

工學碩士 學位論文

2거더 鋼橋梁의 設計要素와 製作要素의  
合理化에 관한 研究

A Study on the Rationalization of Design and Fabrication  
in Two-Girder Steel Bridges

指導教授 慶 甲 秀

2004 年 1 月

韓國海洋大學校 大學院

土木環境工學科

權 純 徹

工學碩士 學位論文

2거더 鋼橋梁의 設計要素와 製作要素의  
合理化에 관한 研究

A Study on the Rationalization of Design and Fabrication  
in Two-Girder Steel Bridges

指導教授 慶 甲 秀

2004 年 1 月

韓國海洋大學校 大學院

土木環境工學科

權 純 徹

本 論 文 을 權 純 徹 의 工 學 碩 士 學 位 論 文 으 로 認 准 함 .

委 員 長 工 學 博 士 金 度 三 (印)

委 員 工 學 博 士 金 殆 坤 (印)

委 員 工 學 博 士 慶 甲 秀 (印)

2004 年 1 月

韓 國 海 洋 大 學 校 大 學 院

土 木 環 境 工 學 科

權 純 徹

# **A Study on the Rationalization of Design and Fabrication in Two-Girder Steel Bridges**

by

*Soon-Chul Kwon*

**Department of Civil & Environment Engineering  
Graduate School Korea Maritime University**

## **ABSTRACT**

To build up basic data for the rationalization of steel bridges, it is examined that the welding nondestructive inspection criteria of the welded joints of two-girder steel bridges, and the structure characteristic of Two-Girder Steel Bridges at which apply of steel bridges is increasing, from the viewpoint of life cycle cost for minimum maintenance management. For this is examined the rational cross beams disposition of Two-Girder Steel Bridges from the parameters of the intervals, the locations, the relative stiffness ratios of cross beams, to examine the effect that cross beams influences on the structure characteristic of Two-Girder Steel Bridges, and compared nondestructive inspection criteria of every country about the welding of steel bridges manufactures with the domestic's, and investigated nondestructive inspection current situation of the domestic, for a rational nondestructive inspection criteria advice.

From this study, it is offered the basic data of rational nondestructive inspection criteria. It is expressed the change of the stress from this research product according to the intervals, the locations, the rigidities of cross beams. It is presented the basic data about the structure characteristic of Two-Girder Steel bridges according to the disposition of

cross beams, because the criteria about cross beams is not suggested in the domestic specification.

This is considered that the definition about the 1 lot is needed a supplementation, from the result about nondestructive inspection which investigated the criteria of the outside country with the domestic's. It is considered as the things by needing the modification and supplementation of domestic nondestructive inspection criteria, because the faults of the welding parts are very small from the results of domestic current situation investigation.

# 2거더 강교량의 설계요소와 제작요소의 합리화에 관한 연구

권 순 철

한국해양대학교 대학원  
토목환경공학과

## 요 약

강교량의 합리화를 위한 기초 자료 구축을 위해 최소유지관리의 LCC관점에서 강교량의 적용이 증가하고 있는 2거더 강교량의 구조특성과 강교량 제작에서의 용접부 비파괴 검사 기준을 검토하였다. 이를 위해 본 연구에서는 가로보가 2거더 강교량에서의 구조 특성에 미치는 영향을 검토하기 위하여 가로보 위치, 가로보 간격, 가로보의 강성비를 매개변수로 하여 2거더 강교량에서의 합리적인 가로보 배치를 검토하였다. 또한, 합리적인 비파괴 검사 기준 제언을 위하여 강교량 제작에서의 용접부에 대한 각국의 비파괴 검사 기준을 비교 검토 및 국내의 비파괴 검사 현황을 조사하여 합리적인 비파괴 검사 기준의 기초자료를 제공하고자 하였다.

본 연구 결과 가로보의 위치, 간격, 강성이 변화에 따라 거더와 가로보의 응력이 변화하였으며 국내 시방기준에서는 가로보에 대한 기준이 제시되어 있지 않으므로 가로보의 배치에 따른 2거더 강교량의 구조특성을 파악하여 향후 2거더 강교량의 합리적인 설계에의 기초자료를 제시하였다.

비파괴 검사에 대한 국·내외의 기준을 조사한 결과 1 lot에 대한 정의가 보완되어야 할 것으로 생각되며 국내 현황 조사 결과 용접부의 결함이 매우 작으므로 추후 국내 기준의 수정 및 보완이 필요 할 것으로 생각된다.

# 목 차

<b>ABSTRACT</b> .....	<b>i</b>
<b>요약</b> .....	<b>iii</b>
<b>목차</b> .....	<b>iv</b>
<b>표 목차</b> .....	<b>v</b>
<b>그림 목차</b> .....	<b>vi</b>
<b>1장 서론</b> .....	<b>1</b>
1.1 연구 배경 및 목적 .....	1
1.2 기존 연구 동향 .....	2
1.3 연구 내용 및 범위 .....	3
<b>2장 합리화 강교량의 구조 특성</b> .....	<b>4</b>
2.1 합리화 강교량이란 .....	4
2.2 합리화 강교량의 구조개념 .....	4
<b>3장 2거더 강교량의 구조특성을 위한 구조해석</b> .....	<b>11</b>
3.1 구조 모델링 검증을 위한 구조해석 .....	11
3.2 가로보와 2거더 강교량의 구조거동의 관계 .....	20
3.3 가로보에 따른 응력 변화 관계 .....	48
<b>4장 강교량 제작에서의 합리적인 비파괴 검사 기준의 제언</b> .....	<b>50</b>
4.1 국내·외 비파괴 검사기준의 비교 .....	51
4.2 비파괴 검사 개념에 따른 비파괴 시험 적용 검토 사례 .....	57
4.3 강교량 제작에서의 비파괴 검사 사례 .....	60
<b>5장 결론</b> .....	<b>69</b>
<b>참고문헌</b> .....	<b>71</b>

## 표 목차

표 2-1 가로보 간격에 대한 기준 .....	6
표 2-2 2거더 플레이트교의 특징 .....	8
표 3-1 대상 교량 단면 제원 .....	11
표 3-2 대상 교량 제원 .....	12
표 3-3 구조해석 모델링 요소 .....	14
표 3-4 재하 하중 .....	14
표 3-5 포장하중에 의한 구조해석 결과 .....	17
표 3-6 요소에 따른 반력 값 비교 .....	18
표 3-7 하중 조합 .....	20
표 3-8 고정 하중 .....	20
표 3-9 Case D의 최대 응력 .....	22
표 3-10 가로보 간격에 대한 가로보 개수 .....	36
표 3-11 가로보 단면제원 .....	42
표 3-12 거더 강성에 대한 가로보 강성 비 .....	42
표 3-13 가로보에 따른 응력 변화율 .....	48
표 4-1 강교량 제작에서의 비파괴 검사 종류 .....	51
표 4-2 (a) 비파괴 검사 기준 비교 .....	53
표 4-2 (b) 비파괴 검사 기준 비교 .....	54
표 4-3 고속도로공사 전문시방서 .....	56
표 4-4 일본 도로교 시방서 비파괴 검사 기준 .....	56
표 4-5 상부 플랜지 용접 이음부의 국내·외 기준 비교 .....	58
표 4-6 하부 플랜지 용접 이음부의 국내·외 수량 산출 비교 .....	59
표 4-7 필렛 용접부의 국내·외 수량 산출 비교 .....	59
표 4-8 방사선 투과 시험 현황 .....	64
표 4-9 초음파 탐상 시험 현황 .....	65
표 4-10 자분 탐상 시험 현황 .....	67



## 그림 목차

그림 2-1 가로보 배치 상단 .....	7
그림 2-2 수직대칭하중에 의한 교량 단면의 변형 .....	9
(a) 가로보 배치 위치에 따른 단면 변형 .....	9
(b) 수직보강재 유무에 따른 단면 변형 .....	9
그림 2-3 비틀림 하중에 의한 교량 단면의 변형 .....	10
그림 2-4 횡하중에 의한 교량 단면의 변형 .....	10
그림 3-1 대상 교량 단면 변화 .....	12
(a) 1경간 .....	12
(b) 2~5경간 .....	12
(c) 7경간 .....	12
그림 3-2 대상 교량 단면도 및 평면도 .....	13
(a) 지점부 .....	13
(b) 중앙 경간 .....	13
(c) 평면도 .....	13
그림 3-3 대상 교량 구속 조건 .....	13
그림 3-4 구조해석 모델링 .....	15
(a) Case A .....	15
(b) Case B .....	15
(c) Case C .....	15
(d) Case D .....	15
그림 3-5 절점 공유 .....	16
(a) Case B .....	16
(b) Case C .....	16
(c) Case D .....	16
그림 3-6 변위 형상 .....	19
(a) Case A .....	19
(b) Case B .....	19
(c) Case C .....	19
(d) Case D .....	19
그림 3-7 하중 재하 방법 .....	21
(a) Type A하중 .....	21
(b) Type B하중 .....	21
(c) Type C하중 .....	21

그림 3-8 가로보 배치 위치 .....	23
(a) 상 단 .....	23
(a) 중 단 .....	23
(c) 하 단 .....	23
그림 3-9 거더 하부플랜지 거동 특성 .....	24
(a) 가로보 위치에 따른 거더 하부플랜지 응력 .....	24
(b) 가로보 위치에 따른 거더 하부플랜지 Membrane 축력 .....	24
(c) 가로보 위치에 따른 거더 하부플랜지 Plate 휨모멘트 .....	24
그림 3-10 고정하중 재하시의 가로보 위치 변화에 따른 복부 변위 .....	26
(a) 고정하중 재하시의 복부 변위 형상 .....	26
(b) 가로보 배치 위치에 따른 복부 변위 변화 .....	26
그림 3-11 고정하중 재하시의 복부 거동 특성 .....	27
(a) 가로보 위치에 따른 복부 응력 .....	27
(b) 가로보 위치에 따른 복부 Membrane 축력 .....	27
(c) 가로보 위치에 따른 복부 Plate 휨모멘트 .....	27
그림 3-12 Type B하중 재하시의 가로보 위치 변화에 따른 복부 변위 .....	28
(a) Type B하중 재하시의 복부 변위 형상 .....	28
(b) 가로보 배치 위치에 따른 복부 변위 변화 .....	28
그림 3-13 Type B하중 재하시의 거더 복부 거동 특성 .....	29
(a) 가로보 위치에 따른 복부 응력 .....	29
(b) 가로보 위치에 따른 복부 Membrane 축력 .....	29
(c) 가로보 위치에 따른 복부 Plate 휨모멘트 .....	29
그림 3-14 가로보 배치 위치에 따른 지점부 바닥판 상부 응력 .....	30
그림 3-15 지점 가로보 응력 contours .....	31
그림 3-16 (a) 지점 가로보 상부플랜지 .....	32
그림 3-16 (b) 지점 가로보 하부플랜지 .....	32
그림 3-17 (a) 가로보 배치 상단의 응력 contours .....	33
그림 3-17 (b) 가로보 배치 중단의 응력 contours .....	33
그림 3-17 (c) 가로보 배치 하단의 응력 contours .....	33
그림 3-18 (a) 중간 가로보 상부플랜지 .....	34
그림 3-18 (b) 중간 가로보 하부플랜지 .....	34
그림 3-19 가로보 간격에 따른 거더 하부플랜지 응력 .....	37
그림 3-20 가로보 간격에 따른 거더 복부 응력 .....	37
그림 3-21 가로보 간격에 따른 지점부 바닥판 응력 .....	38
그림 3-22 (a) 지점 가로보 상부플랜지 .....	39

그림 3-22 (b) 지점 가로보 하부플랜지 .....	49
그림 3-23 (a) 중간 가로보 상부 플랜지 .....	40
그림 3-23 (b) 중간 가로보 하부플랜지 .....	40
그림 3-24 가로보 강성에 따른 거더 하부플랜지 응력 .....	43
그림 3-25 가로보 강성에 따른 복부 응력 .....	43
그림 3-26 지점부 바닥판 응력 .....	44
그림 3-27 (a) 지점 가로보 상부플랜지 .....	45
그림 3-27 (b) 지점 가로보 하부플랜지 .....	45
그림 3-28 (a) 중간 가로보 상부플랜지 .....	46
그림 3-28 (b) 중간 가로보 하부플랜지 .....	46
그림 3-29 가로보 간격 증가에 따른 응력 증가율 .....	49
그림 3-30 가로보 강성 증가에 따른 응력 감소율 .....	49
그림 4-1 복부 맞대기 이음의 비파괴 검사 방법 비교 .....	52
그림 4-2 박스거더 단면 형상 .....	57
그림 4-3 지간 길이에 따른 용접 이음 형상 .....	58
그림 4-4 볼트 연결된 현장 이음 형상 .....	58
그림 4-5 I형 이음부 .....	61
그림 4-6 V형 이음부 .....	61
그림 4-7 BRACKET 이음부 .....	62
그림 4-8 지점부 격벽하부, 수직보강재 이음부 .....	62
그림 4-9 방사선 투과 시험의 결함율 .....	64
그림 4-10 방사선 투과 시험에 의해 판별된 용접결함 현황 .....	64
그림 4-11 초음파 탐상 시험의 결함율 .....	65
그림 4-12 초음파 탐상 시험에 의해 판별된 용접결함 현황 .....	65
그림 4-13 자분 탐상 시험의 결함율 .....	67
그림 4-14 자분 탐상 시험에 의해 판별된 용접결함 현황 .....	67

# 1장. 서론

## 1.1 연구 배경 및 목적

현재 공용되고 있는 일반적인 강교량은 얇은 박판(薄板)을 사용하여 주거더를 제작한 후, 가로보, 브레이싱 등의 구조부재를 설치하여 제작하는 것이 일반적이다. 이러한 일반적인 강교량의 경우, 가로보, 브레이싱 등의 구조부재가 필요하므로 콘크리트 교량에 비해 구조상세가 복잡해질 수 있으므로 설계, 제작, 가설, 유지관리에 있어서 많은 콘크리트 교량에 비하여 시간과 비용이 소요될 가능성이 있다. 이것은 최근 사회기반시설의 건설에서 국가 재원의 효율적 사용을 위한 경제성 요구로부터 대두되고 있는 최소유지관리(LCC)의 관점에서 보면, 강교량의 대외적인 경쟁력 약화를 초래할 수 있다.

이러한 시대적 배경의 요구를 수용하기 위하여 강교량 건설의 합리화 방안의 일환으로 거더에 고강도강재 및 두꺼운 후판(厚板)강재를 사용하여 수평 브레이싱과 수직 브레이싱을 생략하고 하중 전달 부재로 가로보를 배치하여 합리화도를 모한 교량형식인 2거더 강교량이 제안되고 있다. 2거더 강교량은 교량을 단순화·생략화하여 거더 개수를 최소화 하였기 때문에 교량의 설계·제작·가설·유지관리에서의 합리화를 도출 할 수 있는 대표적인 교량 형식의 하나가 될 수 있다.

이 때문에 일본과 유럽에서는 교량의 합리화 및 단순화를 위한 연구가 활발히 진행되어 2거더 강교량이 이미 실용화되어 있다. 그러나 국내에서는 2거더 강교량에 대한 설계와 시공이 아직 초기 단계에 있으며, 또 설계기준 등과 같은 구체적인 기준이 제시되어 있지 않다. 따라서 강교량 건설의 효율성을 위해서는 2거더 강교량을 비롯한 합리화 강교량의 구조형식에 관한 거동 연구를 통한 설계기준 등의 제시가 필요할 것으로 생각된다.

한편, 강교량 제작에서는 용접에 의해 부재가 만들어지므로 제작에서의 용접조건의 미확보, 부적절한 용접조건 등에 의해 발생하는 용접 결함은 용접부의 품질저하 및 응력집중을 유발하여 구조물의 수명에 영향을 미칠 수도 있다는 것은 주지(周知)의 사실이다. 그러므로 합리화 강교량 건설에서의 합리화 기술 요소의 하나로 강교량 제작공정의 하나인 용접에 대한 품질확보를 위한 검사기준의 합리화도 효율적인 강교량 건설을 위해서는 필요할 것으로 생각한다.

따라서, 본 연구에서는 국내의 합리화 강교량 건설을 위한 설계 및 제작 요소에서의 기준제정을 위한 기초자료 제시를 목적으로 다음과 같은 연구를 수행하였다. 설계요소에서는 2거더 강교량의 하중 분배 역할을 하는 가로보를 대상으로 가로보의 위치, 간격, 강성이 2거더 강교량의 구조특성에 미치는 영향을 조사하여 합리적인 가로보 배치에 대한 기초 자료를 제공하고자 한다. 또한 제작요소로

용접부 비파괴검사의 실시기준도 강교량 합리화를 위한 하나의 기술요소로서 인식하여 용접부 비파괴검사 실시기준에 대한 국내 및 미국과 일본의 기준 조사 및 비교 검토, 국내의 비파괴검사 실적 현황의 조사 등을 통하여 합리화 강교량 제작을 위한 비파괴검사 실시기준의 합리화에 관한 기초 자료를 제시하고자 한다.

## 1.2 기존 연구 동향

2거더 강교량은 일본과 유럽에서는 다수의 연구가 진행되어 이미 실용화 단계에 이르고 있으나 국내에서는 아직 2거더 강교량에 대한 연구가 초기 단계로 설계와 시공에서도 그 기준이 명확하게 제시되어 있지 않은 상태이다.

유럽에서는 중소지간의 교량에서는 콘크리트교가 압도적이어서 강교가 상대적으로 적은 실상이었다. 그러나 오랜 기간의 실적과 경험이 있는 콘크리트교에서도 유지관리의 필요성이 인식되면서 보다 합리적인 시스템을 갖는 교량건설을 위한 국가적인 프로젝트가 요구되었다. 주된 내용은 콘크리트교의 복부판을 경량의 강재로 대체하고 프리스트레스의 도입을 효율적으로 하기 위해 deck plate를 이용하는 것과 2거더 I형식의 연속 합성거더를 채용한 것이다.

이러한 시대적 조류에 의해 일본에서도 2거더 강교량의 본격적인 채용에 앞서서 다수의 연구가 진행되어 이들 결과들이 2거더 강교량의 거동 특성을 규명하는데 많은 일익을 담당하고 있다. 이에 대한 대표적인 연구로는 다음과 같은 것이 있다.

Nagai(1995) 등은 대칭 연직 하중하에서의 2거더 강교량의 횡보강 System을 매개변수로 하여 국부거동을 포함하는 입체적인 거동의 검토를 피로의 관점에서 실시하여 2거더 강교량의 설계자료를 제공하고자 하였다. 여기서는 2거더 강교량의 구조변수로 가로보의 위치 및 간격을 변화시키면서 구조해석을 실시하여 이들 변수가 각 부재에 어떠한 영향을 미치는지를 조사하였다. 그러나 여기서는 하중이 연직 대칭 하중에 국한된 것이어서 실제 하중하에서의 2거더 강교량의 거동을 충분히 나타내지는 못하였다.

Sakai(1997) 등은 2거더 강교량의 설계법에 대한 자료제시를 목적으로 가로보 배치에 관한 연구를 수행하였다. 3경간 연속교량을 대상으로 구조부재를 판 요소와 프레임 요소를 이용하여 모델링하고 가로보의 위치와 간격을 매개변수로 하여 사하중과 활하중하에서 구조거동을 조사하였다. 그러나 이 연구에서는 가로보 간격 6m에 대한 구조해석만을 실시하여 가로보 간격에 대한 검토가 충분하게 이루어지지 않은 점이 있다.

이외에도 국내에서는 2거더 강교량에 대한 여러 연구 실적(용환선(2001), 박용명(2003))에서 가로보 배치에 대한 검토가 실시되었으나 가로보 간격과 강성에 대한 검토가 충분하게 검토되지 않아 설계자료 제시로는 아직 불충분한 점이 있다.

### 1.3 연구의 내용 및 범위

본 연구에서는 앞 절의 기존 연구동향등의 자료를 토대로 다음과 같은 연구를 실시하였다. 강교량의 합리화 방법으로는 설계·제작·가설·유지관리에의 합리화가 있으나 본 연구에서는 설계 기준에서의 합리화 방안을 설계요소 및 제작요소에 대하여 고려하였다. 설계요소에서는 합리화 2거더 강교량에서 하중전달의 역할을 하는 가로보의 위치, 간격, 강성이 2거더 강교량의 거동에 미치는 특성을 조사하여 합리적인 가로보 배치 기준을 제시하고자 하였다. 제작요소에서는 국내·외의 비파괴 검사 기준을 조사 분석하고 국내의 비파괴 검사 현황을 분석하여 보다 합리적인 비파괴 검사 기준을 제시하였다.

우선 설계요소의 합리화에서는 기존 설계되어진 2거더 강교량을 대상교량으로 선정하여 구조 모델링의 타당성 검증을 위한 구조해석을 수행하고, 몇가지 구조변수를 대상으로 선정된 구조모델을 사용하여 구조해석을 실시하였다. 구조해석에서는 선정된 모델링에 대하여 가로보를 상단, 중단, 하단에 배치하여 가로보 배치 위치를 변수로 하는 구조해석과 가로보 간격을 지간의 1/10, 1/7, 1/5, 1/4로 변화시켜 구조해석을 실시하였다. 또한 가로보 강성을 복부판 높이비의 25%, 33%, 40%, 50%로 변화시켜 가로보 강성을 변수로 구조해석을 실시하였다. 이들 구조해석 결과로부터 각 변수가 2거더 강교량의 거동에 미치는 특성을 조사하여 가로보 배치에 따른 2거더교의 거동 특성을 정리하여 향후 2거더 강교량의 설계의 기초자료를 제공하고자 하였다.

강교량 제작요소의 합리화 방안의 하나로 용접부 결함에 대한 비파괴 검사 기준에 대하여 국·내외의 기준을 조사하였다. 국내 기준으로는 도로교 표준시방서(2000), 강도로교 용접 및 도장 요령(1998), 고속도로 전문 시방서(2003), 국외 기준으로는 미국 AWS D1.5(2002), 일본 도로교 시방서(2002)를 비교 검토하였다. 또 국·내외 비파괴 검사 기준이 제작에 미치는 영향 정도를 평가하기 위하여 대상교량을 선정하고 국·내외 비파괴 검사 기준을 적용하여 비파괴 검사 수량을 비교 검토하였다. 그리고 합리적인 비파괴 검사 기준 설정을 위해 국내 비파괴 검사 결과를 조사하고 국내 비파괴 검사 특성을 평가하여 국내 비파괴 검사 기준의 수정 및 보완의 기초자료로 제공하고자 하였다.

## 2장. 합리화 강교량의 구조 특성

### 2.1 합리화 강교량이란

본 연구에서 생략화·합리화의 적용대상이 되는 교량은 표준적인 I형 단면, 박스형 단면 등의 플레이트 거더교이다. 여기서 「표준적인 플레이트 거더」라고 하는 것은 공장에서 제작한 부재를 현장에서 고장력볼트나 용접에 의해 이음하는 구조를 갖는 교량으로 지간길이가 I형 단면에서는 20~60m 정도, 박스형 단면에서는 40~80m 정도의 중간 규모의 플레이트 거더교로 사각이나 곡률이 그다지 심하지 않은 교량을 대상으로 한다. 이것은 대블럭으로 일괄 가설하는 대블럭 형식의 교량이나 전 용접의 교량에서는 교량의 구조적 특성에 의해 경우에 따라서는 강중량이 현저하게 증가하는 경우도 있기 때문이다.

합리화의 적용은 크게 몇가지의 범주로 나누어서 생각할 수 있다. 설계에서의 설계 요소기술의 합리화, 공장 제작에서의 제작 기술요소의 생략화, 가설 및 현장시공에서의 합리화, 유지관리에서의 유지관리 기술요소의 합리화를 생각할 수 있다. 이 가운데 합리화의 효율성이 큰 요소기술로서는 설계 및 제작에서의 합리화를 생각할 수 있을 것이다. 그러므로 본 연구에서는 설계에서의 합리화 방안의 하나인 설계요소와 제작요소에서의 합리화에 대해 연구를 수행하였다.

### 2.2 합리화 강교량의 구조개념

이 절에서는 소수거더 플레이트 거더교를 대상으로 합리화 강교량의 기본적인 방향과 이들 개념에 따른 구조사례에 대해 기술하였다.

#### 2.2.1 주거더

##### 1) 개요

단면변화는 원칙적으로 고장력 볼트나 현장 용접의 이음위치에서 실시하도록 하여 판이음 용접이 없는 동일 단면으로 한다. 현재 일반적인 강교량의 거더설계에서는 거더의 응력상태에 맞추어 복부판이나 플랜지의 판 두께 및 판 폭 등을 변화시키고 이들 단면 변화부를 판이음 용접에 의해 단면을 구성하도록 하고 있다. 그러나 공장제작의 생략화를 촉진하기 위해 판이음 용접이 없는 구조를 채용하여 1블럭 1단면으로 하며, 단면변화는 고장력볼트나 용접 이음위치에서 실행하는 것을 원칙으로 한다. 여기서 현장이음의 위치는 부재의 연결 및 수송 등을 감안하여 결정하여야 한다. 물론 이 경우에도 천공에 의한 모재단면이 증가하면 그 단면으로 부재단면을 통일하는 등의 볼트 천공에 대한 영향도 고려하여야 한다.

##### 2) 플랜지

상, 하 플랜지의 폭은 원칙적으로 각 거더에 걸쳐서 동일하게 한다. 판이음 용접의 생략, 거더 전 길이에서의 상부 플랜지 폭의 통일에 의한 바닥판의 현장시공의 생략화의 측면으로부터 플랜지 폭을 통일하고, 판 두께만으로 단면을 변화시키는 것을 원칙으로 한다.

### 3) 복부판

① 복부판은 원칙적으로 거더 전체길이에 걸쳐서 동일하게 한다. 일반적으로 복부판의 판두께 변화는 작기 때문에 채움판을 이용한 고장력 볼트 이음이 곤란하므로 원칙적으로 복부판 두께를 전 길이에 걸쳐서 동일하게 하는 것에 의해 판이음 용접을 생략하는 것이 효율적이다.

② 수평보강재가 필요한 경우 그 배치는 원칙적으로 1단으로 한다. 단, 연속보의 중간지점부 등과 같이 부분적으로 응력이 큰 부위에 있어서 보강재 단수를 증가시키는 것에 의해 복부판 두께를 앞뒤에 걸쳐 동일하게 할 수 있는 경우에는 단수를 증가시키는 것으로 한다.

③ 수평보강재와 수직보강재는 동일면에 설치한다.



### 2.2.2 가로보

#### (1) 가로보의 간격

가로보 간격에 대한 국내·외 기준을 표 2-1에 나타내었다. 가로보 간격에 대하여 국내에서는 기준에 제시되어 있지 않아 통상적으로 수직브레이싱에 대한 기준을 적용하여 사용하고 있으며, 국외의 경우에는 지간 길이에 따른 개수만이 제시되어 있었다.

표 2-1 가로보 간격에 대한 기준

국가별 시방서	기 준
도로교설계기준 (2000)	(1) 플레이트거더교 지점부에는 각 주거더 사이에 수직브레이싱을 설치해야 한다. (2) I형 단면 및 $\pi$ 형 단면의 플레이트거더교에서는 수직브레이싱 간격을 6m 이내로 설계하되 플랜지폭의 30배를 넘지 않는 간격으로 중간 수직브레이싱을 설계하여야 한다. 상자형 단면의 플레이트거더교에서도 여기에 준하는 것이 좋다. (3) 바닥판이 3개 이상의 주거더로 지지되고 주거더의 지간이 10m를 넘을 경우에는 강성이 큰 하중 분배 가로보를 설치하여야 한다. 하중 분배 가로보의 설치 간격은 20m를 넘지 않아야 한다.
AASHTO(2002)	6m이내 1개
일본도로교시방서 (2002)	도로교 설계기준과 동일
일본강도로교 설계편람	35mm ~ 40mm이하 : 지간중앙에 1개 35mm ~ 40mm이상 : 지간중앙과 내측에 3개

가로보 간격은 완성계에서는 상당히 넓혀도 되나 선정에 있어서는 다음과 같은 점을 고려하는 것이 필요하다.

- a) 바닥판 타설시의 시공성
- b) 검사로의 스펠
- c) I거더의 횡비틀림 좌굴안정성 (간격을 너무 넓히면 플랜지 단면이 크게 되어 비경제적)
- d) 2거더 전체의 횡비틀림 좌굴안정성

이상의 사항을 고려하여 가로보 간격이 결정되는데 현재까지의 조사에 의하면 배치간격은 5~10m범위에 있다. 또, 최대간격은 가설시 작업이나 안정성에 대한 고려로부터 10m정도로 하는 것이 좋다. 그리고 10m정도로 고려한 경우에도 부모멘트가 발생하는 중간지점 근방에서는 하부플랜지 좌굴에 대한 고려 때문에 5m정도로 배치하는 경우도 있다.

#### 2) 가로보의 복부 높이방향 설치 위치

가로보의 설치 위치에 대해서는 상, 중, 하단에 대한 검토를 실시한 결과 다음

과 같은 결과가 보고되어 있다. 상단 배치를 하는 경우 그림 2-1의 A점의 응력이 가장 작아지게 되나, 바닥판 교축직각방향의 프리스트레스 도입시 그 효율의 저하가 예상되므로 복부판 중앙정도의 낮은 위치에 배치하는 것이 바람직하다. 또 현재까지의 실적을 보면 바닥판 시공을 고려하여 중단 또는 하단에 배치하는 경우가 많다.

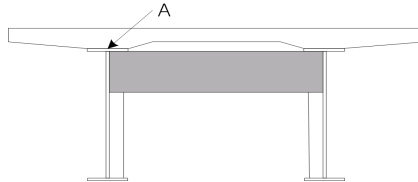


그림 2-1 가로보 배치 상단

### 3) 가로보 크기

활하중에 의해 가로보에 발생하는 응력은 일반적으로 상당히 작기 때문에 가로보의 크기는 보통 시공시의 하중에 의해 결정된다. 또, 가로보는 부모멘트 영역에서는 하부 플랜지가 좌굴 고정점이 되도록 소요 강성을 만족시킬 필요가 있다.

#### 2.2.3 2거더 플레이트 거더교 특징

일반 플레이트 거더교와 2거더 플레이트 거더교의 특징을 표 2-2에 나타내었다. 일반 플레이트거더교는 얇은 두께의 강재를 이용하여 여러개의 거더를 사용하며 보강재를 사용하는데 보강재의 사용때문에 부재수가 많아져 교량 제작시 용접이 복잡하며 품질 및 유지관리에 어려움이 있다. 따라서 교량 제작에 많은 비용이 소요되고 가설 시간이 길어지기 때문에 시공성이 좋지 않은 것이 일반적이다.

그러나 2거더 플레이트교는 고강도강의 두꺼운 강재를 사용하여 거더수를 최소화하므로 부재수가 감소되며, 이는 용접을 단순화 하게 되므로 용접 품질의 확보가 용이하고 유지관리가 쉬운 장점이 있다, 또한 가설시간이 짧아지므로 공기가 단축되고 교량의 제작 비용도 일반 플레이트거더교에 비해 적게 소요된다.

2거더 플레이트 거더교는 국내에서는 최초로 대구-포항간 고속도로의 6개 교량에 대하여 적용되었으며 최근 그 적용이 증가하고 있는 실정이나 일본이나 유럽에서의 2거더 플레이트교의 건설에 비하면 낮은 단계이다.

일본의 경우 호로나이천교, 동해대부고가교, 신금사고가교 등을 포함하여 108개의 교량이 가설되었으며, 유럽에도 Nordbrücke교, LIGNON교, PLANCHETTE교 등 다수의 교량이 가설되어 공용되고 있다. 2거더 플레이트교에 대한 상세한 적용사례는 참고문헌<sup>11)</sup>을 참고하기 바란다.

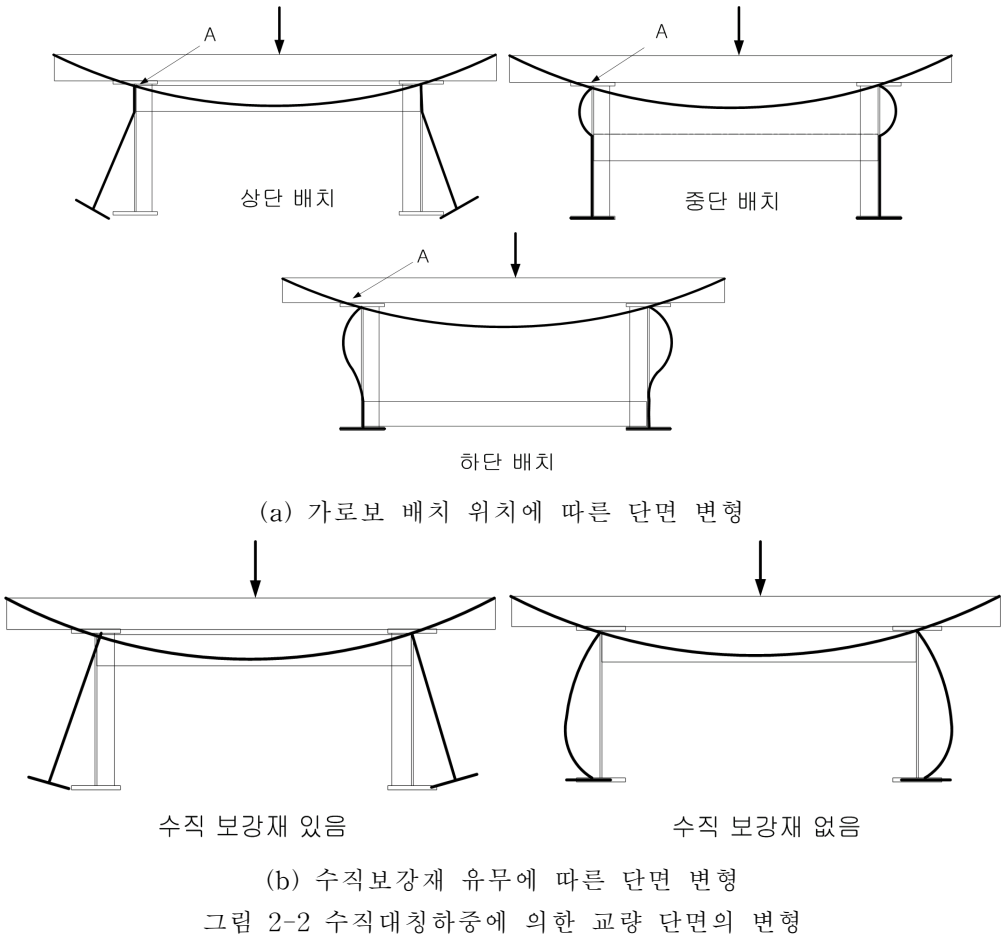
표 2-2 2거더 플레이트교의 특징

항목	일반 플레이트거더교		2거더 플레이트교	
단면도				
거더 수	많음	2, 3차선 교량기준으로 5~7개로 거더수가 많음.	적음	거더의 개수를 2~3개로 제한하여 가설이 간단하고 경관이 수려함.
강판 두께	얇음	얇은 강판을 사용한 강성이 작은 거더를 여러개 사용하여 전체 강성을 확보.	두꺼움	거더 수를 줄이고 강판두께를 두껍게 하여 전체 강성을 확보.
강종	일반 강재	주부재는 SM490. 부부재는 SM400을 주로 사용.	고강도강	고강도 강재(SM570 이상)를 사용하여 구조물 중량을 감소시켜 강재의 사용효율 및 내구성을 극대화하고 거더 높이를 낮추어 미관을 개선.
용접	복잡	거더의 맞댐용접으로 품질관리가 어렵고 거더개수가 많아 용접개소수 및 연장이 길어져 시공성이 떨어짐.	단순	거더의 맞댐용접이 없고 이음부위에서 채움판에 의해 플랜지 두께를 변화시키므로 품질관리가 쉽다. 거더 및 부재개수가 적어 용접개소수 및 연장이 일반 플레이트거더교에 비해 50%이하로 작업이 단순하고 시공성이 좋음.
품질 관리 및 유지 보수	보통	부재수 및 용접개소수가 많아 품질관리 및 유지관리가 어려움.	양호	부재수 및 용접개소수가 적어 품질관리 및 유지관리가 쉬움.
경제성	불량	강재 사용량 및 제작비가 높아 경제성이 불량함.	우수	강재사용량 및 제작비가 낮아 경제성이 우수함.
가설	불량	부재수가 많아 가설에 장시간을 요하며 시공성이 불량함.	우수	가설 부재수가 적어 시공성이 우수하고 가설시간이 짧아 공기단축을 요하는 공사에 적합함.
미관	보통	거더 개수가 많고 하부구조 규모가 커서 미관이 불량함.	우수	거더 개수가 작고 하부구조 규모가 작아 미관이 우수함.

### 2.2.4 2거더 강교량의 거동

일반적인 2거더 강교량의 거동을 수직대칭하중, 역대칭하중, 횡방향하중에 대한 거동을 기술하면 다음과 같다.

수직대칭하중 작용하는 경우의 거동을 그림 2-2 에 나타내었다. 그림 2-2 (a)에 는 가로보 배치 위치가 상단, 중단, 하단에 따른 단면 변형을 나타내었다. 가로보를 상단에 배치하는 경우 가로보 하부플랜지 위치에서 거더가 바깥으로 벌어지려고 하기 때문에 변위가 크나 가로보 배치 위치를 중단, 하단에 배치하는 경우는 상단일 때에 비해 변위가 작다. 그림 2-2 (b)에 가로보가 없는 위치에 수직보강재가 있으면 단순지지된 문형 라멘의 거동을 나타내지만 수직보강재가 없는 경우 복부판이 바깥으로 벌어지려고 하는 것을 하부 플랜지의 면내휨강성이 구속하게 되어 단면 변형이 달라지게 된다.



역대칭하중이 작용하는 경우는 그림 2-3에 나타난 것과 같이 단면이 강제 회전하므로 이것에 의한 응력은 가로보에 거의 발생하지 않는다. 또, 거더의 뒤편 위에 따라 가로보에는 단부(복부판 위치)에서 강제 휨, 회전변위가 작용하여 응력이 발생하나 이들 응력은 극히 작다.

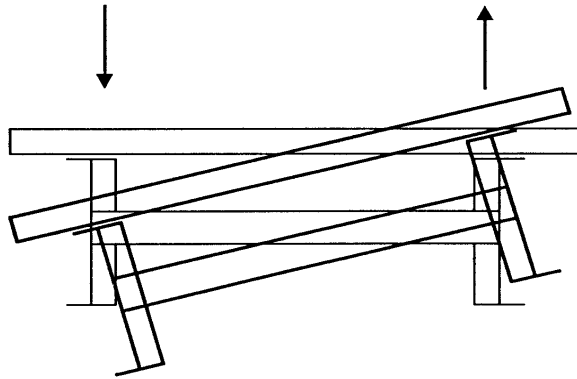


그림 2-3 비틀림 하중에 의한 교량 단면의 변형

횡하중이 작용하면 교량 전체는 횡변위의 발생과 함께 그림 2-4에 나타난 것과 같이 거더 하부 플랜지에 면내 휨 2차변형이 발생한다. 이 변형은 가로보 위치에서 구속되어 있기 때문에 가로보 위치가 탄성지지된 보의 변형을 나타낸다.

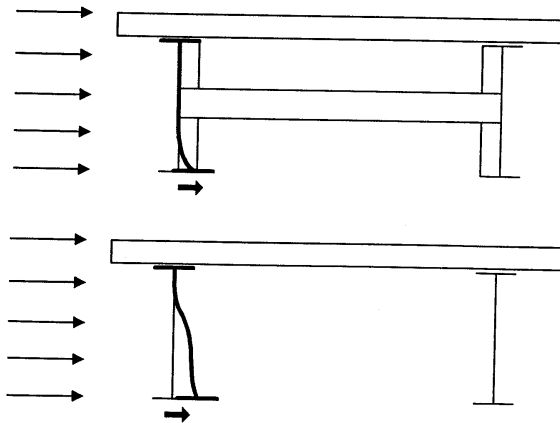


그림 2-4 횡하중에 의한 교량 단면의 변형

### 3장. 2거더 강교량 구조특성 조사를 위한 구조해석

이 장에서는 2거더 강교량의 가로보 배치에 따른 구조특성 조사를 위한 구조 해석을 실시한다. 2거더 강교량은 일반적으로 수직 브레이싱 및 수평 브레이싱을 생략하고 거더와 거더 사이의 하중 전달을 가로보가 수행하므로 가로보의 역할이 매우 중요하다. 이러한 2거더교의 특성을 고려하여 본 연구에서는 가로보의 위치, 가로보의 간격, 가로보의 강성비를 매개변수로 하여 이들 영향인자가 2거더 강교량의 거동특성에 미치는 영향을 평가하고 2거더교의 합리적인 구조상세를 제안하고자 한다.

#### 3.1 구조 모델링 검증을 위한 구조해석

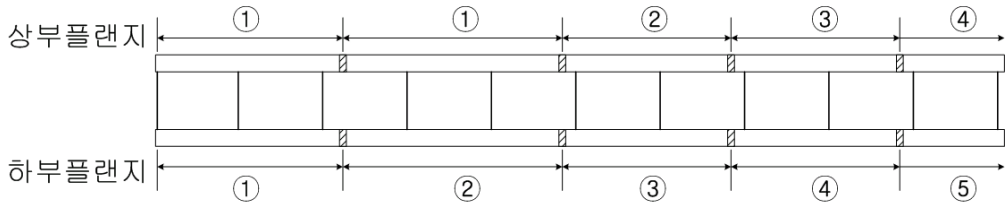
##### 3.1.1 대상교량 제원

본 연구에서의 구조해석 대상 교량은 강재 거더와 콘크리트 바닥판이 합성된 7경간 연속교이다. 본 연구의 목적을 고려하여 대상교량은 기존 교량의 제원을 사용하였다. 표 3-1에 대상교량의 단면 제원, 그림 3-1에 단면 변화위치를 나타내었다.

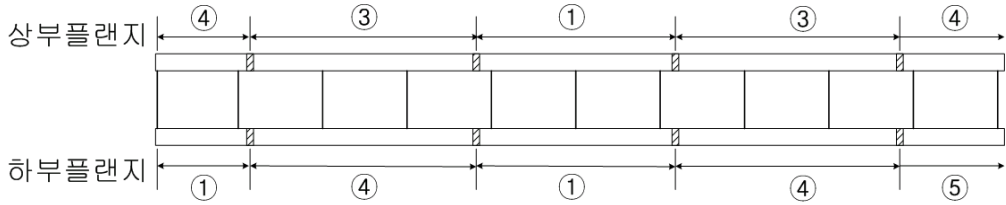
표 3-1 대상교량의 단면 제원

단위 : mm

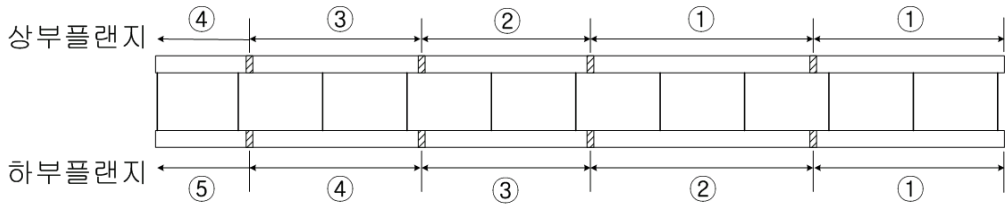
	위 치		폭	두께	높이	재질	허용응력 (kg/cm <sup>2</sup> )
	①	②					
거더	상부플랜지	①	900	28	-	SM 570	2600
		②	900	32			
		③	900	40			
		④	900	48			
	하부플랜지	①	900	28			
		②	900	36			
		③	900	44			
		④	900	52			
		⑤	900	66			
복부		-	20	2800			
가로보	상부플랜지		40	12		SM 490	1900
	복부		900	12			
	하부플랜지		40	12			
바닥판			두께 400		콘크리트	110	



(a) 1경간



(b) 2~5경간



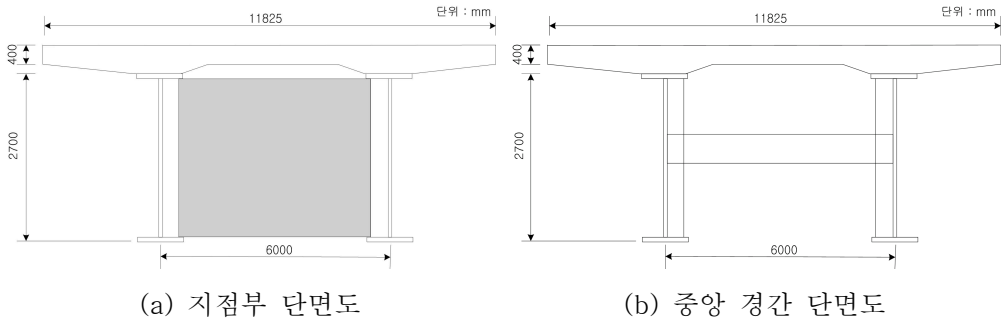
(c) 7경간

그림 3-1 대상교량의 단면 변화

대상교량의 제원을 표 3-2, 그림 3-2에 대상교량의 단면도 및 평면도를 나타내었다. 대상교량의 지점부 가로보는 중복식 형태이며 중간 가로보는 일반적인 I형 단면을 사용하였다.

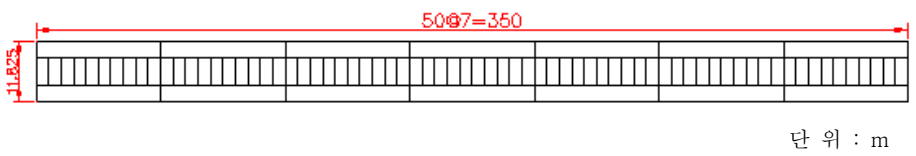
표 3-2 대상교량의 제원

대상 교량 제원	
·	7경간 연속교 : 50m@7 = 350m
·	교량 폭원 : 11.825m(2차로)
·	교량등급 : 1등급
·	설계 활하중 : DB-24 및 DL-24
·	거더 개수 : 2개(거더간격 6m)
·	가로보 간격 : 5m



(a) 지점부 단면도

(b) 중앙 경간 단면도



(c) 평면도

그림 3-2 대상교량의 단면도 및 평면도

대상 교량에서의 각 지점부의 구속 조건은 그림 3-3과 같이 실제 교량의 구속 조건과 동일하게 하였다. 여기서 X방향은 교축방향, Y방향은 교축직각방향, Z방향은 연직방향을 나타낸다. 또 Fix는 X, Y, Z방향에 대해 모두 구속, Y free는 X, Z방향에 대한 구속, XY free는 Z방향에 대해 구속, X free는 Y, Z방향에 대한 구속을 의미한다.

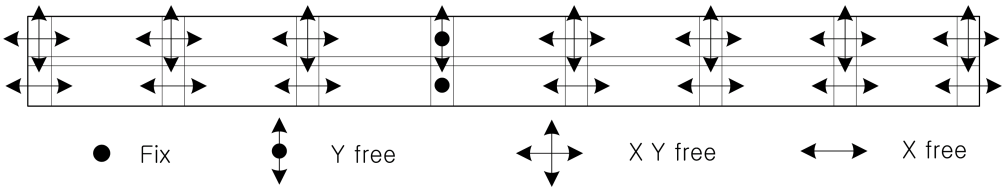


그림 3-3 대상 교량 구속 조건



### 3.1.2 구조 모델링 및 하중 재하 조건

이 절에서는 구조해석 모델이 구조해석에 미치는 영향을 검토하기 위하여 대상교량의 거더와 바닥판을 표 3-3과 같은 프레임요소, 셸요소, 솔리드요소를 사용하여 그림 3-4 (a)~(d)와 같이 모델링하였다.

표 3-3 구조해석 모델링 요소

	주 형	바닥판	요소 수(개)
Case A	프레임 요소	-	711
Case B	프레임 요소	셸 요소	프레임 : 711 셸 : 4616
Case C	셸 요소	셸 요소	17666
Case D	셸 요소	솔리드 요소	셸 : 13050 솔리드 : 6752

프레임 요소로 모델링한 Case A, B는 설계에서 가장 범용적으로 사용되고 있는 요소로 구조해석에서는 두 절점을 가진 선으로 모델링 되며 각 요소는 양단의 절점에서 6개의 활성화된 자유도인 UX, UY, UZ, RX, RY, RZ를 갖는다.

Case C, D에 사용된 셸 요소는 3개 또는 4개의 절점으로 모델링되며 요소에서의 응력은 Membrane과 Plate-bending의 성분으로 나타내어진다. 또 요소에서는 3개 또는 4개의 절점에 대해 프레임 요소와 같이 6개의 자유도를 갖는다.

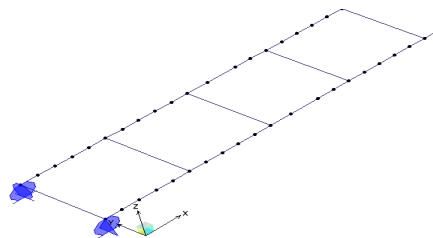
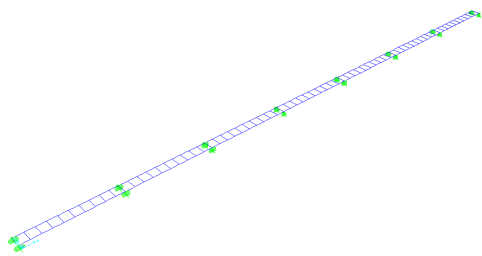
Case D의 바닥판 모델링에 사용된 솔리드 요소는 8개의 절점으로 구성되며 프레임 요소와 셸 요소와는 달리 이동에 대한 UX, UY, UZ의 3개의 자유도를 가지며 회전에 대한 자유도는 가지고 있지 않다.

요소에 대한 검증 및 요소에 따른 구조거동 특성을 조사하기 위하여 각각의 Case에 재하시킨 하중은 표 3-4와 같다. 여기서는 각 모델링에 따른 구조특성을 비교하기 위한 것이므로 하중은 합성후 고정하중인 포장 하중만을 고려하였다.

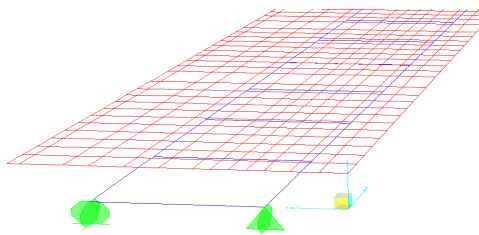
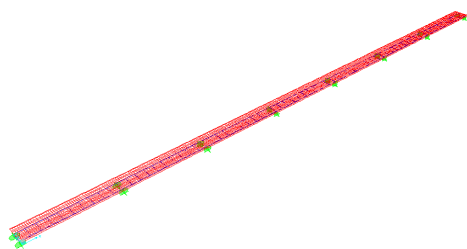
구조해석은 범용구조 해석 프로그램인 SAP 2000을 사용하여 수행하였다.

표 3-4 재하 하중

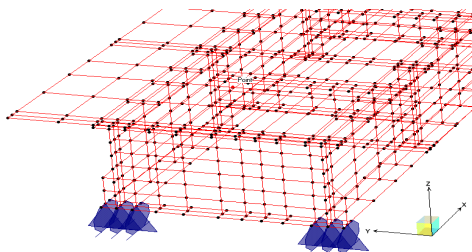
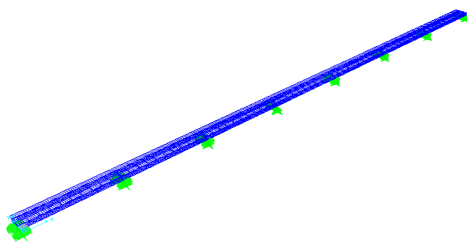
	포장
Case A	$2.3 \times 0.08 \times 11.825 = 2.18t/m$
Case B	$2.3 \times 0.08 = 0.184t/m^2$
Case C	$2.3 \times 0.08 = 0.184t/m^2$
Case D	$2.3 \times 0.08 = 0.184t/m^2$



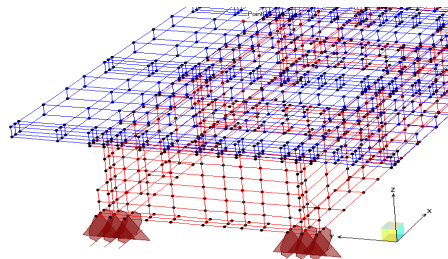
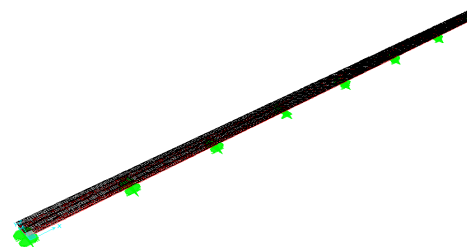
(a) Case A



(b) Case B



(c) Case C

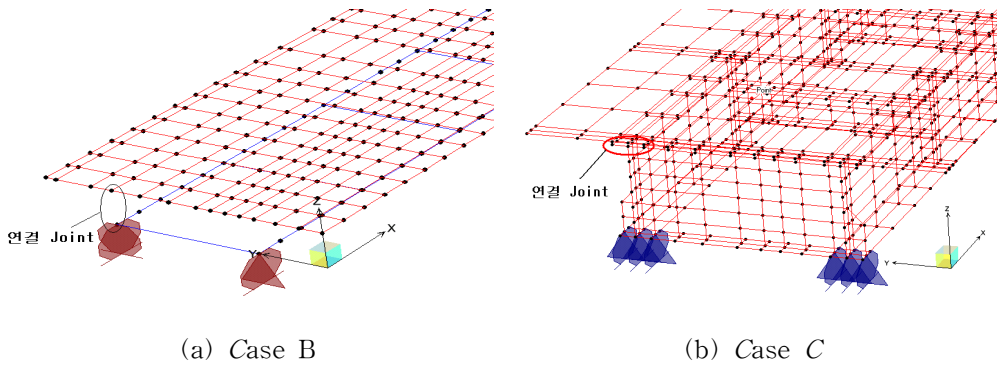


(d) Case D

그림 3-4 구조해석 모델링

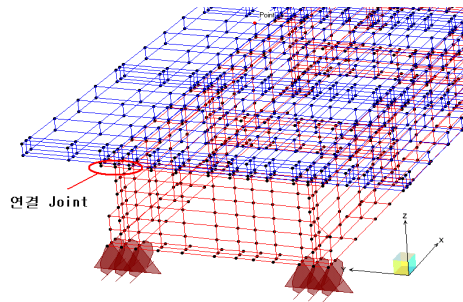
구조해석에서 2개의 다른 요소를 사용하여 모델링한 해석 모델 Case B, C, D에서는 요소특성이 다른 2개의 요소로 구성되므로 해석시 경계면에서 이들 2개 요소가 함께 거동하는 것이 필요하다.

이를 위해 본 연구에서는 SAP 2000에서 제공하는 equal constrain 기능을 사용하여 경계면에서의 2요소를 그림 3-5에 나타낸 것과 같이 공유하였다. 이 때 각 공유절점의 공유시에는 앞에서 기술한 프레임 요소, 셸 요소, 솔리드 요소의 특성을 공유시키는 것이 중요하다.



(a) Case B

(b) Case C



(c) Case D

그림 3-5 절점 공유

### 3.1.3 구조 모델에 따른 해석 결과

표 3-5에 포장 하중에 대한 구조해석 결과를 거더의 단면력, 거더 응력 및 그리고 바닥판 응력으로 나타내었다. 여기서 괄호안에 표시된 숫자는 Case A를 기준으로 하여 각각의 Case에 대한 단면력과 응력에 대한 비를 나타낸 것이다.

Case A, B의 응력은 합성단면하에서의 단면력을 사용하여 계산한 값이나 Case C, D에서의 응력은 구조해석 결과에서 얻어진 값을 나타내었다.

해석결과 최대 단면력은 1경간 중앙에서 발생하였으므로 1경간 중앙부를 대상으로 해석 결과를 정리하여 비교하였다.

표 3-5 포장하중에 의한 구조해석 결과

단위 :  $kgf/cm^2$

	Case A		Case B		Case C		Case D	
	거더응력	바닥판 응력	거더응력	바닥판 응력	거더응력	바닥판 응력	거더응력	바닥판 응력
상연	-12.11	-4.62 (1.00)	-11.95	-4.56 (0.987)	-11.72	-4.49 (0.972)	-11.19	-4.26 (0.922)
하연	143.81 (1.000)	-1.54	141.92 (0.987)	-1.52	139.21 (0.968)	-1.49	133.17 (0.926)	-1.42

거더와 바닥판의 응력은 Case A, B에서는 거의 차이가 없이 유사한 값을 나타냈으나 Case C의 경우는 약 3%정도, Case D의 경우는 약 7%정도 응력값이 작게 나타났다. 이는 기존의 프레임으로 모델링 한 구조해석보다 셸 또는 솔리드로 모델링하는 것이 거동을 보다 정확하게 나타낼 수 있는 것을 의미한다.

표 3-6은 요소에 따른 반력값을 비교한 것이다. Case A, B의 경우에는 X, Y 방향에 대해 반력이 발생하지 않으나 Case C, D의 경우 X, Y, Z 세 방향에 대하여 모두 반력이 발생하고 있다. 이것은 그림 3-4의 구속 조건을 고려하면 실제 교량에서는 구속된 방향에 대해 반력이 발생하여야 하나, Case A, B의 경우 프레임 요소에서는 하중이 거더에 직접 Z 방향으로만 재하되므로 Z방향에 대해서만 반력이 발생한다. 또 Case C, D에서의 모델링에 사용된 셸 요소에서는 하중 재하시 하중이 요소 크기에 대한 평균값으로 재하되어 이것에 의한 우력 모멘트가 발생하기 때문에 Z방향 이외에 X, Y방향에 대해서도 반력값의 크기는 작으나 모두 반력이 발생하는 것으로 판단된다. 이와 같은 모델링 방법에 따른 반력차이도 구조해석 결과에 영향을 미칠 것으로 판단된다.

표 3-6 각 구조 모델에서의 반력 값 비교

	Joint		X	Y	Z		Joint		X	Y	Z
			(ton)						(ton)		
Case A	G1	1	0	0	21.23	Case B	G1	1	0	0	21.21
		2			63.42			63.44			
		3			52.85			52.78			
		4			55.70			55.69			
		5			55.70			55.69			
		6			52.85			52.78			
		7			63.42			63.44			
		8			21.23			21.21			
	G2	1	0	0	21.23	Case D	G2	1	0	0	21.25
		2			21.23			21.25			
		3			63.42			63.54			
		4			52.85			52.87			
		5			55.70			55.78			
		6			55.70			55.78			
		7			52.85			52.87			
		8			63.42			63.54			
합			772.80	합			773.12				
Case C	Joint		X	Y	Z	Joint		X	Y	Z	
			(ton)					(ton)			
	G1	1	0	-0.04	21.27	Case D	G1	1	0	-0.05	21.27
		2		-0.12	63.32			2		-0.14	63.33
		3		1.26	52.55			3		1.52	52.56
		4	15.91	2.43	67.78		4	16.21	2.94	67.79	
		5	0	0.17	59.25		5	0	0.20	59.26	
		6		-0.12	53.87		6		-0.14	53.88	
		7		-2.18	53.90		7		-2.63	53.91	
		8		-1.40	15.27		8		-1.70	15.27	
	합				773.12	합				773.26	
	G2	1	0	21.36	Case D	G2	1	0	21.37		
		2		63.52			63.53				
		3		51.56			51.56				
		4	-15.91	0		55.79	4	-16.21	0	55.80	
		5	0	56.62		0	56.63				
6		53.46		53.47							
7		62.49		62.50							
8		21.12		21.13							
합				773.12	합				773.26		

Case A~Case D의 변위 형상을 그림 3-6 (a)~(d)에 나타내었다. 각 Case별로 약간의 변위 차이를 나타내고는 있으나 거동 형상은 동일하게 나타나는 것을 알 수 있다.

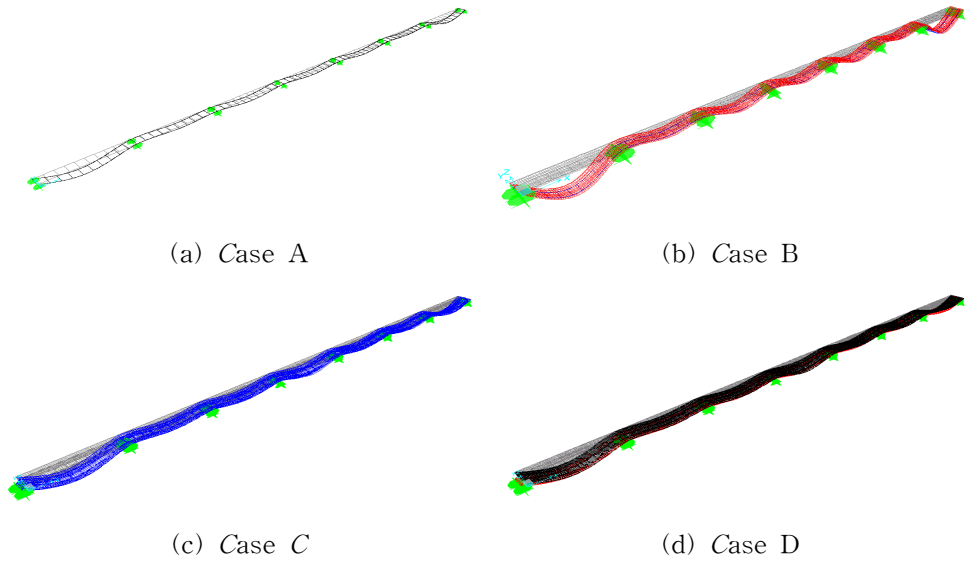


그림 3-6 변위 형상

프레임, 셸 및 솔리드 요소를 사용하여 요소검증을 위한 구조해석을 실시한 결과 각 요소별 응력값은 5~7%정도의 차이를 나타내었는데 Case D의 경우가 가장 응력이 작은 값을 나타내며 바닥판의 특성을 나타낼 수 있는 요소로 실제 교량과 유사하게 거동하는 것을 알 수 있었다.

. 이러한 것을 고려하여 구조해석에서는 가로보의 위치, 간격, 강성의 변화를 용이하게 할 수 있으며, 또 실제 교량과 유사하게 모델링 할 수 있는 Case D를 선택하여 앞에서 기술한 매개변수들에 대한 구조해석을 실시하였다.

### 3.2 가로보와 2거더 강교량의 구조거동의 관계

가로보의 배치 위치, 가로보 간격 및 강성을 매개변수로 2거더교의 구조해석을 수행하여 가로보가 2거더교의 거동 특성에 미치는 영향을 조사하고 이로부터 2거더교의 최적 가로보 배치에 관한 검토를 수행하고자 한다.

#### 3.2.1 하중조합

앞 절의 구조모델에 따른 구조해석 결과 실제 교량의 거동을 잘 나타낼 수 있는 Case D를 선택하여 가로보 위치, 간격, 강성을 매개변수로 하여 구조해석을 실시하였다. 매개변수에 의한 구조해석을 위해 재하된 하중은 표 3-7과 같이 Type A, B, C를 재하하였다. 여기서 고정하중은 표 3-8과 같이 거더, 가로보의 강재 자중과 바닥판의 콘크리트 자중을 프로그램내에서 자동 계산된 값으로 재하하였고 포장에 대해서는 등분포 하중으로 재하하였다. 본 연구에서의 대상교량은 교량등급 1등급의 교량이므로 활하중은 도로교 설계기준에 따라 DB 24하중과 DL 24하중을 재하하였으며 부하중으로 풍하중을 등분포 하중으로 재하하였다.

표 3-7 하중 조합

하중명	하 중
Type A	고정 하중+활하중(DB 24)
Type B	고정 하중+활하중(DL 24)
Type C	고정 하중+활하중(DL 24)+풍하중

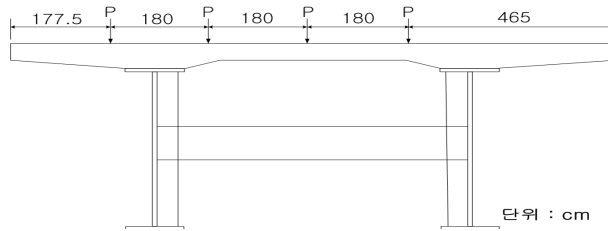
표 3-8 고정 하중

주형 자중	바닥판 자중	포장
775ton <sup>*</sup>	4138.75ton <sup>*</sup>	$2.3 \times 0.08 = 0.184t/m^2$

※ 자중은 프로그램에서 자동으로 계산됨

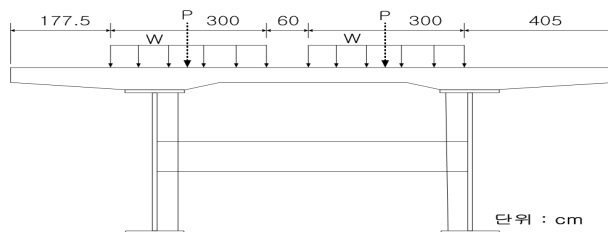
활하중 재하는 도로교 설계기준에 따라 영향선 기법에 의한 방법으로 교량에 최대 응력이 발생하도록 재하하였다. DB 24하중은 그림 3-7(a)에서와 같이 대상 교량이 2차선 교량이므로 교량에 최대 응력이 발생하는 1경간 중앙부에 2대를 동시에 재하 하였다. 또 DL 24하중은 그림 3-7(b)와 같이 폭 3m로 1, 3, 5, 7경

간에 하중을 재하 하였다. 그림(a), (b)에서 DB 24하중, DL 24하중의 재하 위치가 왼쪽 끝에서 177.5cm 떨어진 곳에 위치하는 것은 끝에서부터 난간(40cm)+노건(137.5cm)을 이격시킨 위치에 하중을 재하하였기 때문이다. 풍하중은 G1에 대하여 그림 3-8 (c)와 같이 횡방향으로 재하하였다.



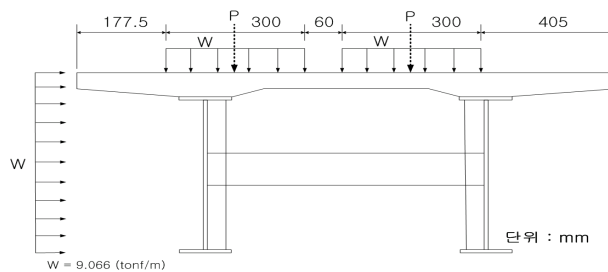
하중(P)	전륜하중(kgf)	후륜하중(kgf)
DB 24	2,400	9,600

(a) Type A 하중



하중	W(kgf/m)	P(kgf)
DL 24	1,270	10,800

(b) Type B 하중



(c) Type C 하중

그림 3-7 하중 재하 방법



구조 모델링 검증에 의해 선정된 Case D에 대하여 표 3-7의 하중 조합 Type A, B, C에 대해 수행한 구조해석 결과를 표 3-9에 나타내었다. 거더 하부플랜지와 가로보 모두 DL하중을 작용시킨 Type B에서 최대 응력이 발생하므로 이후의 결과는 Type B 하중에 대해서 정리하였다.

표 3-9 Case D의 최대 응력

	거더 하부 플랜지(kg/cm <sup>2</sup> )		가로보(kg/cm <sup>2</sup> )	
	지점부	1경간 중앙부	지점부	1경간 중앙부
Type A	599.75	1298.54	262.01	-100.23
Type B	678.72	1353.62	275.89	-104.62
Type C	663.50	1349.87	271.53	-101.57

### 3.2.2 가로보 위치에 의한 응력검토

가로보 위치에 따른 응력을 검토하기 위해 그림 3-8 (a), (b), (c)와 같이 각각 중간 가로보의 위치를 5m의 간격으로 상단, 하단, 중단에 대해 배치하여 표 3-7의 하중조합에 따른 구조해석을 수행하였다.

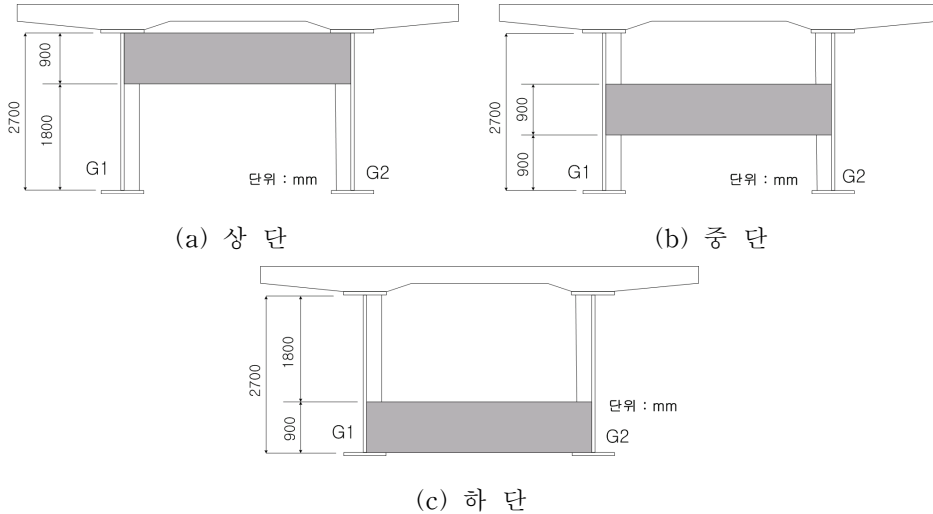


그림 3-8 가로보 배치 위치

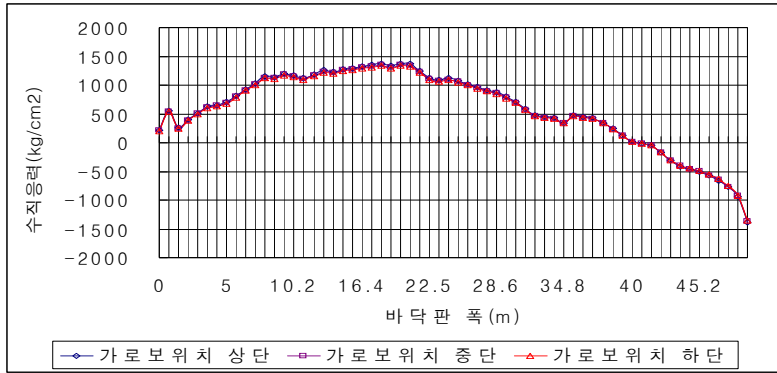
#### (1) 2거더 강교량의 전체적인 거동 특성

##### ① 거더 하부플랜지 응력

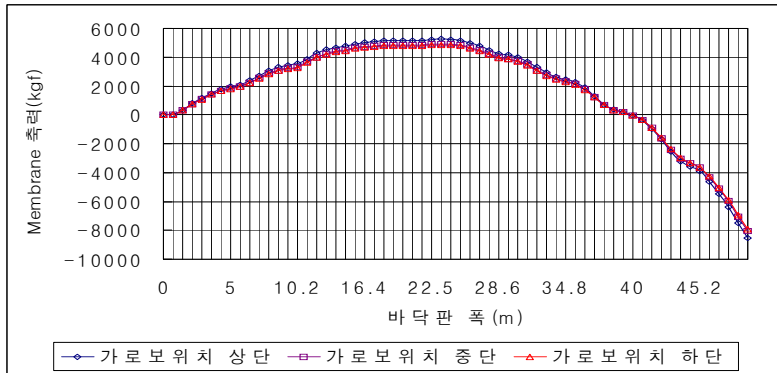
가로보 배치 위치가 2거더교의 거동에 미치는 특성을 조사하기 위하여 Type B 하중에서의 지간 길이에 따른 하부플랜지에서의 응력을 그림 3-9에 나타내었다. 그림(a)는 거더의 수직응력을 나타낸 것이며, (b) 및 (c)는 수직응력을 발생시키는 단면력을 각각 면내력인 Membrane 축력과 Plate 휨 모멘트로 분리하여 나타낸 것이다. 여기서는 상부플랜지의 응력보다 하부플랜지의 응력이 더 크게 발생하므로 하부플랜지 응력만을 정리하였다.

그림 3-9 (a)에 나타낸 것과 같이 가로보 배치 위치의 변화에 관계없이 거더의 응력은 유사하게 나타나는 것을 알 수 있다. 다만 처음에 응력이 갑자기 증가하는 것은 지점부가 위치한 곳으로 지점 반력에 의한 영향으로 생각되며, 중간부에서 응력이 갑자기 감소하는 것은 가로보가 위치한 지점으로 가로보에 의한 하중분배 효과 때문으로 생각된다. 이러한 응력변화는 그림 3-10 (c)에 나타낸 것과 같이 Plate 휨모멘트 성분이 수직응력에 영향을 미치기 때문으로 생각된다. 즉, 그림 3-10 (b)에 나타낸 것과 같이 가로보의 응력은 전체적으로 면내력인

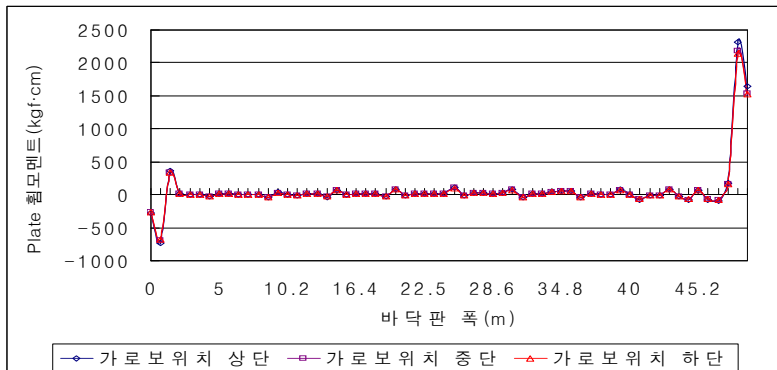
Membrane 축력이 지배적으로 작용하고 있으나 지점부와 가로보가 위치한 곳에 서는 면외력인 Plate 휨모멘트의 영향이 크게 작용하고 있는 것을 알 수 있다.



(a) 가로보 위치에 따른 거더 하부플랜지 수직응력



(b) 가로보 위치에 따른 거더 하부플랜지 Membrane 축력



(c) 가로보 위치에 따른 거더 하부플랜지 Plate 휨모멘트

그림 3-9 거더 하부플랜지 거동 특성

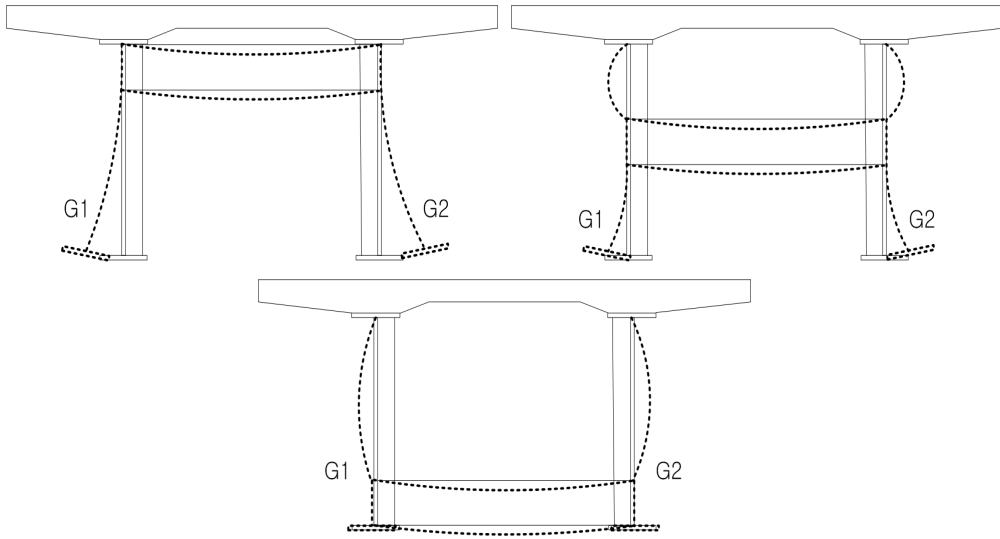
## ② 거더 복부 응력

포장하중의 고정하중하에서의 가로보 배치 위치에 따른 복부 변위형상 및 변위를 그림 3-10, 복부의 수직응력 및 각 성분력을 그림 3-11에 나타내었다. 그림 3-10 (a)의 고정하중 재하시는 좌우 대칭의 하중이 재하되므로 변위 형상 또한 좌우 대칭의 현상이 나타났으며, 그림 3-10 (b)의 복부 변위는 가로보 배치 위치를 상단에서 하단으로 이동하여 배치함에 따라 감소하였다. 그림 3-11 (a)의 복부 응력은 가로보 배치 위치가 변화함에 따라 복부 상단인 2.7m에서는 응력값의 차이가 거의 없었으나 복부 하단인 0m로 갈수록 응력값의 차이가 크게 나타나 가로보 배치 위치가 하단일 경우 가장 작은 응력을 나타내었다. 이것은 그림 3-12 (b), (c)에 나타난 것과 같이 복부의 수직응력은 Membrane 축력이 지배적이나 가로보 배치 위치가 복부 상단일수록 면외력인 Plate 휨모멘트의 영향이 크기 때문으로 판단된다.

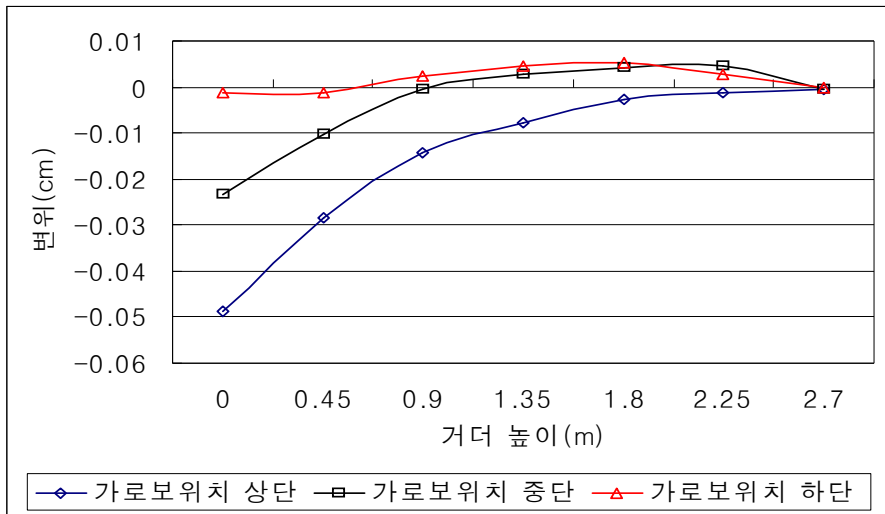
또한 Type B하중에서의 복부 변위와 응력을 그림 3-12와 그림 3-13에 나타내었다. 그림 3-12 (a)에서 Type B하중 재하시의 변위 형상은 고정하중 재하시와는 달리 비틀림이 작용하여 한 방향으로 기울어지는 형태를 나타내었다. 또한 그림 3-12 (b)에서 변위는 가로보 배치 위치가 상단에서 하단으로 갈수록 감소하여 하단일 때 가장 작은 변위를 나타내었다. 그림 3-13 (a)에서 복부 응력은 고정하중 재하시와 동일하게 가로보 배치 위치가 하단일 때 가장 작은 응력값을 나타내었으며 그림 3-14 (b), (c)에서 Membrane 축력이 지배적으로 작용하고 있으나 복부 상단으로 갈수록 면외력인 Plate 휨모멘트의 차이가 크게 나타났다.

이런 결과로부터 거더의 복부 응력에서는 Membrane 축력이 지배적으로 작용하고 있으나 복부 하단부에서의 값 차이에 영향을 미치는 것은 Plate 휨모멘트에 의해 나타나는 것을 알 수 있다.

그림 3-11 (a)와 그림 3-13 (a)에서 가로보 배치 위치에 따른 복부 응력의 변화는 고정하중 재하시나 활하중 재하시 모두 위치에 관계없이 전체적으로 복부 높이가 복부 하단인 0m에서 복부 상단인 2.7m로 증가할수록 응력은 감소하는 경향을 나타내면서 압축응력으로 바뀌어가는 경향을 나타내었다.

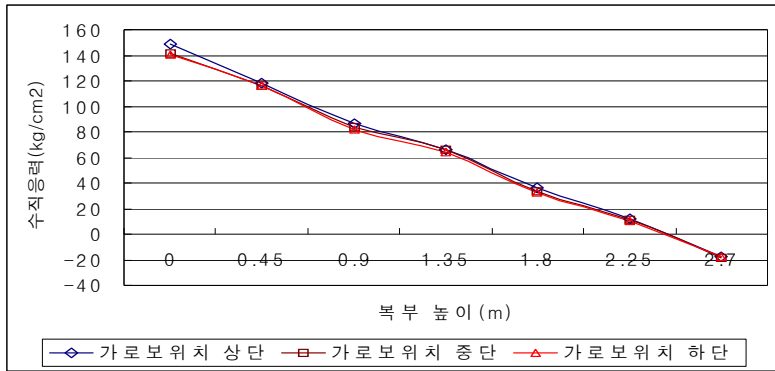


(a) 고정하중 재하시의 복부 변위 형상

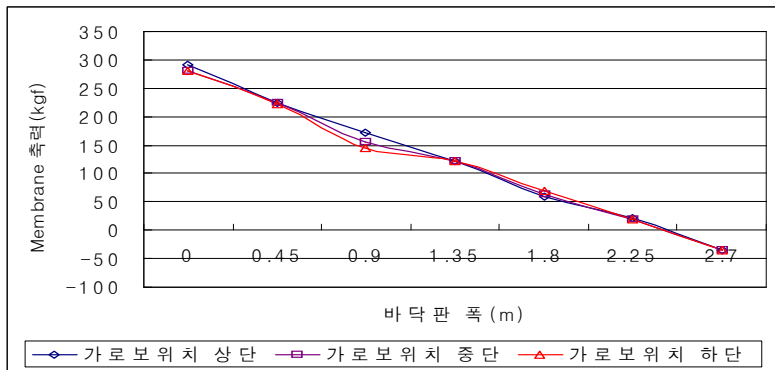


(b) 가로보 배치 위치에 따른 복부의 변위 변화

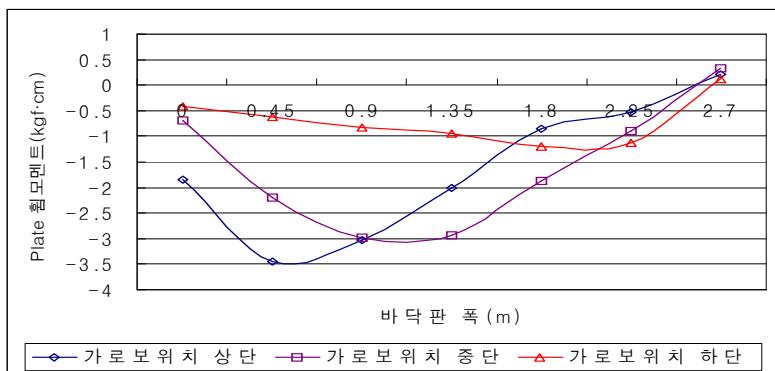
그림 3-10 고정하중 재하시의 가로보 위치 변화에 따른 복부 변위



(a) 가로보 위치에 따른 복부의 수직응력

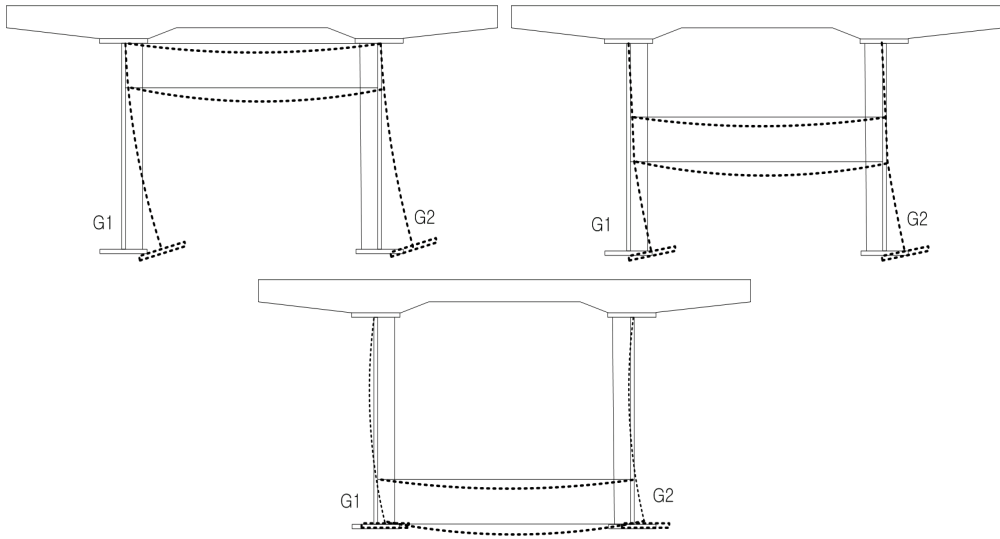


(b) 가로보 위치에 따른 복부 Membrane 축력

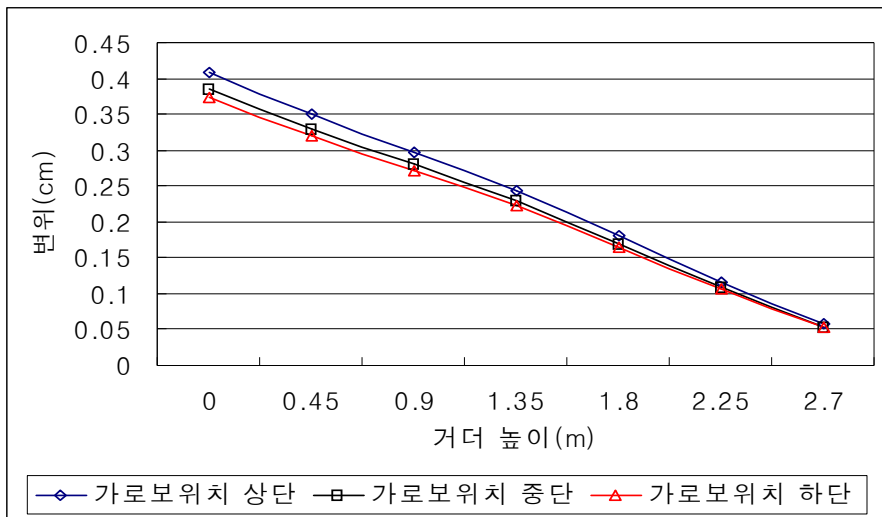


(c) 가로보 위치에 따른 복부 Plate 휨모멘트

그림 3-11 고정하중 재하시의 복부의 수직응력 및 각 성분력

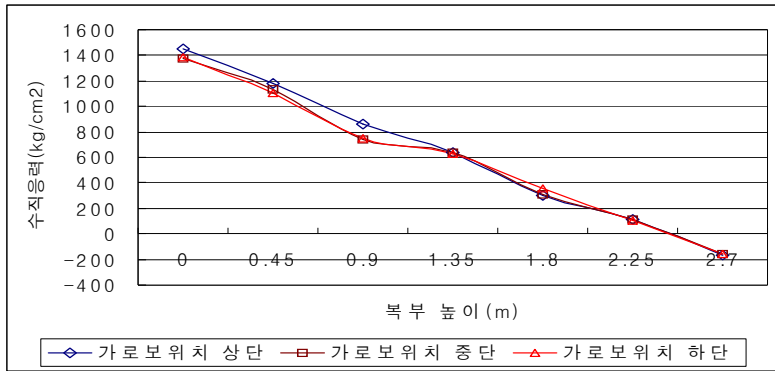


(a) Type B하중 재하시의 복부 변위 형상

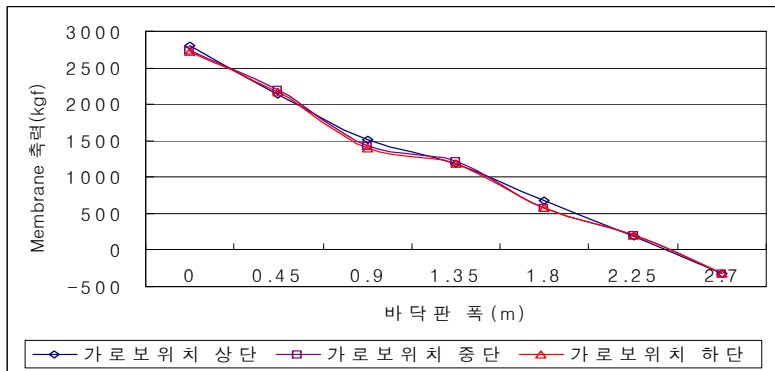


(b) 가로보 배치 위치에 따른 복부 변위 변화

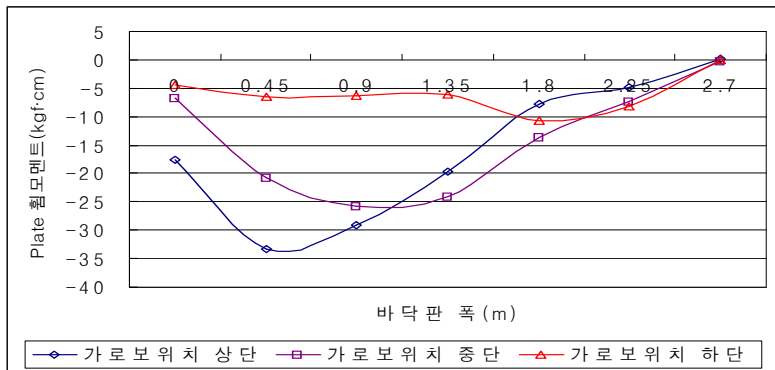
그림 3-12 Type B하중 재하시의 가로보 위치 변화에 따른 변위



(a) 가로보 위치에 따른 복부 응력



(b) 가로보 위치에 따른 복부 Membrane 축력



(c) 가로보 위치에 따른 복부 Plate 휨모멘트

그림 3-13 Type B하중 재하시의 거더 복부 거동 특성



### ③ 바닥판 응력

그림 3-14에 가로보 배치 위치에 따른 지점부의 바닥판 상연 응력을 바닥판 폭에 대하여 나타내었다. 여기서 고정하중은 자중을 제외한 하중을 재하하고 활하중은 DL 24하중만을 재하한 하중이다. 해석 결과 바닥판 응력은 가로보 배치 위치에 관계없이 거의 일정한 경향이 나타났다.

그림 3-14의 지점부 바닥판에는 부의 모멘트가 발생하므로 바닥판 상연과 하연 모두 인장응력이 발생하였으나 상연의 응력이 더 크므로 여기서는 바닥판 상연 응력에 대해서만 나타내었다. 여기서 고정하중의 경우는 좌우 대칭의 하중이 재하되므로 바닥판 중앙을 중심으로 좌우가 대칭으로 응력이 변화하였다. 특히 교축직각방향의 바닥판 응력이 거더 지지점에서 최대가 되는 것은 지점 반력의 영향인 것으로 판단된다.

또한 활하중이 작용하는 경우에는 고정하중과는 달리 하중이 G1 방향으로 편측 재하 되어 G1쪽에서 응력이 더 크게 발생하였고 고정하중이 작용하는 경우와 동일하게 바닥판과 거더가 만나는 구간에서 하중이 가장 크게 나타났다.

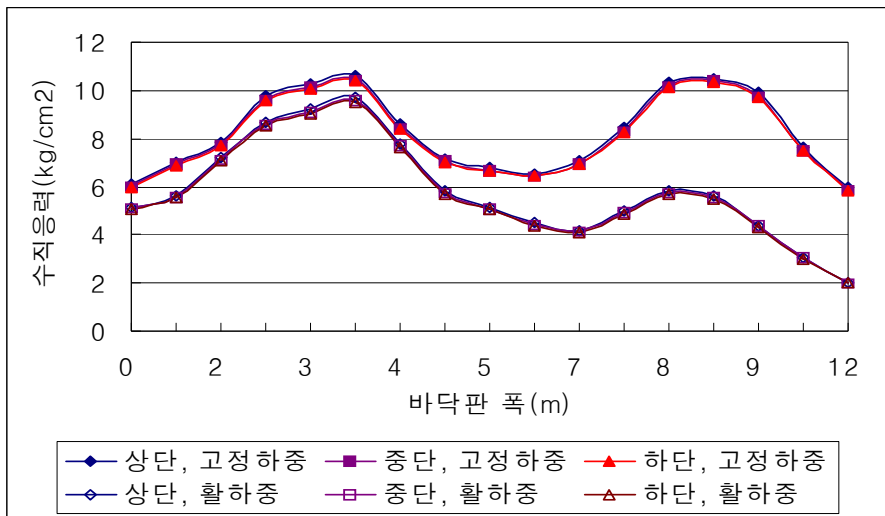


그림 3-14 가로보 배치 위치에 따른 지점부 바닥판 상부 응력

## (2) 가로보 배치 위치에 따른 가로보의 거동 특성

가로보 배치 위치에 따른 가로보의 거동이므로 가로보 간격 5m의 동일 강성에서 Type B 하중에서의 지점부와 1경간 중앙부에 대하여 조사하였다. 여기서 지점부의 경우 가로보 형태가 중복식이므로 가로보의 배치 위치 변화는 중간 가로보의 위치 변화를 의미한다.

### ① 지점 가로보

지점을 제외한 가로보 배치 위치를 중단에 배치하였을 때의 P1지점에서의 가로보 응력 contours를 그림 3-15에 나타내었다. 그림 3-15에서는 중간 가로보의 배치 위치가 변화하여도 지점부의 응력 contours가 유사하므로 중간 가로보 위치를 중단에 배치하는 경우만을 나타내었다.

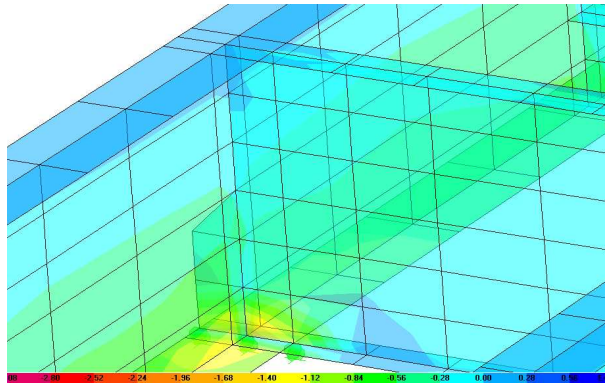


그림 3-15 지점 가로보 응력 contours

그림 3-16 (a), (b)에 가로보 배치 위치에 따른 지점 가로보의 응력 변화를 나타내었다. 가로보 상·하부 플랜지와 연결되는 가로보 양 끝단에서의 응력은 주거더 응력 특성 및 지점반력의 영향으로 인해 국부적인 응력집중 때문에 주거더 플랜지 응력에 상당하는 응력이 발생하고 있는데 가로보 배치에 따른 가로보의 응력은 큰 차이는 없으나 가로보가 중단, 중단, 하단에 위치하는 순서로 응력이 큰 것을 알 수 있다. 한편, 연결부에서 떨어진 가로보 일반부에서의 상·하부 플랜지 응력은 상부가 약  $10\sim 15\text{kg/cm}^2$  정도, 하부가  $20\sim 40\text{kg/cm}^2$  정도로 하부 플랜지가 약간 크게 나타나며, 가로보 배치 위치에 따른 차이는 연결부 근처에서와 같이 큰 차이는 없으며 동일한 경향을 나타내었다. 이것은 가로보 배치 위치는 가로보의 응력 특성만이 아니라 2거더 전체의 거동 특성에도 어느 정도 영향을 미치는 것을 의미하는 것으로 생각된다.

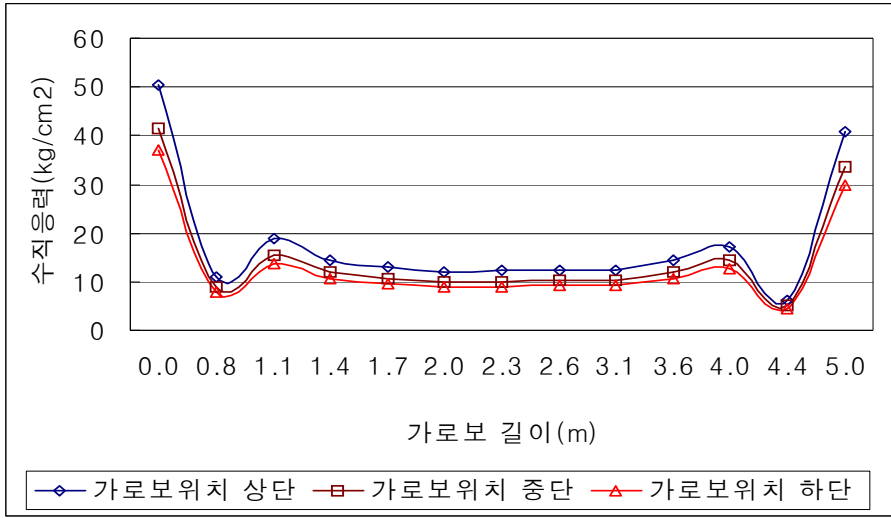


그림 3-16 (a) 지점 가로보 상부플랜지

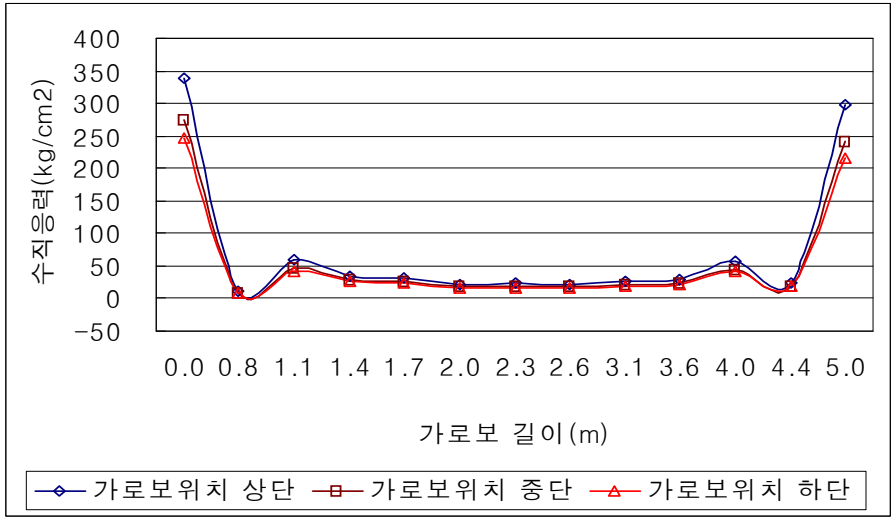
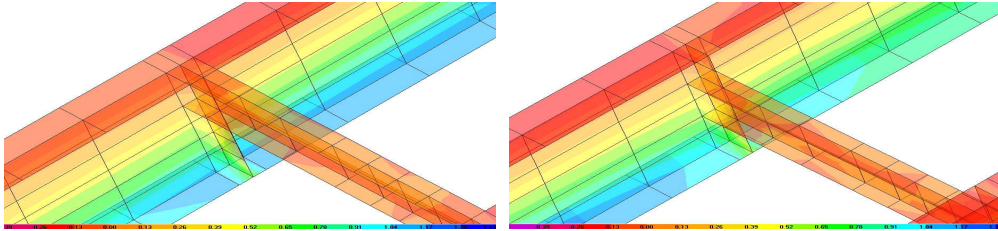


그림 3-16 (b) 지점 가로보 하부플랜지

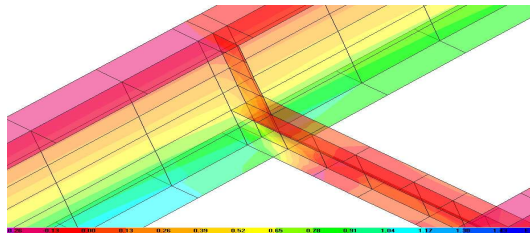
② 중간 가로보

가로보 배치 위치를 상단, 중단, 하단에 배치하는 것에 따른 중간 가로보의 응력 contours는 그림 3-17 (a)~(c)에 나타내었으며 가로보 배치 위치의 변화에 따라 응력 contours도 다른 경향을 나타내고 있었다.



(a) 가로보 배치 상단의 응력 contours

(b) 가로보 배치 중단의 응력 contours



(c) 가로보 배치 하단의 응력 contours

그림3-17 가로보 배치위치에 따른 응력

그림 3-18 (a), (b)에 가로보 길이에 따른 응력 변화를 나타내었다. 가로보 위치에 대한 기존의 연구(SAKAI, NAGAI)와 같이 가로보 배치 위치가 하단일 때 가장 응력이 작게 발생하고 있었다. 또한 가로보 배치 위치가 상단에서 중단으로 이동하면 약 20%정도 응력이 감소하였고 중단에서 하단으로 이동하면 약 11%정도 응력이 감소하였으므로 상단 배치와 중단 배치의 응력 차이가 더 크게 나타나고 있었다.

이와 같은 경향으로 볼 때 가로보 위치는 하단에 배치하는 것이 가장 유리할 것으로 생각된다. 그러나 가로보 배치 위치가 중단에 배치하는 것과 하단에 배치하는 경우의 응력의 차이가 작고 일반적으로 바닥판 콘크리트가 현장 타설일 경우에는 가로보를 중단에 배치하는 것이 거푸집 설치와 검사차의 설치 등에서 시공이 효율적이기 때문에 가로보를 중단에 배치하고 있다. 따라서 가로보 배치 위치는 응력이 가장 작은 하단에 배치하는 것이 유리하나 시공의 효율성을 고려하면 중단에 배치하는 것이 더욱 합리적인 2거더 강교량을 설계하는 것이라 생각

된다.

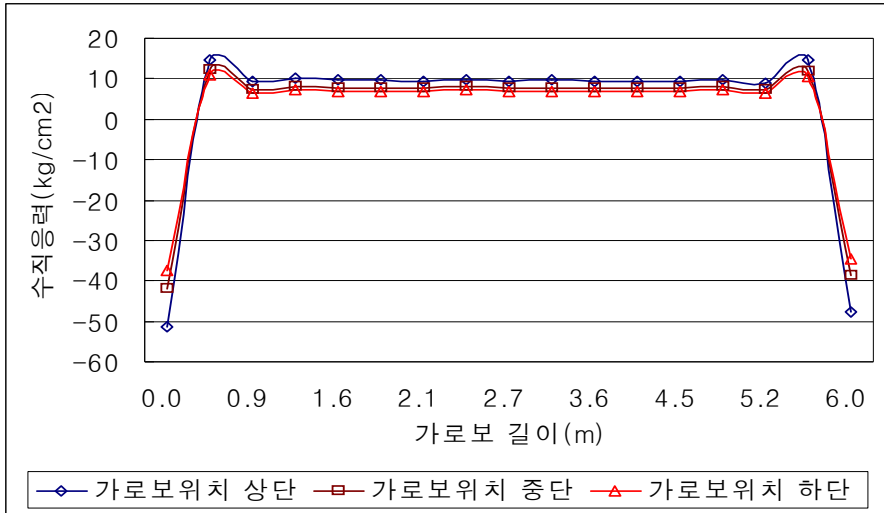


그림 3-18 (a) 중간 가로보 상부플랜지

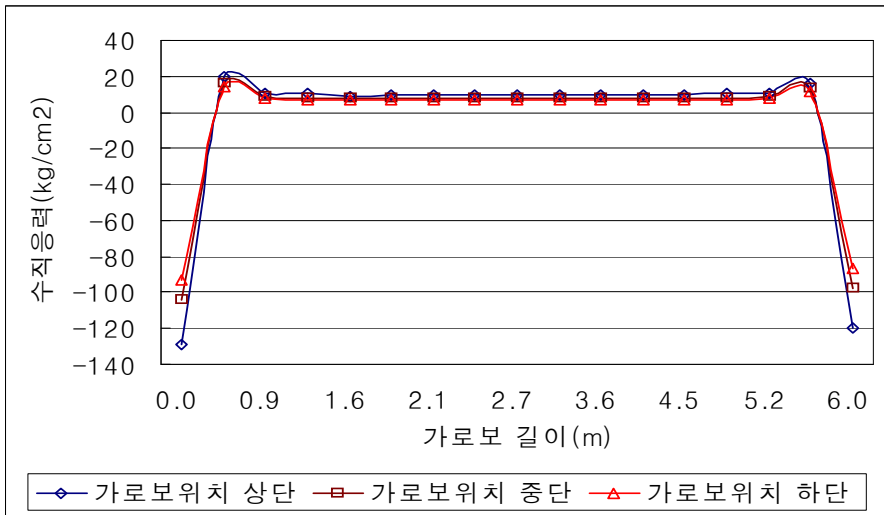


그림 3-18 (b) 중간 가로보 하부플랜지

이상의 가로보 위치에 따른 구조해석 결과에서는 거더와 바닥판의 경우 가로보 배치 위치에 따라서는 응력이 차이가 없었고 복부에서는 거더 하부 플랜지와 연결되는 복부 하단에서 약 6%의 차이가 있었다. 가로보 응력은 지점가로보의 경우에는 차이가 없었으나 중간가로보의 경우에는 가로보 배치 위치가 상단에서 하단으로 이동함에 따라 응력이 약 20%정도로 감소하고 있었다. 따라서 가로보의 위치는 복부 변위와 가로보의 응력이 최소인 하단에 배치하는 것이 합리적이라 생각되나 가로보의 위치가 중단에 배치하여도 가로보의 위치가 하단일 때와 응력의 차이가 작고 시공의 효율성을 고려하면 중단에 배치하는 것이 더욱 합리적인 교량 설계가 될 것으로 생각된다.

### 3.2.3 가로보 간격에 따른 응력 검토

가로보 간격을 증가시키면 가로보 개수가 감소하여 강재 중량을 감소할 수 있으므로 교량의 자중을 줄일 수 있다. 교량 자중의 감소는 하부구조에 큰 영향을 미치므로 적절한 가로보 간격은 교량의 시공에 있어 중요한 과제로 생각된다.

국내 도로교 설계 기준의 경우 가로보 간격에 대한 구체적인 기준은 제시되어 있지 않으며, 다만 수평 브레이싱에 대하여 간격 6m 이내로 배치한다는 기준을 적용하여 통상적으로 가로보 간격을 5m로 하고 있다. 국외 기준의 경우는 미국의 AASHTO에서는 6m이내에 가로보 1개를 배치하도록 하고 있으며, 일본 도로교 시방서는 국내 도로교 설계기준과 동일하며, 일본강도로교 설계편람에서는 지간 길이에 대한 가로보 개수에 대해 제시하고 있으나 구체적인 기준은 제시되어 있지 않다.

이러한 것을 고려하여 2거더교에서 가로보 간격이 거동에 미치는 특성을 조사하기 위하여 동일한 강성을 가진 중간 가로보를 거더 중단에 배치하고 가로보 간격을 지간의 1/10, 1/7, 1/5, 1/4로 변화시키면서 구조해석을 실시하였다. 여기서도 Type B 하중 작용시 최대 응력이 발생하므로 Type B 하중하에서의 거더 및 가로보 응력의 변화를 비교 검토하였다. 이러한 결과로부터 가로보 간격 변화에 따른 2거더 강교량의 구조특성을 조사하여 2거더 강교량 설계에의 기초자료를 제공하고자 한다.

여기서, 가로보 간격에 대한 가로보 개수는 표 3-10과 같다.

표 3-10 가로보 간격에 대한 가로보 개수

가로보 간격	1/10	1/7	1/5	1/4
가로보 개수	11	8	6	5

#### (1) 2거더 강교량의 전체적인 거동 특성

##### ① 거더 하부플랜지 응력

가로보 간격에 따른 거더 하부플랜지의 지간길이에 따른 응력 변화를 그림 3-19에 나타내었다. 가로보 간격이 증가함에 따라 하부 플랜지 응력이 증가하는 경향을 나타내었다. 여기서도 가로보 배치 위치에 따른 구조해석의 결과와 동일하게 지점부와 가로보가 위치한 곳에서 Plate 휨모멘트의 영향에 의하여 응력이 변화하는 경향을 나타내었다.

또한 대상교량의 거더는 허용응력  $2600kg/cm^2$ 의 SM 570의 고강도 강재를 사용하고 있는데 가로보 간격이 지간의 1/4인 12.5m에서도 하부 플랜지에서의 최

대응력은  $2000\text{kg/cm}^2$ 미만으로 허용응력을 충분히 만족하고 있어 완성계에서는 가로보 간격을 지간의 1/4정도로 배치하여도 문제가 없는 것으로 판단되었다.

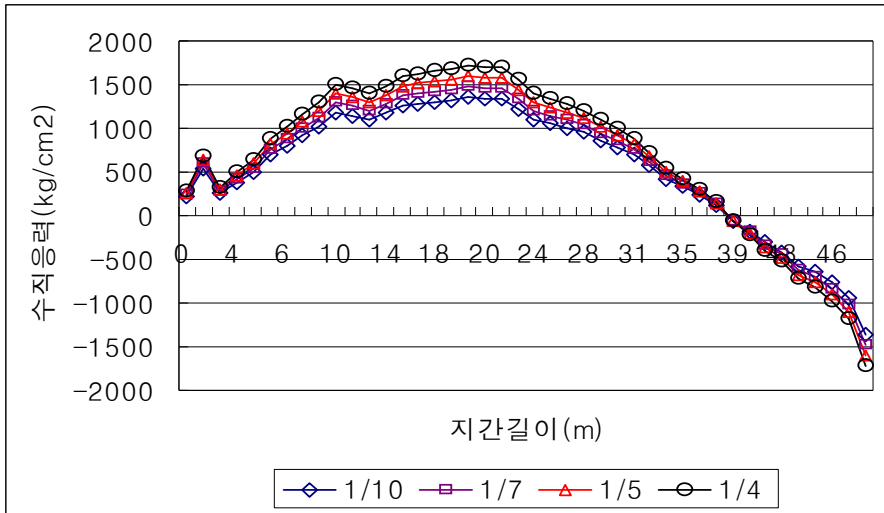


그림 3-19 가로보 간격변화에 따른 거더의 하부플랜지 응력

② 거더 복부 응력

가로보 간격에 따른 거더 복부 응력을 그림 3-20에 나타내었다. 복부의 응력은 간격이 증가할수록 또 하부 플랜지에 가까울수록 응력이 증가하는 경향을 나타내고 있다.

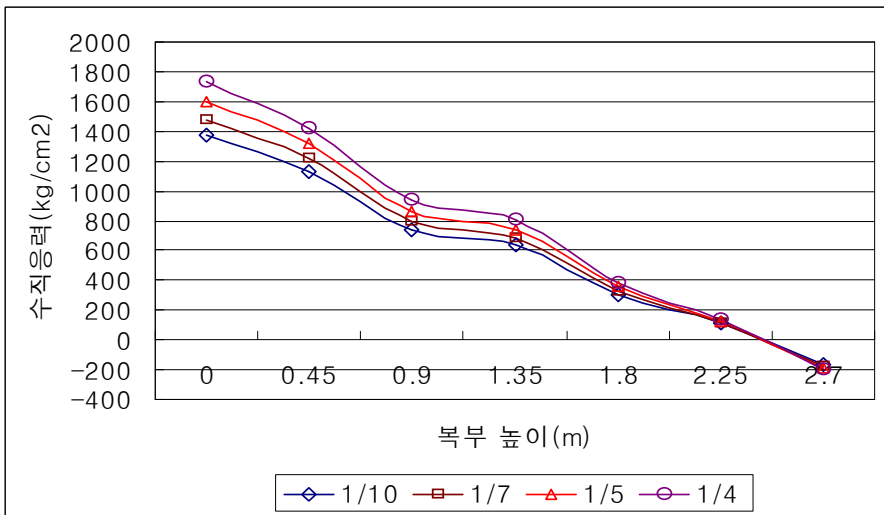


그림 3-20 가로보 간격변화에 따른 거더의 복부 응력



③ 바닥판 응력

Type B 하중하에서의 가로보 간격변화에 따른 지점부의 바닥판 응력을 그림 3-21에 나타내었다. 가로보 간격이 증가함에 따라 바닥판의 상부응력이 증가하는 경향을 나타내었다.

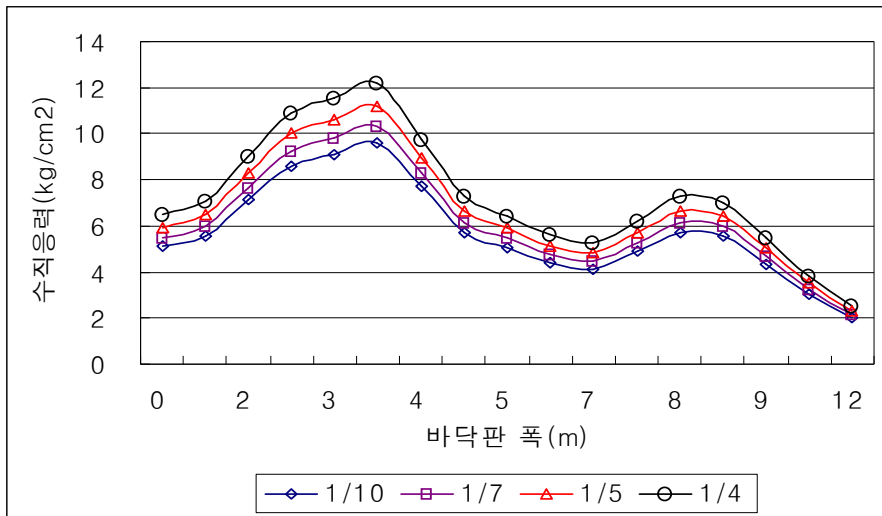


그림 3-21 가로보 간격변화에 따른 지점부의 바닥판 상부 응력

## (2) 가로보 간격에 따른 가로보 거동

### ① 지점 가로보

가로보 간격변화에 따른 지점 가로보의 상부 및 하부 플랜지의 수직응력 값을 그림 3-22 (a), (b)에 나타내었다. 그림에 나타낸 것과 같이 가로보 간격이 넓어 질수록 응력이 증가하고 있으나 지간의 1/4인 12.5m일때의 최대 응력이  $400 \text{ kg/cm}^2$ 미만으로 가로보의 허용응력인  $1900 \text{ kg/cm}^2$ 보다 작아 완성계에서는 가로보의 응력은 충분히 안전한 것을 알 수 있다.

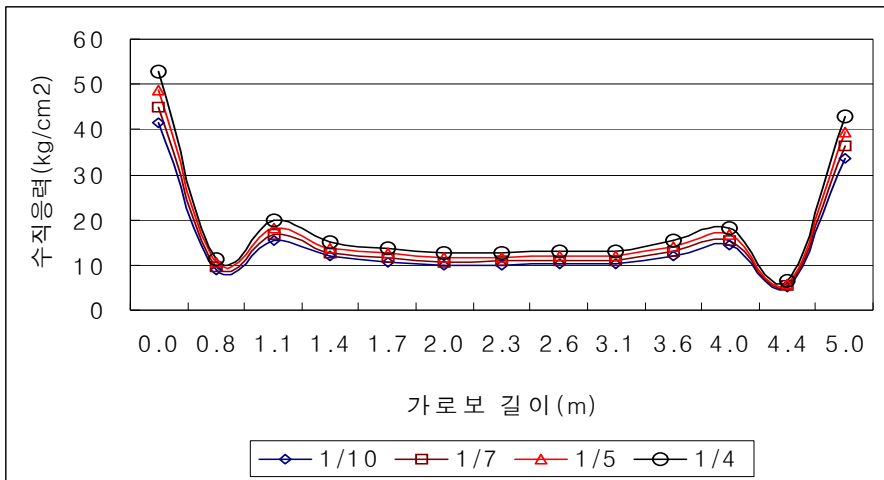


그림 3-22 (a) 지점 가로보 상부플랜지의 수직응력

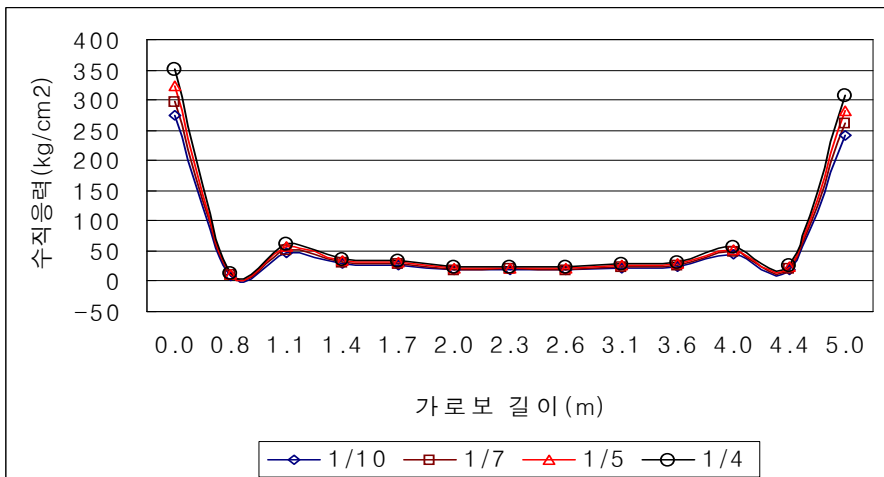


그림 3-22 (b) 지점 가로보 하부플랜지의 수직응력

② 중간 가로보

중간 가로보의 가로보 간격에 대한 결과값은 그림 3-23 (a), (b)에 나타내었다. 그 결과 지점부 가로보와 같은 경향을 가지며 가로보 간격이 증가함에 따라 응력이 증가하는 경향을 나타내고 있었다.

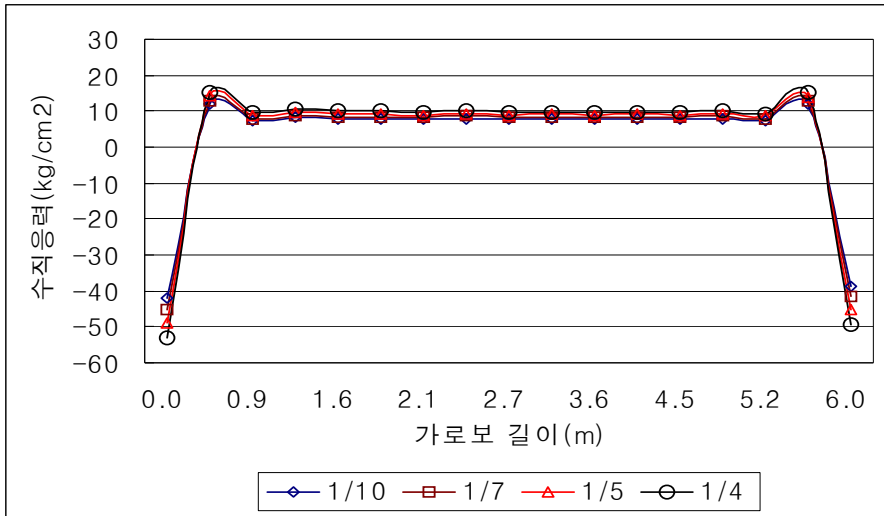


그림 3-23 (a) 중간 가로보 상부 플랜지

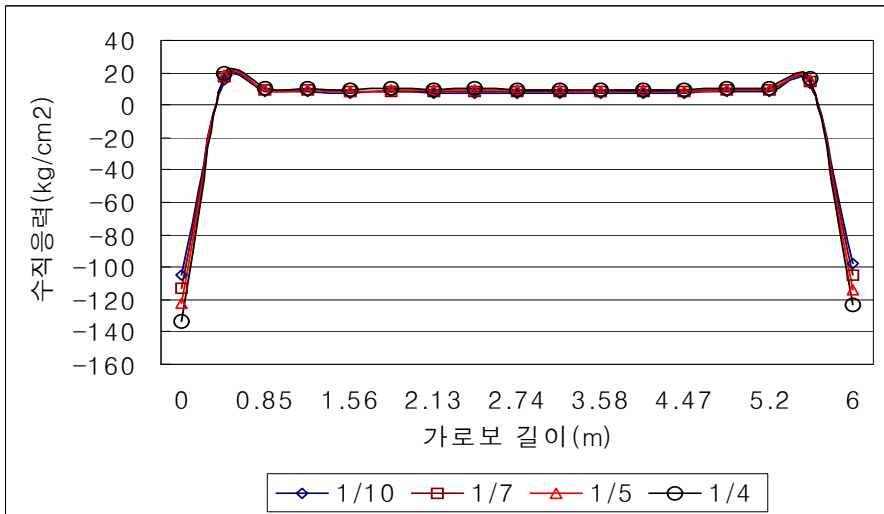


그림 3-23 (b) 중간 가로보 하부플랜지

이상으로 가로보 간격에 대해 구조해석을 실시한 결과 가로보 간격이 증가함에 따라 가로보의 응력도 평균 8%정도 증가하는 경향을 나타내고 있었다. 그러나 가로보 간격이 가장 넓은 지간의 1/4에서도 거더 및 가로보의 허용응력을 충분히 만족하고 있으므로 관용적으로 가로보 간격을 5m로 설계하는 것은 불합리하게 설계되어지고 있는 것으로 생각된다. 이것은 최근의 최소유지관리의 관점에서 경제적이고 합리적인 교량 형식과는 반대되는 것으로 가로보 간격에 대한 구체적인 기준의 검토 및 제시가 필요할 것으로 생각된다.

또한 본 연구에서는 설계하중에 대해서만 연구를 수행하였으며 설계하중에 대해서는 가로보 간격을 증가하여도 허용응력을 만족하고 있으나 향후 교량 가설시의 가설 방법 및 특성에 따라 거동이 달라질 수 있으므로 가설 방법 및 특성을 고려한 2거더 강교량의 가로보 간격에 대한 연구가 필요 할 것으로 생각된다.

### 3.2.4 가로보 강성에 따른 응력 검토

가로보의 강성을 증가시키면 가로보 간격을 증가 시킬수 있을 것으로 생각되므로 2거더 강교량에서 가로보 강성은 중요한 설계요소라 생각된다. 그러나 현재 도로교 설계기준에서는 가로보 강성에 대한 기준이 제시되어 있지 않다.

따라서 가로보의 강성을 매개변수로 하여 응력 변화를 알아보기 위해 표 3-11와 같이 복부 높이와 강재 두께를 증가하여 해석을 실시하였다. 대상교량에서는 거더 복부 높이와 가로보 복부 높이의 비인 복판고비를 33%로 하고 있어 이를 기준으로 복판고비를 감소시킨 25%와 복판고비를 증가시킨 40%, 50%에 대하여 구조해석을 실시하였다. 여기서 복판고비가 증가하면 단면 2차 모멘트 I값이 증가하므로 휨강성 EI값이 증가하게 된다. 또한 복판고비의 증가와 함께 강재 두께를 증가하여 가로보 단면에 대한 강성을 증가시켰다.

표 3-11 가로보 단면제원

복판고비	복부 높이 ( $H_w$ )	복부 두께 ( $t_w$ )	플랜지 폭 ( $b_f$ )	플랜지 두께 ( $t_f$ )
25%	675	10	400	10
33%	900	12	400	12
40%	1080	14	400	14
50%	1350	16	400	16

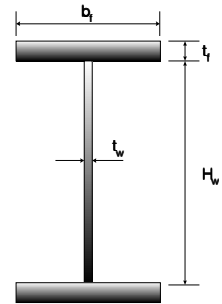


표 3-12에는 거더 강성에 대한 가로보 강성의 비를 나타내었다. 여기서 대상교량에서의 가로보 강성은 중간 가로보에서는 10%의 강성이 사용되고 있었으며 지점부에서는 28%의 강성이 사용되고 있었다.

표 3-12 거더 강성에 대한 가로보 강성 비

복 판 고 비	가로보 강성 / 거더 강성
25%	0.04
33%	0.10
40%	0.16
50%	0.32
지 점 부	0.28

## (1) 2거더 강교량의 전체적인 거동 특성

### ① 거더 하부플랜지 응력

가로보 강성에 따른 하부플랜지 응력을 그림 3-24에 나타내었으며 그 결과 강성이 증가함에 따라 하부플랜지 응력은 감소하는 경향을 나타내었다.

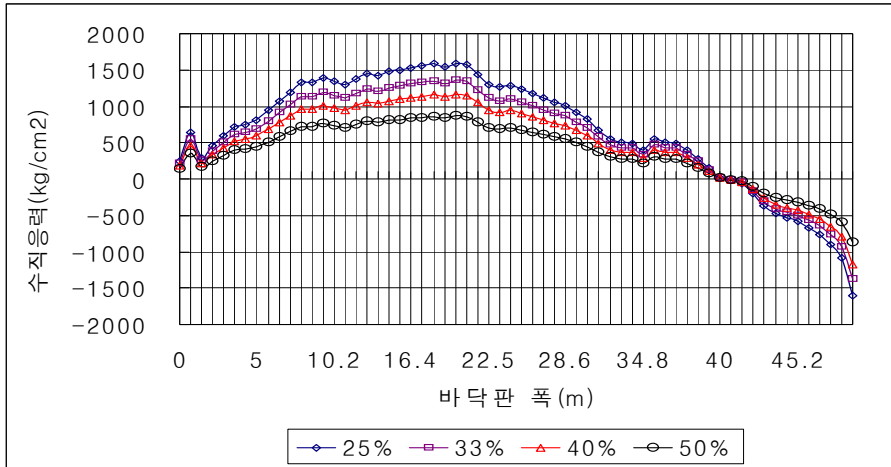


그림 3-24 가로보 강성에 따른 거더 하부플랜지 수직응력

### ② 거더 복부 응력

가로보 강성에 따른 복부 응력의 변화는 그림 3-25과 같고 강성이 증가함에 따라 복부 응력도 감소하는 경향을 나타내고 있었다.

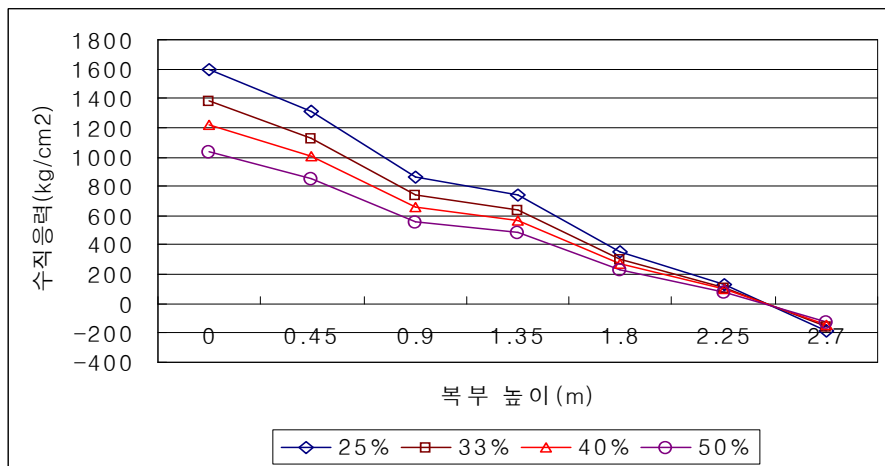


그림 3-25 가로보 강성에 따른 복부 수직응력

③ 바닥판 응력

가로보 강성에 따른 바닥판 응력의 변화를 그림 3-26에 나타내었으며 거더와 복부 응력과 동일하게 강성이 증가함에 따라 바닥판 응력은 감소하는 경향을 나타내었다.

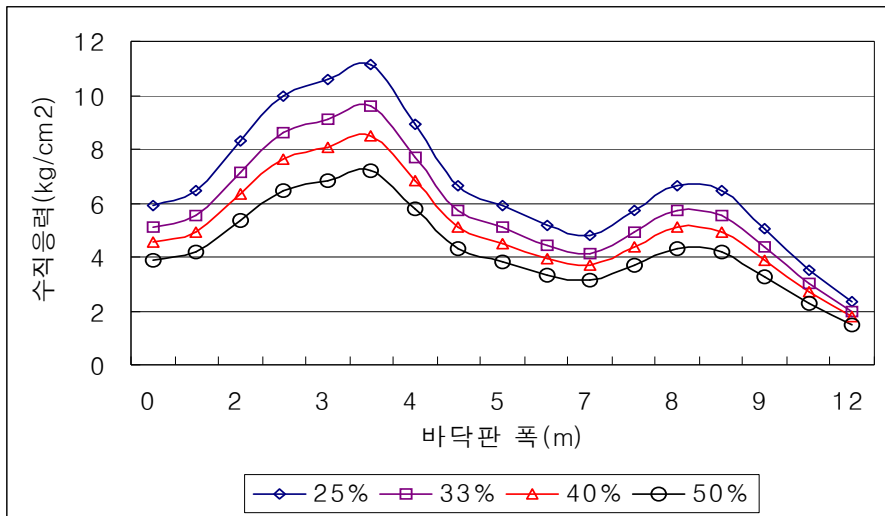


그림 3-26 지점부 바닥판 수직응력

## (2) 가로보 거동

### ① 지점 가로보

지점 가로보의 가로보 강성에 따른 결과값은 그림 3-27 (a), (b)에 나타내었다. 단부지점 가로보와 유사한 경향으로 응력값이 감소하는 경향을 나타내고 있었다.

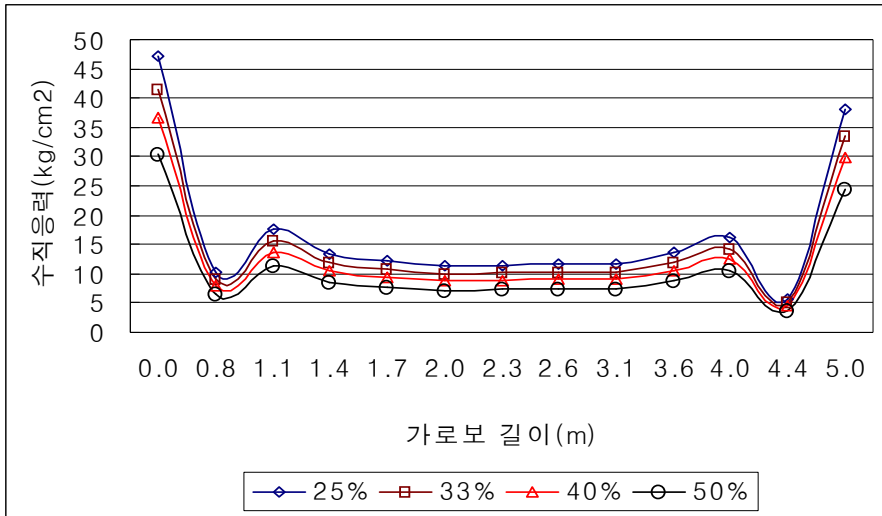


그림 3-27 (a) 지점 가로보 상부플랜지

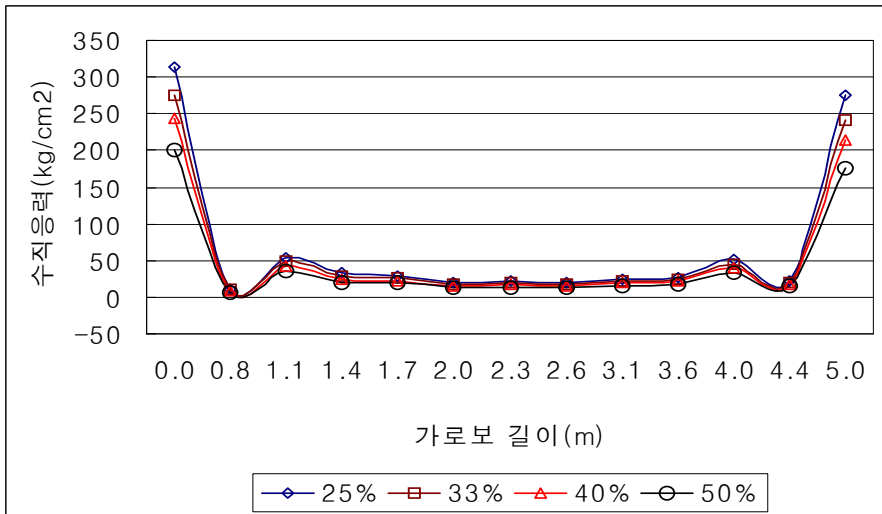


그림 3-27 (b) 지점 가로보 하부플랜지



② 중간 가로보

중간가로보의 가로보 강성에 대한 응력값은 그림 3-28 (a), (b)에 나타내었다. 지점부 가로보와 같은 경향으로 강성비가 증가함에 따라 가로보의 응력도 감소하는 경향을 나타내고 있었다.

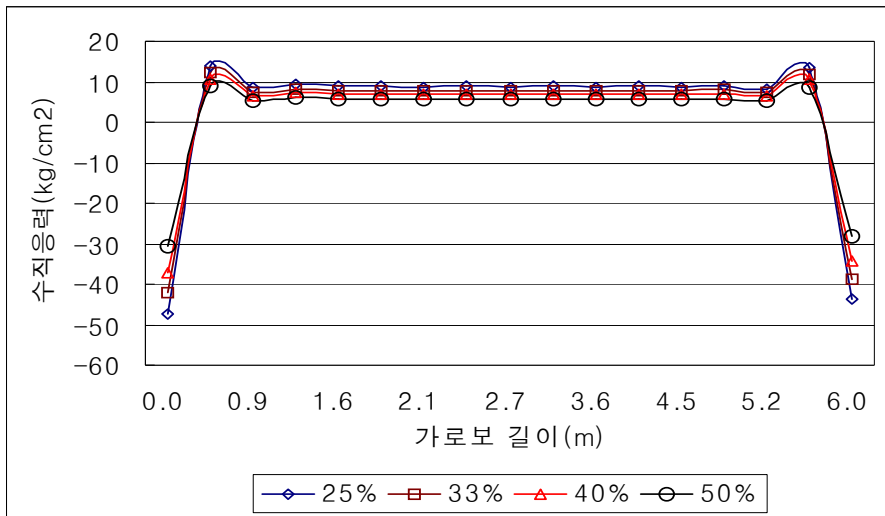


그림 3-28 (a) 중간 가로보 상부플랜지

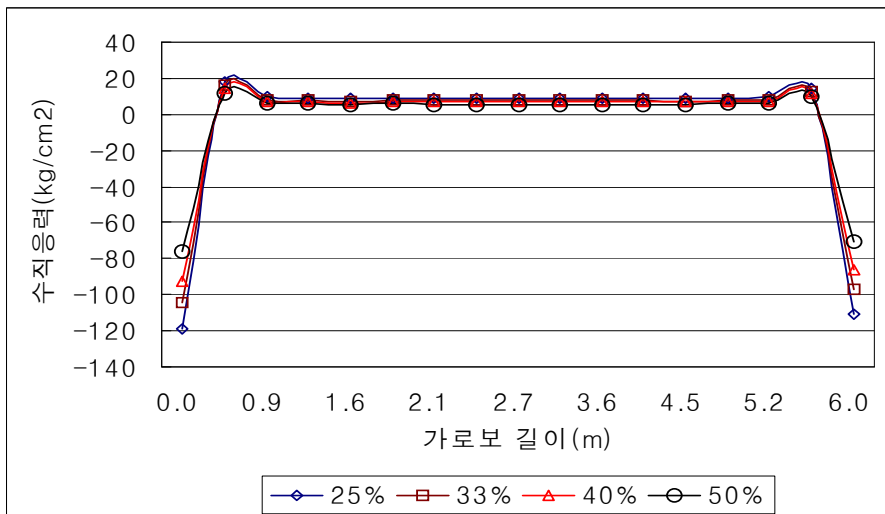


그림 3-28 (b) 중간 가로보 하부플랜지

이상 가로보의 강성에 대한 구조해석 결과 가로보의 강성이 증가함에 따라 약 14%정도 응력이 감소하는 경향을 나타내었다.

국내의 도로교 설계기준의 경우 가로보의 강성에 상세한 기준이 없어 관용적으로 가로보의 강성을 결정하고 있으나 가로보의 강성이 가장 작은 복판고비 25%에 대해서도 허용응력을 만족하고 있었다. 이는 가로보 강성을 더 감소하여도 될 것으로 생각되며 가로보 간격에 따른 응력 변화율과 가로보 강성에 따른 응력 변화율을 고려하는 것이 필요할 것으로 생각된다. 가로보 강성과 간격의 관계에 대해서는 다음 절에 기술하였다.

### 3.3 가로보 응력 변화

이상 2거더 강교량에서 하중 전달의 역할을 하는 가로보에 대해 위치, 간격, 강성을 매개변수로 하여 구조해석을 실시한 결과를 표 3-13에 나타내었다..

표 3-13 가로보에 따른 응력 변화율

가로보 위치	가로보 위치가 상단에서 하단으로 변화함에 따라 약 16%의 응력 감소
가로보 간격	가로보 간격 2.5m 증가에 따라 약 8% 응력 증가
가로보 강성	복판고비 10% 증가에 따라 약 14% 응력 감소

2거더 강교량에서는 표 3-13과 같이 가로보 위치에 따른 응력 변화가 가장 크므로 가로보 위치에 대한 고려가 중요할 것이라 생각된다.

그러나 가로보 배치 위치는 일반적으로 시공의 효율성을 고려하여 중단에 배치하고 있으므로 가로보 간격과 강성에 대한 고려가 필요할 것으로 생각된다. 이러한 가로보 간격에 대한 응력 변화와 가로보 강성에 대한 응력 변화의 관계를 알아보기 위해 가로보 간격 증가에 따른 증가율을 그림 3-29에 가로보 강성 감소에 따른 감소율을 그림 3-30에 나타내었다. 그림 3-29에서 가로보 간격이 증가함에 따라 응력이 증가하므로 가로보 간격 5m를 0으로 하여 간격 증가율에 따른 응력 증가율을 나타내었다. 가로보 간격이 150%증가하여도 응력의 증가는 25%로 매우 작고 모두 허용응력을 만족하고 있다. 기존의 연구에서도 가로보 간격을 20m로 하여도 허용응력을 만족하였으므로 가로보 간격을 더 증가하여도 교량에는 큰 문제가 없을 것으로 생각된다. 그러나 이것은 설계 하중만을 고려하였으므로 가설시 하중에 대한 고려가 필요할 것으로 생각된다.

또한 그림 3-30에서 가로보 복판고비가 증가함에 따라 응력은 감소하였으므로 가로보 복판고비 33%를 0으로 하여 복판고비의 증감에 따른 감소율로 나타내었다. 여기서 복판고비가 25% 증가함에 따라 응력은 약 42.5%정도 감소하였다. 이러한 결과로부터 2거더 강교량에서는 가로보 강성에 대한 영향이 더 크게 미치므로 향후 가로보 강성 증가에 따른 응력 감소분에 대하여 가로보 간격 증가에 대한 응력 증가분을 고려한다면 더 합리적인 교량 설계가 가능할 것으로 생각된다.

향후 가로보 간격과 강성의 조합에 따른 적합한 가로보 배치에 대한 연구와 가로보 위치 변화에 따른 국부해석을 통한 거더와 가로보의 연결부에서의 국부

응력의 영향에 대한 연구가 필요할 것으로 생각된다.

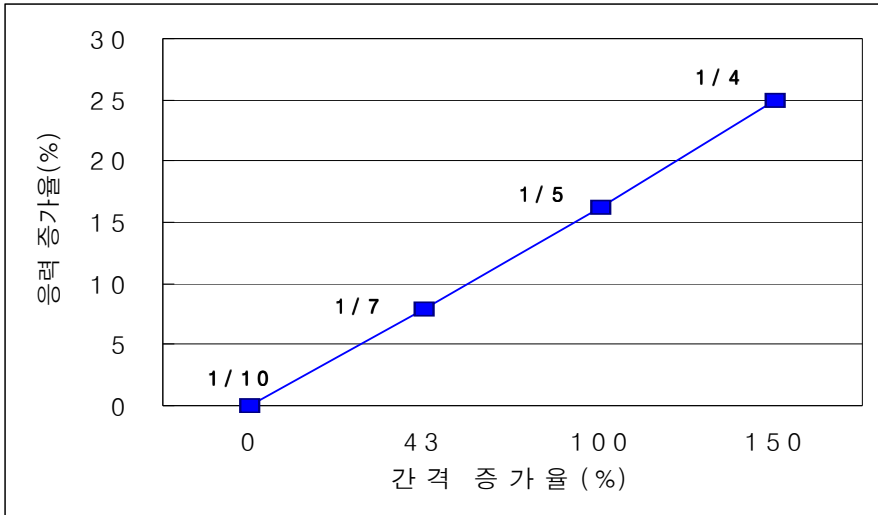


그림 3-29 가로보 간격 증가에 따른 응력 증가율

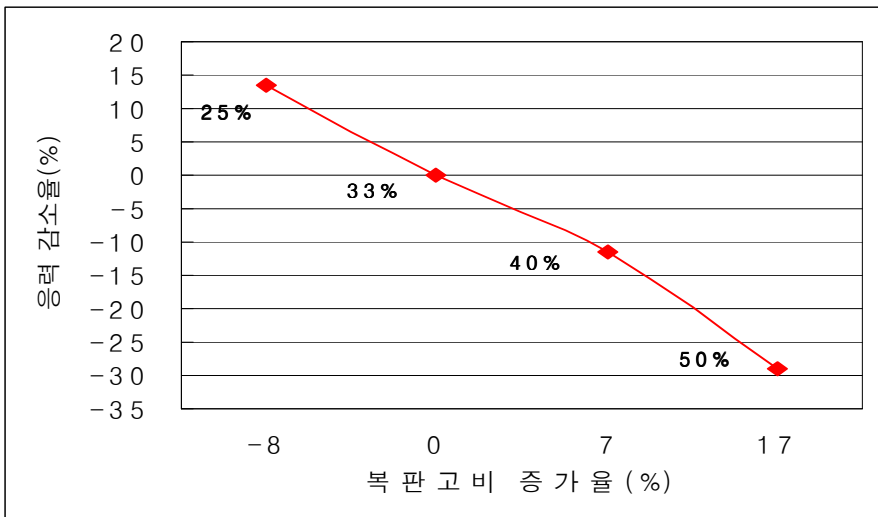


그림 3-30 가로보 강성 증가에 따른 응력 감소율

#### 4장. 강교량 제작에서의 합리적인 비파괴 검사 기준의 제언

강교량 제작에서의 합리화 요소로는 제작공정의 각 단계별로 다양한 형태가 고려될 수 있으므로 여기서는 용접과 관련된 부분중 용접부 품질에 대한 검사기준에서의 합리화를 모색하고자 한다.

강교량 제작에 사용되는 용접으로는 보편적으로 FCAW, SAW가 사용되고 있는데 FCAW는 자동용접의 적용이 어려운 주부재나 2차부재와의 연결 등에 주로 사용되며, SAW는 자동용접을 적용할 수 있는 부재의 맞대기이음에 일반적으로 사용되고 있다. 이들 용접에서도 최근 용접기기 및 용접재료 등에서의 요소기술의 발전에 의해 고품질의 용접이 이루어지고 있다.

그러나 경우에 따라서는 제작과정상 용접시공이 어려운 형상부 등에서는 작업조건의 미확보, 부적절한 용접 조건 등의 요인에 의해 용접부에 용접결함 등이 포함될 가능성이 있다. 이러한 용접결함은 용접부의 품질에 영향을 미치는 것은 물론 응력집중을 유발하여 외력의 크기 정도에 따라서는 피로균열을 유발시키는 원인이 되어 구조물의 수명에도 영향을 미칠 수가 있다.

따라서 용접구조물의 품질확보를 통해 건전성과 신뢰성을 확보하기 위해 시방 등의 기준에서는 용접부를 용접부 특성에 따라 전수검사, 부분검사, spot검사 등의 비파괴검사를 실시하도록 규정하고 있는데, 용접부의 품질은 용접의 workability에 크게 의존한다. 따라서 각 국가별 비파괴검사기준에는 각 나라의 workability를 고려하여 시방 기준 등을 규정하고 있다. 국내의 경우 이러한 규정에 대한 대표적인 기준으로 1999년 도로교 표준시방서가 있는데 이 기준은 미국의 AWS D 1.5를 근간으로 국내의 상황을 고려하여 제정된 것이다.

한편, 최근 용접기술 및 재료 등의 비약적인 발달 및 강교량의 구조적인 개선 등을 통하여 강교량의 고품질화가 이루어지고 있다. 따라서 국내의 비파괴검사기준도 이와 같은 국내의 현실을 반영하여 보다 효율적인 비파괴검사가 이루어질 수 있도록 이들 기준에 대한 검토가 필요할 것으로 생각한다.

## 4.1 국내·외 비파괴 검사기준의 비교

### 4.1.1 비파괴 검사의 종류

강교량의 제작에는 일반적으로 표 4-1의 4가지 비파괴 검사가 용접부재의 특성에 따라 전수검사, 부분검사, spot검사의 형태로 적용되고 있다.

표 4-1 강교량 제작에서의 비파괴 검사 종류

종 류	용 도
방사선 투과 검사(RT)	표면 및 내부 불연속 검출
초음파 탐상 검사(UT)	"
자분 탐상 검사(MT)	표면 및 표면 직하의 불연속 검출
침투 탐상 검사(PT)	표면이 열린 불연속 검출

### 4.1.2 국내·외 비파괴 검사 기준

합리적인 비파괴검사기준의 제안을 위해 표 4-2(a), (b)에 1999년 도로교 표준시방서, 강도로교 용접 및 도장 요령 및 미국의 Bridge Welding Code (AWS D 1.5)의 기준을 비교 정리하였으며, 표 4-3에 한국도로공사의 고속도로공사 전문시방서 기준을, 표 4-4에 일본의 도로교 시방서를 나타내었다. 비교에 있어서는 도로교 표준시방서와 강도로교 용접 및 도장 요령은 기본적으로 동일한 기준을 적용하고 있으므로 도로교 표준시방서를 기본으로 하여 비교를 행하도록 하며, 차이가 있을 경우에만 그 내용을 기술하도록 한다. 기본적으로 국내의 도로교 표준시방서 기준의 비파괴기준은 1992년까지는 일본의 도로교시방기준과 유사하였으나 성수대교 낙교 이후, 미국의 AWS D 1.5를 근간으로 국내의 현실을 고려하여 개정된 바, AWS D 1.5의 기준과 기본적으로 동일하여 비파괴검사를 맞대기이음에 대해 전수검사의 개념으로 실행하고 있다. 그러나 고속도로공사 전문시방서와 일본의 도로교시방서는 비파괴검사를 spot검사의 개념으로 실시하고 있다. 이로부터 비파괴검사에 있어서 각국의 검사 기준에는 근본적인 차이를 갖고 있어 비파괴검사로 인한 경비, 제작공정예의 영향정도 등에 차이가 있을 것으로 생각된다. 이와 같은 비파괴검사의 개념 차이가 검사에 미치는 영향에 대해서는 4장에서 다시 기술하기로 한다.

표 4-3, 4-4에 나타낸 것과 같이 국내·외의 비파괴 검사 기준 모두 기본적으로 용접형태에 따라 적용 검사 방법을 분류하고 있다. 하중전달을 하는 완전용입형태의 주요부재의 맞대기이음에 대한 검사는 작용하중의 특성에 따라 전수검사와 부분검사로 나누어 실시하고 있는데, 검사방법은 검사결과와 보관 등의 이유

에 의해 기본적으로 방사선 투과 시험(RT)을 기본으로 하고 있으며, 보완적으로 방사선 투과 시험을 실시할 수 없거나 어려운 부분에 대해서는 초음파 탐상 시험(UT)을 실시하도록 하고 있다.

그러나 도로교 표준시방서와 AWS의 기준에서의 완전용입 맞대기이음에 대한 기준을 보면 인장 및 교변하중을 받는 이음부에 대한 국내의 기준은 전수검사의 적용부분이 명확하게 제시되어 있지 않으나, AWS에서는 플랜지부분에 대해서만 적용하는 것으로 명시되어 있어 전수검사의 적용을 명확하게 하고 있다. 또 복부 수직 맞대기 이음부에서의 적용범위에 대해서도 그 적용을 달리하고 있는데, 그림 4-1에 나타난 것과 같이 최대 인장점으로부터 복부관 높이의 1/6 범위에 대해 도로교 표준시방서에서는 40%, AWS D 1.5에서는 100%를 적용하고 있으며, 그리고 나머지 범위에 대해서는 도로교 표준시방서에서는 나머지 부위 1/4범위에 대해 40% AWS D 1.5에서는 나머지 부위의 25%를 실시하는 것으로 하고 있다. 그러나 압축 및 전단에 대한 기준은 도로교 표준시방서와 AWS는 동일 기준을 적용하고 있다.

따라서 이러한 기준의 차이에 의해 실제 강교량에 적용되는 비파괴검사의 대상 길이에 차이가 있으므로 이에 따른 효율성에 대한 검토가 향후 필요할 것으로 판단된다.

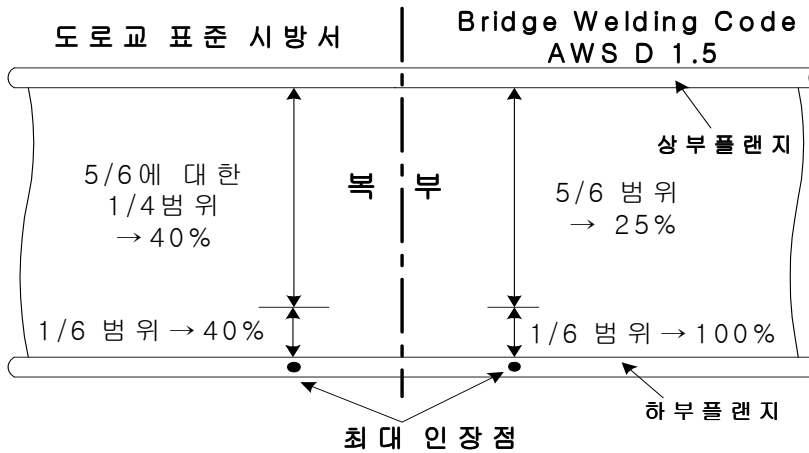


그림 4-1 복부 맞대기 이음의 비파괴 검사 방법 비교

표 4-2 (a) 비파괴 검사 기준 비교

용접 형태	구 분	도로교 표준 시방서	강도로교 용접 및 도장 요령	Bridge Welding Code (AWS D 1.5)
완 전 용 입 흠용접 맞대기 이 음	인장 및 교변 하중을 받는 이음부	① RT 기본 → 전수 검사 : 위치 지정 없음 ② UT 실시 가능한 곳 a) UT자료 충분 b) RT적용 곤란 : T이음, 모서리 이음의 완전 용입부 c) 별도로 명시된 곳 ③ 복부 수직 맞대기 이음부 a) 최대 인장점으로부터 복부판 높이의 1/6 범위 : 40% b) 나머지 부위 1/4 범위 : 40% → 그림 4-1 참조	도로교 표준 시방서와 동일	① RT 기본 → 전수검사 : 플랜지 부분 ② UT 실시 → T이음, 모서리 이음의 완전 용입부 ③ 복부 수직 맞대기 이음부 a) 최대 인장점으로부터 복부판 높이의 1/6 범위 : 100% b) 나머지 범위 : 25% → 그림 4-1 참조
	압축 및 전단력 받는 이음부	① RT 또는 UT : a), b)중 선택 a) 매이음부 1/4 b) 전체이음부 1/4길이 : 이음부 균등히 분포, 전체 이음의 1/4 이상 실시, 결함 발생시 → 전체 길이 검사 ② 이음부의 20%이상 결함 발생시 → 모든 이음부 검사	도로교 표준 시방서와 동일	도로교 표준 시방서와 동일



표 4-2 (b) 비파괴 검사 기준 비교

용접형태	도로교 표준 시방서	강도로교 용접 및 도장 요령	Bridge Welding Code (AWS D 1.5)
필렛 및 부분 용입 홈 용접부	① MT → 불확실한 경우 UT ② - 매용접길이 3m당 300mm - 용접길이 3m 미만이거나 용접이음 형태가 바뀐 곳 : 300mm ③ 용접 결함 발생 a) 전체 길이 검사 b) 용접결함 발생위치로부터 양쪽으로 각 1.5m(3.0m) 검사 ④ 박스형 구조의 경우 플랜지와 복부판, 다이어프램과 복부판 또는 플랜지, 복부판과 브라켓과의 용접부 : MT 또는 UT	①, ② : 도로교 표준 시방서와 동일 ③ 용접결함 발생시 a) 전체 길이 검사 b) 용접결함 발생위치로부터 양쪽으로 각 1.5m 중 짧은 쪽 검사 ④ 기준 없음	①~③ : 강도로교 용접 및 도장 요령과 동일 ④ 검사 대상의 대표적인 용접부 a) 복부-플랜지, 복부 또는 플랜지와 격벽 연결강판 b) 상자형부재의 복부 또는 플랜지와 격벽 채움강판 또는 거셋 c) 곡선교상의 수직브레이싱 및 격벽의 용접부
기타사항	① 고강도 강재 제작된 주부재의 부분용입 홈용접 이음 및 필렛 용접부 : MT 100% 실시 ② ESW 또는 EGW에 의해 용접된 용접부 a) RT 기본 b) UT를 실시 할 경우 → 보완적으로 RT실시	① 도로교 표준 시방서와 동일 ② ESW 또는 EGW에 의해 용접된 용접부 a) RT 기본 b) UT를 실시 할 경우 → 보완적으로 RT를 권장	① 동일 ② ESW 또는 EGW에 의해 용접된 용접부 → RT, UT 모두 실시
1이음(lot) 정의	없음	없음	인장이음부 또는 압축/전단이음부 또는 두 경우 모두로 정의되며, 이 lot는 동일한 승인된 WPS에 따라 용접되고 하나의 그룹으로 비파괴 시험되는 이음부

한편, 비파괴검사에서 검사 길이를 판정하는 인자인 1이음에 대한 규정을 보면 도로교 표준시방서는 1이음(lot)에 대한 정의가 없어 비파괴검사의 적용이 불명확하여 검사의 효율성에 문제의 소지가 있을 가능성이 있으나, AWS D 1.5 및 일본 도로교 시방서에서는 1이음(lot)에 대한 정의를 하고 있어 검사의 효율성을 도모하고 있다.

필렛 및 부분 용입 홈 용접부에 대해서는 국내의 경우 도로교 시방서와 강도로교 용접 및 도장요령의 기준이 기본적인 검사 방법에는 차이가 없었으나, 용접

결합이 발생했을 경우에 적용방법에 차이가 있는 것을 알 수 있다. 도로교 시방서의 경우 용접 결합 발생위치로부터 양쪽으로 1.5m를 검사하도록 하고 있으나, 강도로교 용접 및 도장 요령 및 AWS에서는 양쪽 1.5m 중 짧은 쪽을 검사하는 것으로 규정 되어 있어 도로교 표준시방서의 기준이 더욱 엄격하게 적용되고 있는 것을 알 수 있는데, 향후 이부분에 대해서는 검토를 거쳐 기준을 통일하는 것이 바람직 할 것으로 생각된다. 한편 AWS D 1.5 의 경우는 시험을 해야 할 용접부에 대한 대표적인 용접부를 제시하고 있어 기준의 적용을 보다 명확하게 하고 있으나, 국내의 경우는 이러한 규정이 미비한 것을 알 수 있다.

국내의 고속도로공사 전문시방서 및 일본 도로교 시방서는 앞서서도 기술한 것과 같이 비파괴검사를 spot검사를 기본으로 하고 있으므로 표 3 및 표 4에 별도로 표기하였다. 일본의 도로교시방서에서는 기본적으로 용접부에 대해서는 spot검사를 실시하고, spot검사에서 결합이 검출된 이음에 대해서는 전수검사를 실시하도록 하고 있다. spot검사의 개념으로 검사를 실시하고 있는 것은 용접부에서의 결합 발생이 일반적으로 용접의 시작부와 종단부에서 발생하는 등의 결합발생 특성을 반영한 기준으로 생각된다. 그러므로 고속도로공사 전문시방서 및 일본의 도로교 시방서가 국내의 기준에 비하여 비파괴검사에서의 효율성이 있을 것으로 판단된다. 또 일본의 도로교시방서의 비파괴검사 기준에서도 부재별로 검사의 정도를 달리하고 있는데 이 내용은 앞서서 기술한 기준에서의 검사 개념과 동일한 것이다. 한편, 필렛 용접부에 대해서는 국내의 고속도로공사 전문시방서는 용접길이의 5%를 실시하도록 하고 있으나 일본 도로교 시방서는 육안검사를 기본으로 하며 의심이 되는 부위만 자본 탐상 시험(MT)이나 침투 탐상 시험(PT)을 실시하도록 규정하고 있어 검사에 대한 융통성을 부여하고 있다.

한편 일본의 경우도 1이음에 대한 정의를 다음과 같이 규정하여 AWS와 같이 비파괴검사의 적용에 대한 명확성을 부여하고 있다.

일본 도로교 시방서에서는 용접조건이 동일한 용접이음은 품질관리상 동일한 것으로 간주하고 그와 같은 이음의 집합을 하나의 검사 1이음(lot)로 한대로 정의하고 있다. 예를 들면 동일관두계로 구성된 맞대기 이음을 동일한 용접방법으로 열 개 용접한 경우 이들 열 개의 이음으로 한 개의 검사 lot를 구성하게 된다. 다만 여기서 말하는 1이음이라는 것은 판과 판의 이음이므로 부재와 부재의 이음의 의미는 아니다. 따라서 판본의 연속하여 용접한 부재를 나중에 절단해서 열 개로 하여도 이음으로서의 한 개로 생각할 수 있는 것으로 기술하고 있다.

표 4-3 고속도로공사 전문시방서

구 분	부 재	검사방법	검사기준
맞대기이음 완전용입 용접	I형보, 박스형보, 라멘보 등의 인장플랜지 트러스, 아아치 등의 인장부재	R.T 또는 U.T	한이음에 대해 1장 (크레이터 측)
	상기부재의 압축측	"	5개이음에 대해 1장
	I형보 박스형보의 복부판	"	2개이음에 대해 1장 (인장측)
	강상판 판형복부판의 수평이음	"	한이음에 대해 1장 (크레이터 측)
모서리이음 및 T이음의 완전용입부	인장부재	U.T	용접길이의 20% 비율
	압축측	U.T	용접길이의 5% 비율
필렛 용접	주요부재	M.T 또는 P.T	용접길이의 5% 비율

표 4-4 일본 도로교 시방서 비파괴 검사 기준

부 재		1 lot에 대한 1 그룹의 최대 이음수	방사선투과시험 촬영매수	초음파탐상시험 검사이음수	
인장부재		1	1매(단부 포함)	1	
압축부재		5	1매	1	
휨부재	인장 플랜지	1	1매	1	
	압축 플랜지	5	1매	1	
	복부판	응력에 직각방향의 이음	1	1매(인장측)	1
		응력에 평행한방향의 이음	1	1매(단부 포함)	1
강상판		1	1매(단부 포함)	1	
결함 발생시		결함이 발생한 1 lot에 대해 전수검사 실시			

## 4.2 비파괴검사 개념에 따른 비파괴 시험 적용 검토 사례

앞에서 기술한 것과 같이 비파괴검사에 있어서 전수검사의 개념을 도입하고 있는 국내의 도로표준시방서, 미국의 AWS D 1.5, spot검사의 개념을 도입한 일본의 도로교시방서를 대상으로 검사개념에 따른 비파괴검사의 검사 수량을 조사하였다.

조사를 위해 적용 대상으로 한 교량 형식에 선정에 있어서 현재 국내에서는 I형 단면이 적용된 2거더 강교량에 대한 비파괴 검사 자료가 불충분하고 용접부의 비파괴 검사는 교량 형식과는 관계가 없으므로 국내의 대부분의 강교량 형식을 차지하고 있는 박스거더를 선정하였다. 그림 4-2에 박스거더 단면 형상, 그림 4-3에 4경간 연속교의 지간 길이에 따른 용접이음 형상을 나타내었다. 여기서는 검사 수량의 특성을 조사하는 것이 목적이므로 검사 대상을 거더만을 대상으로 하였다.

용접이음부는 그림 4-3에 나타낸 것과 같이 상부 및 하부 플랜지의 판 두께 변화부의 판이음 개소로서 상부플랜지에 6 lot, 하부 플랜지에 10 lot이며, 그림 4-4에 나타낸 것과 같이 필렛 용접 이음부는 볼트 연결부인 현장 이음부가 1 lot이다. 여기서 필렛용접의 경우는 16개의 현장이음부를 가지므로 각 단면별 8개의 lot에 대해 총 17개의 단면을 갖는다. 즉, 1거더에 대해 136 lot를 가지게 된다. 복부는 박스거더의 경우 일반적으로 볼트연결의 현장 이음부로 처리하기 때문에 비파괴검사를 적용하고 있지 않다.



그림 4-2 박스거더 단면 형상

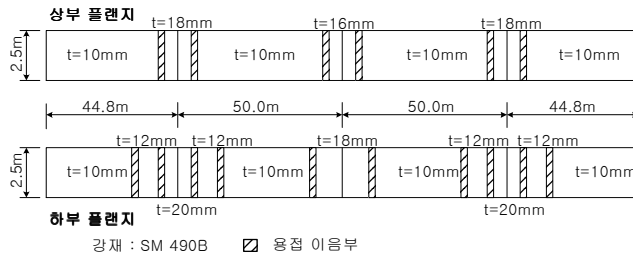


그림 4-3 지간 길이에 따른 용접 이음 형상

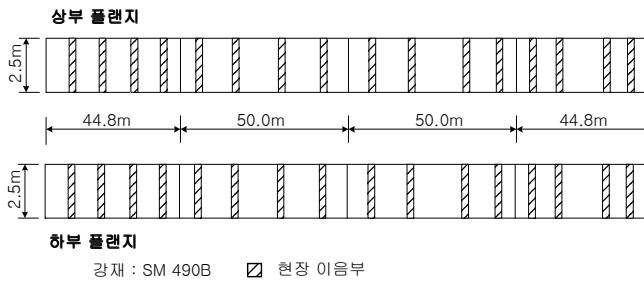


그림 4-4 볼트 연결된 현장 이음 형상

#### 4.2.1 상부 플랜지(압축하중을 받는 부재)

상부 플랜지 용접이음부에 국내·외 기준을 적용하여 비파괴검사의 수량 산출의 결과를 표 4-5에 나타내었다.

표 4-5 상부 플랜지 용접 이음부의 국내·외 기준 비교

도로교 표준 시방서	RT 또는 UT : RT적용 용접이음 : 6 lot/1거더 $2.5m \times 0.25 / 0.3m \times 6 \times 2 = 26$ 매
AWS D 1.5	동일
일본 도로교 시방서	5 lot에 1매 : RT 또는 UT $2 \times 2 = 4$ 매

상부 플랜지에 대해 수량을 산출 결과, 표 4-5에 나타낸 것과 같이 도로교 표준 시방서와 AWS D 1.5는 동일하였고 일본 도로교 시방서와 6.5배의 차이가 발생하여 검사 비용 등 비파괴검사에 대한 비중이 큰 것을 알 수 있다.

#### 4.2.2 하부 플랜지(인장하중을 받는 부재)

하부 플랜지 용접이음부에 국내·외 기준을 적용하여 비파괴검사의 수량 산출의 결과를 표 4-6에 나타내었다.

표 4-6 하부 플랜지 용접 이음부의 국내·외 수량 산출 비교

도로교 표준 시방서	RT : 전수검사 용접 이음 : 10 lot/1거더 $2.5m \times 1 / 0.3m \times 10 \times 2 = 168\text{매}$
AWS D 1.5	동일
일본 도로교 시방서	1 lot 1매 : RT 또는 UT $1 \times 10 \times 2 = 20\text{매}$

하부 플랜지에 대해 수량을 산출 결과, 표 4-6에 나타낸 것과 같이 도로교 표준 시방서와 AWS D1.5는 동일하였고, 일본 도로교 시방서와는 8.4배의 차이가 발생하여 압축플랜지의 경우보다 차이가 더 커 검사 비용 등의 비파괴검사에 대한 비중이 더 큰 것을 알 수 있다.

#### 4.2.3 필렛 용접부

필렛 용접이음부에 국내·외 기준을 적용하여 비파괴검사의 수량 산출의 결과를 표 4-7에 나타내었다.

표 4-7에 나타낸 것과 같이 적용 기준에서의 검사 방법에 대한 차이로 인하여 필렛용접부에 대해서는 적용기준에 따른 검사 수량의 특성을 정확하게 산출할 수 없었으나, 일본의 기준에 비하여 국내 및 AWS의 기준을 적용하는 경우가 수량이 상대적으로 많은 것을 알 수 있었다.

표 4-7 필렛 용접부의 국내·외 수량 산출 비교

도로교 표준 시방서	MT 용접이음 : 136 lot/1거더 $189.6m \times 8 \times 0.1 \times 2 = 303.36m$
AWS D 1.5	동일
일본 도로교 시방서	육안검사 → 의심되는 부분만 MT 또는 PT

### 4.3 강교량 제작에서의 비파괴 검사 사례

국내의 용접 기술은 WPS의 개발, 이음형식의 발전, 강재의 품질 향상, 용접 조건 개선 및 용접 기능공의 실력 향상 등에 의해 상당한 기술수준에 있으나, 비파괴 검사는 국내의 기준에 따라 방사선투과 시험(RT)을 기본으로 전수검사를 기본으로 실시하고 있다.

제작에서의 비파괴검사는 용접부 품질확보를 위해 중요한 공정이므로 검사를 위해 품셈에서는 별도의 비용을 계상하고 있으므로 비파괴검사의 시험빈도는 비파괴검사의 비용과 직접적인 관계가 있다. 또 방사선투과 시험(RT)을 적용하는 경우, 안전확보를 위해 작업공정을 일시 중지하고 검사를 실시하므로 시험빈도는 전체적으로 강교량의 제작공정에 영향을 미치는 것은 물론 강교량의 비용에도 영향을 미칠 것으로 판단된다.

따라서 효율적인 비파괴검사의 시험빈도 및 방법을 검토하는 것은 합리화 강교량을 위해서도 필요할 것으로 판단되어 국내 제작회사의 비파괴시험 실적을 조사하여 이들을 조사하고자 한다. 현재 국내의 강교량의 형식이 대부분 박스거더이므로 조사 자료의 대부분은 박스거더에 대한 자료이므로 본 조사자료에서는 모든 강교량의 구조상세를 포함하고 있지는 않다.

#### 4.3.1 용접이음 형식 및 적용 비파괴검사 방법

4.2절에서도 기술한 것과 같이 용접이음 형식에 따라 비파괴검사방법을 달리하고 있다. 본 조사에서도 이음형식에 따라 3가지 비파괴검사방법을 적용하고 있는 것으로 조사된 바, 비파괴검사방법에 따라 용접방법, 결함의 특성 및 종류를 정리하였다.

##### 1) 방사선 투과 시험(RT)

방사선투과시험은 시방기준과 같이 판의 완전용입 맞대기이음에 적용되고 있는 것을 알 수 있다. 박스거더의 경우는 주로 플랜지 및 복부의 맞대기 이음부가 대상이 된다.

그림 4-5는 용접 방법에 따라 적용 두께가 달라지나 비교적 두께가 얇은 판(8mm 정도까지)의 맞대기이음에 적용되는 I형 이음부를 나타내었는데, 적용된 대표적인 이음상세, 결함 형태 및 결함 원인은 다음과 같다.

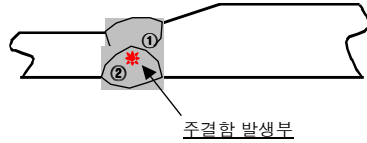


그림 4-5 I형 이음부

- ① 결함형태 : 기공(중앙부 1층과 2층의 겹침부위)
- ② 원인
  - 가) 초층 하부에 습기 잔존
  - 나) FLUX 건조 미흡

그림 4-6은 일반적으로 중간 두께(40mm 정도까지)를 갖는 판이음의 맞대기용 접이 사용되는 V형 이음부를 나타내었는데, 적용된 대표적인 이음상세, 결함 형태 및 결함 원인은 다음과 같다.

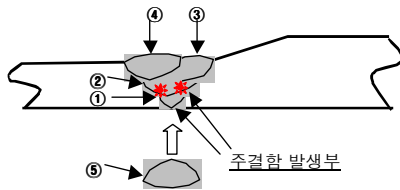


그림 4-6 V형 이음부

- ① 결함형태 : 슬래그 혼입(1층과 2층의 겹침부위)
- ② 원인 : 초층(FCAW) 작업시 발생된 과도한 언더컷, 패임등에 의해 슬래그가 잔존한 상태에서 후속용접

## 2) 초음파 탐상 시험(UT)

초음파탐상시험은 시방기준과 같이 방사선투과시험의 적용이 곤란한 부위에 대해 적용되고 있다.

그림 4-7은 박스 거더교에서 가로보 연결을 위해 상부플랜지에 연결되는 브라켓의 상부플랜지에 주로 적용되는 브라켓 이음부를 나타내었는데, 대표적인 이음상세, 결함 형태 및 결함 원인은 다음과 같다.



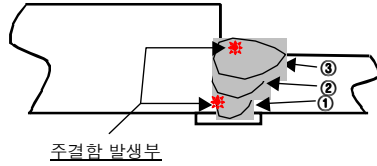


그림 4-7 BRACKET 이음부

- ① 결합 형태 : 기공(상층부), 용착불량(초층 두꺼운 부재측)
- ② 원인
  - 가) 기공 : 바람에 의한 용접부 차폐불량
  - 나) 용착불량 : GAP의 불균일, 토치 작업각

그림 4-8은 박스 거더교의 지점부 격벽하부나 수직보강재 이음부 용접에 적용되는 완전용입 T이음의 구조상세를 나타내었다. 대표적인 이음상세, 결합 형태 및 결합 원인은 다음과 같다.

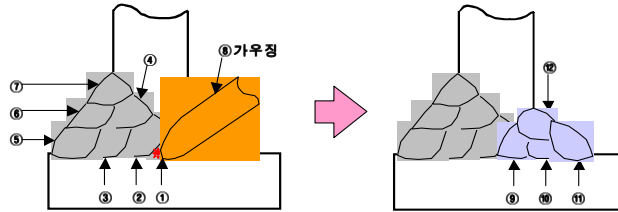


그림 4-8 지점부 격벽하부, 수직보강재 이음부

- ① 결합형태("BEVEL"TYPE, "K"TYPE) : 슬래그 혼입(전면 초층 가우징후 후면 용접 겹침부위, 가우징부위 바닥면)
- ② 원인
  - 가) 작업각 불량에 따른 초층용접 시공불량
  - 나) 후판 작업시 WIRE의 돌출길이가 길어짐에 따라 아크불 안정 ⇒ 시공불량 (기하학적 비드형상 형성 → 가우징 작업시 완전제거 어려움)
  - 다) 가우징 작업시 슬래그 완전제거 미흡

### 3) 자분 탐상 시험(FILLET JOINT)

자분탐상시험은 일반적으로 주하중전달이 아닌 전단력을 전달하는 목적으로 부재조립에 사용되는 필렛이음이나 부분흡용입용접부에 판 두께에 관계없이 적용된다. 대표적인 결합 형태 및 결합 원인은 다음과 같다.

① 결함 형태 : 슬래그 혼입 및 기공

② 원인

가) 용접작업시 사전 청소상태 불량

나) 조립 후 용접작업까지의 기간이 장기화됨으로 인해 가접부 녹발청 및 밀착부 습기내재

다) 바람의 영향에 의한 용접부 차폐불량

### 4.3.2 비파괴검사 결과 분석

#### 1) 방사선 투과 시험

앞에서 기술한 용접이음상세에 대한 방사선투과시험에 대한 검사결과를 3개년 동안 정리한 결과를 표 8에 나타내었으며, 그림 4-8에 방사선투과시험의 결함율, 그림 10에 방사선투과시험에 의해 판별된 용접결함 현황을 나타내었다. 검사길이는 표 4-8의 검사량에 일반적인 방사선투과시험의 필름 길이 30cm를 곱하는 것을 기본으로 하였다.

표 4-8 및 그림 4-9에 나타낸 것과 같이 방사선 투과 시험에서의 불량률은 0.86%로 아주 낮았으며, 그림 4-10에 나타낸 것과 같이 판정된 결함의 종류도 용접작업상의 부주의에 발생하는 슬래그와 기공이 대부분을 차지하고 있다. 이와 같은 결함 발생을 및 결함 발생 현황을 고려한다면 현재 국내에서 맞대기이음부의 품질확보를 위해 실시되고 있는 전수검사의 비파괴검사의 개념은 다소 과다하게 실시되고 있다고 생각되므로 보다 효율적인 검사개념의 도입이 필요할 것으로 생각된다.

표 4-8 방사선 투과 시험 현황

해당 년도	설계 중량 (ton)	년 도 별 검 사 현 황				결 합 내 용					
		검사량 (매)	합격량	불합 격량	불량율 (%)	슬래그	기공	융합 불량	용입 부족	표면 결함	기 타
2000	31,483	15103	15081	22	0.15	6	14	1	0	0	1
2001	25,586	17774	17692	82	0.46	20	38	0	0	1	23
2002	20,594	22316	22260	56	0.25	18	16	0	0	0	22
합계	77,663	55193	55033	160	0.86	44	68	1	0	1	46

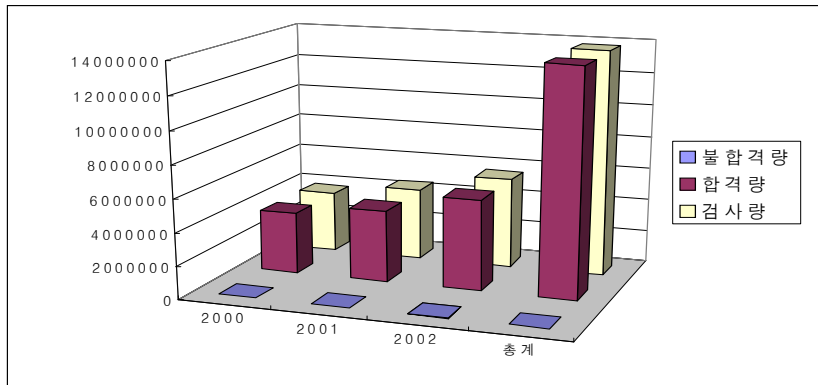


그림 4-9 방사선 투과 시험의 결함율

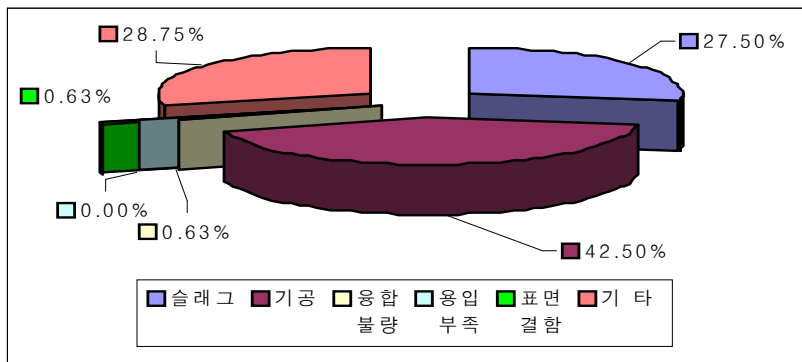


그림 4-10 방사선 투과 시험에 의해 관별된 용접결함 현황

2) 초음파 탐상 시험

앞에서 기술한 용접이음상세에 대한 초음파탐상시험에 대한 검사결과를 3개년 동안 정리한 결과를 표 4-9에 나타내었으며, 그림 4-11에 초음파탐상시험의 결함을, 그림 4-12에 초음파탐상시험에 의해 판별된 용접결함 현황을 나타내었다.

표 4-9 초음파 탐상 시험 현황

해당 년도	설계 중량 (ton)	검 사 현 황				결 합 내 용					
		검사량 (m)	합 격 량	불 합 격 량	불량율 (%)	슬래그	기 공	융합 불량	용입 부족	표면 결함	기 타
2000	30,610	5170.29	5146.99	23.3	0.45	9.36	10.02	1.2	0	0.42	2.3
2001	26,652	6328.43	6320.21	8.22	0.13	2.41	2	0.57	0.24	0	3
2002	14,155	5054.43	4996.91	57.52	1.14	30.73	5.8	0	0	0	20.99
합계	71,417	16553.15	16464.11	89.04	0.54	42.5	17.82	1.77	0.24	0.42	26.29

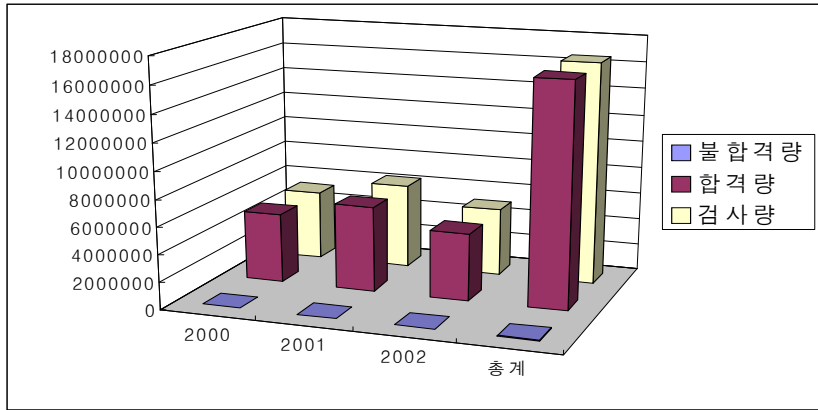


그림 4-11 초음파 탐상 시험의 결함율

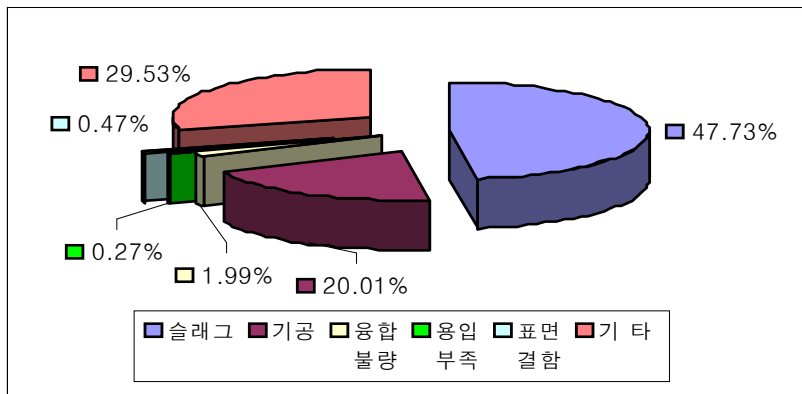


그림 4-12 초음파 탐상 시험에 의해 판별된 용접결함 현황

표 4-9 및 그림 4-11에 나타난 것과 같이 초음파 탐상 시험에서도 불량률은 0.54%로 아주 낮았으며, 그림 4-12에 나타난 것과 같이 판정된 결함의 종류도 방사선투과시험에서와 같이 용접작업상의 부주의에 발생하는 슬래그와 기공이 대부분을 차지하고 있다. 이와 같은 결함 발생을 및 결함 발생 현황을 고려한다면 현재 국내에서 가로보 연결을 위한 브라켓과 같은 구조이음부의 맞대기이음부의 품질확보를 위해 실시되고 있는 전수검사의 비파괴검사의 개념은 다소 과다하게 실시되고 있다고 생각되므로 보다 효율적인 검사개념의 도입이 초음파탐상시험에 있어서도 필요할 것으로 생각된다.

### 3) 자분 탐상 검사

앞에서 기술한 용접이음상세에 대한 자분탐상시험에 대한 검사결과를 3개년동안 정리한 결과를 표 4-10에 나타내었으며, 그림 4-13에 자분탐상시험의 결함율, 그림 4-14에 자분탐상시험에 의해 판별된 용접결함 현황을 나타내었다.

표 4-10 자분 탐상 시험 현황

해당 년도	설계 중량 (ton)	검 사 현 황				결 합 내 용					
		검사량 (m)	합 격 량	불 합 격 량	불 량 율 (%)	슬래그	기 공	융합 불량	용입 부족	표면 결함	기 타
2000	32,418	33641.46	33580.51	60.95	0.18	0.35	46.36	0	0	1.17	13.07
2001	23,309	32617.19	32602.16	15.03	0.05	2.73	10.20	0	0	0	2.10
2002	24,306	57743.77	57659.49	84.28	0.15	61.88	0.00	0	0	0	22.40
합	80,033	124002.42	123842.16	160.26	0.13	64.96	56.56	0	0	1.17	37.57

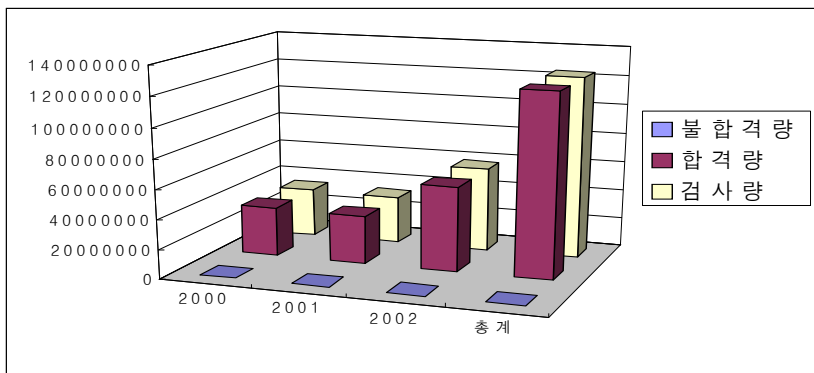


그림 4-13 자분 탐상 시험의 결함율

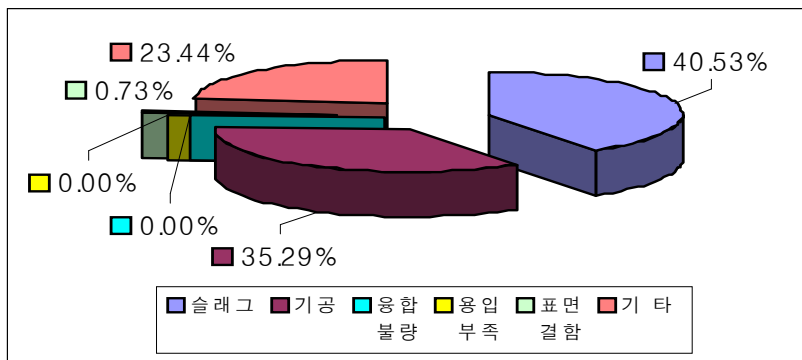


그림 4-14 자분 탐상 시험에 의해 판별된 용접결함 현황

자분탐상 검사도 방사선투과 검사 및 초음파탐상 검사와 동일한 결과가 얻어진 것을 알 수 있다.

이상의 검사결과에 기초한 국내의 비파괴 검사 현황을 보면 검사량에 대한 불량률이 1% 미만임을 알 수 있었는데, 현재 국내에서 용접이음부에 대해 실시되고 있는 비파괴시험의 전수검사 또는 부분검사의 적용은 비효율적인 요소가 있으므로 향후 보다 합리적인 검토에 의해 검사개념의 개정이 필요할 것으로 판단된다.

## 5. 결론

- 1) 요소 검증을 위한 구조해석의 결과 구조해석 모델링시 각각의 모델링 요소에 따라 5~7%정도의 결과값의 차이를 나타내고 있었으며 모델링에서 요소의 선택은 구하고자 하는 결과에 따라 충분한 검토가 필요 할 것으로 생각된다.
- 2) 가로보 배치 위치에 따른 구조해석 결과 가로보 위치가 상단에서 하단으로 이동함에 따라 가로보의 응력은 20%정도 감소하였으며 가로보의 위치에 따라 거더의 처짐 형상도 달라졌다. 이에 가로보 위치는 하단에 배치하는 것이 가장 유리하나 시공의 효율성을 고려하여 중단에 배치하는 것이 더욱 합리적일 것으로 생각된다.
- 3) 가로보 간격을 지간의 1/10, 1/7, 1/5, 1/4로 변화하여 구조해석을 수행한 결과 가로보 간격이 증가함에 따라 응력값이 평균 8%정도 증가하였으며 모두 허용 응력을 만족하고 있었으며 향후 가로보 간격에 대한 검토가 필요할 것으로 생각된다. 또한 향후 가설시의 방법 및 특성을 고려한 가로보 간격에 대한 연구가 필요할 것으로 생각된다.
- 4) 가로보의 복판고비를 25%, 33%, 40%, 50%로 변화하여 구조해석을 수행한 결과 가로보 강성비가 증가됨에 따라 가로보의 응력은 14%내외로 감소하는 경향을 나타내었으며 허용응력을 모두 만족하고 있으므로 가로보 강성에 대한 상세한 기준이 필요할 것으로 생각된다.
- 5) 가로보 강성에 대한 응력 감소율이 가로보 간격에 대한 응력 증가율보다 크게 나타났으며 향후 가로보 강성의 증가분에 대해 가로보 간격을 증가하면 더 합리적인 강교량의 설계가 가능 할 것으로 생각된다.
- 6) 국내의 도로교 표준 시방서와 강도로교 용접 및 도장 요령에는 1 lot의 개념이 규정되어 있지 않으나, 미국의 AWS D 1.5 와 일본 도로교 시방서에서는 1 lot에 대한 개념이 규정되어 있어 검사의 효율성을 도모하고 있었다.
- 7) 국내 기준과 미국의 AWS D 1.5 의 기준은 압축 및 전단을 받는 부분은 동일 하였으나 인장 및 교번 응력을 받는 부분은 적용 범위가 상이하게 적용되고 있다.



8) 국내의 고속도로공사 전문시방서 및 일본 도로교 시방서의 비파괴 검사 기준은 국내 도로교 표준 시방서와 미국의 AWS D 1.5와는 달리 spot 개념의 기준을 제시하고 있었다.

9) 국·내외의 각 기준별로 수량 산출을 해본 결과, 도로교 표준 시방서와 미국의 AWS D 1.5 기준은 같았고, 일본 도로교 시방서의 경우는 압축하중을 받는 경우는 6.5배, 인장하중을 받는 경우는 8.5배 정도 효율적인 것으로 나타났다.

10) 국내의 비파괴 검사 현황을 조사해 본 결과 불량률이 1% 미만임을 알 수 있었으며, 향후 합리적인 강교량 제작을 위해서는 비파괴 검사 기준의 수정·보완이 필요할 것으로 생각된다.

## 참고문헌

- 1) 한국도로교통협회(2000), 도로교 설계기준
- 2) 대한토목학회(2003), 도로교설계기준·해설
- 3) 한국도로공사(1998), 고속도로공사 전문시방서
- 4) 건설교통부(1998), 강도로교 용접 및 도장 요령
- 5) 포항산업과학연구원(2001), 경쟁력향상 도로용 소수거더 판형교
- 6) 용환선, 김석태, 최수영(2001), 합성2거더교의 하중분배 거동에 미치는 가로보 효과에 관한 연구, 한국강구조학회 학술발표대회 논문집, pp 28-30
- 7) 박용명, 노승윤, 백승용, 황민오(2003), 강합성 2거더교의 가로보 배치에 관한 연구, 한국강구조학회 학술발표대회 논문집, pp 1-8
- 8) 경갑수, 권순철, 임상만(2003), 합리화 강교량을 위한 비파괴 검사 기준의 제언, 한국강구조학회 학술발표대회 논문집, pp 65-73
- 9) 경갑수(1996), 생략화·합리화를 고려한 강교량이란, 한국강구조학회 논문집, 제8권, 제4호, pp 65-77
- 10) 포항산업과학연구원, 경쟁력 향상 도로용 소수거더 판형교, 2001.12
- 11) 경갑수, 홍성욱, 권순철, 유현상(2003), 설계·제작·가설·유지관리에의 합리화 시스템을 도입한 강교량 개발에 관한 연구, 포항산업과학연구원
- 12) American Welding Society, Bridge Welding Code(2002), AWS D1.5M/D1.5,
- 13) Published by the American Association of State Highway and Transportation Officials(2002), Standard Specifications for Highway Bridges 17th Edition

- 14) 日本道路協會, 鋼道路橋設計便覽
- 15) 日本道路協會(2002), 道路橋示方書・同解説
- 16) 日本建築學會(1988), 鋼構造設計規準
- 17) 日本橋梁建設協會, 新しい鋼橋, (社)日本橋梁建設協會, 1999.8
- 18) 日本鋼構造協會, 合理化girderに関するデザインマニュアル,(社)日本鋼構造協會, 2000.3
- 19) 日本道路協會, 강도로교의 세부구조에 관한 자료집,1991.7
- 20) Nagai, Honda, Nakayama, Sakai, Yabe(1995), 合成2主I型橋の對稱鉛直荷重下の斷面變形舉動, 剛構造年論文報告集, 第3卷
- 21) Sakai(1997), 合成2主型橋の横型配置に関する研究, 橋梁と基礎

## 감사의 글

저를 지금의 이 자리에 있게 해주신 아버지, 어머니 항상 저를 걱정하시는 장인어른, 장모님에게 감사의 말씀 올립니다. 제 몸 생각에 매일 걱정하시던 할머니에게 정말 감사합니다. 그리고, 뒤에서 말없이 뒷바라지 해준 집사람과 항상 제게 웃음을 안겨주는 귀여운 딸 규리에게도 고맙다고 말하고 싶고 서울에서 고생하고 있는 동생 순종이에게도 감사의 말을 전합니다. 장남인 저에게 많은 힘이 되어주신 삼촌, 숙모님께도 감사하다고 말하고 싶습니다.

대학 생활동안 저를 이끌어 주시고 힘들 때는 위로의 말을 잘못했을 때는 따끔한 충고를 아끼지 않으시고 모자란 저를 지금까지 지도해 주신 경갑수 교수님에게 진심으로 깊은 감사의 말씀을 드립니다. 그리고 학부 때부터 저에게 많은 도움을 주신 김도삼 교수님, 김태곤 교수님, 이중우 교수님에게도 감사의 말씀 올립니다.

마지막으로 저의 10년 지기이자 동생들인 낙훈, 재영, 창훈, 호동이에게 언제나 함께 해주어서 고맙다고 말하고 싶습니다. 그리고 논문에 도움이 되어준 연구실 후배들에게도 감사의 말을 전합니다.