직하다. 폐단면 리브는 국·내외에서 그림 2.2.1의 e)와 같이 U형 단면(역사다리꼴 단면)이 비교적 많이 사용되고 있다(4.13,14).

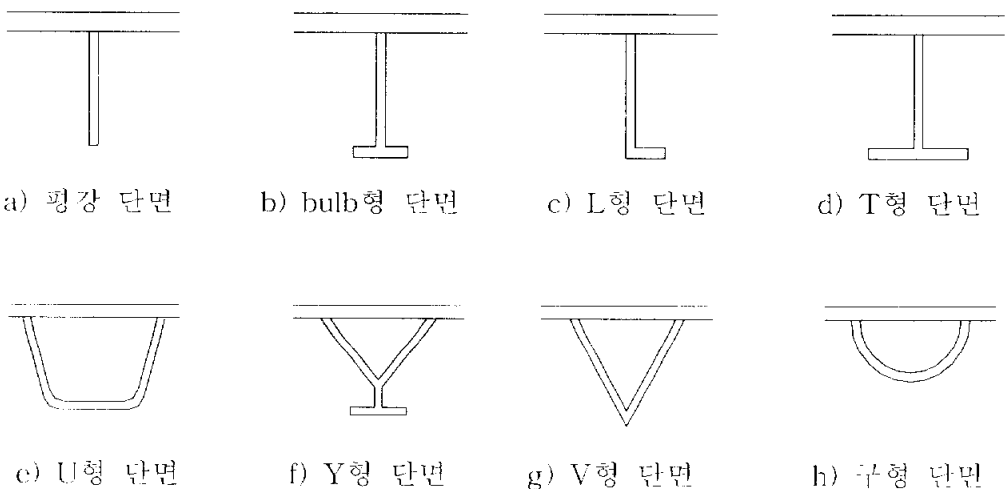


그림 2.2.1 강상판의 종리브 형상

### 2.2.2 U형 리브 표준단면 및 사용설치

U형 리브는 그림 2.2.2에 나타난 단면을 표준으로 하고 있으며, 내부는 완전히 밀폐되어 있으므로 양면이 대기에 노출되어 있는 일반 구조부재에 비해 부식면적이 1/2로 되어 녹 발생에 따른 문제는 발생하지 않는다. 또한, 비틀림 강성은 폐단면 리브의 단면 형상에 의해 결정되므로 판두께의 효과는 적으며, 판의 두께를 두껍게 하더라도 이에 비례하여 단면의 특성은 증가하지 않는다<sup>15)</sup>.

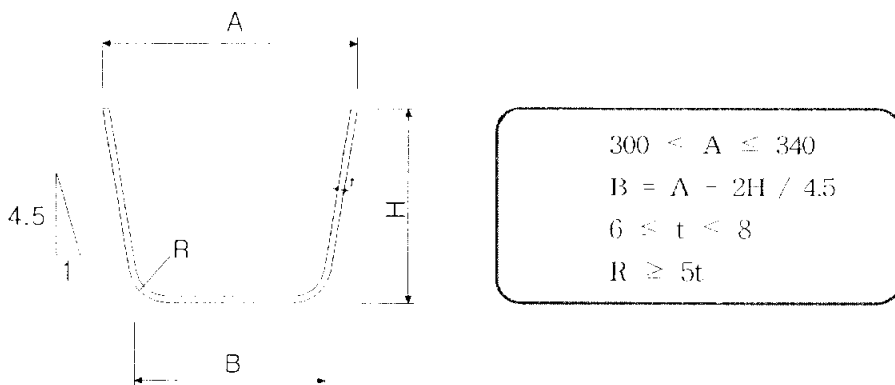


그림 2.2.2 폐단면 U형 리브 표준 단면

도로교 설계기준에서는 최소두께를 8mm로 규정하고 있으나 경제성을 고려하여 U형 리브에 사용하는 강재의 판두께는 6~8mm를 사용하도록 규정하고 있으며, 대부분의 설계에서는 8mm를 채택하고 있다<sup>16)</sup>.

표 2.1은 국내 주요 교량에 적용된 U형 리브의 단면 체원을 나타낸다.

표 2.1 국내 주요 교량에 사용된 U형 리브의 단면 제원

| 국내<br>적용교량 | 호칭        |    | 치수(mm) |       |       |     |   |    | 단면적<br>(cm <sup>2</sup> ) |
|------------|-----------|----|--------|-------|-------|-----|---|----|---------------------------|
|            | (A×H×t R) |    | A      | A'    | B     | H   | t | R  |                           |
| 영흥대교       | 320×240×6 | 40 | 320    | 319.4 | 213.3 | 240 | 6 | 40 | 40.26                     |
| 영흥대교       | 320×260×6 | 40 | 320    | 319.4 | 204.4 | 260 | 6 | 40 | 42.19                     |
| 청담대교       | 320×240×8 | 40 | 324.1  | 323.3 | 216.5 | 242 | 8 | 40 | 53.90                     |
| 가양대교       | 320×260×8 | 40 | 324.1  | 323.3 | 207.7 | 262 | 8 | 40 | 56.47                     |
| 광안대교       | 340×260×8 | 40 | 340    | 339.2 | 224.4 | 260 | 8 | 40 | 57.48                     |
| 영종대교       | 340×260×8 | 30 | 304.1  | 303.3 | 205.4 | 222 | 8 | 30 | 50.14                     |

### 2.2.3 U형 리브의 배치

교량 상판의 치함에 대한 포장의 손상과 관련하여 U형 리브와 횡리브의 간격은 짧을수록 상판의 강성은 높아지므로 최소간격은 종리브의 현장 용접 및 볼트채결의 작업성에 제약을 받는다. 따라서, 구조적 특성과 현장 이음의 작업성을 고려하여 U형 리브를 용접이음으로 설계하는 경우에는 간격을 150~200mm, 볼트이음으로 설계할 경우는 간격을 190~200mm 범위가 적절하나<sup>15)</sup>. 그림 2.2.3에는 U형 리브 배치도를 나타낸다.

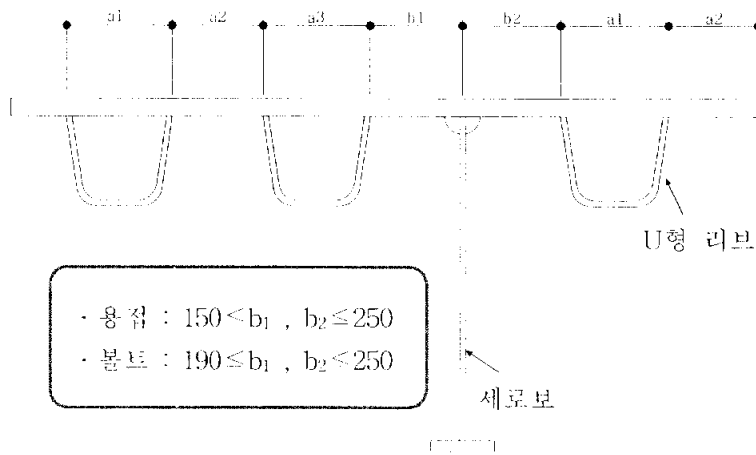


그림 2.2.3 U형 리브 배치도

## 2.3 강상판 데크플레이트의 열변형 및 이음 설계

### 2.3.1 강상판 데크플레이트의 열변형

도로교 시방시에 의하면 포장은 미끄러짐을 방지하거나, 차륜하중을 분포시키거나, 바닥판을 마모와 부식으로부터 보호하는데 중요한 역할을 한다. 강바닥판의 포장은 일반적으로 아스팔트계 포장이 사용되고 있으나, 너무 얇으면 마모와 균열이 생기기 쉽고 급격히 파손되며, 너무 두꺼우면 표면이 굴곡되거나 유동할 우려가 있으므로 5~8cm로 하는 것이 좋다<sup>16)</sup>. 한편 해석에서는 강바닥판을 포장할 때 구스 아스팔트와 같이 고온의 포설온도가 필요한 포장을 사용하게 되면 포장 시공시 강바닥판의 열변형으로 인해 교량받침의 부상이나 신축이음장치의 기능 상실 등 여러 가지 문제점이 발생할 우려가 있다. 따라서 고온의 포설온도가 필요한 포장을 강바닥판에 시공할 때는 사전에 그 열영향을 분석하여 교량받침의 여유량 증대, 강바닥판의 열변형을 최소화할 수 있는 포장공정의 수립, 신축이음장치 후설치(後設置)등 바닥판에 대한 대책을 마련하는 것이 바람직하다. 일반적으로 국내에서는 개질아스팔트 4cm, 구스아스팔트 4cm 합계 8cm 이상으로 포장을 실시한다.

#### 1) 교면포장의 구성

강상판의 교면포장은 용접부, 볼트헤드 등과 같은 상판의 요철을 보정하기 위해 그림 2.3.1과 같이 상층과 하층으로 구성된다. 하층은 강상판의 요철을 보정하고 상판과 상층을 일체화시켜 포장의 안정성과 내구성을 높이는 역할을 하는 층이다. 하층에 사용한 혼합물의 성능이 포장의 내구성에 큰 영향을 미치기 때문에 방수성이 우수하고 강상판의 변형에 대한 적응력이 뛰어난 구스아스팔트 혼합물을 주로 사용한다.

상층(표층)은 차량의 쾌적한 주행성을 확보하고, 제동에 대한 미끄러짐

항이 커야 한다. 또한 여름철에 고온에서의 바퀴자국패임(소성변형)에 대한 안정성 및 겨울철 타이어 채인에 의한 파모와 균열에 대한 피로 저항성이 요구된다. 따라서 상층에는 내유동, 내마모성이 큰 개질아스팔트 혼합물이 주로 사용된다<sup>17)~19)</sup>.

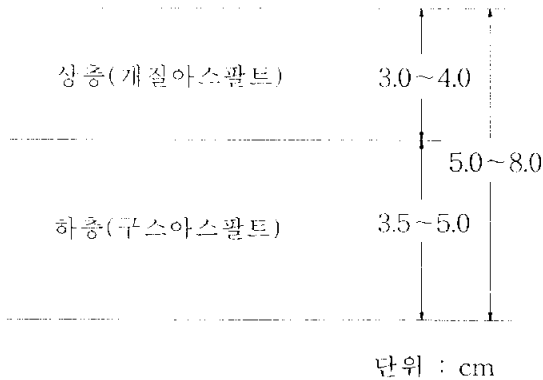


그림 2.3.1 교면 포장의 구성

## 2) 교면포장사 데크플레이트에 미치는 영향

구스아스팔트 포장은 강상판과 개질아스팔트 사이에 방수성 및 강상판의 변형에 대한 적응력이 뛰어난 구스아스팔트를 포설하는 특수포장공법이다. 유럽과 일본의 강상판 교량에서 널리 사용되고 있는 구스아스팔트 포장공법은 재료비 및 시공비가 일반 아스팔트보다 2배이상 고가이나 강상판 진동에 대한 적응력이 높으며 또한 방수성이 우수하며, 강상판 부식 방지에 대한 장기적인 공용성 확보로 향후 유지관리비 등을 고려할 때 유리한 공법이다. 또한, 수밀성이 높고, 처짐에 대한 저항성이 큰 구스아스팔트 포장은 약 220℃~260℃의 고온에서 시공된다. 구스아스팔트의 시공시 강상판 단면 상하방향에서 일시적으로 100℃~130℃의 온도차가 발생한다. 구스아스팔트를 강상판에 포설하게 되면 아스팔트가 포설된 강상판의 온도가 급격하게 올라 선장하게 되어 온도에 의한 응력이 발생하게 된다. 구스아스팔트 시공에서는 인직방향의 변위가 발생하여 교좌장치가

부상한 경우도 있다. 구스아스팔트를 포설할 경우에는 열변형에 효과적인 대책이 필요하다<sup>17)~19)</sup>. 그림 2.3.2 a) 및 b)는 구스아스팔트 포설시 교축직각 및 횡단면 변형형상을 나타낸다.

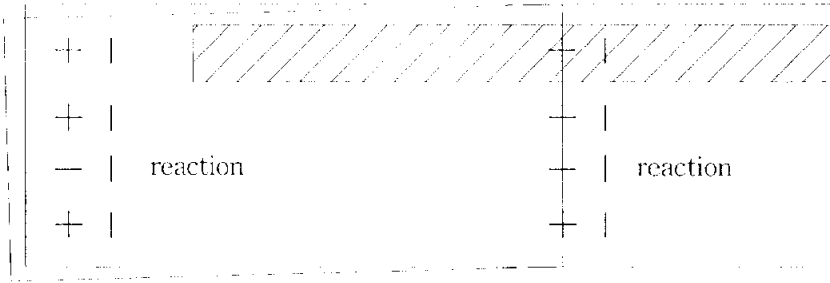


그림 2.3.2 a) 교축직각 방향의 변형상태

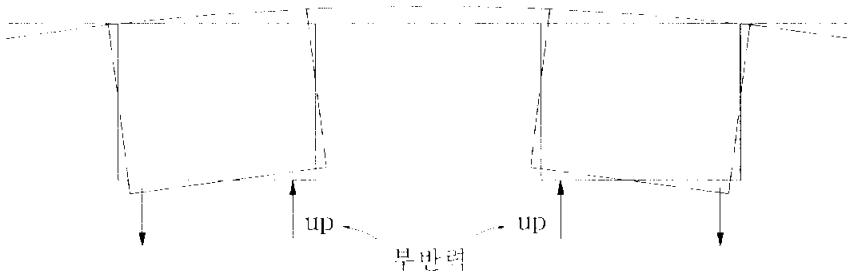


그림 2.3.2 b) 횡방향의 변형상태

그림 2.3.2 구스아스팔트 포설시 교축직각 및 횡방향의 변형상태

그림 2.3.2 a) 및 b)와 같이 구스아스팔트 포설시 편측포설을 실시하면 교량은 횡방향으로 변형하며 이로 인하여 교축직각방향 반력이 발생하며 횡단면의 휨변형에 의해 내측 슈에는 부반력이 발생한다. 이때 사하중과 온도하중에 의한 반력을 더할 경우 인발력이 발생하여 교량은 일시적으로 부상한다. 인발력이 발생하지 않더라도 수직반력이 감소하여 허용수평력이 같이 감소하므로 수평반력이 허용수평력을 초과할 경우 교좌장치에 손

상이 발생한다. 구스아스팔트 포설시 교량에 미치는 주요영향은 다음과 같다.

- ① 편측 포설시에는 교축직각방향 변형에 의하여 고정 및 일방향 교좌 장치에 수평반력이 발생하여 이 반력이 허용치를 초과 할 수 있다.
- ② 상판에 고온이 발생하므로 이로 인한 횡단변 변화는 내측 교좌장치에 인발력이 발생할 수 있다.
- ③ 구스아스팔트 포설시에는 온도상승에 의하여 교좌장치 및 신축이음 장치의 유간에 주의해야 하며 기온이 높을 경우 교량의 종방향 신 장이 큰 상태에서 포설이 이루어질 경우 더 위험하다.

따라서 강교량의 강상판 설계시에는 아스팔트 포설시는 열전도에 따른 변형을 해석하여야 한다.

### 2.3.2 강상판 데크플레이트의 이음

#### 1) 강상판 데크플레이트의 고장력 볼트이음

강상판에서 데크플레이트를 그림 2.3.3과 같이 고장력 볼트 마찰이음으로 실시할 경우, 비교적 단순한 작업으로 시공관리를 확실하게 할 수 있어 현장 작업성은 편리하다. 그러나 이음부의 이음관, 볼트 와셔 및 너트에 의해 이음부가 강상판 위로 30mm 이상 돌출이 생기게 되므로 80mm 두께의 교면포장에 대해 단면의 감소가 발생하여 포장의 내구성을 저하시킬 우려가 있다.

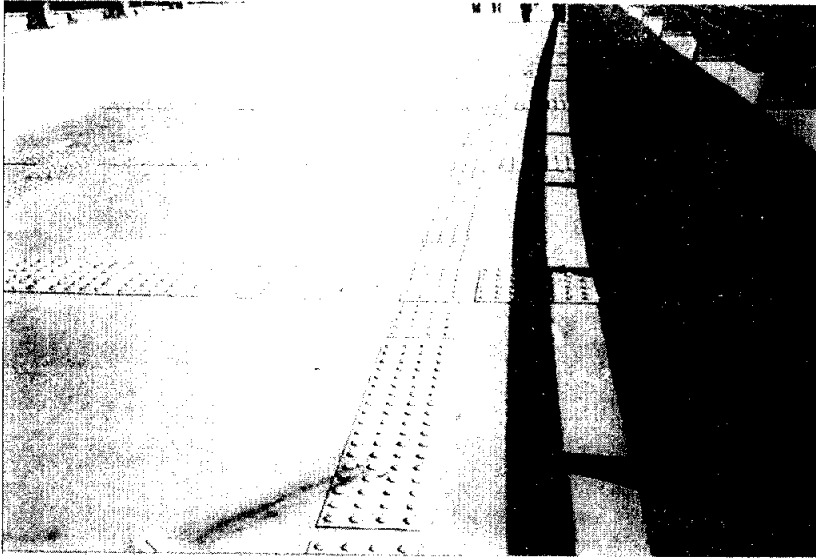


그림 2.3.3 데크플레이트 고정력 볼트이음 전경

## 2) 강상판 데크플레이트의 용접이음

데크플레이트를 용접이음할 경우 용접에 의한 수축변형 등이 발생한다. 최근에는 용접기술이 발달하여 충분히 신뢰할 수 있는 이음이 얻어지므로 교면포장에 악영향이 없도록 데크플레이트의 현장이음에는 용접이음을 원칙적으로 적용한다. 용접이음은 작용응력 방향을 고려한 전단면용입(full penetration) 홈용접을 실시한다. 그림 2.3.4는 데크플레이트 용접이음 전경을 나타낸다. 그림 2.3.5와 같이 데크플레이트의 현장이음은 교축방향 및 교축직각방향의 용접선에 대해서는 가설방법 등을 고려하여 결정하되, 일직선이 되도록 선계한다.

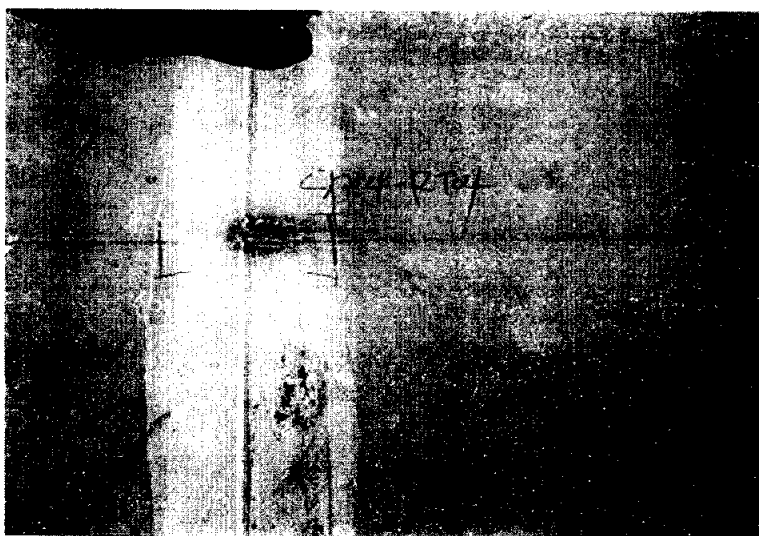


그림 2.3.4 데크플레이트 용접이음

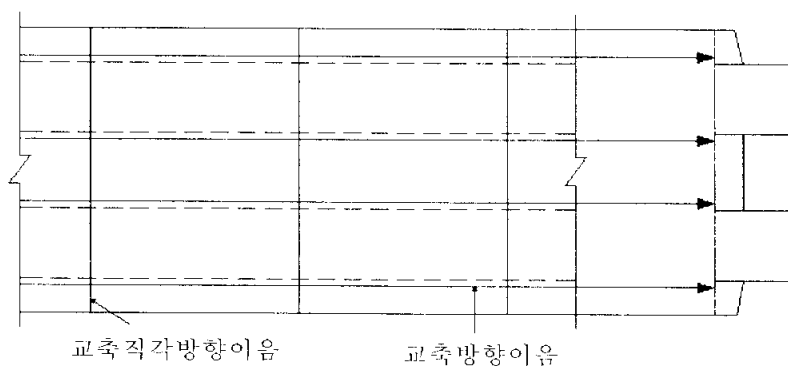


그림 2.3.5 데크플레이트 현장용접 이음 위치

## 2.4 강상판의 U형 리브 이음 상세 설계

### 2.4.1 데크플레이트와 U형 리브의 종방향 용접이음

강상판과 U형 리브의 용접에는 필렛용접과 홈용접이 있다. U형 리브의 판두께가 6mm인 경우는 거의 홈용접과 같은 용입면적을 얻을 수 있으므로 필렛용접을 사용한다. 이 때 용접치수는 강바닥판의 판두께 14mm이상인 경우를 고려하면 6mm로 하는 것이 바람직하다. 그러나 U형 리브의 판두께가 8mm인 경우는 필렛용접을 사용하면 일반적으로 2mm 정도의 용입면적이 부족하므로 부분적으로 홈을 두어 홈용입 용접을 실시하는 것이 바람직하다. 그림 2.4.1에는 U형 리브의 두께가 6mm일 경우의 필렛용접 형상을 나타내며, 그림 2.4.2 a)에는 U리브의 판두께가 8mm일 경우의 홈의 형상을 나타내고, 그림 2.4.2 b)에는 U형 리브의 두께가 8mm일 경우의 홈용입용접 형상을 나타낸다.

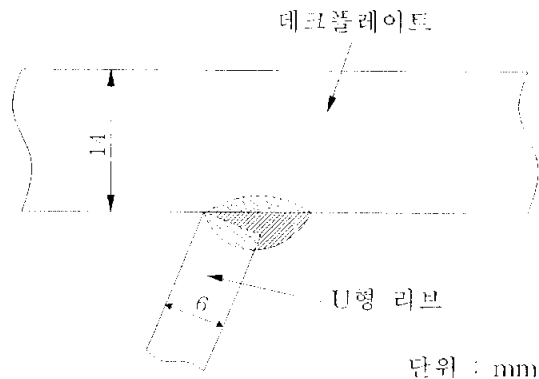


그림 2.4.1 U형 리브의 두께가 6mm일 경우의 필렛용접 형상

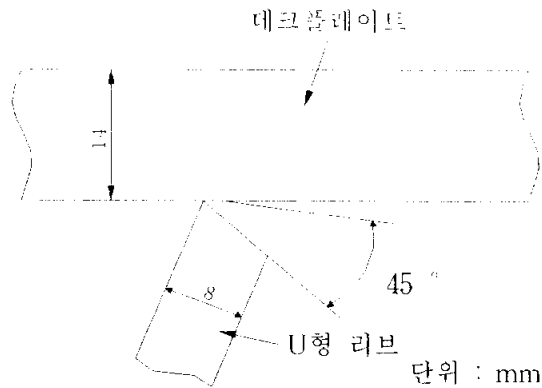


그림 2.4.2 a) U형 리브의 두께가 8mm일 경우의 홈의 형상

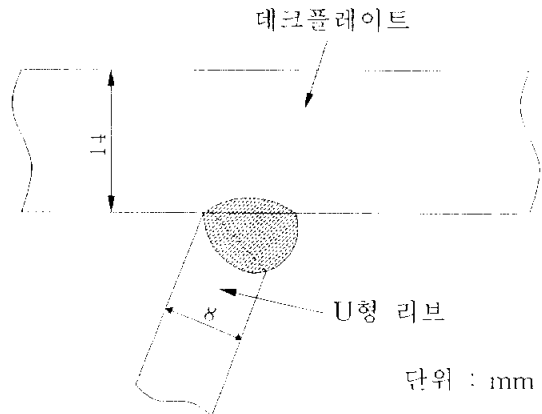


그림 2.4.2 b) U형 리브의 두께가 8mm일 경우의 홈용입용접 형상

데크플레이트와 U형 리브의 용접부에는 소정의 목두께와 용입깊이가 확보되어야 한다. 그림 2.4.2 c)는 데크플레이트와 U형 리브 용접의 용입 깊이를 나타낸다. 데크플레이트와 U형 리브 용접부의 용입 깊이는 초음파 탐상시험으로 확인할 수 있다. 그러나 사각(斜角)탐상을 데크플레이트나 U형 리브에 실시할 경우에는 많은 어려움이 있으며, 탐상정도도 떨어진다. 따라서 시공전에 실제와 같은 용접조건에서의 시공시험을 실시하여

용접단면의 용입 깊이를 확인한 후, 동일한 용접조건에 의해 실제의 용접을 실시하여 소정의 용입 깊이를 확보하여야 한다<sup>20)~21)</sup>.

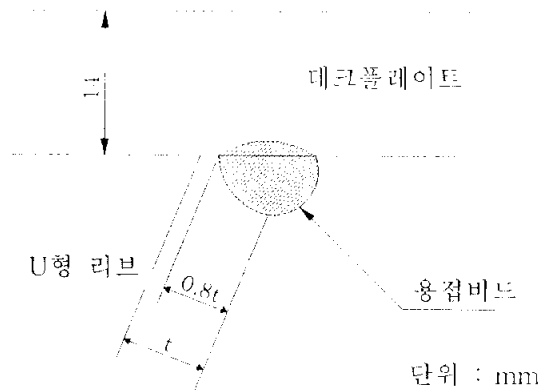


그림 2.4.2 c) U형 리브의 용입깊이

#### 2.4.2 U형 리브 현장용접이음

U형 리브+U형 리브를 용접이음으로 시공할 경우, 가설 현장에서의 용접자세는 상향용접이 되므로 이면재를 부착하여 용접을 실시하여야 한다. 이 경우 U형 리브가 이면재에 완전히 밀착되지 않으면 단차가 발생하고 단차가 발생한 용접이음부의 형상변화부에는 응력집중이 발생하므로 피로 균열이 발생하기 쉽다<sup>22),23)</sup>. 또한, 용입 깊이를 확인하기 위해 비파괴검사도 어려우므로 용접시공시 특별한 주의를 기울여야 한다. 따라서, U형 리브+U형 리브의 현장용접이음은 작업성이 나쁘고, 용접결함도 많이 발생한다. U형 리브의 용접이음과 관련하여 뉴질랜드의 오클랜드 허브교에서는 현장이음을 필렛용접으로 겹침이음을 실시하였으나, 이 필렛용접이음부에 또다시 피로손상이 발생하였다.

그림 2.4.3에서는 홍콩에 위치한 Tsing Ma대교(青馬大橋)의 U형 리브의 현장 용접이음 전경을, 그림 2.4.4에서는 국내에 위치한 ○○대교 U형 리브의 현장 용접이음 전경을 각각 나타낸다.

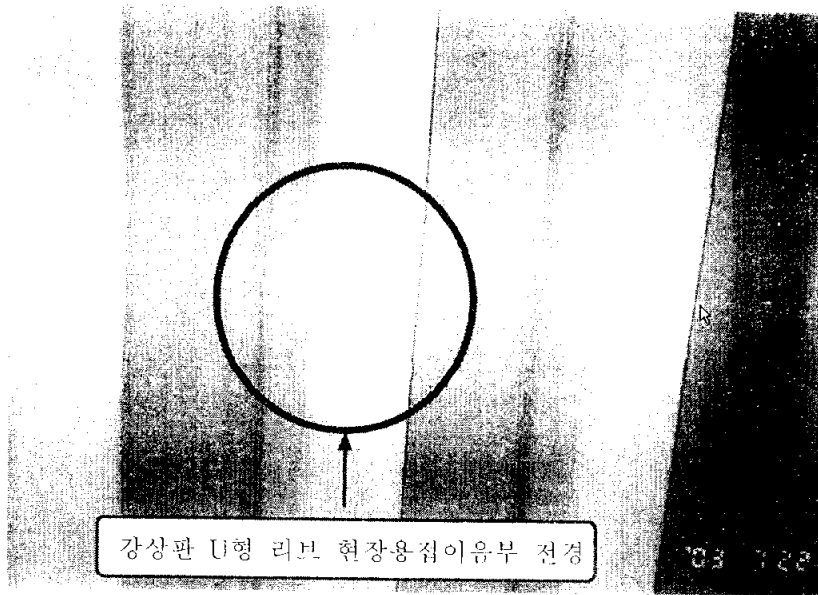


그림 2.4.3 Tsing Ma대교(青馬大橋) U형 리브 현장용접이음 전경

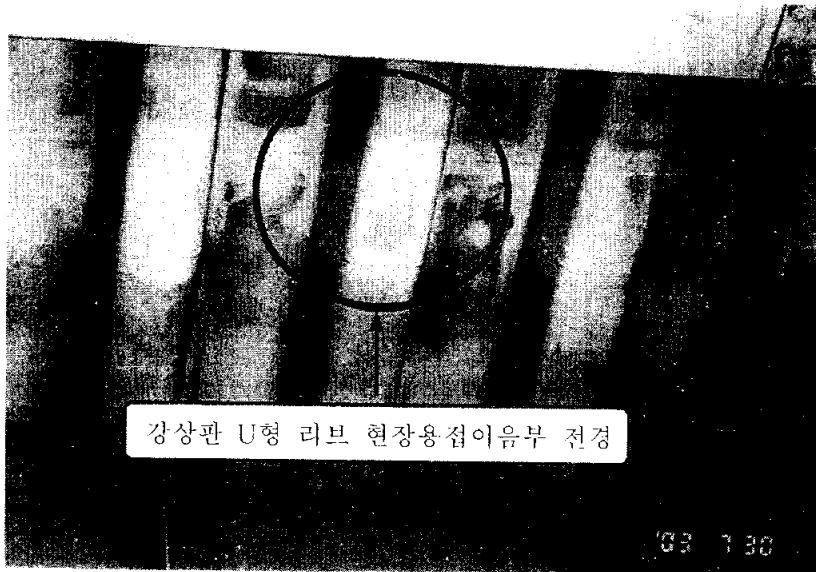
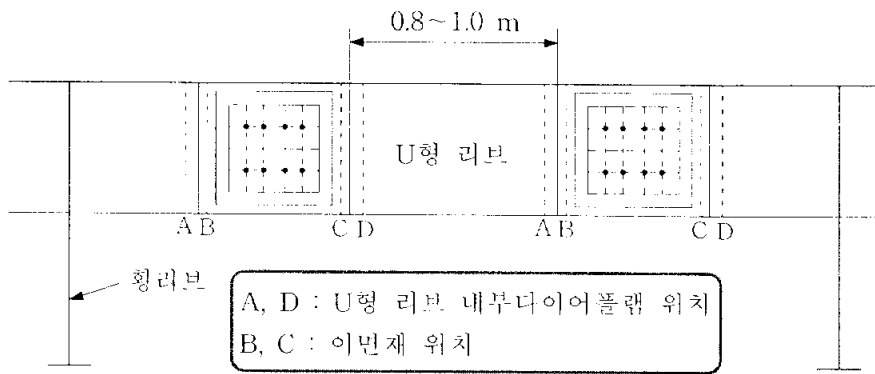


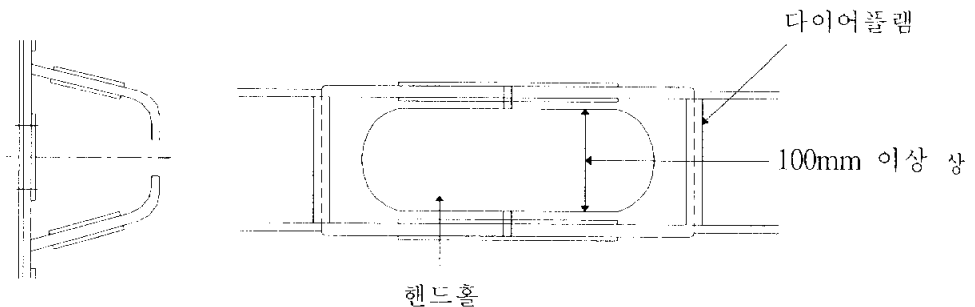
그림 2.4.4 국내 ( )대교 U형 리브 현장용접이음 전경

### 2.4.3 U형 리브의 볼트이음

U형 리브를 볼트이음으로 설계할 경우 작업성 및 시공관리가 용이하므로 품질의 신뢰도를 높일 수 있다. 그러나 볼트구멍에 의한 단면손실의 보강을 위해 이음판을 사용함으로써 이음판에 의한 강재중량이 증가되고, 볼트 체결을 위해 핸드홀이 뚫려 있으므로 U형 리브의 완전 밀폐구조가 되지 않는다. 그림 2.4.5 a) 및 b)는 U형 리브의 볼트이음부의 측면 상세도 및 볼트이음부의 하부상세도(핸드홀)를 각각 나타낸다.



a) U형 리브 볼트이음부 측면도



b) U형 리브 볼트이음부 하부(핸드홀) 상세도

그림 2.4.5 U형 리브 볼트이음부 측면 및 정면 하부(핸드홀) 상세도

### 3 강상판 상형교의 손상사례

#### 3.1 국내의 손상사례

국내에서는 과거에 강상판으로 시공한 교량이 그다지 많지 않으며, 최근에 강상판으로 건설하였거나 건설중인 교량은 많이 있다. 따라서 이미 건설한 교량에서 강상판의 손상에 대한 사례를 정리한 자료는 그다지 많지 않으나 최근에 자료가 약간 있다. 그림 3.1.1에 U형 리브 + U형 리브 현장용접이음부에 피로균열이 발생하여 용접 비드부분을 그라인딩으로 사상하고 그 위에 버클플레이트를 부착하였으나 이 버클플레이트의 필렛용접 이음부에 또다시 피로균열이 발생한 전경을 나타낸다. 그림 3.1.2에 테크플레이트+U형 리브 종방향 필렛용접이음부의 피로균열 발생 전경을 나타낸다. 이러한 피로균열은 테크플레이트+U형 리브의 필렛용접이음부에 용입이 충분히 실시되지 않았기 때문이다<sup>24),25)</sup>.

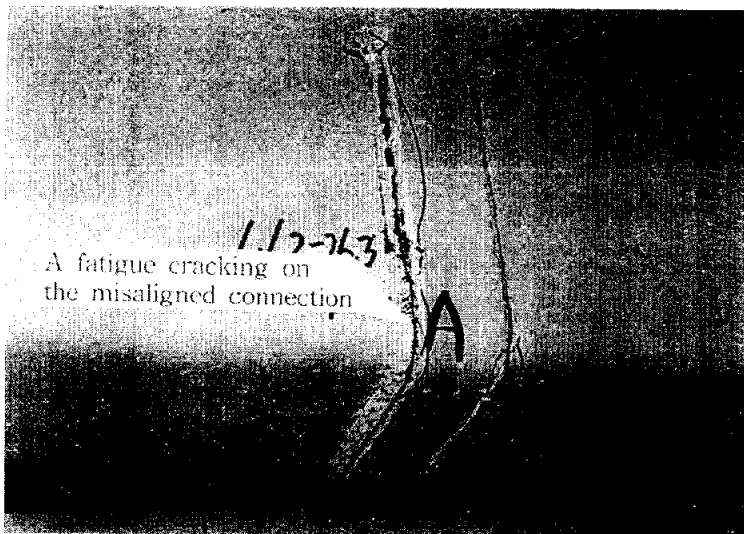


그림 3.1.1 U형 리브 + U형 리브 현장용접이음부 피로균열

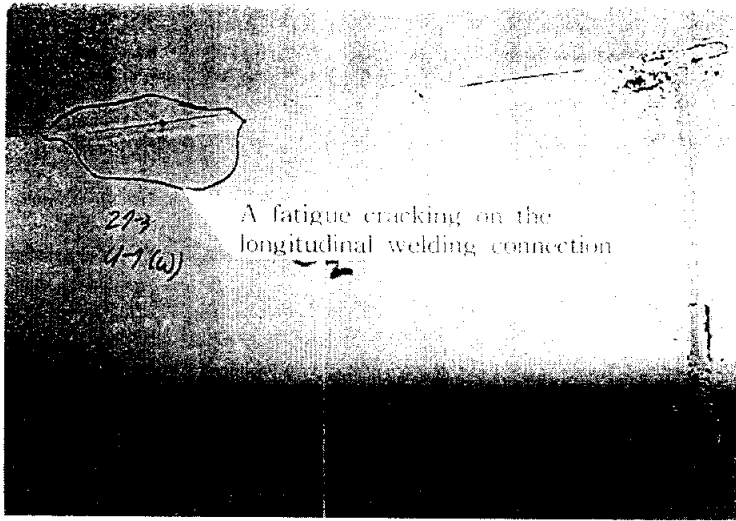


그림 3.1.2 데크플레이트+U형 리브 종방향 필렛용접이음부 피로 균열

### 3.2 외국의 손상사례

외국에서도 강상판으로 건설한 교량에 피로손상이 발생한 사례가 보고되고 있으며, 피로손상의 일례를 기술하면 다음과 같다.

그림 3.2.1에는 강상판 상형교의 피로 균열발생 위치를 나타낸다. 이들 손상은 바로 낙교로 연결되는 것은 아니지만 그대로 방치하면 포장의 손상 및 평탄성의 결여 등 도로로서의 기능저하 및 내구성 저하를 초래한다. 강상판 상형교의 피로균열의 발생위치는 다음과 같다.

#### 1) 데크플레이트 현장 용접이음부+횡리브 스켈럽부(그림 3.2.1 ①)

피로균열이 발생한 용접이음부는 데크플레이트의 교축방향 용접선 바로 아래이며, X선 촬영용의 스켈럽 용접이음부에서 피로균열이 발생하였다. 이 부분은 클라중 바로 아래에 위치하기 때문에 높은 응력변동이 빈번히 일어나고 있는 것도 하나의 요인이다.

#### 2) 데크플레이트+U형 리브+횡리브의 교차부(그림 3.2.1 ②)

이 부분은 데크플레이트+U형 리브+횡리브가 교차하는 위치의 용접이음부로서 용접선에 의하여 진전하는 피로균열과 스켈럽부에서 웨이브로 진전하는 피로균열이 있다. 스켈럽부는 상당히 큰 응력집중이 일어나고, 이것에 의해 손상이 발생한 것이다. 영국의 Sevan교에서는 웨이브를 연속시키고 웨이브 사이에 종리브를 필렛용접으로 연결하는 구조를 채택하였는데 이러한 용접이음부에 피로손상이 발생한 예도 보고되고 있다.

#### 3) 횡리브+U형 리브 교차부 슬롯 용접이음부(그림 3.2.1 ③)

횡리브+U형 리브 교차부에 슬롯을 두는 경우 피로균열이 발생한 예가 보고되어 있다.

#### 4) 주형웨이브 수직보강재와 데크플레이트의 용접이음부(그림 3.2.1 ④)

수직보강재가 클라중 바로 아래에 있는 경우, 그리고 주형웨이브를 중심으로 클라중이 대칭으로 재하된 경우에 수직보강재측과 데크플레이트의

양쪽 용접토우부에 피로균열이 발생한 예가 있다. 이러한 현상은 원하중 재하에 의한 테크플레이트의 처짐변형을 수직보강재가 구속하고, 그 선단에 휨모멘트가 작용하기 때문이다.

그림 3.2.2는 교량에서 피로손상을 받기 쉬운 횡리브의 슬롯형상 전경을 나타낸다.

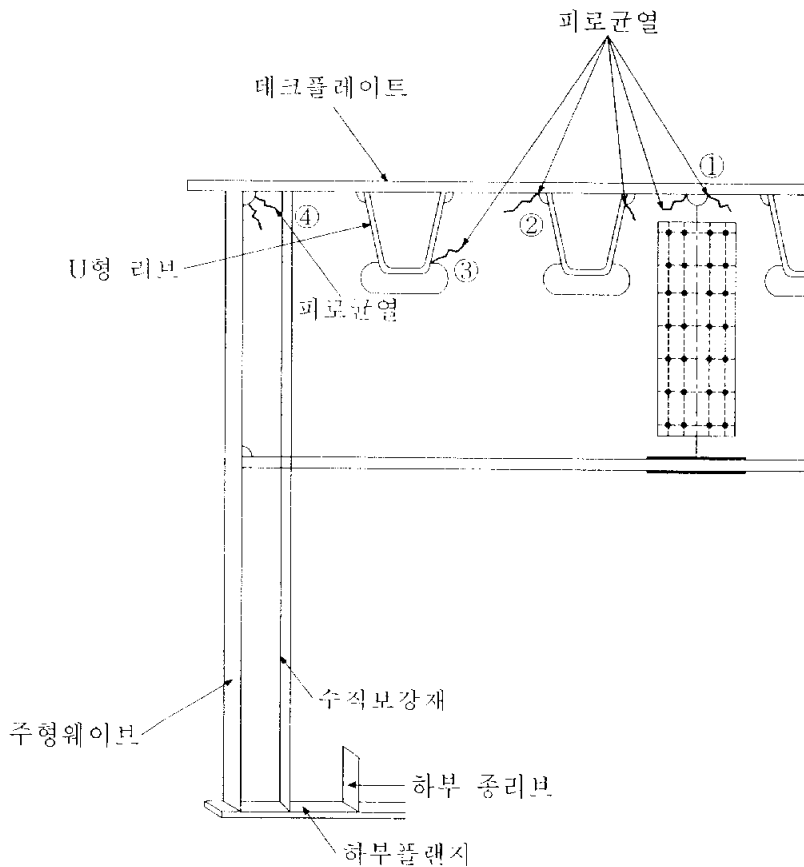


그림 3.2.1 강상판 피로손상 예

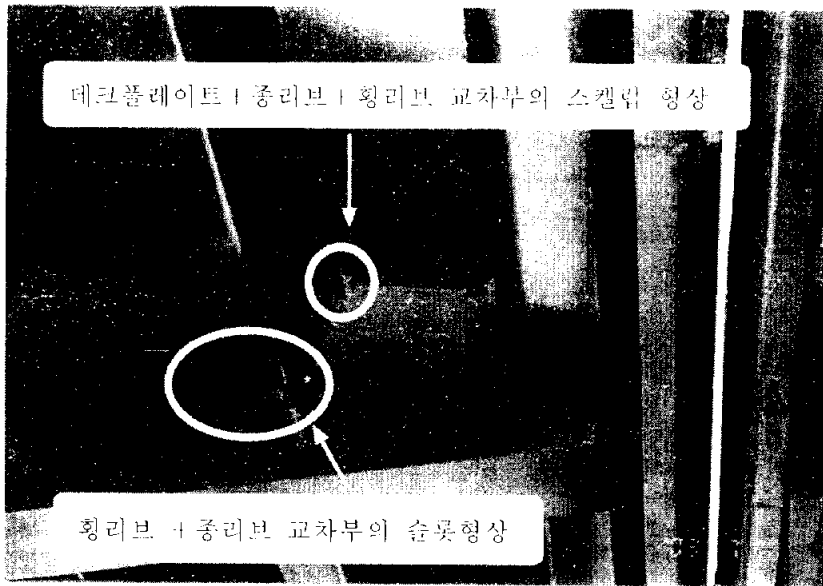


그림 3.2.2 피로손상이 발생할 수 있는 횡리브 슬롯형상 전경

## 4. 강상판 상형교의 손상에 대한 고찰 및 손상대책

“2.3 강상판 데크플레이트의 열변형 및 이음설계”, “2.4 강상판 상형교 U형 리브의 상세 설계”에서 강상판에 발생한 피로균열 발생에 대한 국·내외의 자료를 정리하였다. 여기서는 강상판 상형교의 피로균열 발생에 대한 자료를 고찰하고 피로균열 발생을 방지하기 위한 대책을 기술한다.

### 4.1 데크플레이트의 손상에 대한 고찰 및 대책

#### 4.1.1 강상판 데크플레이트의 열변형

2.3에서 기술한 바와 같이 강상판 데크플레이트 상에서는 구스아스팔트 + 개질아스팔트를 포장한다. 구스아스팔트 포장시 데크플레이트 상면에는  $220^{\circ}\text{C} \sim 260^{\circ}\text{C}$ 의 고온에서 포장한다. 따라서, 강상판의 설계시 열전도에 따른 상판의 변형에 대한 해석을 반드시 실시하여야 한다. 특히 램프교와 같이 곡선교에 포장을 실시할 경우 강상판의 열에 의한 변형은 3차원으로 발생하여 데크플레이트의 뒤틀림, 슈의 부상 등 복잡하게 변형이 발생하므로 열변형에 대한 상세해석이 필요하다. 구스아스팔트 포설시 교량에 미치는 주된 영향은 다음과 같고, 그림 4.1.1은 구스아스팔트 포설순서를 나타낸다.

- ① 편측포설시에는 교축직각방향변형에 의하여 수평반력이 발생하여 이 반력이 허용치를 초과 할 수 있다.
- ② 상판에 고온이 발생하여 내측교과장치에 인발력이 발생할 수 있다.
- ③ 기온이 높을 경우 교량의 종방향신장이 이미 큰 상태에서 포설이 이루어지면 더 위험하다.

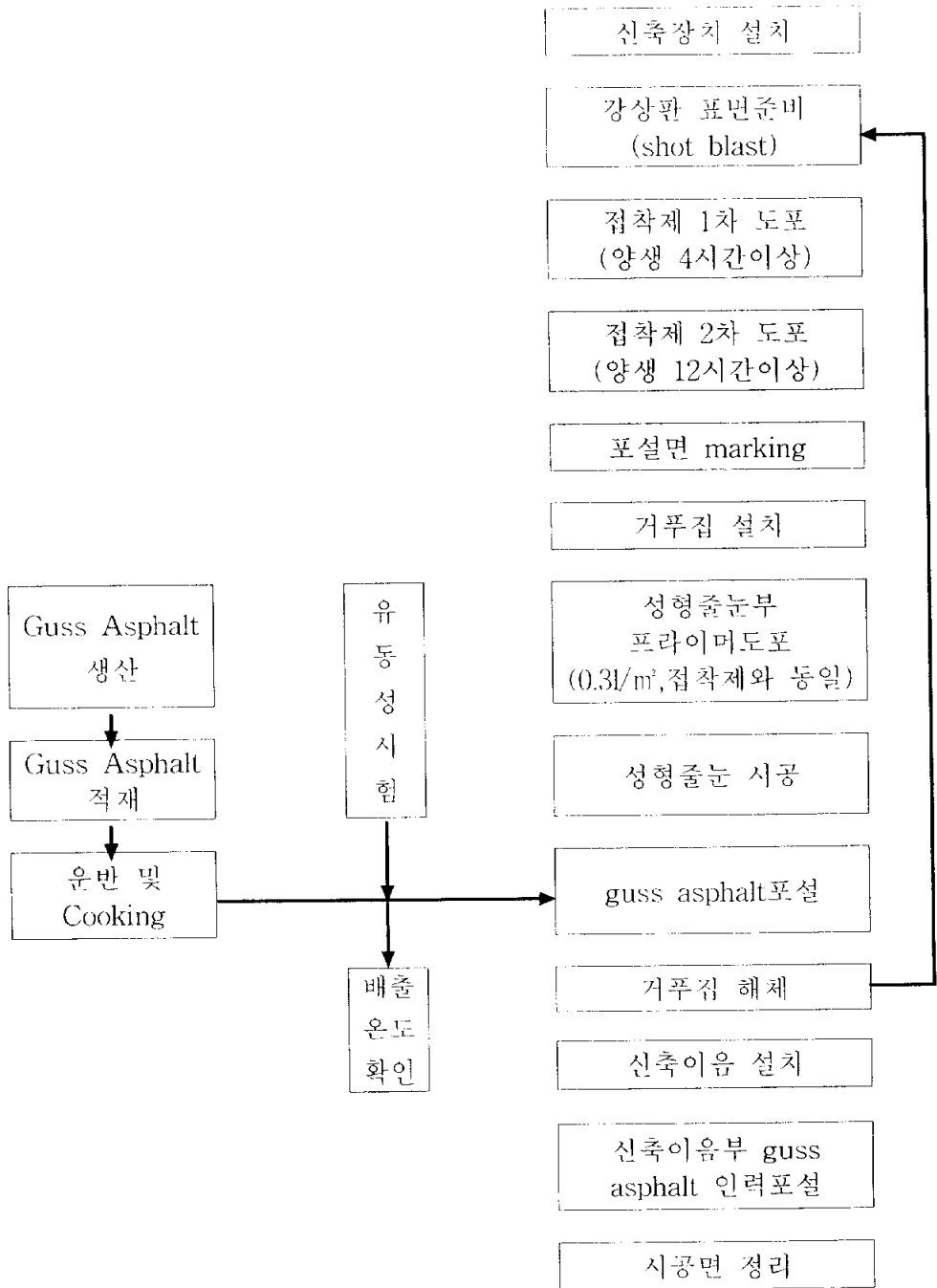


그림 4.1.1 구스아스팔트 포설순서도

현재 국내의 강상판 설계에서는 열변형에 의한 해석을 실시하지 않고 경험적으로 포장을 실시하고 있다. 강상판 구스아스팔트 포설시 데크플레이트의 열변형에 의한 영향을 감소시키기 위해서는 다음과 같은 주의가 필요하다.

- ① 종방향신장을 고려하여 포설길이를 조정하여야 한다.
- ② 수평방향반력을 억제하기 위하여 편측포설을 지양하고 대칭포설을 수행하여야 하며 교량의 횡단구성상 대칭포설이 힘들 경우에는 포설폭을 조정하는 것이 바람직하다.

#### 4.1.2 강상판 데크플레이트의 고장력 볼트이음

강상판에서 데크플레이트의 현장이음을 고장력 볼트이음으로 실시할 경우, 이음부의 이음판, 볼트 와셔 및 너트에 의해 강상판 위로 30mm 이상 돌출되므로 도로교 시방서에서 규정한 50~80mm 두께의 교면포장에 대해 포장단면이 감소하여 포장이 파손되는 등의 포장의 내구성을 저하시킬 수 있다. 또한 포장 파손부를 통한 우수(雨水) 등의 침투로 인하여 강상판의 표면이 부식되는 등의 데크플레이트 파손이 발생할 수 있다. 따라서 강상판 데크플레이트의 현장이음은 볼트이음 대신에 포장단면의 급변부가 발생하지 않는 용접이음을 실시하는 것이 바람직하다.

#### 4.1.3 강상판 데크플레이트의 용접이음

강상판 데크플레이트의 현장이음을 용접이음으로 실시할 경우 용접에 의한 수축변형 등이 발생할 수 있지만 용접기술의 발달로 충분히 신뢰할 수 있는 이음을 얻을 수 있다. 또한 용접이음은 고장력 볼트이음과 달리 이음판 등에 의한 단면 급변부가 발생하지 않아 교면포장에 대해 단면감소 등의 영향이 없다. 따라서 용접이음을 실시하는 것이 교면 포장의 수

명을 연장할 수 있는 방안으로 여겨진다. 용집이음은 교축방향 및 교축직각방향의 용집선에 대해서는 가설방법 등을 고려하여 결정하되, 일직선이 되도록 설계하여야 한다.

## 4.2 데크플레이트와 U형 리브 종방향 용접이음부

### 4.2.1 데크플레이트와 U형 리브 용접이음부 고찰 및 손상대책

U형 리브의 판두께가 8mm인 경우에 필렛용접을 사용하면 일반적으로 2mm 정도의 용입면적이 부족하므로 흠을 두어 혼용입 용접을 실시하여야 한다. 또한 데크플레이트와 U형 리브의 용접이음부에는 소정의 목두께와 용입량이 확보되어야 한다. 그림 4.2.1은 데크플레이트와 U형 리브 용접의 용입깊이를 나타낸다. 데크플레이트와 U형 리브의 용접이음시에는 U형 리브 두께의 80%이상 용입이 실시되어야 한다. 데크플레이트와 U형 리브 용접이음부의 용입 깊이는 초음파탐상시험으로 확인 할 수 있다. 그러나 초음파 탐상에서 사각(斜角)탐상은 데크플레이트와 U형 리브의 용접부에 실시하는 것은 많은 어려움이 있고, 탐상정도도 떨어진다. 따라서 시공전에 실제와 같은 용접조건에서의 시공시험을 실시하여 용접단면의 용입 깊이를 확인한 후, 동일한 용접조건에 의해 실제의 용접을 실시하여 소정의 용입 깊이가 확보되는지를 반드시 확인하여야 한다.

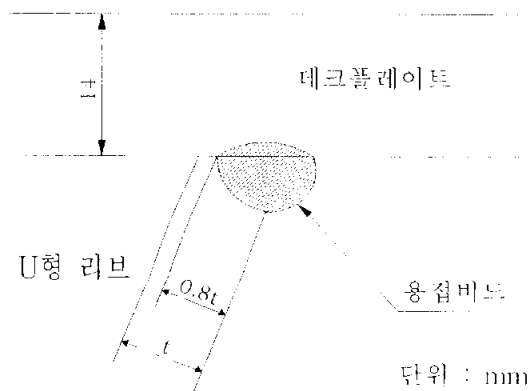


그림 4.2.1 U형 리브의 용입깊이

#### 4.2.2 U형 리브+U형 리브 현상 용접이음

U형 리브+U형 리브를 용접이음으로 시공할 경우, 용접자세는 상향 자세가 되어 작업능률도 떨어지고, 용접이음부에 결함이 발생하여 품질저하가 초래된다. 따라서 양호한 용접품질을 확보하기 위해서 다음에 기술하는 홈의 표면 조건을 만족하여야 하며, 그림 4.2.2에 홈의 표면조건을 나타낸다.

- ① 루트 간격 : 4~6mm
- ② 단차 : 1mm이하
- ③ 이면재와의 틈새 : 1mm 이하

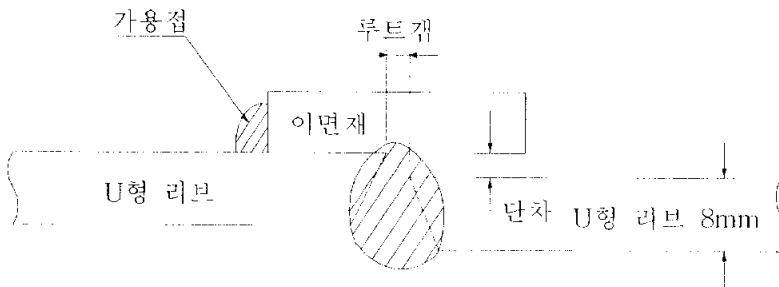


그림 4.2.2 홈의 표면 조건

현장이음부의 위치는 모멘트가 큰 횡리브 중앙부보다 횡리브 부근에 설치하는 것이 좋다. 그러나, 현장이음부를 횡리브에 너무 가깝게 설치하면 용접 시공성이 나빠져서 품질저하를 초래할 우려가 있다. 따라서 작용 단면력과 시공성을 고려하여 그림 4.2.3과 같이 U형 리브 지간 중앙으로부터  $L/4$  ( $L$  : 종리브의 지간) 이상 떨어져서 현장이음을 설치하는 것이 좋다.

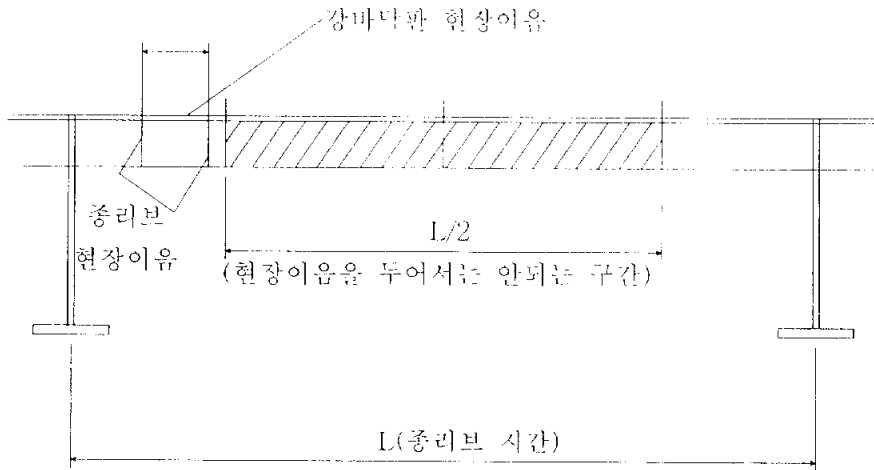


그림 4.2.3 현장이음 설치위치

#### 4.2.3 U형 리브의 볼트이음

U형 리브를 볼트이음으로 설계할 경우 작업성 및 시공관리가 용이하므로 품질의 신뢰도를 높일 수 있고, 용접이음에 비해 작업의 정확성도 높다. 그러나, U형 리브를 볼트이음 할 경우 단면의 손실이 발생하므로 이음부는 데크플레이트의 모멘트가 작은 곳에 설치한다. 또한 U형 리브의 하부에 설치한 핸드홀로 인해 U형 리브의 밀폐구조를 얻기 어려우므로 U형 리브의 밀폐를 위해 그림 4.2.4와 같이 U형 리브의 현장이음부 부근에 내부 다이어플램을 설치하고, 그림 4.2.5와 같이 핸드홀 막이판을 설치하여 내부를 밀폐시킨다<sup>26),27)</sup>.

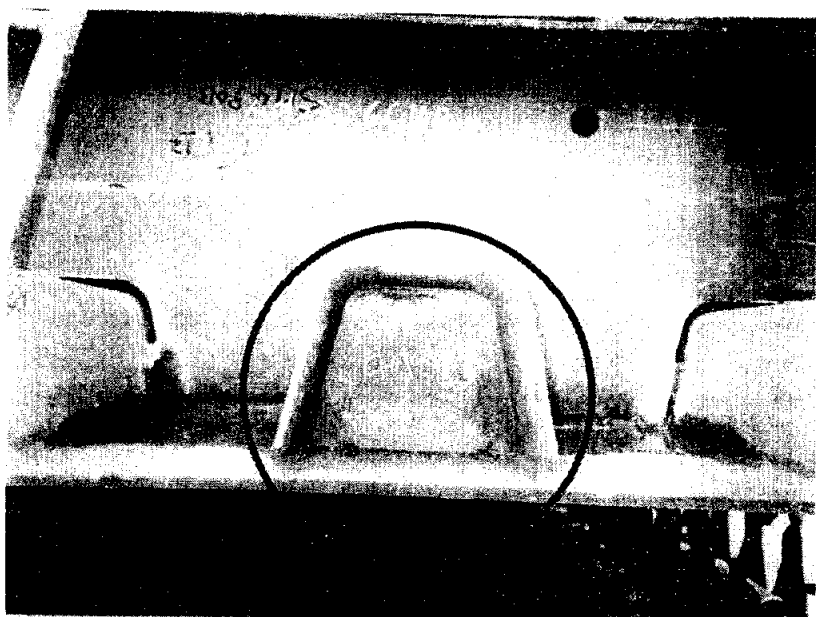


그림 4.2.4 U형 리브 내부 다이어플램 전경

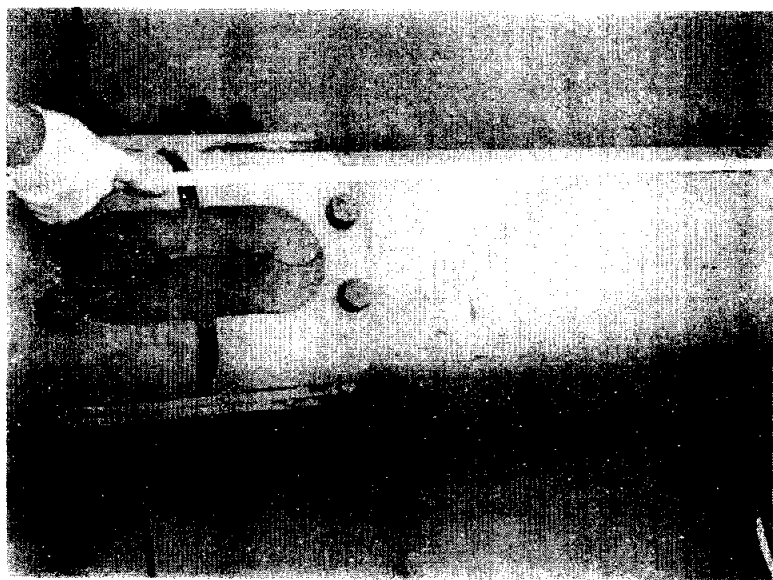


그림 4.2.5 핸드홀 박이판 전경

#### 4.2.4 데크플레이트 현장용접 이음부+횡리브 스켈럽부

데크플레이트 교축방향 현장 용접이음부와 횡리브의 볼트이음부가 교차하는 곳에는 방사선 투과시험(RT)용의 필름이 들어갈 수 있을 정도로 큰 스켈럽이 설치되어 이 스켈럽 부에서 균열이 발생한 사례가 보고되어 있다. 따라서 데크플레이트의 현장 이음부에는 용접이음을 위해 세라믹 back bar가 들어갈 수 있을 정도의 스켈럽만을 두어 용접이음을 실시한 후 초음파 탐상시험으로 비파괴 검사를 실시한다.

#### 4.2.5 데크플레이트+U형 리브+횡리브의 교차부

그림 3.2.2에 나타난 바와 같이 데크플레이트+종리브+횡리브의 교차부에 슬롯이 존재할 경우 피로균열이 발생하였으므로 이 부분은 그림 4.2.6과 같이 피로 균열 발생을 억제하기 위해 스켈럽을 두지 않는 것이 바람직하다<sup>20)</sup>.

#### 4.2.6 횡리브+U형 리브 교차부 슬롯 용접이음부

횡리브+U형 리브 교차부에 그림 3.2.2와 같이 슬롯형상을 두는 경우 피로균열이 발생하기도 하므로 그림 4.2.6과 같은 슬롯형상으로 변경하고 횡리브+U형 리브 교차부의 용접이음부에는 돌림용접을 철저히 실시함으로써 이러한 용접이음부에 발생하는 균열을 막을 수 있다<sup>13),14)</sup>.

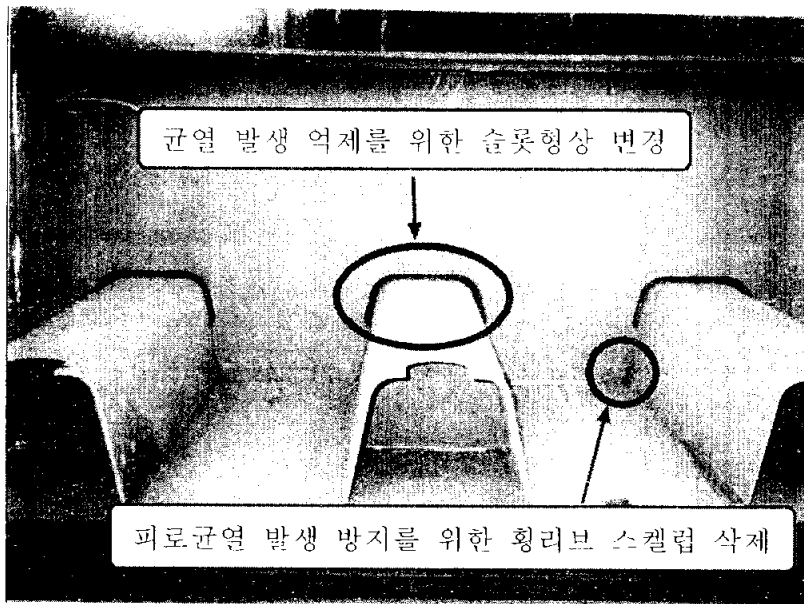
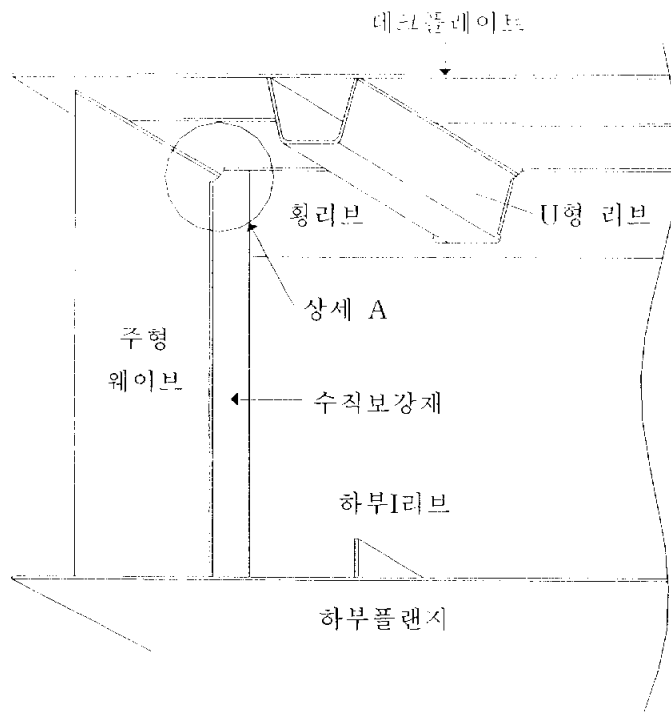


그림 4.2.6 피로손상 발생을 감소시키는 슬롯형상

#### 4.2.7 주형웨이브+수직보강재+테크플레이트의 용접이음부

피로균열은 수직보강재측 양쪽 용접토우부에서 발생하였다. 이러한 부분의 용접이음부는 수직보강재와 주형웨이브의 스킵 주위의 우각부에 돌림용접을 철저히 함으로써 피로균열을 방지할 수 있다. 그림 4.2.7은 주형웨이브+수직보강재+테크플레이트의 용접이음부의 돌림용접 상세를 나타낸다.



상 세 A

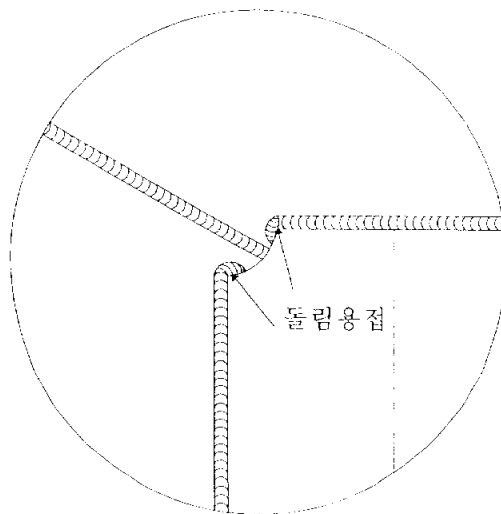


그림 4.2.7 주형웨이브 + 수직보강재 + 데크플레이트의 돌림용접부

## 5. 결 론

본 논문에서는 국내외의 강상판 상형교에 발생하는 피로균열에 의한 손상사례를 정리·분석하고, 현재 국내에서 채택하고 있는 데크플레이트 및 U형 리브 설계에 대해 설계시 고려되어야 할 대책을 제시하였다. 그 내용을 요약하면 다음과 같다.

- 1) 구스아스팔트 포장시에는 종방향신장을 고려하여 포설길이를 조정하고 대칭으로 포설해야 한다. 곡선교와 같이 대칭포설이 힘들 경우에는 포설폭을 조정하는 등의 대책을 강구하여야 한다. 또한 강상판의 설계시에는 열전도에 따른 변형 해석을 실시하여야 한다.
- 2) 강상판에서 데크플레이트를 고정력 볼트 마찰이음으로 실시할 경우, 교면포장의 단면이 감소하여 포장이 파손되는 등의 포장의 내구성을 저하시킬 수 있다. 따라서 데크플레이트의 이음사 고정력 볼트이음을 하지 않는 것이 바람직하다.
- 3) 최근 국내에서는 용접기술의 발달로 충분히 신뢰할 수 있는 이음을 얻을 수 있으므로 강상판 데크플레이트를 용접이음 할 경우 이음판 등에 의한 단면 급변부가 발생하지 않아 교면포장에 대한 영향은 거의 없다.
- 4) 데크플레이트와 U형 리브의 용접시에는 U형 리브 두께의 80%이상 용입되어야 한다. 이 경우 시공전에 실제의 용접조건으로 용접시공 시험을 실시하여 용입깊이를 확인한 후, 동일한 용접조건에 의해 실제의 용접을 실시하여 소정의 용입 깊이가 확보되는지를 반드시 확인하여야 한다.
- 5) 가설 현장에서 U형 리브의 용접이음은 상향용접이 되어 이빈재가

부착되어야 하고 작업효율이 떨어져 용접결합이 발생할 수가 있다. 따라서 현장이음부에 양호한 용접품질을 확보하기 위해서는 루트 간격은 4~6mm, 단차는 1mm이하, 이면재와의 틈새는 1mm 이하로 시공되어야 한다. U형 리브의 용접이음 위치는 지간 중앙으로부터  $L/4$ (L : 종리브의 지간) 이상 떨어진 위치에 현장이음을 설치하는 것이 좋다.

- 6) U형 리브를 볼트이음으로 설계할 경우 작업성 및 시공관리가 용이하여 양호한 이음이 실시된다.
- 7) 데크플레이트 교축방향 현장용접이음부와 횡리브 볼트이음부의 교차부에는 용접이음에 사용될 세라믹 back bar가 들어갈 수 있을 정도의 스켈럽판을 두어야 한다.
- 8) 데크플레이트+종리브+횡리브의 교차부는 피로 균열 발생을 억제하기 위해 스켈럽을 두지 않는 것이 바람직하다.
- 9) 횡리브+종리브 교차부의 용접이음부에는 돌림용접을 철저히 실시함으로써 피로균열을 방지할 수 있다.
- 10) 주형웨이브 수직보강재와 데크플레이트의 용접이음부에서 수직보강재측 양쪽 용접도우부에서 발생하는 피로균열은 수직보강재와 주형웨이브의 슬롯부분에 돌림용접을 철저히 함으로써 피로균열을 방지할 수 있다.

## 참 고 문 헌

- 1) Maddox S. J., “The Fatigue behavior of Trapezoidal Stiffner to Deck Plate Welds in Orthotropic Bridge Deck”, Department of the Enviroment, Supplement Report 96 UC : Crownthome (Transport and Road Research Lab.), 1974
- 2) 한종욱, 박영석, “강상판 용접연결부의 피로거동에 관한 연구”, 韓國鋼構造學會學術發表論文集, 2001.
- 3) 李東郁, 高南鎬, “鋼床版 U形 trough rib 應力舉動에 關한 研究”, 韓國鋼構造學會紙, 1993.
- 4) 김대성, “강상판 볼트 및 용접이음부의 피로수명 평가에 관한 연구”, 부경대학교 석사학위논문, 2002.
- 5) 방명석, “鋼橋 설계의 기초”, 건설도서, 1997.
- 6) 韓國鋼構造學會 “강구조 편람”, 1995.
- 7) Dong-Uk Lee, “Fundamental Study on Improvement of Fatigue Strength of Welded Joint Trough Rib for Bridge Deck Plate”, Doctor's Thesis Osaka University, 1986.
- 8) Dong-Uk Lee and Kohsuke HORIKAWA, “Fatigue Strength of Onside Joint with Backing Strip”, Japan Society of Civil Engeereers, I-4, No. 362, pp.231~237, 1985.
- 9) Dong-Uk Lee and Kohsuke HORIKAWA and Yoshiaki Arata, “Quantitative Assessment of Root Shape on Fatigue Strength of Welded Joints with Backing Strip”, Japan Welding Society, Vol.6, No.1, pp.158~164. 1988.
- 10) Chitoshi MIKI and Kazuo TATEISHI, “Fatigue strength of the

Joint between Diaphragms and longitudinal Ribs in Box Section Girders”, JSCE, NO.563, I-39, pp.35~40(In Japanese)

- 11) 최동호, 최향용, “강바닥판 데크플레이트와 종리브 현장연결 스켈럼부의 피로강도 평가”, 韓國鋼構造學會論文集, 2002.
- 12) 최동호, 최향용, “강상판 종리브 현장연결부의 실험적 거동 특성”, 韓國鋼構造學會論文集, 2002.
- 13) 이종관, 윤태양, “강바닥판의 횡리브 슬릿 상세에 대한 피로강도시험”, RIST 研究論文, 2003
- 14) 三木千壽, 塩崎國克, 館石和雄, 大橋治一, “箱斷面桁のダイアフラムと下フラソジ縦リブの交差部の疲勞強度, 日本土木學會論文集, 1997
- 15) 건설교통부, “강도로교 상세부 설계지침”, 1997.
- 16) 대한토목학회, “도로교 설계기준·해설”, 2003.
- 17) 김유돈, “강상판 교면포장체의 응력거동분석”, 부경대학교 석사학위논문, 2002.
- 18) 多田宏行, “교면포장의 설계와 시공”, SK(주). pp.11
- 19) 부경대학교 산업과학기술연구소, “강상판 교면포장 공법에 관한 연구”, pp.36~46, 2000.
- 20) 南邦明, 森猛, “鋼橋製作の合理化”, 橋梁と基礎, 2003.
- 21) 일본도로협회, “도로교시방서·동해설”, 2003.
- 22) 李東郁, 李鍾林, 徐源贊 “MISALIGNMENT가 存在하는 容接이음部の 疲勞強度에 關한 研究”, 韓國鋼構造學會論文集, 1989.
- 23) 李東郁, 李鍾林 “Backing strip이 存在하는 容接이음部の 應力解析에 關한 研究”, 韓國鋼構造學會論文集, 1990.
- 24) 김도환, 최준혁, 최동호, 장동일, “강상판 종리브와 강바닥판 용접연결부의 응력분포”, 韓國鋼構造學會學術發表論文集, 2001.

- 25) 이종관, 윤태양, “강바닥판의 데크플레이트와 종리브, 횡리브 용접교차부 개선상세에 대한 피로강도실험”, RIST 研究論文, 2002.
- 26) 최동호, 최향용, 최준혁, “강바닥판 슬릿부의 피로거동에 대한 종리브내 다이아프램의 영향”, 韓國鋼構造學會學術發表論文集, 2000.
- 27) 최동호, 최향용, 최준혁, “강바닥판 종리브와 횡리브 교차부의 피로거동에 대한 종리브내 다이아프램의 영향”, 韓國鋼構造學會論文集, 2000.
- 28) C. P Heins, “Bending and Torsional Design in Structural Members”, Lexington, 1975.
- 29) Hiroshi Nakai Chai Hong Yoo, “Analysis and Design of Curved Steel Bridges”, McGraw- Hill , 1988.
- 30) Troisky, M. S. “Orthotopic Bridges-Theory and Design, 2nd ed.”, James F. Lincoln Arc Welding Foundtion, 1987
- 31) T.Kano, S. Usuki and K. hasele, “Theory of thin-walled curved member with shear deformation”, Ingenieur, 1982.

## 감사의 글

오랜 기간 현업에 종사하면서 무언가 부족하다고 느끼면서도 바쁘다는 이유로 그 부족한 무엇을 잊고 생활하던 중 늦게나마 그 길을 찾아 주었을 뿐만 아니라 본 논문이 완성되기까지 바쁘신 일정 속에서도 세심한 지도와 가르침으로 부족한 제자를 끝까지 이끌어 주신 이동욱 지도교수님께 진심으로 감사의 말씀을 드립니다.

또한, 저의 미흡한 논문을 지도하여 주시고 심사하신 이환우 교수님, 정두희 교수님께도 깊은 감사를 드립니다.

그리고, 현업에 종사하면서 학업에 충실하지 못하였지만 끝까지 지켜봐 주시고 이해하고 지도하여 주신 건설공학부 교수님들께도 깊은 감사를 드립니다.

본문이 완성되기까지 내일처럼 항상 웃으면서 격려와 도움을 준 최성민, 송지훈 외 강구조연구실의 식구들에게 지면을 통해 진심으로 고마움을 전합니다.

그리고, 직장생활을 하면서 본 논문이 있기까지 항상 힘이 되고 도움을 주신 분들에게 감사의 말을 전합니다.

끝으로 결혼 후 현재까지 주말 부부생활을 하면서도 직장생활을 충실히 할 수 있도록 항상 이해하고 사랑으로 내조해 준 아내 하성희에게 더 없는 고마움을 전하며, 사랑하는 두 아들 종원, 세원과 함께 이 기쁨을 함께 나누고자 합니다.