

연구원-2016-45-534.9607호

2016년도 연구보고서

연장 200m급 무조인트 교량시스템 개발

Development of 200m Long Integral Abutment Bridge

 한국도로공사

도로교통연구원

연 구 진

■ 한국도로공사 도로교통연구원

연구책임자 : 강형택(연구기획실 수석연구원)

참여연구원 : 박영호(안전연구실 연구위원)

김진철(포장연구실 수석연구원)

이병주(구조물연구실 수석연구원)

정종홍(연구기획실 수석연구원)

남문석(구조물연구실 책임연구원)

실무연구원 : 이태현(설계처 차장)

목 차

목 차	I
표 목 차	iⅢ
그림목차	V
요 약 문	XI
ABSTRACT	XII
제 1 장 과업의 개요	1
1.1 연구의 배경 및 목적	1
1.2 연구의 내용	2
제 2 장 일체식 교량 연구 현황	3
2.1 국내외 관련 연구	3
2.2 국내외 설계지침	12
2.3 일체식 교량의 유한요소해석 검증	26
제 3 장 일체식 교량의 성능향상을 위한 매개변수 연구	35
3.1 개요	35
3.2 성능향상 평가를 위한 매개변수	36
3.3 해석단계별 모델링	40
3.4 해석결과	46
3.5 일체식 교량 설계지침 제안	62

제 4 장 적용성 확대를 위한 일체식 교량 경계조건 영향 연구	67
4.1 완전일체식 교량 교대연결부(힌지처리)의 영향	67
4.2 고정단을 갖는 교각의 영향	75
4.3 상부슬래브와 접속슬래브의 연결 검토	84
 제 5 장 기존 교량의 무조인트화	91
5.1 개요	91
5.2 연결조인트	99
5.3 시험시공	102
5.4 대상교량 계측결과	112
 제 6 장 일체식 교량 설계사례집	121
6.1 개요	121
6.2 설계 지침	124
6.3 설계 사례 요약	128
6.4 경제성 분석	156
 제 7 장 결 론	161
 참고문헌	163

표 목 차

표 2.1	지반선 이하 말뚝 최소 길이	6
표 2.2	구조해석을 위한 매개변수	7
표 2.3	한계연장 및 사각(HP12x74, 강축배열시)	10
표 2.4	민감도 분석을 위한 주요인자	11
표 2.5	해외 일체식 교량 제한기준	15
표 2.6	일체식 교량 적용현황(미국)	25
표 2.7	구조해석 모형(평촌1교)의 재료특성	26
표 2.8	가동반침의 이동량 산정시 온도변화 및 선형창계수	27
표 2.9	구조해석 모형(동홍천IC육교)의 재료특성	29
표 2.10	계측 변위와 온도변화와 토압을 고려한 구조해석 변위 비교	33
표 3.1	성능향상 평가를 위한 매개변수	37
표 3.2	사전천공 깊이에 따른 말뚝기초 안정성 검토결과	51
표 4.1	교각 경계조건에 따른 말뚝의 휨모멘트	81
표 5.1	교량 부재별 손상빈도	91
표 5.2	연결부 휨모멘트 안전성 검토 결과	106
표 5.3	연결부 축력 안전성 검토 결과	107
표 5.4	교대홍벽 안전성 검토 결과	108
표 5.5	대상교량 계측기 설치현황	112
표 5.6	재하차량의 축중량	116
표 5.7	Load Case	116
표 5.8	측정된 변형율로부터 계산된 응력	118
표 5.9	재하시험시 측정된 변형율 및 충격계수	118
표 6.1	국내 고속국도 일체식 교량 현황	123

표 6.2 개정된 일체식 교량 설계지침 주요내용	128
표 6.3 대상교량 설계결과	142
표 6.4 대상교량 교대 주요수량	143
표 6.5 대상교량 설계결과	154
표 6.6 대상교량 교대 주요수량	155
표 6.7 일체식 교량의 총공사비 대비 공사비 감소비율	159

그 립 목 차

그림 2.1 평촌1교 계측결과 및 해석적 분석	3
그림 2.2 말뚝기초 능력에 따른 교량의 연장한계	6
그림 2.3 사각에 따른 연장한계	7
그림 2.4 해석적 분석을 위한 모델링	8
그림 2.5 해석적 분석을 위한 모델링	9
그림 2.6 강교의 한계연장 및 사각	10
그림 2.7 콘크리트교의 연장한계 및 사각	11
그림 2.8 국내외 연장한계 기준 비교	12
그림 2.9 교량 시중점이 이루는 교각	13
그림 2.10 일체식 교량의 뒤채움	13
그림 2.11 기초교대의 모델링	14
그림 2.12 벽체교대의 모델링	14
그림 2.13 모형화된 평촌1교	26
그림 2.14 비선형 지반 모델링 사례	28
그림 2.15 수치해석에 사용된 지반 스프링	28
그림 2.16 모형화된 동홍천IC육교	29
그림 2.17 평촌1교 계측결과와 해석결과의 비교	31
그림 2.18 경계조건 변화에 따른 말뚝응답 비교	32
그림 2.19 지반 모델링 방법에 따른 변위 비교	32
그림 2.20 토압 및 교량받침 강성 변화에 따른 변위	그림 3.1 해석단계
그림 3.1 해석단계	35
그림 3.2 완전일체식 교량의 주요 구성	35
그림 3.3 국내 교량 현황	37

그림 3.4 해석 기본모델의 대표 경간장	38
그림 3.5 사교에 작용하는 힘	39
그림 3.6 사각에 따른 사교의 회전거동	39
그림 3.7 말뚝 독립 모델(1단계) 해석 흐름	41
그림 3.8 말뚝 상단부 경계조건	41
그림 3.9 말뚝 모델과 전체 모델의 부재력 감소비	42
그림 3.10 매개변수해석을 위한 전체 3D 모델링	43
그림 3.11 지반 모델링 비교	44
그림 3.12 Reese의 p-y곡선	44
그림 3.13 p-y곡선과 도로교설계기준에 따른 깊이별 지반특성 비교	45
그림 3.14 연장한계 선정 흐름도	46
그림 3.15 H형강 말뚝의 함몰	46
그림 3.16 말뚝 허용응력에 따른 연장한계	47
그림 3.17 H말뚝 축방향 변화에 따른 실험결과	48
그림 3.18 교량 상부구조 형식별 연장한계 해석결과	50
그림 3.19 말뚝 안정성 검토를 위한 개요도	51
그림 3.20 사전천공 구간을 고려한 형식별 연장한계	52
그림 3.21 일체식 교량 교대	53
그림 3.22 반일체식 교량의 연장에 따른 필요 벽체두께	54
그림 3.23 벽체교대의 설계지침을 위한 형상제안	54
그림 3.24 표준온도의 변화에 따른 연장한계	55
그림 3.25 지반다짐도에 따른 연장한계	57
그림 3.26 건조수축 작용시 해석결과 비교	58
그림 3.27 말뚝강성에 따른 휨모멘트 및 변위	59
그림 3.28 말뚝본수에 따른 휨모멘트 및 변위	59
그림 3.29 신축조절장치에 발생하는 변위 검토결과	60
그림 3.30 발생변위별 적용가능한 신축조절장치 형식	61
그림 4.1 완전일체식 교량의 단면도	68

그림 4.2	힌지처리된 벽체교대 단면도	69
그림 4.3	변형된 단면을 갖는 말뚝기초	70
그림 4.4	해석결과	70
그림 4.5	연결부 개념도	71
그림 4.6	모델링	72
그림 4.7	변위에 대한 해석결과(L=90m)	72
그림 4.8	휨모멘트에 대한 해석결과(L=90m)	73
그림 4.9	연결조건에 따른 완전일체식 교량의 연장한계 비교	73
그림 4.10	고정단 교량받침	75
그림 4.11	고정단 교량사례	76
그림 4.12	거더블록 방식	77
그림 4.13	교각을 포함하는 해석 모델링	78
그림 4.14	교각 경계조건에 따른 교량 거동	79
그림 4.15	교각 경계조건에 따른 교각 거동	79
그림 4.16	교각 경계조건에 따른 교대 및 말뚝 거동	80
그림 4.17	교각 경계조건에 따른 말뚝의 휨모멘트	80
그림 4.18	상부슬래브와 접속슬래브의 강결방식 연결	84
그림 4.19	상부슬래브와 접속슬래브의 힌지방식 연결	85
그림 4.20	힌지철근의 연결방식	85
그림 4.21	균열유도줄눈	86
그림 4.22	상부슬래브와 접속슬래브의 연결방식 해외사례	88
그림 4.23	균열유도줄눈 사례(VDOT, 2014)	88
그림 5.1	누수로 인한 교량 손상	91
그림 5.2	보수 및 교체비용 현황	92
그림 5.3	개방형 조인트(opened joint)	92
그림 5.4	폐쇄형 조인트(closed joint)	93
그림 5.5	기존 PSC 콘크리트 교량 무조인트화 개요도	94
그림 5.6	기존 강교량 슬래브 확장 개요도	95

그림 5.7 일체식 교량(integral abutment bridge, jointless bridge)	95
그림 5.8 슬래브 연장(slab extension) 방법	96
그림 5.9 연결슬래브 설치개요	96
그림 5.10 시험시공 적용형식	97
그림 5.11 탄성콘크리트(컴프레션셀) 시공후 조사	97
그림 5.12 RC연결조인트 개요	98
그림 5.13 연결조인트의 거동 개요	99
그림 5.14 RC연결조인트의 기본구조	100
그림 5.15 해석모델	101
그림 5.16 대상교량 종평면도	103
그림 5.17 연결조인트 시공전후 사진	103
그림 5.18 연결조인트 모델링 개요	104
그림 5.19 대상교량 모델링	104
그림 5.20 연결조인트 설계단면	105
그림 5.21 연결부 안전성 검토 개요	106
그림 5.22 기준온도에 따른 연결부 발생축력	107
그림 5.23 교량전경	109
그림 5.24 시공절차	110
그림 5.25 대상교량 계측기 설치현황도	113
그림 5.26 설치 계측기	113
그림 5.27 변위 계측결과	114
그림 5.28 재하시험에서의 계측위치	115
그림 5.29 차량 제원(m)	116
그림 5.30 차로별 차량 재하위치	117
그림 5.31 재하차량에 의한 계측기록	120
그림 6.1 일반 교량(joint bridge)	121
그림 6.2 일체식 교량 (jointless bridge)의 구분	122
그림 6.3 완전일체식 교량의 연장한계	124

그림 6.4 완전일체식 교량의 모델링 개요	125
그림 6.5 반일체식 교량의 연장한계	126
그림 6.6 교량 시중점이 이루는 교각(橋角)	127
그림 6.7 일체식 교량의 설계순서	130
그림 6.8 완전일체식 교량의 주요 구성	131
그림 6.9 완전일체식 교량의 앞성토	132
그림 6.10 완전일체식 교량의 뒤채움 시공방법	133
그림 6.11 소교대의 제원	134
그림 6.12 벽체교대 모델링 개요	134
그림 6.13 신축조절장치의 종류	135
그림 6.14 접속슬래브와 날개벽 상세	136
그림 6.15 대상교량 종평면도	139
그림 6.16 대상교량 완전일체식 교대	140
그림 6.17 해석 모델링	141
그림 6.18 일반 조인트 교량과 완전일체식 교량 교대 비교	142
그림 6.19 반일체식 교량의 주요 구성	143
그림 6.20 반일체식 교량의 교대 구조	144
그림 6.21 반일체식 교량의 뒤채움 시공방법	145
그림 6.22 조인트 교량과 반일체식 교량의 교대 비교	146
그림 6.23 조인트 교량과 반일체식 교량의 하중중심 비교	147
그림 6.24 벽체교대 모델링 개요	147
그림 6.25 신축조절장치의 종류	148
그림 6.26 접속슬래브와 날개벽 상세	149
그림 6.27 대상교량 종평면도	152
그림 6.28 대상교량 반일체식 교대	153
그림 6.29 반일체식 교량 벽체교대 모델링	154
그림 6.30 일반 조인트 교량과 반일체식 교량 교대 비교	155
그림 6.31 도로투자 유형별 비중 전망	156

그림 6.32 교량형식별 단위공사비	157
그림 6.33 교량형식별 총공사비 대비 교대 공사비	158

요 약 문

일체식 교대 교량(무조인트 교량)은 교량의 주요 유지관리부재인 신축이음 및 교량받침을 배제함에 따라 초기 건설비와 유지관리비의 절감이 가능한 경제적인 공법이다. 미국에서는 1930년대부터 일체식 교대 교량이 적용되기 시작하여 현재 교량 연장을 200m를 상향하는 완전 일체식 교대 교량이 적용되고 있으며, 최대 340m까지 적용된 바 있다. 반면에 국내에서는 일체식 교대 교량의 한계값이 콘크리트교의 경우 120m, 강교의 경우 90m로 상당히 보수적으로 적용되고 있는 실정이다. 본 연구는 문헌조사, 유한요소해석, 설계검증 등을 통하여 일체식 교대 교량의 활용도를 향상시키는 것을 목적으로 하며, 주요 연구내용 및 결과는 다음과 같다.

국내외 설계지침을 검토한 결과, 미국, 캐나다, 중국, 유럽, 호주 등 세계적으로 일체식 교대 교량의 적용이 이루어지고 있으며, 미국의 경우 교량 연장을 최대 300m까지 제안하는 곳도 있다. 따라서, 본 연구에서는 국내에 시험시공된 일체식 교대 교량의 계측 값에 대한 역해석을 수행하여 구조해석 모델을 개발하여 수치해석을 통해 성능향상 가능 여부를 확인하였다. 일체식 교대 교량의 성능향상을 위한 주요 매개변수로는 교량연장, 상부구조 재료, 말뚝형식이며, 매개변수에 대하여 말뚝 모델 및 3차원 전체 모델에 대하여 해석을 수행하였다. 검토결과, 완전 일체식 교대 교량의 연장한계는 콘크리트교 180m, 강교 150m까지 가능함을 확인하였다. 말뚝기초의 유연한 거동으로 구조시스템이 유지되므로, H형강말뚝 약축 일렬배열 사용을 제안하였고, 응력감소를 유도하기 위해 필요시 무다짐 모래채움을 사용하는 응력이완구간을 설치하도록 하였다. 반일체식 교대 교량은 하부구조와 상부구조가 교량받침에 의해 분리되므로, 완전 일체식 교대 교량에 비해 연장한계가 증가하게 되며, 연장한계는 콘크리트교 500m, 강교 400m까지 가능한 것으로 검토되었다. 기존 교량의 신축이음장치를 제거하여 교대와 상부구조를 일체화하는 방법에는 여러 가지가 있으나, 이 중 교대 홍벽과 상부슬래브를 강결하고 하부구조의 거동을 이용하여 응력을 제어하는 RC연결조인트 공법을 선택하여 시험시공을 실시하였다. 시험시공 후 초기상태를 건전하였으며, 차량의 충격소음이 감소되고 주행성이 향상되는 것을 확인하였다.

도로 유지관리분야의 해외의 선진 사례를 비추어 볼 때, 우리나라 또한 유지보수로 도로관련예산의 상당부분이 투입되는 것은 다가오는 분명한 현실임을 받아들여야 한다. 기존 구조물의 유지보수에 대한 예상비용을 고려하면 일체식 교대 교량이 구조물의 안전성, 내구성 및 사회적 비용절감에 사전적 예방효과를 가져올 수 있는 하나의 대안으로의 가치가 충분할 것으로 판단된다.

ABSTRACT

Integral abutment bridge is known as an economical bridge type due to eliminating joints and bearings which increase construction and maintenance costs. From early in 1930s, this type has been adopted in USA, nowadays the total length of bridge is over 200m and the longest one is 340m. On the other hand, the length limits in Korea are 120m for a concrete bridge, 90m for a steel bridge. Conservative limitations have been just adopted. The goals of this study are overcoming the restrictions in jointless bridges. International standards, reports and research papers are examined and parametric studies using numerical models are carried out. Major results of this year are as follows.

As results of search of domestic and foreign codes, integral abutment bridges have been adopted globally. Lately Indiana state in USA recommends 300m as the maximum length. As results of verification of modeling to be used in parametric study through comparison with between analyses and measurements, the results of analyses is similar to behavior of existing jointless bridges. These can make a judgement of propriety of values from parametric studies. Major study parameters for enhancement of jointless bridge are bridge length, material of girders and pile types, finite element analyses are performed with partial modeling for pile and 3D full modeling. As results of parametric study, length limitations of Full-integral abutment bridge are 180m in case of psc concrete bridge and 150m in case of steel bridge. H-pile & weak axis arrangement are recommended because flexible behavior of pile is needed in integral abutment bridge. Pre-boring zone filled with uncompacted sand is needed for reduction of stress on the top of pile. The limitations of Semi-integral abutment bridge are 500m, 400m in case of concrete and steel bridge, respectively. There are several ways for retrofitting to jointless bridge, RC link joint out of these is selected for test. This is retrofitting way that parapet is connected by reinforcement bar to deck slab, stress is controlled by movement of abutments. After installed, initial condition is very sound, it was checked that impact noise was down and driving condition was getting better.

The case of other countries with many experiences give us some advices that maintenance cost will be going up. Jointless bridge will be good choice out of some ways which reduce cost and prevent maintenance works.

제 1 장 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

- 일체식 교대 교량은 교대구조 단순화로 건설비 절감이 가능하고 교량시스템에서 신축이음장치 및 교량받침을 배제함에 따라 유지관리비 절감이 가능한 경제적인 공법이지만, 교량상부의 온도신축으로 교대말뚝기초 및 교량받침에 과도한 응력이 발생할 수 있기 때문에 교량연장, 교량사각, 종단경사, 평면곡률 등 적용제한조건을 모두 만족하는 경우에만 사용하고 있다.
- 우리나라에서 사용하는 일체식 교대 교량의 적용제한조건은 관련 선진국인 미국의 적용제한조건보다 지나치게 보수적이다. 미국의 적용제한조건 중 교량연장을 예로 살펴보면, 강교는 교량연장 91~195m, 콘크리트교는 교량연장 107~240m까지 일체식 교대 교량무조인트 교량 공법을 적용하고 있으며, 우리나라의 교량한계 연장값 90m, 120m 보다 크게 적용되고 있다. 외국의 사례에 의하면 교량연장 제한은 각각 160m, 240m까지 추가적으로 확대가 가능한 것으로 조사되었다.
- 무조인트교량은 일반교량과 비교하여 개소 당 건설비 1.8억, 유지관리비 5.7억 절감이 가능한 경제성이 우수한 공법이지만, 외국의 기준 보다 보수적인 우리나라의 적용제한 조건은 무조인트 교량의 적용을 제한하는 요인이며, 건설비 및 유지관리 절감이 가능한 무조인트 교량 공법의 적용 빈도를 높이기 위해서는 보수적인 무조인트 교량 적용 제한조건을 미국 등 선진국의 기준과 같이 개선할 필요가 있다.
- 따라서, 본 연구에서는 국내외 설계법 조사, 시공사례 조사 및 분석, 수치해석, 설계검증 등을 통하여 일체식 교대 교량의 활용도 및 경제성을 높이기 위한 신설 일체식 교대 교량의 적용제한조건 및 시공법을 개선을 개선하는 기준을 수립하고자 한다. 또한, 기존 교량의 신축이음장치를 제거하고 교대와 상부구조를 일체화하는 방안을 수립하고자 한다

1.2 연구의 내용

1.2.1 자체부문 연구내용

- ☐ 문헌조사
- ☐ 실측된 장기거동자료 분석
- ☐ 적용제한조건 개선
- ☐ (기존교량 무조인트화를 위한) 기술개선연구 II
- ☐ 200m급 무조인트교량 설계 검증
- ☐ 기존교량의 무조인트화 공법의 설계 검증
- ☐ 설계 및 시공 지침(안)

1차년도(2013년)

2차년도(2014년)

3차년도(2015년)

1.2.2 용역부문 연구내용

- ☐ 문헌조사
- ☐ 국내외 설계 및 시공 사례 조사
- ☐ (200m급 무조인트교량을 위한) 기술개선연구 I
- ☐ (200m급 무조인트교량을 위한) 기술개선연구 I
- ☐ 적용제한조건 개선
- ☐ (기존교량 무조인트화를 위한) 기술개선연구 II
- ☐ 200m급 무조인트교량 설계 검증
- ☐ 기존교량의 무조인트화 공법의 설계 검증

1차년도(2013년)

2차년도(2014년)

3차년도(2015년)

제 2 장 일체식 교량 연구 현황

2.1 국내외 관련 연구

2.1.1 국내 현황

일체식 교량의 시작은 1999년 국내 최초로 시공된 평촌1교(완전일체식 교량, 대전~통영 간 고속도로 건설공사)이며, 2009년에 동홍천IC육교(세계최초 강합성형 반일체식 교량) 이후로 현재 다양한 거더 형식의 반일체식 교량 공법이 적용되고 있다.

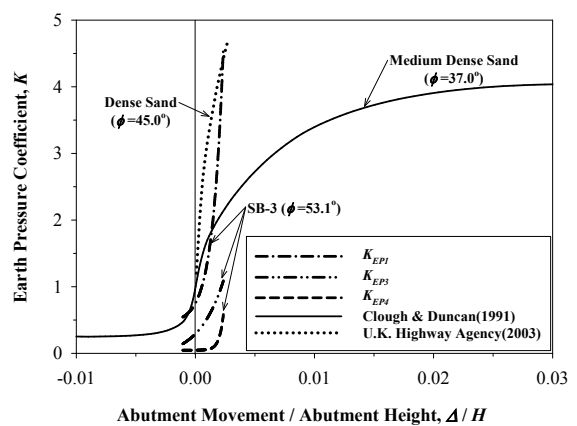
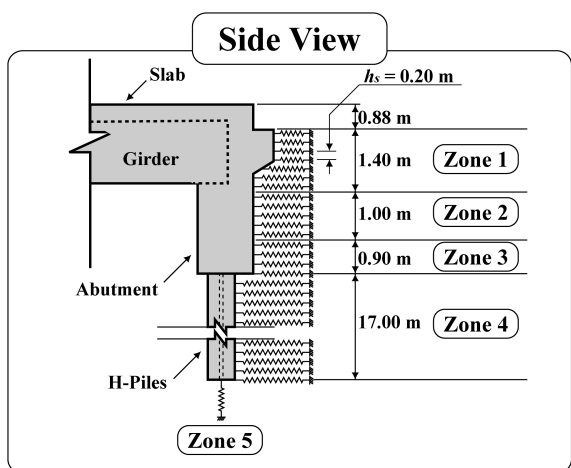


그림 2.1 평촌1교 계측결과 및 해석적 분석

이에 따라 공용중인 일체식 교량에 대한 장기 거동 계측 보고서가 다수 작성되었으며, 계측자료와 해석 결과의 비교분석을 통해 일체식 교량의 적정성이 검토된 바 있다.

국내에서 일체식 교량의 적용성에 대한 연구는 활발히 진행되어 있지는 않으며, 한국도로공사 도로교통연구원에서 일체식 교량의 실용화 연구를 수행하여 일체식 교량의 설계지침을 제안하였으며 연구내용은 다음과 같다.

2.1.1.1 강박스 거더를 이용한 반일체식 교대 교량의 실용화 연구(2010)

일체식 교량의 거동에 대한 이해 및 보편적인 설계를 위해 한국도로공사 도로교통연구원에서 설계 및 시공경험을 토대로 연구를 수행하였다. 다음은 연구결과에 대한 주요 내용이다.

1) 교량 거동 평가

- ① 말뚝 심도별 계측결과를 활용하여 주변 지반의 탄성계수를 추정한 결과, $E=15000\text{kPa}$ 일 때 가장 이상적인 것으로 산정되었다.
- ② 결정된 탄성계수를 입력하여 계절변화에 대한 말뚝의 변위를 예측할 수 있고 장기안정에 대한 말뚝의 부재력을 확인할 수 있다.
- ③ 말뚝기초의 안전을 검토결과 동절기 $F.S=6.96$ 이고, 하절기에 $F.S=3.45$ 로 충분히 안정성을 확보하는 것으로 산정되었다.

2) 매개변수 해석결과

- ① 교량 연장을 변화시키면서 해석을 수행한 결과, 발생하는 변위의 크기는 연장이 증가함에 따라 선형 비례로 커진다.
- ② 교량 연장이 길어짐에 따라 말뚝 머리에서의 모멘트도 선형 비례로 커진다.

3) 지진해석 결과

- ① 시간이력 최대 변위는 계절별 온도수축 변화에 의한 것보다 작게 산정되어 안정할 것으로 판단된다.
- ② 교대 말뚝과 상부구조물이 일체화 거동을 하게 되어 안정적으로 산정되는 것으로 판단된다.
- ③ 완전일체식 교량은 내진 성능이 우수한 것으로 판단되며, 지진시 상부구조물이 교대와 일체화 거동을 하게 되어 안정성에 유리한 것으로 산정되었다.

2.1.2 국외 현황

해외에서는 일체식 교량의 장점 즉, 우수한 경제성, 주행성 및 유지관리성을 인지하여 이 공법을 확대 적용하고자 많은 연구들을 진행하였다. 특히, 미국은 각 주의 도로국 (department of transportation)별로 일체식 교량 관련 지침을 작성하여 활용하고 있으며 과거에 비해 시공실적이 증가하고 있으며 완화된 제한사항을 사용하고 있다. 유럽, 중국, 일본 및 오세아니아의 국가에서는 일체식 교량을 적용하고 있으며 그 효과에 대해서는 긍정적이지만, 미국에 비해 적극적인 연구 및 반영을 하고 있지는 않는 실정이다. 따라서, 일체식 교량의 연장 향상을 위한 연구가 활발한 미국의 연구내용을 소개하면 다음과 같다.

2.1.2.1 Jointless and Smoother Bridges : Behavior and Design of Piles(2006)

인디애나주는 일체식 교량의 연장한계를 1992년 90m(300ft)에서 2010년 150m(500ft), 최근 H형강 말뚝을 사용시 300m(1,000ft)까지 확대할 수 있도록 설계지침에 반영하였다. 다음 내용은 150m(500ft)까지 교량연장을 확대함에 있어서 기본적인 이론적 접근방법에 대한 것이다.

1) 수행방법

- ① 공용중 교량 계측
- ② 계측결과의 해석적 분석을 위한 모델링 개발
- ③ 연결부 거동파악을 위한 실험
- ④ 말뚝 국부좌굴 및 연성거동 확인을 위한 실험
- ⑤ 말뚝 국부좌굴 및 연성거동 확인을 위한 해석적 분석
- ⑥ 지반현황에 따른 최소말뚝길이 산정
- ⑦ 말뚝기초의 능력에 따른 교량 연장한계 산정

2) 연구결과

경험적 방법과 해석적 방법으로 도출된 연구결과를 토대로 하여 설계지침에 대한 제안을 다음과 같이 하였다.

- ① 말뚝의 제원은 교량의 교축방향의 휨에 대한 저항을 하며 축력에 대한 안전성을 확보하도록 선택한다.
- ② 기초와 말뚝의 연결부에 작용하는 응력을 최소화하기 위해 약축으로 배열한다.

- ③ H형강 말뚝의 축력한계는 $0.25f_yA_s$, 콘크리트 충전 강관말뚝의 축력한계는 $0.25f_yA_s + 0.4f'_cA_c$ 로 한다. 이 한계는 적절한 변위와 연성도를 제공하는데 적절하다.
- ④ 말뚝의 기초교대 최소근입 깊이는 400mm(15in)로 한다.
- ⑤ 지반선 이하에서 말뚝의 최소 길이는 말뚝 선단 변위를 방지할 수 있는 길이로 한다. 최소길이는 말뚝의 크기 및 지반현황과 연관되며 그 길이는 다음과 같다.

표 2.1 지반선 이하 말뚝 최소 길이

구분	최소 깊이	
	점토	사질토
HP10	9m (30ft)	7.5m (25ft)
HP12	10m (35ft)	7.5m (25ft)
HP14	12m (40ft)	9m (30ft)
CFT14	15m (50ft)	10m (35ft)

- ⑥ 교량연장은 그림 2.2와 같이 제한하였다. 그림 2.2에서 대부분의 지반조건에 대해 교량의 안정성을 확보할 수 있도록 연장한계를 150m(500ft)로 제안하였다.

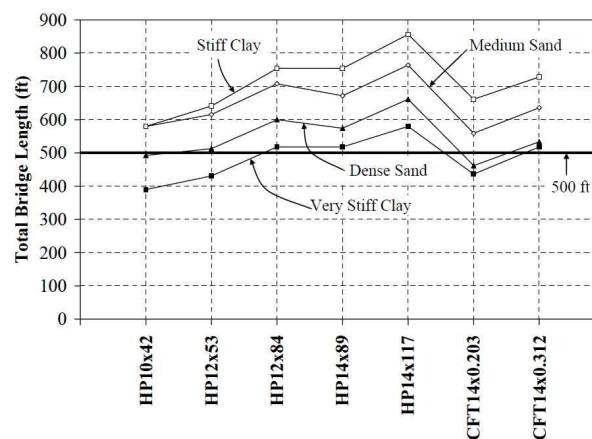


그림 2.2 말뚝기초 능력에 따른 교량의 연장한계

2.1.2.2 Long-Term Behavior of Integral Abutment Bridges(2011)

이 연구는 미국 인디애나주에서 2013년 H형강 말뚝을 사용시 300m(1,000ft)까지 일체식 교량의 적용범위를 확대할 수 있도록 설계지침에 반영한 이론적 접근방법에 대한 것이다.

1) 수행방법

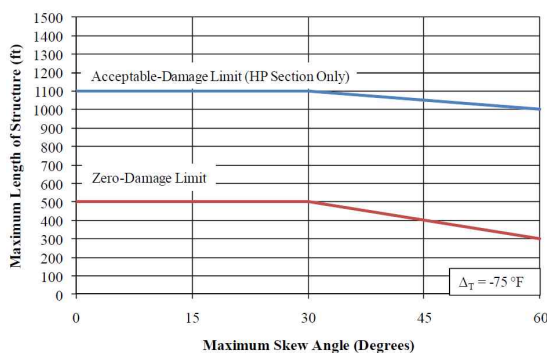
- ① 공용중 교량 계측
- ② 계측결과의 해석적 분석을 위한 모델링 개발
- ③ 시험교량 시공 및 실물계측
- ④ 매개변수 해석
- ⑤ 설계지침 제안

표 2.2 구조해석을 위한 매개변수

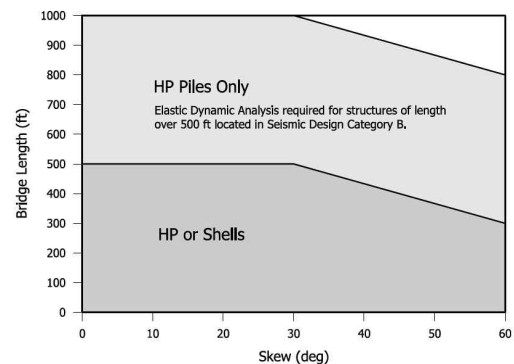
Primary Variables					
Length (ft)	200	400	600	800	1000
Skew (degrees)	0	15	30	45	60
Secondary Variables					
	Default	Alternate			
Span Length (ft)	100	50	200		
Positive Temperature Differential (°F)	25	70	90		
Negative Temperature Differential (°F)	-45	-70	-90		
Shrinkage Model	CEB MC90	ACI 209	GL2000		
Pile Sections	CFT 14x0.312	HP14x117	HP14x89	HP12x84	HP12x53
		HP10x42	CFT 14x0.203		
Pile Orientation	N/A	Weak Axis	Strong Axis	Weak With Skew	Strong With Skew
Soil Stiffness	Loose Sand	Dense Sand	Soft Clay	Very Stiff Clay	No Soil

2) 연구결과

- ① 말뚝의 능력을 고려하여 산정한 교량 연장한계는 H형강 말뚝 및 콘크리트 충전 강관말뚝을 사용하는 경우 150m(500ft), H형강 말뚝 사용시 330m(1,100ft)로 제안하였으며 후자의 경우 설계지침에는 안전측으로 300m(1,000ft)로 반영되었다.



(a) 연구결과에 따른 연장한계



(b) DOT 지침(2013)에 반영된 연장한계

그림 2.3 사각에 따른 연장한계

2.1.2.3 Modification of IDOT Integral Abutment Design Limitations and Details(2009)

미국 일리노이즈주는 완전일체식 교량의 성능향상을 위한 연구는 2009년부터 꾸준히 수행해오고 있다. 현재 콘크리트교는 125m, 강교는 95m로 다소 보수적인 지침을 사용하고 있으나 이 연구에서는 최대 480m(1,600ft)까지 성능향상이 가능한 것으로 제안하고 있다.

1) 수행방법

완전일체식 교량의 성능향상을 위해 이 연구에서는 해석적 접근을 통해 결과를 도출하였으며 그 흐름은 다음과 같다.

- ① 가정을 위한 기본해석
- ② 주요 변수(거더형식, 교량연장, 사각 등)의 민감도 분석
- ③ 교량 연장 및 사각별 매개변수 해석
- ④ 말뚝 허용응력을 만족하는 한계연장 산정

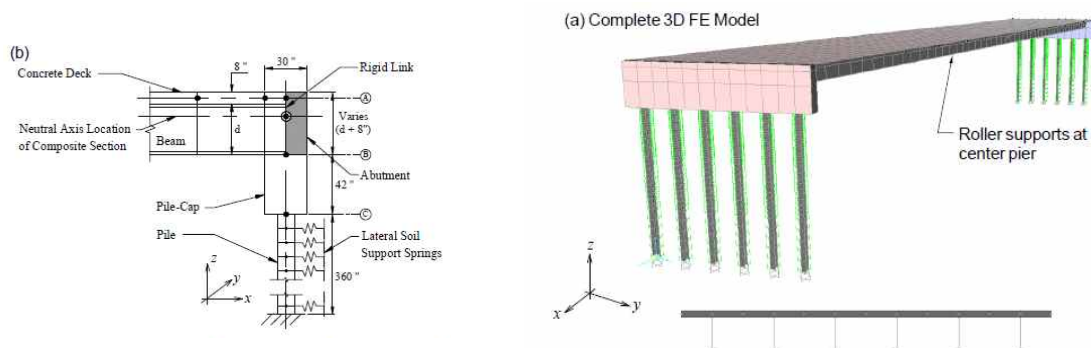


그림 2.4 해석적 분석을 위한 모델링

2) 연구결과

해석적 접근을 통한 연구결과 및 연장한계에 대한 제안을 다음과 같이 하였다.

- ① 뒤편의 일체식 교대 교량 거동에 대한 영향은 미미하다.
- ② 교축방향에 평행한 날개벽의 일체식 교량 거동에 대한 영향은 미미하다. 교대 배면 재료에서 무다짐을 사용할 경우 접속슬래브의 지지효과가 감소되며 응력 및 모멘트를 유발하므로 자갈류의 뒤편의 다짐이 적정하다.
- ③ 지반종류는 교량의 거동에 2차적인 영향을 미치며, 점토나 사질토에서의 거동은 동일한 것으로 간주하여도 좋다.
- ④ 연구결과, 경계조건 및 말뚝제원에 따라 480m(1,600ft)까지 가능하다.

표 2.3 한계연장 및 사각(HP12x74, 강축배열시)

	Grade 36 steel		Grade 50 steel		Grade 60 steel	
	Maximum length (feet)	Skew (degrees)	Maximum length (feet)	Skew (degrees)	Maximum length (feet)	Skew (degrees)
No moment reduction (i.e., current IDOT design)	240 120	0 - 30 30 - 60	400 240	0 - 30 30 - 60	500 320	0 - 30 30 - 60
Predrill to 8 ft	300 160	0 - 30 30 - 60	500 320	0 - 30 30 - 60	600 400	0 - 30 30 - 60
Hinge at pile cap/pile interface	600 420	0 - 30 30 - 60	900 680	0 - 30 30 - 60	1050 840	0 - 30 30 - 60
Hinge at pile cap/abutment interface	1000 680	0 - 30 30 - 60	1300 1040	0 - 30 30 - 60	1600 1300	0 - 30 30 - 60

2.1.2.4 Structural Design Issues for Integral Abutment Bridges(2013)

캐나다 온타리오주 도로국(Ministration of Transportation)에서는 2013년 일체식 교량에 관한 연구를 수행하였으며, 연장한계는 260m(콘크리트교, 강교 200m)까지 가능한 것으로 나타났다.

1) 수행방법

완전일체식 교량의 성능향상을 위해 이 연구에서는 경험 및 실험적인 방법과 해석적 접근을 통해 결과를 도출하였으며 그 흐름은 다음과 같다.

- ① 공용중 교량 계측
- ② 계측결과의 해석적 분석을 위한 모델링 개발
- ③ 주요 변수(교량연장, 사각 등)의 민감도 분석
- ④ 교량 연장 및 사각별 매개변수 해석
- ⑤ 말뚝 허용응력을 만족하는 한계연장 산정

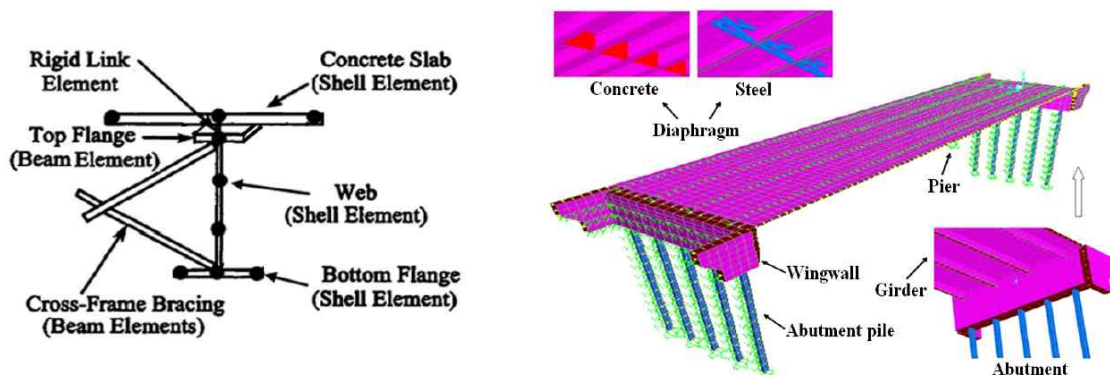


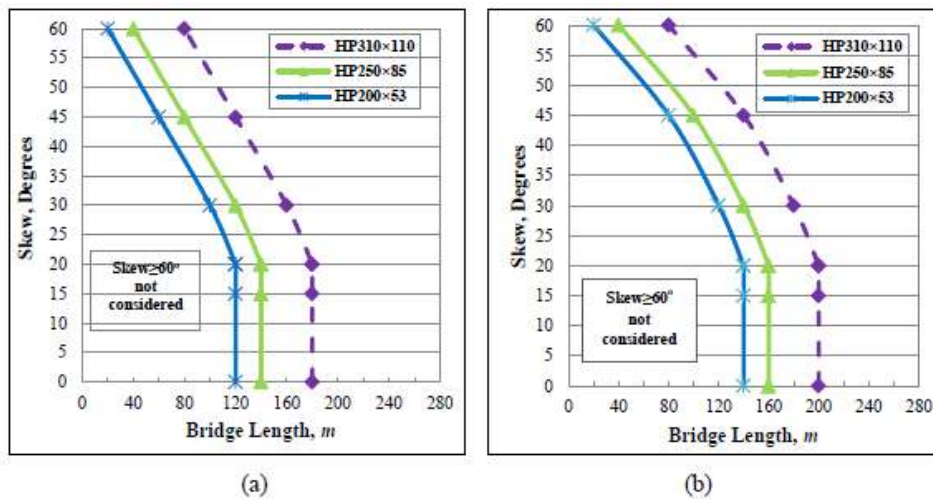
그림 2.5 해석적 분석을 위한 모델링

표 2.4 민감도 분석을 위한 주요인자

Variables	Range of variables	
	Number of cases	Description
Pile size	3	HP 200×53, HP 250×85 and HP 310×110
Pile Orientation	4	Strong axis (Local and global axis), Weak axis (Local and global axis)
Skew angle	5	15°, 20°, 30°, 45°, 60°
Abutment height	2	3, 5 m
Abutment thickness	3	1, 1.25, 1.5 m
Bridge total length	3	20, 100, 180 m
Girder type	5	Steel box girder, Steel I-girder, Concrete box girder, Concrete I-girder, Deck slab
Girder depth	3	CPCI 900, CPCI 1500, CPCI 2300
Abutment-pile connection	2	Fixed, Hinged
Soil stiffness	4	Soft clay, Stiff clay, Loose sand, Dense sand
Wingwall orientation	3	Perpendicular, Parallel, 45° to traffic
Wingwall length	3	3, 4, 5 m
Number of design lanes	8	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8
Number of bracings or diaphragms	4	0, 1, 2, 3

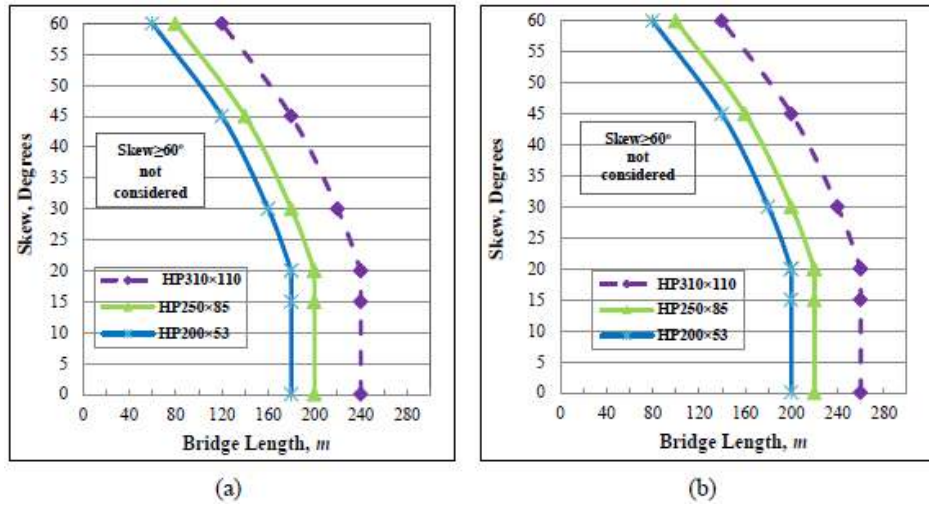
2) 연구결과

해석적 접근을 통한 교량 연장 및 사각에 대한 연구결과는 다음과 같다.



((a) 교대높이=3m, (b) 교대높이=5m인 경우)

그림 2.6 강교의 한계연장 및 사각



((a) 교대높이=3m, (b) 교대높이=5m인 경우)

그림 2.7 콘크리트교의 연장한계 및 사각

이 연구에서는 말뚝기초와 기초교대의 연결부를 고정 및 힌지로 구분하여 연장한계를 표현하였으나 국내 기준은 고정(강결합)을 원칙으로 하므로 여기서는 고정 경계조건을 가진 연장한계를 수록한다. 그림 2.6과 2.7에 따르면 강교는 200m, 콘크리트교는 260m 까지 가능함을 나타내고 있다.

2.2 국내외 설계지침

국내의 경우에는 일체식 교량 설계지침을 통하여 콘크리트교의 경우 120m, 강교의 경우 90m로 제한하고 있다. 해외의 경우에는 최근 300m까지 제한되는 곳도 있으며 미국의 경우 대부분 국내의 연장을 상회한다.

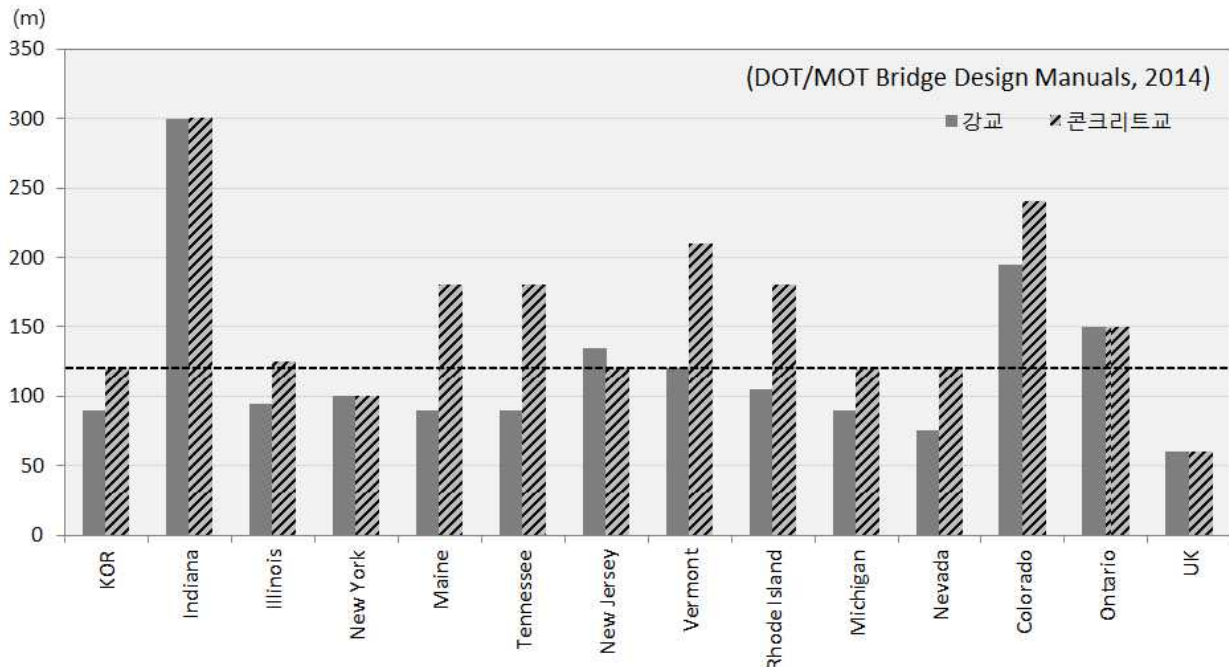


그림 2.8 국내외 연장한계 기준 비교

해외기준에 따르면 국내의 연장한계가 보수적인 편으로 나타나며 국내의 설계 및 시공기술 수준이 해외에 비해 낮지 않은 것을 감안할 때 충분히 일체식 교량의 성능향상을 통한 적용 확대가 가능할 것으로 판단된다. 이 절에서는 국내 및 해외의 일체식 교량의 설계지침에 대하여 요약한다.

2.2.1 국내 일체식 교량 설계지침

일체식 교량(무조인트 교량) 설계지침은 2010년 한국도로공사 도로교통연구원에서 시행한 “강박스 거더를 이용한 반일체식 교대교량의 실용화 연구”에서 기존에 시공된 일체식 교량의 경험 및 해외자료 조사 등을 통해 제안된 것이며, 이에 대한 내용을 요약하면 다음과 같다.

1) 적용조건

- ① 교량연장은 콘크리트교 120m 이하, 강교 90m 이하로 한다.
- ② 교량사각은 최대 30° 를 적용한다.
- ③ 곡률을 갖는 도로에 교량을 설치할 경우 거더는 직선으로 배치하여야 하며, 교각은 5° 이하이어야 한다. 종단 경사 구배가 5%를 초과하는 경우 설치를 피하여야 한다.

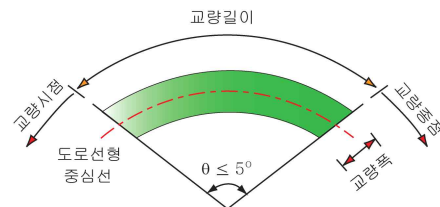


그림 2.9 교량 시종점이 이루는 교각

2) 교량계획

- ① 일체식 교량은 교대배면에 걸리는 토압 저감과 말뚝 거동을 용이하게 하기 위하여 높이가 낮은 교대부(소교대 또는 벽체교대)를 사용하는 것이 구조적 안정성과 경제성에 유리하므로 교대부 전면에 앞성토를 고려하여야 한다.
- ② 교대는 말뚝과 연결되는 기초교대, 상부구조의 신축과 교대배면의 뒤편 토압을 받는 벽체교대로 구성되며 분리하여 시공한다.
- ③ 온도변화에 의한 상부구조의 수평변위 및 회전을 조절하기 위하여 말뚝의 종류는 H형강, 원형강관 및 PC말뚝 등을 사용할 수 있다. 말뚝은 수평변위에 대한 유연성이 확보되도록 일렬로 배치하며 최소 길이는 6m 이상으로 한다.

3) 교대 뒤편 채움 계획 및 시공

- ① 교대 배면 뒤편 채움은 성토부 및 절토부에 형성되는 교량의 토공계획에 따라 일반 뒤편 채움과 무다짐 뒤편 채움으로 구간을 분할하고, 지침에서 정하는 자갈류의 채움재료(SB-3)를 사용한다.

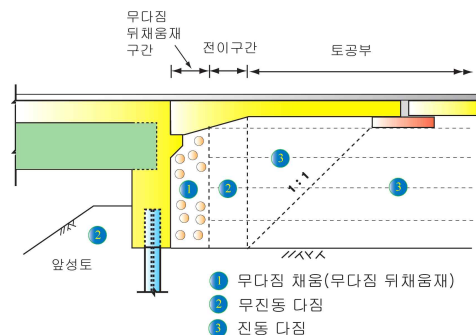


그림 2.10 일체식 교량의 뒤편 채움

4) 신축조절부

- ① 교량계의 변위량을 계산하여 적절한 신축조절장치를 선택한다. 이때 조절장치는 설치간편하고 유지관리가 용이한 형태를 사용하는 동시에 온도신축 이동량을 충분히 수용할 수 있어야 한다.

일체식 교량 설계지침에서는 적용조건 및 교량계획에 대한 내용 외에 추가적으로 설계시 세부사항을 다음과 같이 제시하고 있다.

1) 하부구조(교대부)

- ① 기초교대(cap beam)는 일렬 말뚝기초로 받쳐진 연속보로 하며, 기초교대는 자중과 상부거더의 고정하중 반력에 의해 안전하여야 한다.

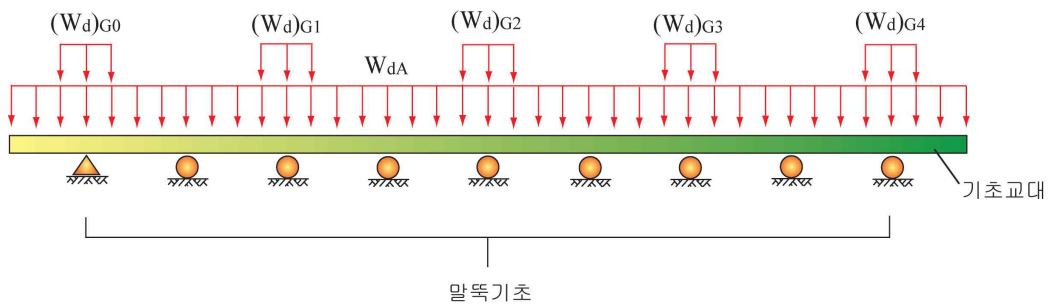


그림 2.11 기초교대의 모델링

- ② 벽체교대는 상부거더로 지지된 연속보로 하며, 배면토압, 온도하중에 의한 수동토압, 2차 고정하중 및 상재활하중 등에 의해 안전하여야 한다.

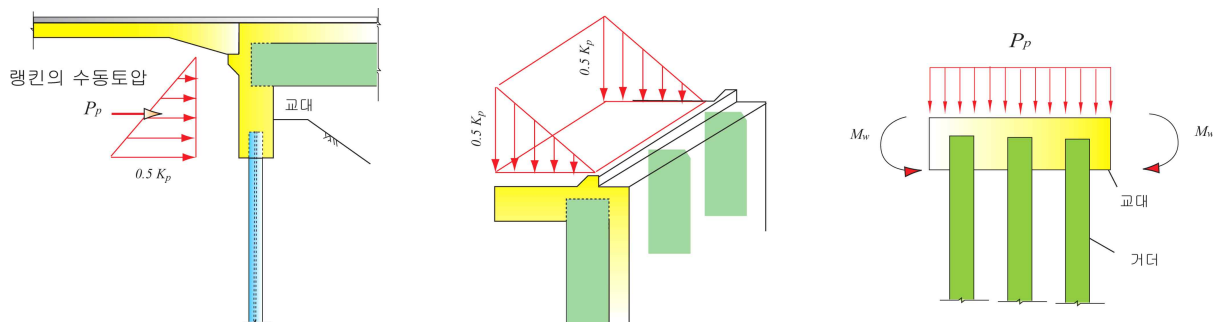


그림 2.12 벽체교대의 모델링

2) 말뚝기초

- ① 온도신축에 따른 교대변위로 말뚝에 발생하는 저항력이 최소화 되도록 말뚝단면의 축선을 일치시켜 일렬로 배열하는 것이 좋다.
- ② 완전일체식 교량의 말뚝길이는 유연한 거동을 위해 최소 6m로 한다. H말뚝을 항타 시공시 플랜지 양쪽 사이의 함몰공간에 모래를 무다짐 하여 충전한다. 함몰공간이 생기지 않는 경우 기초교대 하면으로부터 깊이 1.5~3.0m 구간은 말뚝지름보다 큰 사전천공 구간을 설치하여야 한다.

2.2.2 국외 일체식 교량 설계지침

연장한계 등 설계지침 세부 내용은 미국이 가장 다양하며, 영국, 캐나다, 호주, 중국 등은 지침에서 제한을 두지 않거나, 소극적인 연장한계를 권고하고 있다. 일본의 경우는 지진에 대한 내진성능의 매커니즘이 확실하게 분석되지 않고, 사회의 통념적인 관행으로 잘 사용되지 않고 있었다. 중국의 경우는 이미 적용은 하고 있었으나, 일체식 교량에 대한 설계지침은 별도로 제안하지 않고 있다. 조사된 해외기준은 미국, 캐나다, 영국이며 연장한계, 사각 등 일체식 교량과 관련된 내용을 표 2.5와 같이 요약하였다. 반일체식 교량에 대한 관련지침은 대부분 제시하고 있지 않다. 하지만 적용사례의 다양함을 미루어 볼 때, 설계상으로 만족할 때 일반 교량과 같이 적용하는 것으로 판단되며 적용현황을 표 2.6에 나타내었다.

표 2.5 해외 일체식 교량 제한기준

주	연장 (m)			사각 (°)		기초	
	구분	개정전	2014	개정전	2014	개정전	2014
Indiana	강교	75	150(300)*	30	30	H말뚝, 강관말뚝	H말뚝, 강관말뚝
	콘크리트교	90	150(300)*				
New York	강교	120	100	45	45	H말뚝, C.I.P말뚝	H말뚝, C.I.P말뚝
	콘크리트교	120	100				
Tennessee/ South Dakota/ Missouri	강교	-	90	-		-	
	콘크리트교	-	180				
Vermont	강교	-	120	-	20	-	H말뚝
	콘크리트교	-	210				
Colorado	강교	-	195	-	-	-	-
	콘크리트교	-	240				
Ontario	강교	100	150	20	35	H말뚝	H말뚝
	콘크리트교	100	150				
Alberta	일체식	-	-	-	20	-	H말뚝
UK	일체식	-	60	-	30	-	-

* 300m는 H말뚝 사용시 가능

상부구조 형식별 제한연장	·H말뚝만 사용할 경우 300m 사용 가능 ·H말뚝과 강관말뚝을 사용할 경우, 150m 이하는 지진해석을 필요하지 않음, 150m 이상은 Elastic dynamic analysis를 사용하여 설계		
사각 및 평면선형 제약조건	·교축직각방향에서 사각 30° 이하		
온도 및 이동량	·언급 없음		
접속슬래브	·철근 콘크리트 접속슬래브 필요 ·접속슬래브와 지반 사이에 2장의 6mm짜리 PE Sheet 설치 ·접속슬래브와 교대를 에폭시 코팅 철근(D16)으로 결합		
뒤채움	·포설 뒤채움 ·배수를 위해 교대 뒤부분에 15cm 유공관 설치		
기 초(IAB)	·교대부 기초는 H말뚝과 강관말뚝(Shell)만 허용		
	·최소 말뚝 길이		
	Pile Size	Minimum Length, (m)	
		Clay	sand
	HP 10	9.0	7.5
	HP 12	10.5	7.5
	HP 14	12.0	9.0
CFT 14	15.0	10.5	
교 대	·교대 폭은 80cm 이상 ·말뚝은 교대에 60cm이상 매입되어야 함. ·거더는 교대 일체부에 55cm이상 매입		
교대부 설치 받침	·언급 없음		

(a) 인디애나주(Indiana Design Manual, 2013)

상부구조 형식별 제한연장	·강구조물 : 95m ·콘크리트 구조물 : 125m ·제한조건 보다 긴 교량은 온도하중을 고려한 해석을 수행 하여 설계하여야 함.
사각 및 평면선형 제약조건	·교축직각방향에서 사각 30° 이하 ·법선배치를 원칙으로 한다 (곡선 거더는 허용하지 않음) ·교대와 교각은 평행 배치
온도 및 이동량	·언급 없음
접속슬래브	·언급 없음
뒤채움	·교대 뒤채움은 배수가 좋고 다짐이 잘 되는(compact)뒤채움 재료를 사용함.
기 초(IAB)	·연장 27m까지 강관말뚝(0.3~0.35m)사용 ·연장 27~60m까지 H말뚝과 강관말뚝(0.35m) 허용 ·연장 60m~125m까지 H말뚝 허용 ·Semi-IAB에 대해서는 기초형식의 제한 없음
교 대	·교대의 날개벽 형상은 평행식을 적용함
교대부 설치 받침	·Steel beam을 사용하는 경우에는 납받침(lead plate)이 설치되고, 교대 cap부에 bolt로 연결된다

(b) 일리노이즈주 (Illinois Bridge Manual, 2012)

상부구조 형식별 제한연장	·강구조물: 90m ·콘크리트 구조물 : 150m (cast-in-place) 180m (PSC)
사각 및 평면선형 제약조건	·교축직각방향에서 20° 이하 ·곡선 거더를 사용하지 않을 경우 curved 교량 허용 ·거더는 서로 평행하여야 한다. ·모든 슬래브는 서로 평행. ·양쪽 교대 사이의 종단경사는 5%로 제한
온도 및 이동량	·연급 없음
접속슬래브	·연장 25m를 초과하는 강구조물과 42m를 초과하는 콘크리트 구조물에 설치 ·접속슬래브와 지반 사이에 2장의 4-6mm짜리 PE Sheet 설치
뒤채움	·무다짐 뒤채움재 사용 ·지오텍스타일 설치 ·적당한 배수 시설 필요
기 초(IAB)	·H말뚝 10*42, 12*53, 14*73, 14*89 ·말뚝은 교대에 0.3~1.5m 이상 매입되어야 함. ·교대 이동량이 12cm를 초과 할 경우 말뚝을 강축배열로 한다. ·교대 이동량이 12cm를 초과 할 경우 말뚝 윗부분을 3m 천공한 후 느슨한 모래로 채운다. ·반일체식 교대 교량에 대해서는 기초형식의 제한 없음.
교 대	·사각이 20° 이상일 경우 교대 높이는 3.5m이하하여야 함.
교대부 설치 받침	·연급 없음
비 고	· Tennessee, South Dakote, Missouri 와 몇몇 주들은 강구조물(90m), 콘크리트 구조물(180m) 기준을 사용하고 있음.

(c) 메인주 (Maine Structures manual, 2014)

상부구조 형식별 제한연장	·완전일체식 교대 교량 : 100m ·반일체식 교대 교량 : 140m
사각 및 평면선형 제약조건	·일체식 교대 교량 : 사각 $\leq 45^\circ$ ·반일체식 교대 교량 : 사각 $\leq 30^\circ$ ·직선 거더만 가능, 각 빔은 평행하게 배치 ·양쪽교대는 평행하게 배치 ·종단구배는 2.5%이하
온도 및 이동량	·연급 없음
접속슬래브	·연장 30m 이상 설치 ·접속슬래브 교대 벽체 배면에는 균열제어를 위해 시공이음을 뚫
뒤채움	·지오텍스타일과 15cm유공관 설치
기 초(IAB)	·말뚝은 1열 배치, 교축방향으로 약축배열 ·연장이 30m 이상일 경우 말뚝 윗부분 2.4m는 천공한 후 모래로 채움 ·모든 말뚝은 최소 6m 이상 삽입 ·C.I.P말뚝과 H말뚝은 50m 이하 사용 ·50m 이상은 H말뚝 사용 ·반일체식 교대 교량에 대해서는 기초형식의 제한 없음
교 대	·In-line wingwall 추천 ·Flared wall은 상황에 따라 적용 ·U-wall type은 일반적으로 적용하지 못함
교대부 설치 받침	·50m 이하인 교량에 대해서는 접속슬래브 끝단에 신축조절장치가 필요없음 ·50m 이상인 경우 신축조절장치가 필요

(d) 뉴욕주 (NYSDOT Bridge Manual, 2011)

상부구조 형식별 제한연장	·완전일체식 교대 교량 : 135m ·반일체식 교대 교량 : 120m
사각 및 평면선형 제약조건	·일체식 교대 교량 : 사각 $\leq 30^\circ$ ·반일체식 교대 교량 : 사각 $\leq 30^\circ$ ·직선 거더만 가능, 각 빔은 평행하게 배치 ·중단구배는 5% 이하
온도 및 이동량	·언급 없음
접속슬래브	·연장 45m 이상 설치 ·접속슬래브와 지반 사이에 2장의 4mm짜리 PE Sheet 설치 ·교대와 평행하게 설치
뒤채움	·언급 없음
기 초(IAB)	·말뚝은 1열 배치, 교축방향으로 약축배열 ·연장이 30m 이상일 경우 말뚝 윗부분 2.4m는 천공한 후 모래로 채움 ·C.I.P말뚝과 H말뚝은 45m 이하 사용 ·45m 이상은 H말뚝 사용 ·모든 말뚝은 최소 4.5m 이상 삽입 ·반일체식 교대 교량에 대해서는 기초형식의 제한 없음
교 대	·In-line wingwall 은 3.6m 이상 설치 ·Flared wall은 상황에 따라 적용 ·U-wall 3.0m이상 설치
교대부 설치 받침	·언급 없음

(e) 뉴저지주 (Design Manual Bridges and Structures, 5th Edition, 2010)

상부구조 형식별 제한연장	·강구조물 : 119m ·콘크리트 구조물 : 210m이하 ·1경간 : 44m이하
사각 및 평면선형 제약조건	·교축직각방향에서 사각 20° 이하 ·곡선 거더를 사용하지 않을 경우 curved 교량 허용 ·중단구배는 5% 이하
온도 및 이동량	·언급 없음
접속슬래브	·언급 없음
뒤채움	·교대 뒤채움은 배수가 좋고 다짐이 잘 되는(compacted) 뒤채움 재료를 사용함.
기 초(IAB)	·말뚝은 1열 배치, 교축방향으로 약축배열 ·H말뚝만 사용 (플랜지 254mm 이상) ·말뚝은 5m 이상 삽입
교 대	·교대높이 : 4m 이하 ·교대와 교각은 평행 ·In-line wingwall, Flared wal, U-wall type사용 ·날개벽 길이: 3m 이하
교대부 설치 받침	·언급 없음

(f) 버몬트주 (Integral Abutment Bridge Design Guidelines, 2008)

상부구조 형식별 제한연장	·강교 : 105m ·콘크리트교 : 180m
사각 및 평면선형 제약조건	·30° ·종단구배는 5% 이하 ·곡선 거더를 사용하지 않을 경우 curved 교량 허용
온도 및 이동량	·언급 없음
접속슬래브	·언급 없음
뒤채움	·배수를 위해 7.5cm 유공관 설치
기 초(IAB)	·말뚝은 1열 배치, 교축방향으로 약축배열 ·말뚝은 교대에 0.6m 이상 매입되어야 함. ·경간이 10m 이상의 말뚝은 말뚝 길이보다 3m 정도 사전천공 후 자갈(Pes stone)를 채우고 설치.
교 대	·날개벽 : Flared wing wall사용
교대부 설치 받침	·경간 10m 이하의 교량은 Contraction 조인트 설치 ·경간 30m 이하의 교량은 Expansion 조인트 설치

(g) 로드아일랜드주 (LRFD Bridge Design Manual, 2007)

상부구조 형식별 제한연장	·강교 : 90m ·콘크리트교 : 120m
사각 및 평면선형 제약조건	·30°
온도 및 이동량	·언급 없음
접속슬래브	·교량 연장이 30m이하일 경우 설치 ·연장: 6.1m이하 ·두께: 최소 0.23m ·접속슬래브와 상부슬래브를 보강철근으로 연결
뒤채움	·언급 없음
기 초(IAB)	·말뚝은 교대에 0.775m이상 매입되어야 함. ·말뚝은 1열 배치, 교축방향으로 약축배열
교 대	·교대 높이 : 1.2m~3.6m ·교대벽체 두께 : 0.6m 이상 ·return 날개벽은 사용하지 않음. ·교대와 날개벽은 에폭시 코팅 철근(D19)으로 결합
교대부 설치 받침	·언급 없음

(h) 미시간주 (Bridge Design Manual, 1999)

상부구조 형식별 제한연장	일체식		반일체식
	구분	0°	30°
	강교	90m	45m
	콘크리트교	150m	75m
	·1경간: 48m이하		
사각 및 평면선형 제약조건	·교축직각방향에서 사각 30° 이하		
온도 및 이동량	·언급 없음		
접속슬래브	·언급 없음		
뒤채움	·Expanded Polystyrene (EPS)사용		
기 초(IAB)	·말뚝은 1열 배치, 교축방향으로 약축배열		
교 대	·교대높이 : 5m이하 ·날개벽 길이 : Straight wing - 1.8m 이하 U-wing - 2.4m 이하		
교대부 설치 받침	·언급 없음		

(i) 버지니아주 (DESIGN AIDS AND TYPICAL DETAILS, 2010)

상부구조 형식별 제한연장	·Steel I-beam, PSC beam, Box beam, NEXT beam, con'c slab 만 사용가능
사각 및 평면선형 제약조건	·언급 없음
온도 및 이동량	·언급 없음
접속슬래브	·언급 없음
뒤채움	·언급 없음
기 초(IAB)	·HP10×57, HP12×84만 사용 ·말뚝은 교대에 0.6m이상 매입되어야 함. ·모든 말뚝은 최소 3m이상 삽입
교 대	·언급 없음
교대부 설치 받침	·언급 없음

(j) 메사추세츠주 (LRFD Bridge Manual, 2013)

상부구조 형식별 제한연장	· $90m \leq 20^\circ$, $30m \leq 45^\circ$
사각 및 평면선형 제약조건	·직선 거더만 가능, 각 빔은 평행하게 배치
온도 및 이동량	·언급 없음
접속슬래브	·언급 없음
뒤채움	·언급 없음
기 초(IAB)	·말뚝은 교대에 0.6~2m이상 매입되어야 함. ·모든 말뚝은 최소 3m이상 삽입 ·말뚝은 1열 배치, 교축방향으로 약축배열
교 대	·날개벽 : 4.2m이하
교대부 설치 받침	·언급 없음

(k) 미네소타주 (LRFD Bridge Design, 2007)

상부구조 형식별 제한연장	·언급 없음
사각 및 평면선형 제약조건	·언급 없음
온도 및 이동량	·언급 없음
접속슬래브	·전폭 접속슬래브로 설계
뒤채움	·언급 없음
기 초(IAB)	·말뚝은 1열 배치, 교축방향으로 약축배열
교 대	·교대 최대 높이는 2.4m ·날개벽 : U-Type wingwall 사용
교대부 설치 받침	·언급 없음

(l) 코네티컷주 (Bridge Design Manual, 2011)

상부구조 형식별 제한연장	·강교 : footing-76m, Pile-45m ·콘크리트교 : footing-120m, Pile-76m
사각 및 평면선형 제약조건	·footing : 30° , Pile : 20° ·곡률 : 10°
온도 및 이동량	·언급 없음
접속슬래브	·언급 없음
뒤채움	·언급 없음
기 초(IAB)	·언급 없음
교 대	·언급 없음
교대부 설치 받침	·언급 없음

(m) 네바다주 (Structures manual, 2008)

상부구조 형식별 제한연장	·강교 : 195m ·콘크리트교 : 240m
사각 및 평면선형 제약조건	·언급 없음
온도 및 이동량	·온도 변화 범위 강교 : 45℃ 콘크리트교 : 40℃
접속슬래브	·철근 콘크리트 접속슬래브 필요 ·75m 이상의 연장에 설치
뒤채움	·언급 없음
기 초(IAB)	·언급 없음
교 대	·언급 없음
교대부 설치 받침	·언급 없음

(n) 콜로라도주 (CDOT_Bridge_Design_Manual, 2012)

상부구조 형식별 제한연장	·언급 없음
사각 및 평면선형 제약조건	·교축직각방향에서 사각 30° 이하 ·곡률반경(R) : 360m 이상 ·곡선 거더를 사용하지 않을 경우 curved 교량 허용
온도 및 이동량	·언급 없음
접속슬래브	·언급 없음 ·접속슬래브와 벽체교대사이 2장의 본드 브레이커 설치
뒤채움	·무다짐 뒤채움재 사용 ·날개벽을 통과하는 7.5cm 유공관 설치
기 초(IAB)	·말뚝은 1열 배치, 교축방향으로 약축배열 ·H말뚝, 강관말뚝 사용
교 대	·가능하면 U-shaped 교대 사용 ·교대 폭 : 0.75m 이상
교대부 설치 받침	·언급 없음

(o) 오리건주 (Bridge Design and Drafting Manual, 2014)

상부구조 형식별 제한연장	·지난 10~15년 : 50~70m 적용 ·현재 : 95%가 100m 이하 적용
사각 및 평면선형 제약조건	·교축직각방향에서 사각 20° 이하 ·반일체식은 20° 이상 가능
온도 및 이동량	·언급 없음
접속슬래브	·날개벽 보다 0.5m 더 길게 설치
뒤채움	·교대 뒤채움은 배수가 좋고 다짐이 잘 되는(compacted) 뒤채움 재료를 사용함.
기 초(IAB)	·말뚝은 1열 배치, 교축방향으로 약축배열 ·H말뚝만 사용
교 대	·교대높이 : 1.2m 이하 ·날개벽 : 8m 이하
교대부 설치 받침	·언급 없음
비 고	·CCJ가 날개벽 뒤에 설치

(p) 앨버타주 (Canada, Guidelines for Design of Integral Abutment, 2007)

상부구조 형식별 제한연장	·총연장 150m이하 ·상부형식 - Steel girders with concrete deck - CPCI girders with concrete deck - Prestressed box girders with concrete deck
사각 및 평면선형 제약조건	·교축직각방향에서 사각 35° 이하 ·종단구배는 5%이하
온도 및 이동량	·언급 없음
접속슬래브	·언급 없음
뒤채움	·쇄석 사용 ·150mm 유공관 설치
기 초(IAB)	·연장이 50m 이상인 교량에서 H말뚝의 약축이 교축방향과 평행이 되도록 설치 ·연장이 100m 이상인 교량에서 H말뚝의 약축이 교축직각방향과 평행이 되도록 설치 ·말뚝은 1열 배치 ·말뚝은 교대에 600mm 이상 매입되어야 함. ·모든 말뚝은 최소 5m 이상 삼입 ·단단한 지반일 경우에는 교대저면에서 최소 3m 선굴착한 후 느슨한 모래로 채움.
교 대	·교대높이 : 6m이하 ·날개벽 : 7m 이하
교대부 설치 받침	·얇은 고무판 사용

(q) 온타리오주 (Canada, Integral Abutment Bridges Manual, 1996)

상부구조 형식별 제한연장	·60m
사각 및 평면선형 제약조건	·교축직각방향에서 사각 30° 이하
온도 및 이동량	·언급 없음
접속슬래브	·상황에 따라 적용
뒤채움	·교대 뒤채움은 배수가 좋고 다짐이 잘 되는(compacted) 뒤채움 재료를 사용한다.
기 초(IAB)	·기초형식제한 없음.
교 대	·Embedded abutment, End screen abutment 사용
교대부 설치 받침	·언급 없음

(r) 영국 (Design Manual for Roads And Bridges, 2003)

표 2.6 일체식 교량 적용현황(미국)

PRESTRESSED CONCRETE GIRDERS	RANGE	STEEL GIRDERS	RANGE
MAXIMUM SPAN		MAXIMUM SPAN	
Full Integral	60 – 200	Full Integral	65 - 300
Semi Integral	90 – 200	Semi Integral	65 - 200
Deck extensions	90 – 200	Deck extensions	80 - 200
Integral Piers	120 – 200	Integral Piers	100 - 300
TOTAL LENGTH		TOTAL LENGTH	
Full Integral	150 – 1175	Full Integral	150 - 650
Semi Integral	90 – 3280	Semi Integral	90 - 500
Deck extensions	200 – 750	Deck extensions	200 - 450
Integral Piers	300 – 400	Integral Piers	150 - 1000
MAXIMUM SKEW		MAXIMUM SKEW	
Full Integral	15 – 70	Full Integral	15 - 70
Semi Integral	20 – 45	Semi Integral	30 - 40
Deck extensions	20 – 45	Deck extensions	20 - 45
Integral Piers	15 – 80	Integral Piers	15-No Limit
MAXIMUM CURVATURE		MAXIMUM CURVATURE	
Full Integral	0 – 10	Full Integral	0 - 10
Semi Integral	0 – 10	Semi Integral	0 - 10
Deck extensions	0 – 10	Deck extensions	0 - 10
Integral Piers	3 - No Limit	Integral Piers	0 - No Limit

표 2.6에 따르면 완전일체식(Full Integral) 교량은 45~350m(150~1175ft), 반일체식(Semi Integral) 교량은 27~1000m(90~3280ft)의 총 연장 분포(TOTAL LENGTH)를 나타내고 있다. 국내에서 현재 사용되고 있는 최대 교량 연장에 비해 3~4배에 차이를 보이고 있으며 이와 같은 해외 추세에 따라 국내 일체식 교량도 성능향상이 가능할 것으로 판단된다.

2.3 일체식 교량의 유한요소해석 검증

이 절에서는 일체식 교량의 거동을 평가하고 매개변수 해석을 위한 모델링을 검증하기 위해 공용중인 교량의 계측자료와 해석결과를 비교 검토하였다.

2.3.1 일체식 교량의 유한요소 해석

2.3.1.1 평촌1교

1) 대상교량의 모형화

대상교량의 구조해석은 일반적인 구조해석에 널리 사용되어 정확성과 적용성이 검증된 범용 유한요소해석 프로그램인 MIDAS Civil 2012를 사용하였다. 그림 2.13과 같이 PSC 거더 및 H말뚝은 Frame요소로, 상부슬래브 및 벽체교대는 Plate요소로 모형화하였다. 슬래브, PSC거더, 가로보, 벽체교대 및 말뚝은 완공도서대로 각각의 두께를 입력하여 모형화 하였다. 말뚝기초는 교량의 종방향 연성거동을 확보하기 위해 주로 H형강을 사용하며 그 배치는 약축배열을 하게 된다.

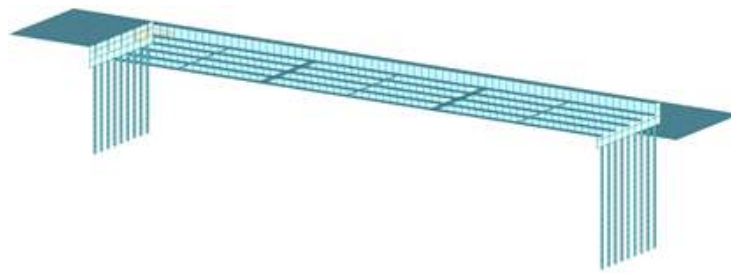


그림 2.13 모형화된 평촌1교

표 2.7 구조해석 모형(평촌1교)의 재료특성

물성치 구분	요소	단위중량 (kN/m ³)	탄성계수 (MPa)	프아송비	열팽창 계수	재료
슬래브 및 가로보	Plate	25.0	28693.0	0.167	1.0×10^{-5}	$f_{ck} = 27.0 \text{ MPa}$
거더	Frame	25.0	31879.0	0.167	1.0×10^{-5}	$f_{ck} = 40.0 \text{ MPa}$
벽체교대	Plate	25.0	28693.0	0.167	1.0×10^{-5}	$f_{ck} = 27.0 \text{ MPa}$
H말뚝	Frame	77.0	200000.0	0.300	1.2×10^{-5}	$f_y = 320.0 \text{ MPa}$

2) 하중조건

일체식 교량의 거동에 영향을 미치는 요인을 구조해석에 반영하기 위하여 일체식 교량에 하중으로 작용하는 요소인 온도변화와 온도변화에 따라 교대부에 작용하는 토압을 모형화 하였다. 본 연구에서는 일체식 교량의 구조해석을 위하여 각각의 영향요소를 다음과 같이 모형화 하였으며 이를 구조해석에 적용하였다.

① 온도변화

도로교 설계기준에서는 콘크리트교의 온도승강 기준은 가설시의 온도이지만 온도변화의 범위는 지방에 따라 다르므로 기후가 보통인 지방과 특히 한랭한 지방으로 나누어서 규정한다. 전자의 경우 -5°C 에서 $+35^{\circ}\text{C}$ 까지(최고 최저온도차 40°C), 후자의 경우 -15°C 에서 $+35^{\circ}\text{C}$ 까지(최고 최저온도차 50°C)로 규정되어 있다.

설계시에는 설계기준에서 제시하는 온도의 범위를 적용해야 하지만, 본 연구에서는 계측이 시작된 시점의 온도를 기준으로 상대적인 온도 차이를 온도변화의 범위로 하여 구조해석을 실시하였다.

표 2.8 가동받침의 이동량 산정시 온도변화 및 선폽창계수

교량 종류	온도변화		선폽창계수
	보통지방	한랭한 지방	
PSC교, RC교	$-5^{\circ}\text{C} \sim +35^{\circ}\text{C}$	$-15^{\circ}\text{C} \sim +35^{\circ}\text{C}$	1.0×10^{-5}
강교	$-10^{\circ}\text{C} \sim +40^{\circ}\text{C}$	$-20^{\circ}\text{C} \sim +40^{\circ}\text{C}$	1.2×10^{-5}

② 교대부에 작용하는 토압

일체식 교량은 무다짐 뒤채움을 하고, 완전일체식 교량의 경우 소교대를 말뚝기초가 직접 지지하게 되므로 주변의 지반이 구조물의 거동에 영향을 미치게 된다. 완전일체식 교량의 경우, 외기 온도에 따라 수축거동을 반복하여 말뚝기초의 연성거동 확보가 중요하므로 말뚝주변 지반의 영향을 무시할 수 없다.

현재 도로교설계기준에서는 지반을 모델링하는 방법으로 선형 스프링 강성을 갖도록 하고 있다. 반면에 외국문헌에 의하면 항복점을 갖는 비선형 지반스프링을 수치해석에 사용함을 알 수 있었다(그림 2.14). 이에 따라 지반 모델링은 그림 2.15와 같이 도로교설계기준 및 해외의 지반 모델링을 참고하여 적용하였으며 그 결과를 상호 비교하였다.

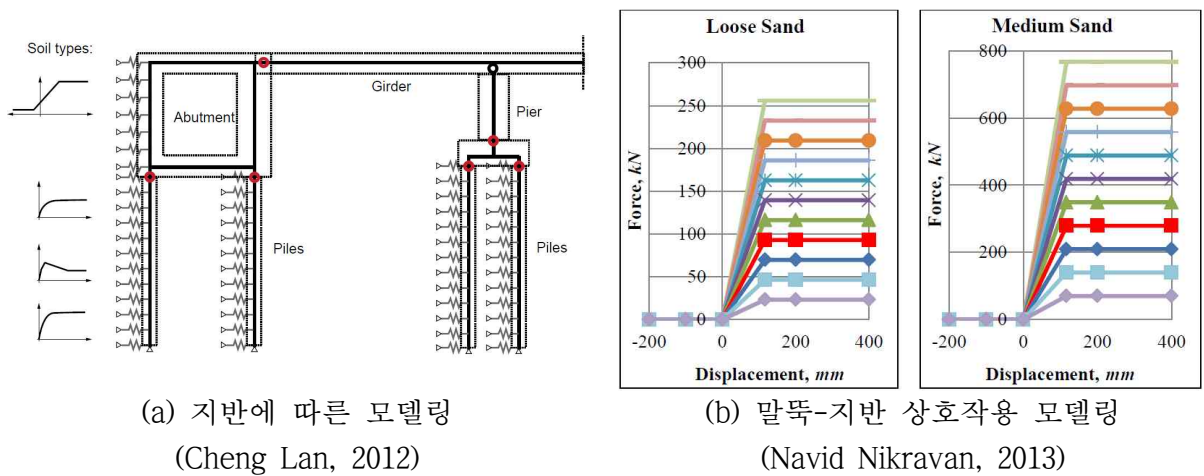


그림 2.14 비선형 지반 모델링 사례

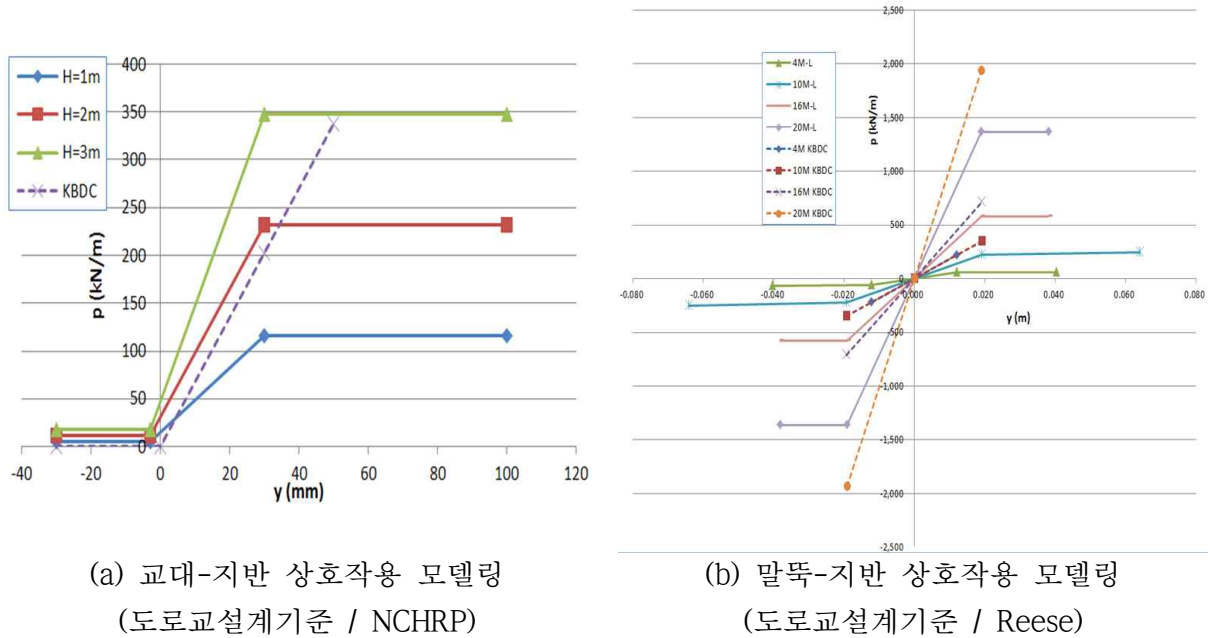


그림 2.15 수치해석에 사용된 지반 스프링

그림 2.15에서 도로교설계기준의 스프링 강성은 점선으로 표현되었고, 외국문헌에 의한 스프링 강성은 실선으로 나타내었다. 뒤편의 경우 도로교설계기준이 외국문헌에 중간정도에 위치하며, 말뚝 지반스프링의 경우 도로교설계기준이 약간 상향된 값을 나타내고 있다. 실선으로 표현된 외국문헌에 의한 값의 H는 계획고부터의 지반깊이를 나타내며 지반이 깊어질수록 스프링 강성은 점점 증가함을 알 수 있다.

2.3.1.2 동홍천 IC 육교

1) 대상교량의 모형화

본 연구에서는 반일체식 교량의 구조 특성상 상부구조와 벽체교대가 일체화 되어 있기 때문에 이를 정확하게 반영하기 위하여 그림 2.16와 같이 강박스거더는 Frame요소로, 상부슬래브 및 벽체교대는 Plate요소로 모형화하였다. 강박스거더의 상부판, 가로보 및 벽체교대는 완공도서대로 각각의 두께를 입력하여 모형화 하였다. 반일체식 교량은 상부구조와 벽체교대를 일체화시킨 구조로 독립된 기초에 교량받침과 무다짐 뒤채움재를 이용하여 교량의 온도신축에 의한 변위를 수용하고 있다.

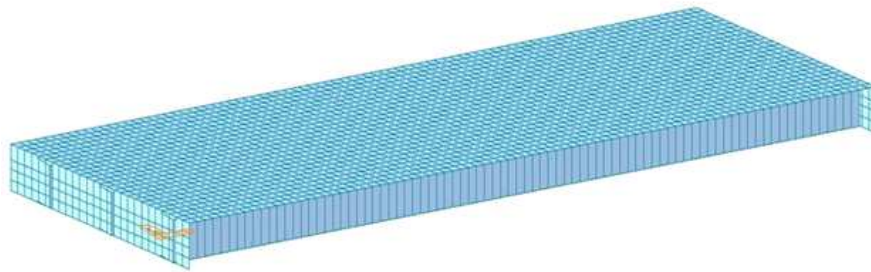


그림 2.16 모형화된 동홍천IC육교

표 2.9 구조해석 모형(동홍천IC육교)의 재료특성

물성치 구분	요소	단위중량 (kN/m ³)	탄성계수 (MPa)	프아송비	열팽창 계수	재료
슬래브	Plate	25.0	28693.0	0.167	1.0×10^{-5}	$f_{ck} = 27\text{MPa}$
거더 및 가로보	Frame	77.0	200000.0	0.3	1.2×10^{-5}	SM 490
벽체교대	Plate	25.0	27849.0	0.167	1.0×10^{-5}	$f_{ck} = 24\text{MPa}$

2) 하중조건

반일체식 교량의 거동에 영향을 미치는 요인을 구조해석에 반영하기 위하여 하중으로 작용하는 요소인 온도변화와 교대부에 작용하는 토압을 모형화 하였다.

① 온도변화

온도변화에 대한 내용은 평촌1교에 표현된 것과 동일하지만, 대상 교량은 강교이므로 선팅창계수가 다르다. 구조해석은 평촌1교와 동일하게 계측이 시작된 시점의 온도를 기준으로 상대적인 온도 차이를 온도변화의 범위로 하여 구조해석을 실시하였다.

② 교대부에 작용하는 토압

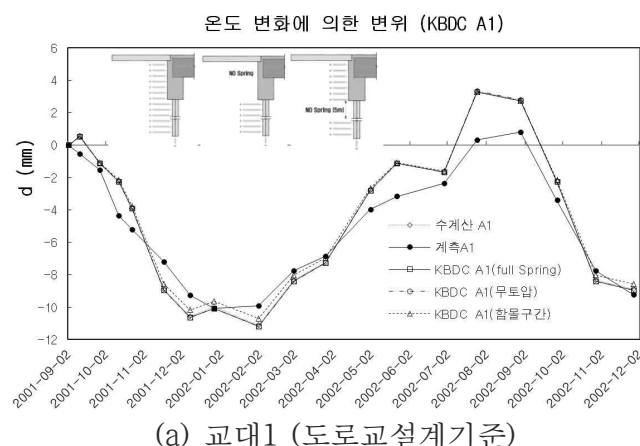
반일체식 교량의 특성상, 상부구조와 하부구조는 교량받침으로 분리되므로 벽체교대와 뒤채움 재료의 상호작용만 존재한다. 이에 따라 뒤채움의 스프링 모델은 평촌1교와 동일하게 적용하였고, 그 결과를 비교하였다(그림 2.15 (a)).

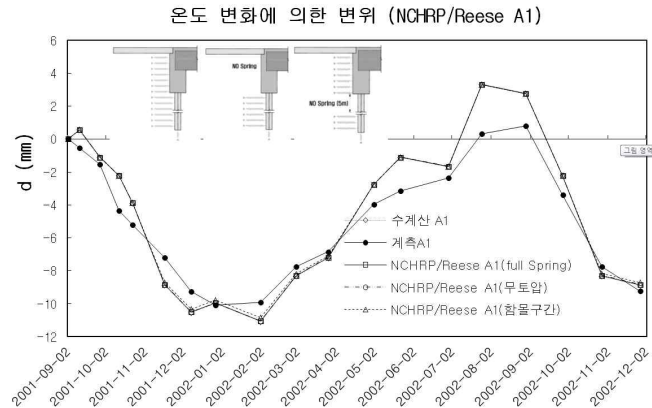
2.3.2 해석결과와 계측결과 비교

일체식 교량의 경우 대기의 온도변화에 따라 상부구조의 신축으로 유발되는 말뚝응력이 구조물의 연장한계를 결정하게 된다. 따라서, 구조물과 지반현황을 반영한 해석모델이 실제 계측된 자료와 동일한 거동을 하는지 확인함으로서 이번 연구에서 사용될 모델의 적정성을 가늠할 수 있게 된다. 또한 일체식 교량의 거동을 예측할 수 있을 것으로 판단된다. 다음은 완전일체식 교량인 평촌1교와 반일체식 교량인 동홍천IC육교에 대한 해석 결과와 계측자료를 비교한 내용이다.

2.3.2.1 평촌 1교

대상교량의 온도변화에 의한 변위를 확인하고자 완공시 온도 21℃를 기준으로 온도분포가 1℃ ~ 27℃에서의 변위분포를 계측결과와 토압과 온도변화가 작용한 경우의 구조해석결과를 비교하여 그림 2.17에 나타내었다.





(b) 교대1 (NCHRP)

그림 2.17 평촌1교 계측결과와 해석결과의 비교

전체적인 변위의 범위는 구조해석결과와 유사하게 나타나고 있음을 알 수 있다. 특히, 온도하강 시 수축변위량은 구조해석결과와 매우 유사하게 나타남을 알 수 있다. 또한, 뒤펀의 토압 및 말뚝 함몰구간을 고려한 해석을 비교한 결과, 온도변화와 토압이 모두 작용하는 구조해석결과에 비해 온도변화만 작용하고 토압은 작용하지 않는 구조해석결과를 비교하면 매우 미소한 변위차이가 있음을 알 수 있다. 이를 통하여 완전일체식 교량에 발생하는 변위는 벽체교대에 발생하는 토압으로 인한 구속효과가 매우 작은 것으로 판단된다.

해석값과 계측값의 차이는 여러 가지 이유로 발생할 수 있다. 대기의 온도가 변화함에 따라 해석값은 즉각적인 응답을 나타내지만 실제로 구조물의 경우 내부온도는 시간적인 차이를 두고 응답을 나타내므로 차이를 발생할 수 있다. 또한, 반복적인 상부구조의 종방향 거동으로 뒤펀 토사 및 말뚝구조의 지지강성의 변화도 구조물의 응답에 2차적인 영향을 미칠 것으로 사료된다. 그림 2.17에서 최대변위량은 유사하지만 다른 경향을 나타내는 값도 있는데 이는 시간적인 차이를 두고 발생하는 구조물의 응답에서 그 원인이 있을 것으로 판단된다.

최소 수축량은 계측 값에 비해 비안전측의 값을 나타내지만 설계기준의 온도 변화로 해석 시 안전측에 값을 나타낼 수 있다. 그러므로, 교량의 연장한계를 검토하기 위해 가장 중요한 최대변위는 매개변수 해석에 의한 연장한계 선정은 가능할 것으로 판단된다.

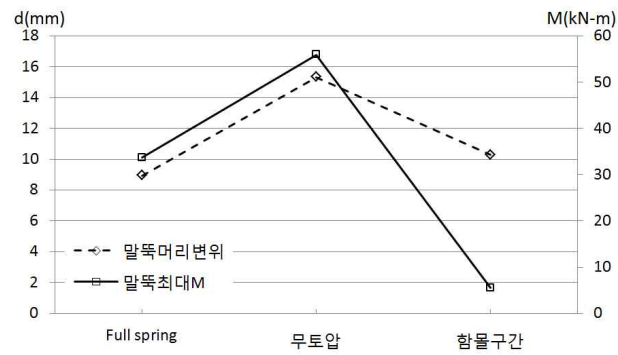


그림 2.18 경계조건 변화에 따른 말뚝응답 비교

그림 2.18에 따르면 뒤채움에 없는 경우의 변위 및 모멘트가 가장 크게 발생하고 있으며 말뚝 전체에 스프링을 고려한 경우가 그 다음으로 크게 발생하게 된다. 이것은 뒤채움이 제대로 역할을 못하게 되는 경우 말뚝에 예상하지 못한 변위 및 부재력을 발생시킬 수 있는 것을 의미한다. 말뚝 설치시 발생할 수 있는 함몰구간에 대한 경우는 전체 스프링의 경우에 대해 설계시 구조안전성을 확보하도록 수행하기 때문에 예상하지 못한 함몰구간이 발생하더라도 안전측의 값을 유도할 수 있을 것으로 판단된다.

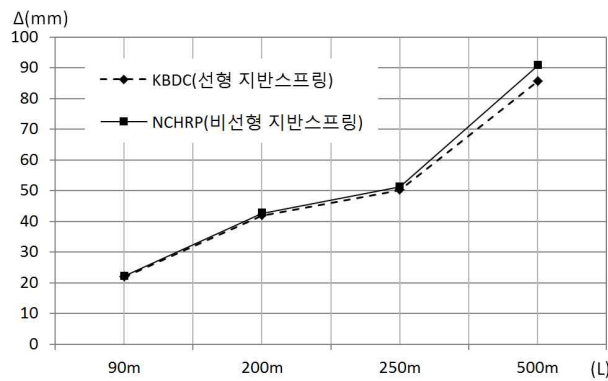


그림 2.19 지반 모델링 방법에 따른 변위 비교

그림 2.19에 따르면 해외 기준에 따른 비선형 지반모델링이 상부구조의 연장이 길어질수록 점차 선형 지반 모델링에 비해 증가함을 알 수 있다. 모델링에 고려된 비선형 스프링은 가장 단단한 지반을 기준으로 적용하였으므로 변위의 차이는 크지 않은 것으로 판단되며, 지반강성에 따라 그 차이가 커질 수 있으므로 매개변수 해석시 항복점이 고려된 비선형스프링을 사용하는 것이 적절할 것으로 판단된다.

2.3.2.2 동홍천IC육교

표 2.10에 따르면 전체적인 변위의 범위는 구조해석결과와 유사하게 나타나고 있음을 알 수 있다. 하지만 토압이 변위에 미치는 영향과 탄성받침의 변형으로 인한 구속효과를 확인하기 위하여 각각의 경우에 발생하는 변위를 확인하였다. 그 결과, 온도 변화와 토압이 모두 작용하는 구조해석결과와 온도 변화만 작용하고 토압은 작용하지 않는 결과를 비교하면 매우 미소한 변위차이가 있음을 알 수 있다. 이를 통하여 반일체식 교량에 발생하는 변위에 대해 벽체교대에 발생하는 토압에 의한 구속효과가 매우 작은 것으로 판단된다.

표 2.10 계측 변위와 온도변화와 토압을 고려한 구조해석 변위 비교

계 측 (mm)				도로교 설계기준 (mm)					무토압 (mm)					
온도	거더	교대		전체 변위	온도	거더	교대		전체 변위	온도	거더	교대		전체 변위
		A1	A2				A1	A2				A1	A2	
상승	G1	3.83	2.92	-	상승	G1	3.67	3.55	-	상승	G1	3.85	3.66	-
하강		-6.28	-2.89	-	하강		5.74	5.45	-	하강		5.86	5.58	-
계		10.11	5.81	15.92	계		9.42	9.00	18.42	계		9.71	9.24	18.95
상승	G3	3.26	3.42	-	상승	G3	3.55	3.67	-	상승	G3	3.66	3.85	-
하강		-4.98	-5.21	-	하강		5.45	5.74	-	하강		5.58	5.86	-
계		8.24	8.63	16.87	계		9.00	9.42	18.42	계		9.24	9.71	18.95

일반적인 온도변화에 대한 구조물의 열팽창공식에 따라 계산한 경우 온도가 상승할 때 양쪽 교대부에서 발생하는 변위는 온도변화와 토압을 모두 고려한 구조해석결과와 매우 유사한 범위를 나타내는 것으로 확인하였다.

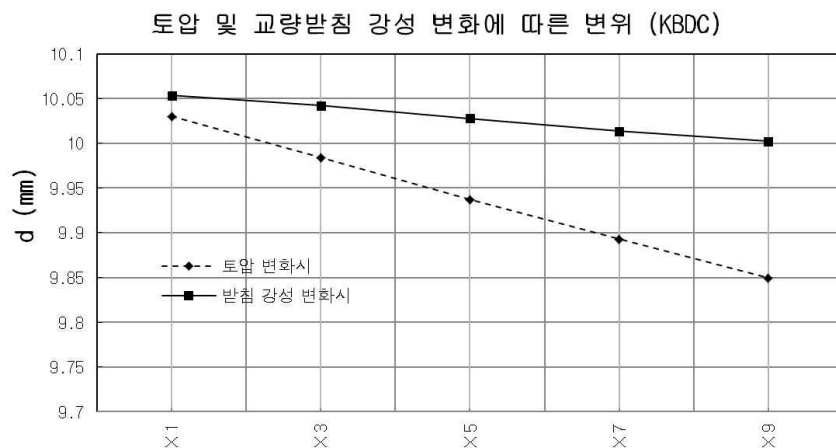


그림 2.20 토압 및 교량받침 강성 변화에 따른 변위

그림 2.20은 교대 뒤채움 스프링 강성과 교량받침 강성 변화시 온도에 따른 총 변위를 나타내었다. 각각 1~9배의 강성 변화를 주어 검토한 결과, 반일체식 교량의 경우 교량받침 강성에 의한 변화보다는 교대 뒤채움의 강성이 상부구조 발생 변위에 대해 더 지배적임을 알 수 있다. 하지만 두 가지 모두 크기는 매우 작다. 따라서 온도변화에 따른 상부구조의 발생 변위에 대해 교량 받침과 뒤채움 토사의 영향은 거의 없다고 볼 수 있다.

제 3 장 일체식 교량의 성능향상을 위한 매개변수 연구

3.1 개 요

이 장에서는 일체식 교량의 제한조건에 대한 매개변수 검토 및 수치해석을 수행하여 연장한계의 성능향상을 검토하고자 한다. 교량의 매개변수 해석은 총 3단계로 나누어서 수행하였다. 1단계는 말뚝 독립 모델링, 2단계는 전체 3D 모델링, 마지막 단계는 추가 조건의 영향을 검토하기 위한 모델링이다(그림 3.1).

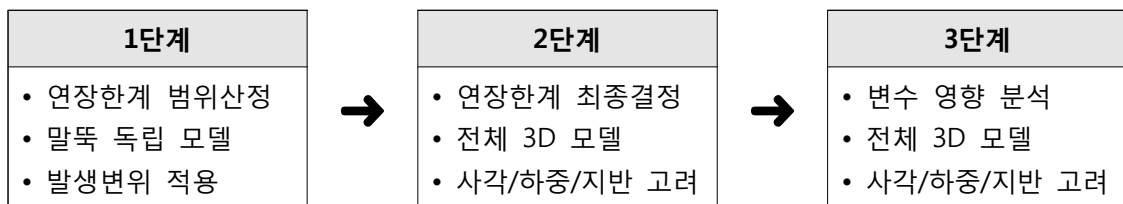


그림 3.1 해석단계

1단계는 해석범위를 합리적으로 설정하고자 함이 그 목적이다. 완전일체식 교량은 상부구조의 신축거동을 말뚝기초의 유연한 거동으로 대응하는 구조이다. 그림 3.2에 나타난 바와 같이 기초교대 속에 매입된 말뚝머리 보강부분과 말뚝상단(기초교대 아래의 말뚝부분)에 큰 응력이 발생하고 이 응력이 전체 구조물의 안전성을 지배하게 된다.

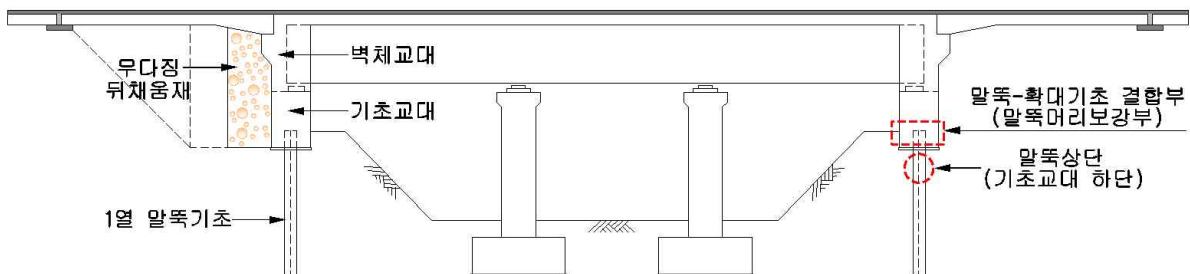


그림 3.2 완전일체식 교량의 주요 구성

이 부분의 안전성은 교량의 연장한계를 확보할 수 있는 주요 인자이다. 또한 완전일체식 교량의 연장한계별로 모든 변수를 고려하면 방대한 해석 양이 되기 때문에 1단계에서는 말뚝의 독립적인 모델에 교량연장에 따라 발생할 수 있는 변위를 재하하여 응력검토를 실시한다. 이 결과로부터 교량 연장별로 사용할 수 있는 말뚝형식을 선정하여 합리적으로 전체 모델링이 필요한 범위를 선정하고자 하였다.

2단계는 1단계에서 선정한 교량 연장별 적용 가능한 말뚝형식을 전체 3D모델에 적용하였다. 이는 1단계에 비해 세부적인 연장한계를 선정하기 위함이다. 완전일체식 교량에 영향을 주는 외부와 내부 인자가 있다. 전자는 상부구조의 온도변화와 건조수축과 같은 외부 하중이며, 후자는 교량 제원과 관련된 교량연장과 사각이다. 2D 모델링 또는 말뚝 독립모델로써는 건조수축과 사각의 영향을 파악하기 곤란하므로 전체 3D 모델링이 필수적이다.

3단계는 2단계에서 선정된 연장한계에 대해 부수적인 조건에 대한 검토단계이다. 이 교량에 부수적인 영향을 미칠 수 있는 조건은 교대 제원, 선형조건, 뒤펀치 형식 등이 있다. 적용성 확대를 위해 이러한 제약조건을 검토하고자 한다.

3.2 성능향상 평가를 위한 매개변수

전반적인 일체식 교량의 거동특성을 파악하기 위해서는 유한요소 모델을 이용한 매개변수 해석이 수반되어야 한다. 그러므로 교량 시스템의 주요 구성요소 거동에 영향을 미치는 인자들이 매개변수로 선정되어야 한다.

매개변수 해석을 수행하기 전에 다음과 같은 기본가정을 전제로 한다.

- ① 콘크리트교의 대표적 형식은 PSC Beam교로 한다. 슬래브 두께는 240mm로 하며, 캔틸레버 길이는 1.15m, 거더 간격은 $2.5\text{m}(0.7/2+1.8+0.7/2)$, 5주형)로 한다.
- ② 강교의 대표적 형식은 강합성형교로 한다. 슬래브 두께는 240mm로 하며, 캔틸레버 길이는 1.0m, 거더 간격은 $3.9\text{m}(2.5/2+1.4+2.5/2)$, 3주형)로 한다.
- ③ 온도하중은 도로교 설계기준(2012)에서 제시하는 각각의 교량형식에 대해 보통지방 및 한랭지방의 온도범위를 적용한다.
- ④ 콘크리트교인의 경우에는 평촌1교, 강교인 경우에는 동홍천IC육교의 제원을 기본으로 하여 완전과 반일체식 교량에 각각 반영한다.
- ⑤ 뒤펀치재료는 일체식 교량에서 사용되는 무다짐 뒤펀치(SB-3)으로 한다.

다음은 각 단계별 고려해야 할 매개변수이다. 1차 매개변수는 성능향상 평가를 위해 가장 중요한 교량연장과 사각이며, 2차 매개변수는 교량의 거동에 영향을 미치는 인자들이다.

표 3.1 성능향상 평가를 위한 매개변수

1차 매개변수									
상부형식		콘크리트교 - PSC I형(30m)				강교 - ST. BOX(50m)			
교량연장 (m)	일체식	30	120	210	300	50	100	150	200
	반일체식	210	300	390	510	100	200	300	400
사각(°)		0	15	30	45	0	15	30	45
2차 매개변수									
말뚝 형식		H형강		강관		PHC			
말뚝 크기		약축	강축	D508	D609	D500	D600		
교대뒤채움 형식		무다짐(non-compacted)				다짐(compacted)			
거더-교각 연결		힌지형식				고정형식			
기후조건		● 도로교 설계기준(2012, p.3-28)							
		기후	합성교(강거더와 콘크리트바닥판)				콘크리트교		
		보통	-10℃에서 40℃				-5℃에서 35℃		
		한랭	-20℃에서 40℃				-15℃에서 35℃		

표 3.1과 같이 매개변수를 선정한 사유는 다음과 같다.

① 교량형식의 선정

국내에서 주로 사용되는 교량형식은 크게 콘크리트 계열과 강 계열로 나눌 수 있다. 콘크리트 계열은 RC Slab, RC Rahmen, PSC Slab, PSC Beam, PSC Box형식으로 구분될 수 있으며, 강 계열은 Steel Box, Steel Plate, 강상판형교로 구분될 수 있다.

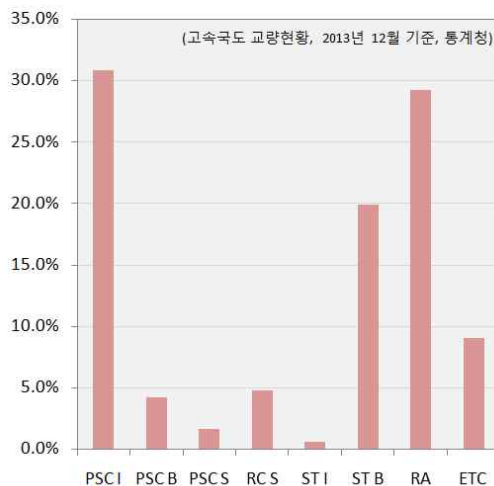
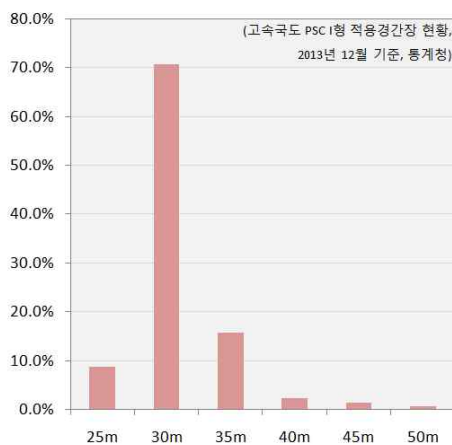


그림 3.3 국내 교량 현황

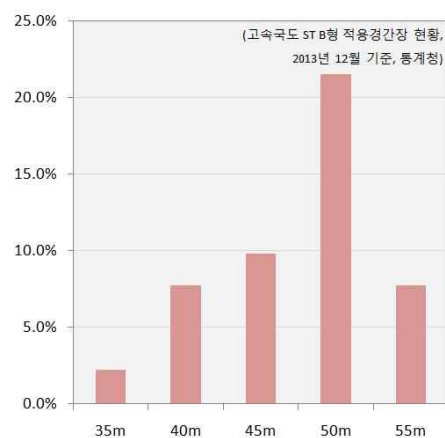
이 연구에서는 일체식 교량의 연장한계를 향상시키는 것이 주 목적이므로 이러한 다양한 교량형식을 대표할 수 있는 적정형식의 선정이 필요하다. 관련연구(Navid Nikravan, 2013)에 의하면 교량형식(단면변화)에 따른 교량연장에 대한 영향은 없는 것으로 검토되었다. 따라서 이 연구에서는 통계청의 국내 교량현황을 조사하였으며 고속국도에서 가장 많이 사용되는 콘크리트 교량은 PSC Beam형식, 강 형식인 경우는 Steel Box형식으로 대표형식으로 선정하였다.

② 교량연장에 따른 변화

교량을 구성하는 대표 경간장은 교량형식의 선정방법과 마찬가지로 통계청 교량 경간장 적용현황을 조사하였으며, 교량형식별로 고속국도에서 가장 많이 사용되는 경간장을 대표값으로 결정하였다. 그림 3.4에 조사결과를 나타내었으며, 콘크리트교의 경우 30m, 강교의 경우 50m를 기본 경간장으로 하여 교량을 구성하였다.



(a) 콘크리트교



(b) 강교

그림 3.4 해석 기본모델의 대표 경간장

표 3.1에 있는 교량연장은 기본가정에 언급된 기본 경간장으로 구성하였으며, 교량연장은 최단 교량연장, 현재 기준에 제시된 교량연장한계 및 이번 연구에서 목표로 하는 목표 교량연장까지이다.

③ 교량사각에 따른 변화

교량사각은 지형적 특성 및 도로선형에 적합한 계획 등의 이유로 교량건설시 피할

수 없는 조건이다. 특히, 일체식 교량은 상부구조와 하부구조(벽체교대)가 일체화 되는 특성을 갖고 있으므로 그림 3.5와 같이 교대부에 작용하는 토압의 작용력이 교축 방향과 일치하지 않는 경우 교량전체에 회전이 발생하게 된다.

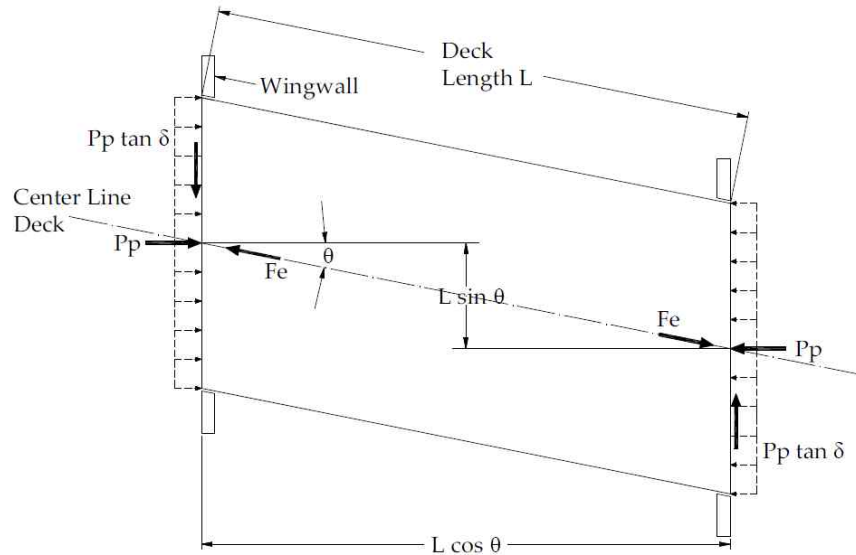


그림 3.5 사교에 작용하는 힘

따라서 이러한 회전력으로 인하여 그림 3.6와 같이 사교는 회전거동이 발생하게 되며 이로 인해 교량 전체에 예상하지 못한 변위가 발생할 수 있다.

이번 연구에서는 사각의 증가에 따른 일체식 교량의 거동특성을 파악하고, 교축직각 방향을 기준으로 하여 $0^\circ \sim 45^\circ$ 를 해석범위를 정하였다. 해외 관련연구 조사결과 사각의 해석범위를 60° 까지 수행한 사례(Navid Nikravan, 2013)도 있으나, 국내에서는 실무적 관점에서 45° 이상의 교량사각을 계획하지 않으므로 검토사각의 범위를 45° 까지로 하였다.

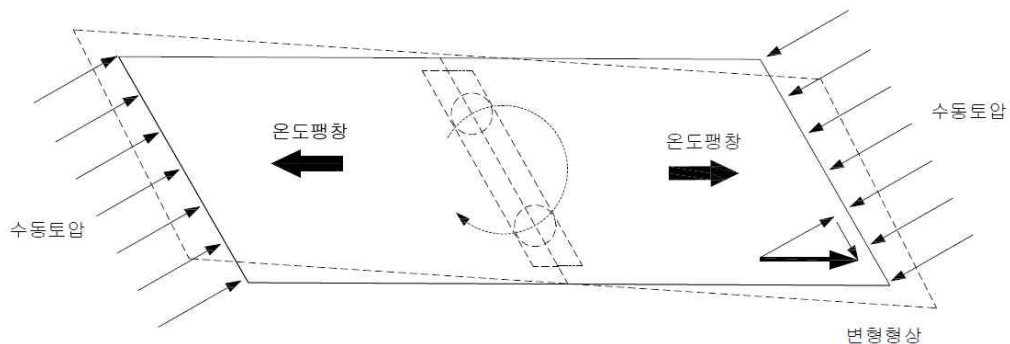


그림 3.6 사각에 따른 사교의 회전거동(토압이 교축방향 힘보다 큰 경우)

④ 기타 매개변수

교량연장과 사각을 제외한 나머지 변수들은 말뚝형식, 말뚝크기, 뒤택움 형식, 거더-교각 연결, 종단경사, 평면선형 등이 있다. 말뚝과 관련된 변수들은 완전일체식 교량의 경우 교량의 연장을 결정할 수 있는 중요한 변수이다. 따라서, 말뚝에 대한 해석은 종류, 지반의 종류, 크기에 따른 국부적인 해석을 통해 한계값을 선정하고, 향상된 연장한계에 대한 적용성을 파악할 예정이다.

뒤택움형식은 교량신축에 대한 영향이 미소하므로 이번 연구에서는 무다짐 자갈 뒤택움으로 기본가정을 하였다.

거더-교각 연결은 기본적인 연장한계를 산정하기 위한 매개변수는 아니며, 완전일체식 교량 또는 반일체식 교량에서 상부구조의 변위제어를 위한 하나의 방안이 될 수 있다. 교량연장이 길어질수록 상부구조의 변위는 동반상승하며 이는 말뚝응력의 상승 및 허용변위 초과를 유발하게 된다. 그러므로 이러한 한계를 극복하기 위한 방안으로는 다점고정 방식의 교량받침 적용 및 힌지 또는 고정식의 상부구조와 교각의 연결이 될 수 있다.

3.3 해석단계별 모델링

3.3.1 모델링

그림 3.1과 같이 해석단계는 총 3단계로 이루어 진다. 1단계에서는 적절한 해석범위 산정을 위한 말뚝독립모델 해석이며, 2단계는 전체 3D 모델을 사용하여 구조물의 형상, 뒤택움재 및 작용하중 등을 모두 고려한 세부적인 교량의 연장한계 산정단계이며, 마지막 3단계에서는 전체 3D 모델을 사용하여 부수적으로 일체식 교량에 영향을 미치는 인자에 대해 검토한다.

말뚝적용범위 산정을 위한 1단계에서 사용되는 말뚝은 국내에서 주로 사용되는 H형강, 강관 및 PHC말뚝을 적용하였으며, 말뚝 독립모델의 해석흐름은 그림 3.7과 같다.

교대와의 결합부 하단에 위치하는 말뚝 상단부에 큰 응력이 발생하므로 경계조건은 중요하다. 정확하게 하기 위해서는 자유도별 스프링강성을 부여하는 것이 적절하다. 하지만 최종 연장한계는 상부슬래브, 거더, 교대 및 말뚝이 포함되는 전체 3D 모델링에서 결정되므로

1단계에서는 각각의 모델링에 해당되는 스프링강성을 산정할 필요는 없다.

모델조건	말뚝 모델링		
하중조건	축력 = 470kN (L=3@30=90m, B=12.6m) 고정하중 반력사용		
	수평변위 = $\Delta L = \alpha (\Delta T) L$ (온도변화에 의한 신축량)		
	9mm (90m) 21mm (210m) 30mm (300m)		
지반강성 및 부재력비	N=10 (70%)	N=15 (65%)	N=30 (55%)
한계연장 산정 흐름			
부재력 산정 → 허용응력 검토 → 한계연장 산정			

그림 3.7 말뚝 독립 모델(1단계) 해석 흐름

따라서 1단계 해석에서는 말뚝상단에 응력이 크게 발생하는 경계조건 즉, 고정조건을 사용한다. 고정조건을 사용하는 경우 전체 3D 모델링에서 발생하는 부재력보다 과다하게 발생하고 해석범위가 상당히 넓어질 수 있으므로 전체 3D 모델링과의 차이를 고려할 수 있는 응력감소계수를 구하여 적절한 해석범위를 산정할 수 있도록 하였다. 말뚝 상단의 경계조건 개념도는 그림 3.8과 같다.

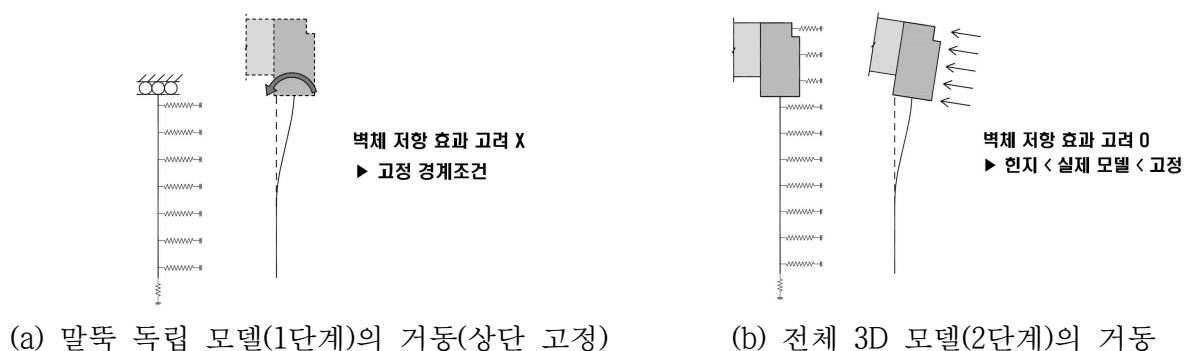
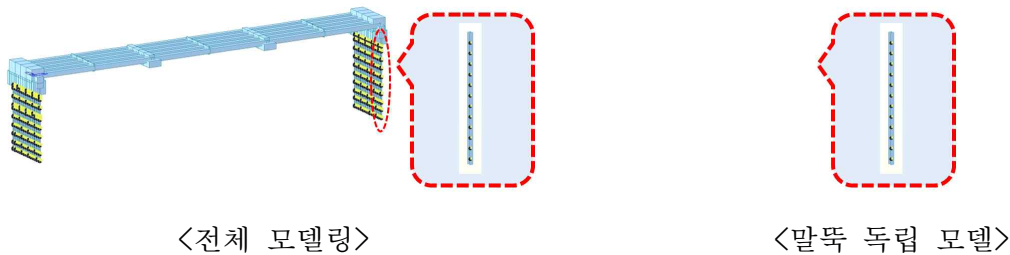


그림 3.8 말뚝 상단부 경계조건

완전일체식 교량의 실제적인 말뚝기초는 그림 3.8 (b)와 같이 고정과 힌지 사이의 경계조건을 갖는다(Robert J. Frosch, 2006). 그림 3.8 (a)와 같은 고정 경계조건에서 발생하는 부재력은 전체 3D 모델링의 부재력보다 크게 발생되며, 해석범위가 넓어지므로 그림 3.9와 같이 응력감소계수를 산정하였다.



전체 모델 해석시 말뚝 상단 발생 부재력(100%) = 고정조건을 갖는 말뚝 독립모델 해석시 부재력의 85%

그림 3.9 말뚝 모델과 전체 모델의 부재력 감소비

그림 3.9에서는 전체 3D 모델과 사용된 말뚝 독립 모델의 부재력을 비교하였다. 비교결과 전체 3D 모델의 말뚝 부재력은 고정조건을 갖는 말뚝 독립 모델의 부재력의 85%에 해당되므로, 1단계의 말뚝 상단 부재력의 85%를 발생 부재력으로 간주하고 응력검토를 하여 해석범위를 산정하였다.

1단계에서 선정된 말뚝을 2단계에서는 상부슬래브, 거더, 벽체교대와 함께 포함된 전체 3D 모델에 각각 적용하여 최종적인 연장한계를 산정하게 된다. 2단계에서 사용되는 전체 3D 모델의 기본제원이 되는 교량은 국내 최초 완전일체식 교량으로써 현재 대전~통영간 고속도로에서 공용중인 평촌1교이다. 고속국도에서 가장 많이 사용되는 30m의 경간장을 갖는 PSC Beam을 사용하고 있으므로 상부구조 및 교대의 제원이 적정한 것으로 판단되어 해석 모델의 기본 제원은 이 교량을 참고하였다.

완전일체식 교량의 전체 3D 모델링은 슬래브와 거더로 이루어지는 상부구조, 교대 및 말뚝기초로 구성된다. 상부구조의 슬래브와 교대는 plate요소를 사용하였으며, 거더와 말뚝기초는 frame요소를 사용하여 모델링하였고, 슬래브와 거더는 강결요소로 연결하였다. 지반의 물성치와 구조물의 상호작용을 반영하기 위해 다중선형 스프링 요소를 사용하였으며, 교각 부는 상부구조의 신축거동을 보수적으로 나타내기 위해 롤러로 모델링 하였다.

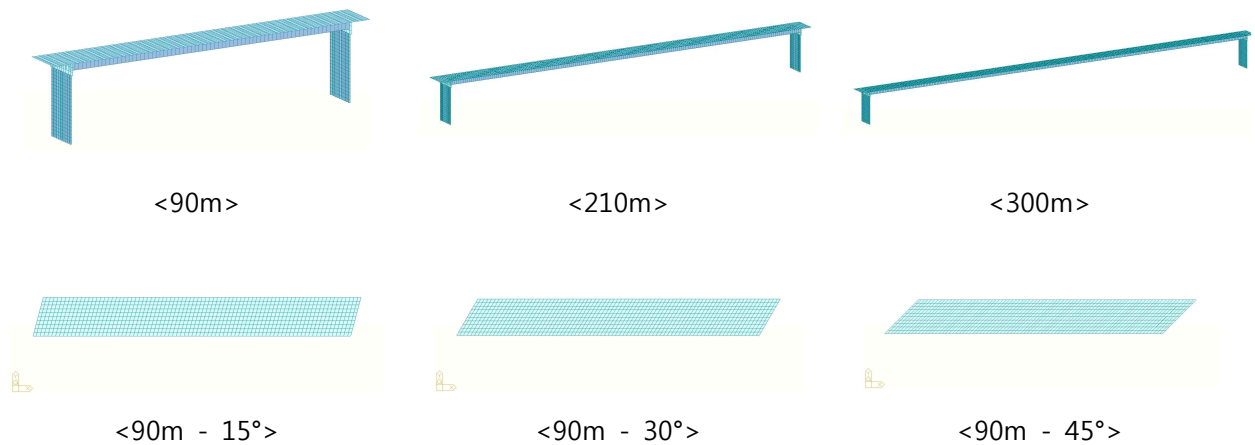


그림 3.10 매개변수 해석을 위한 전체 3D 모델링

앞서 기술한 바와 같이 완전일체식 교량은 말뚝 상단부와 말뚝과 교대의 결합부에 큰 응력이 발생하고 이 응력이 전체 구조물의 안전성을 지배하게 된다. 다시 표현하면, 말뚝 상단부와 결합부의 안전성은 교량의 연장한계를 결정하는 주요 인자이다. 말뚝기초에 작용하는 주요 하중으로는 상부구조로부터 전달되는 축력, 온도변화에 따른 상부구조의 신축량, 슬래브의 건조수축이 있다. 상부구조로부터 전달되는 축력은 상부의 1, 2차 고정하중과 활하중이 있으며, 기본제원 참고교량의 말뚝기초에 재하되는 말뚝반력을 부재 검토시 사용하였다. 온도변화에 따른 상부구조의 신축량은 구조물의 온도변화율과 교량연장과의 상관관계를 고려하여 재하하였다. 1단계의 말뚝 독립 모델링에서는 말뚝상단에 변위로 재하하였고, 2단계의 전체 3D 모델에서는 온도하중으로 재하하였다.

$$\Delta L = \alpha \cdot \Delta T \cdot \frac{L}{2} \quad (\text{식 3.1})$$

여기서, ΔL : 온도에 의한 구조물의 변위(m)

α : 선팽창계수(콘크리트 1.0×10^{-5} , 강 1.2×10^{-5})

ΔT : 온도변화(°C)

L : 교량연장(m)

콘크리트 거더의 건조수축은 증기양생 및 긴장 전(前) 현장 존치로 거의 발생하지 않고, 슬래브에만 발생된다. 건조수축율은 국내에는 비교사례가 없었고 해외에서 완전일체식 교량의 슬래브에만 건조수축율 $500 \mu \varepsilon$ 을 적용시킨 경우 실물 계측결과와 유사한 값을 나타낸다는 연구결과(Robert J. Frosch, 2011)를 참조하여 가장 유사한 값을 나타내고 있어 연구시 적용하였다.

3.3.2 경계조건

완전일체식 교량은 벽체교대와 교대 배면 뒤채움 및 말뚝 주변의 토사의 상호작용으로 거동이 결정된다. 뒤채움 및 말뚝 주변의 지반스프링에 대해서 그림 3.11 (a)와 같이 도로교 설계기준은 지반의 종류와 깊이에 상관없이 일정한 값을 갖게 되는데, 최근 일체식 교량 연구사례(Cheng Lan, 2012, Robert J. Frosch, 2011 등)에서는 지반의 항복점을 고려하고, 깊이별로 변화하는 p-y 곡선을 사용하고 있다. 이에 따라 이 연구에서는 그림 3.11 (b)와 같이 깊이별로 변화하는 p-y 곡선을 사용하였다.

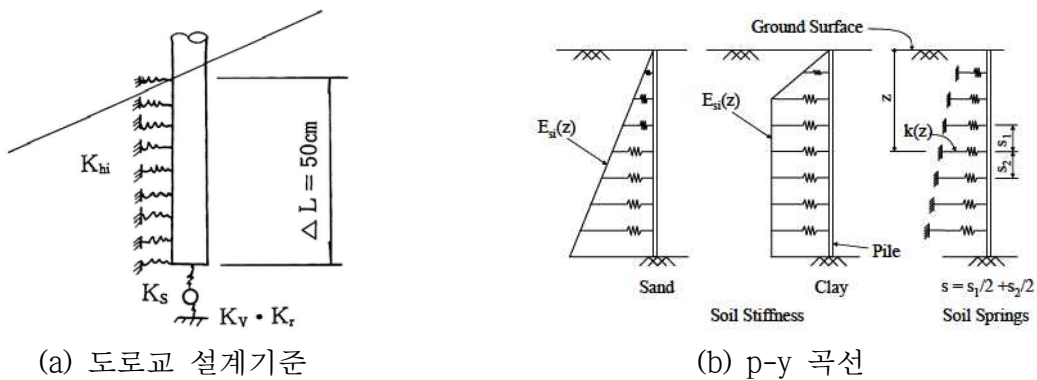


그림 3.11 지반 모델링 비교

성토층으로 사용되는 사질토 지반에서 Reese(1974)는 현장 재하시험결과로부터 임의 깊이에 대한 p-y곡선을 그림 3.12와 같이 2개의 직선과 1개의 포물선 형태로 제안하였다.

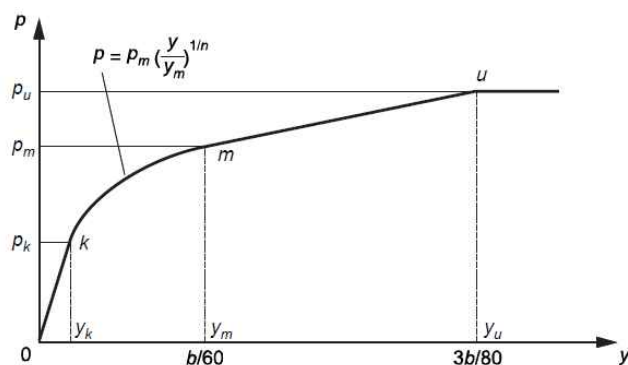
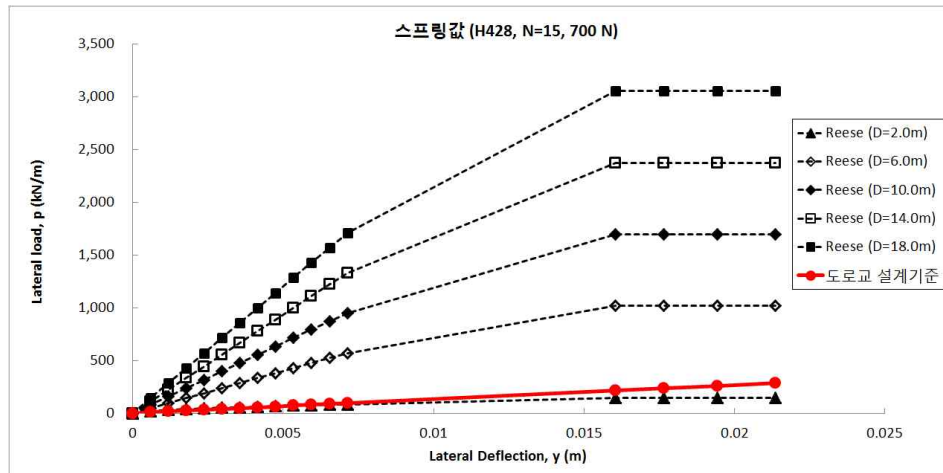


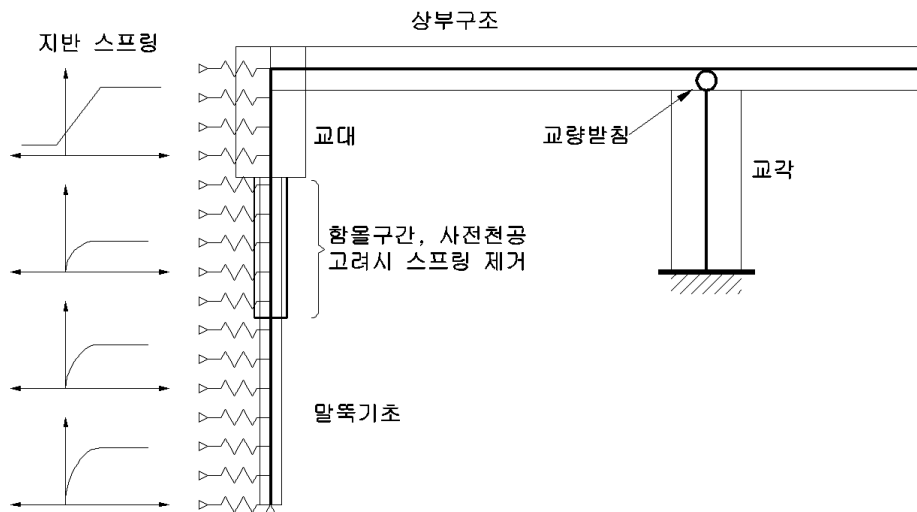
그림 3.12 Reese의 p-y곡선

도로교 설계기준과 p-y곡선을 비교시 지반상단은 거의 유사한 값을 나타내나 심도가 깊어 질수록 그 차이는 점점 커짐을 알 수 있다(그림 3.13 (a)). 도로교 설계기준에 비해 p-y 곡선

을 사용시 깊이별로 증가하는 토압에 따라 그 값의 차이는 구조물의 응답에 상당히 큰 영향을 미치며, 연장한계를 산정함에 있어 중요한 인자가 된다.



(a) 깊이별 지반특성



(b) p-y곡선의 모델링 개요도

그림 3.13 도로교설계기준과 p-y곡선에 따른 깊이별 지반특성 비교

3.3.3 연장한계 선정

현재 설계기준은 한계상태설계법으로 개정되었으나, 말뚝기초는 아직까지도 허용응력설계법을 사용하고 있어 이에 맞게 검토하였다.

1단계 말뚝 독립 모델이나, 2단계 전체 3D모델 모두 말뚝기초 검토를 대상으로 하고 있으며, 부재 검토 및 연장한계 선정의 흐름은 그림 3.14와 같다.



그림 3.14 연장한계 선정 흐름도

말뚝기초는 축력과 휨모멘트를 동시에 받는 구조로서 허용응력 검토는 도로교 설계기준에서 제시하는 식을 사용한다.

3.4 해석결과

3.4.1 말뚝 독립 모델해석 (1단계)

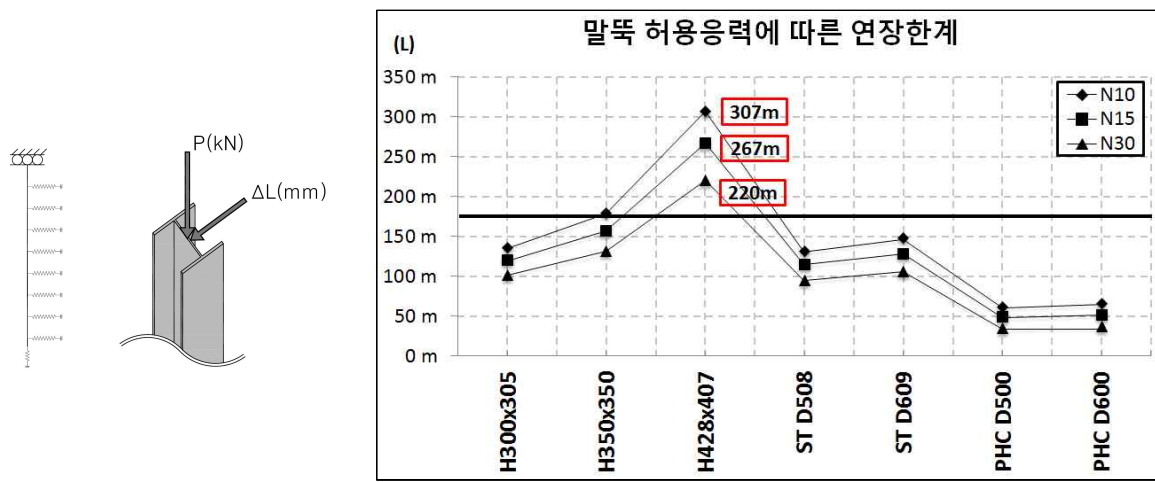
1단계에서 수행한 말뚝 독립 모델해석은 해석범위를 합리적으로 설정하고자 함이 그 목적이다.



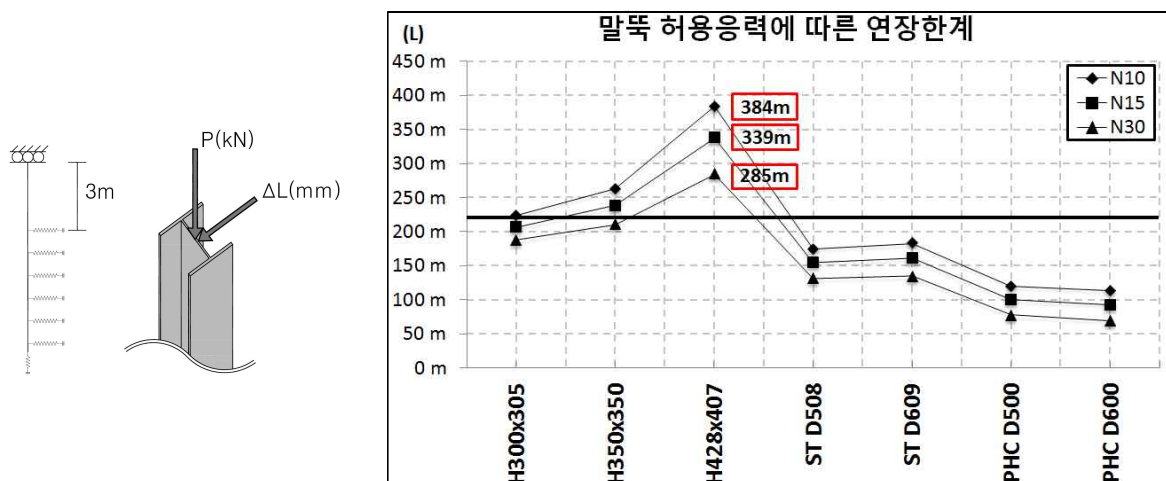
그림 3.15 H형강 말뚝의 함몰

완전일체식 교량의 연장한계별로 모든 변수를 고려하면 방대한 해석 양이 되기 때문에 1단계에서는 말뚝의 독립적인 모델에 교량연장에 따라 발생할 수 있는 변위를 제한하여 응력검토를 실시함으로써 전체 모델링이 사용될 수 있는 말뚝의 범위를 선정하고자 하였다.

완전일체식 교량의 말뚝기초를 시공하게 되면 그림 3.15와 같이 말뚝상단의 지반이 함몰되는 구간이 필연적으로 발생하게 된다. 함몰구간에서는 지반이 저항하지 않는 것으로 보고 지반 스프링을 제거하는 것이 합리적이다. 함몰구간은 말뚝상단의 거동을 유연하게 하므로 말뚝의 응력을 감소시키는 효과가 있으며 이는 곧 연장한계의 증가로 이어진다. 이에 따라 연장한계 산정시 함몰구간을 고려하여 해석을 수행하였으며 그림 3.16과 같은 결과를 얻었다.



(a) 함몰 미고려시 연장한계



(b) 함몰 고려시 연장한계

그림 3.16 말뚝 허용응력에 따른 연장한계

그림 3.16에서 연장한계 산정시 말뚝 상단까지 주변 지반의 영향을 고려한 결과와 함몰구간을 고려한 것을 비교하면 후자가 상대적으로 긴 연장을 나타내고 있다. 함몰구간을 고려하는 경우 말뚝상단에서 변위에 저항하는 지반 스프링이 제거됨에 따라, 말뚝상단의 회전곡

를 감소로 응력 감소 및 완전일체식 교량의 연장한계 증가를 유도하게 된다. H428x407 약축의 경우, 함몰구간 고려시 함몰구간을 미고려한 경우보다 25~30% 정도 연장한계가 증가함을 알 수 있다. 해외의 경우 사전천공 및 말뚝상단에 벤토나이트와 같이 유동성이 있는 채움재를 사용함으로써 이러한 거동을 고려하는 지역도 있다.

H형강 강축을 사용할 경우에는 관련연구(Robert J. Frosch, 2006) 실험결과에 따르면 약축에 비해 말뚝의 성능을 제대로 발휘하지 못하고 말뚝기초의 기초교대 매입부가 먼저 손상되었다. 콘크리트로 이루어진 기초교대의 파손은 취성파괴의 우려가 있으며, 이는 곧 교량 전체의 안정성에 문제를 야기할 수 있다. 그러므로 취성파괴를 배제하고 구조물의 안정성을 확보하기 위해서는 H형강 약축배열을 사용하는 것이 바람직할 것으로 판단되며, 강축배열을 사용하기 위해서는 말뚝머리보강부(말뚝기초의 기초교대 매입부)를 설계기준에서 제시하는 방법 A에 추가적인 보강이 필요하다.

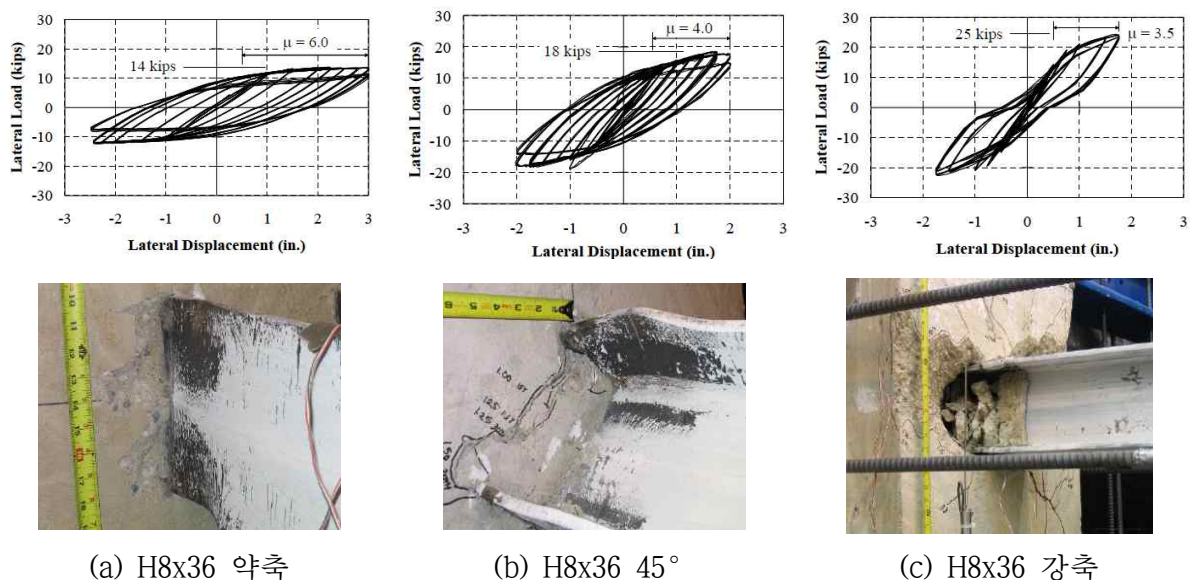


그림 3.17 H말뚝 축방향 변화에 따른 실험결과(Robert J. Frosch, 2006)

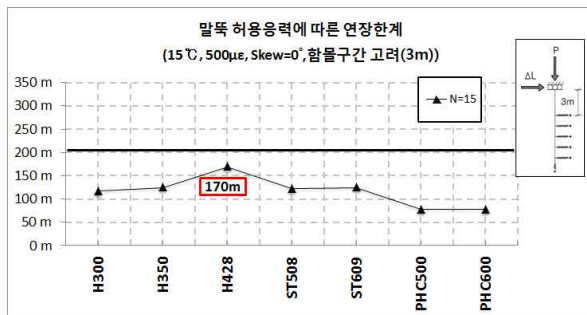
상기와 같이 1단계에서는 사용가능한 말뚝형식, 크기 및 개략적인 완전일체식 교량의 연장한계 범위를 산정하였다. 2단계에서는 완전일체식 교량의 전체 3D 모델을 사용하여 1단계에서 산정한 연장한계의 범위를 세부적으로 검토하도록 한다.

3.4.2 전체 3D 모델 해석 결과 (2단계)

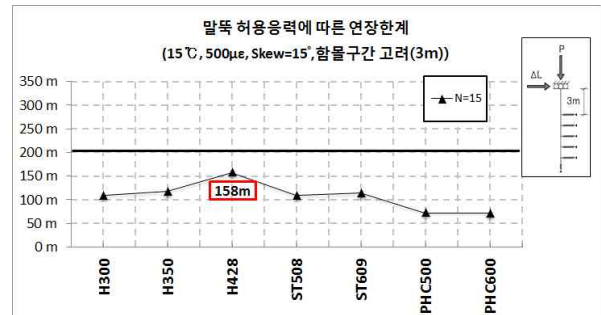
3.4.2.1 완전일체식 교량

2단계에서는 완전일체식 교량의 최종 연장한계 산정을 위해 교량의 전체 형상, 지반 경계 조건 및 말뚝기초를 반영한 전체 3D 모델을 사용한다. 2D 모델링 또는 말뚝 독립모델로써는 사각과 같은 교량형상, 건조수축과 같은 하중의 영향을 파악하기 곤란하므로 전체 3D 모델링이 필수적이다.

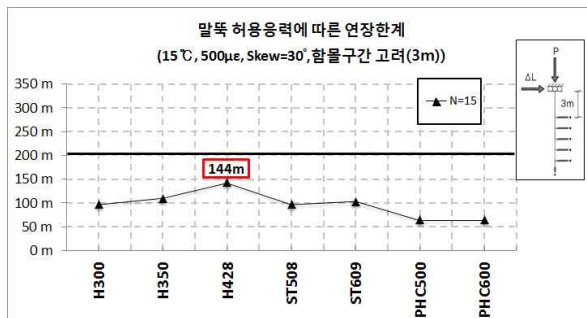
교량 연장, 사각 및 말뚝형식을 고려한 모델링에 수평방향 변위를 발생시키는 온도하중과 건조수축 등을 작용하여 말뚝상단이 허용응력을 초과하지 않도록 산정한 완전일체식 교량의 연장한계는 그림 3.18과 같다.



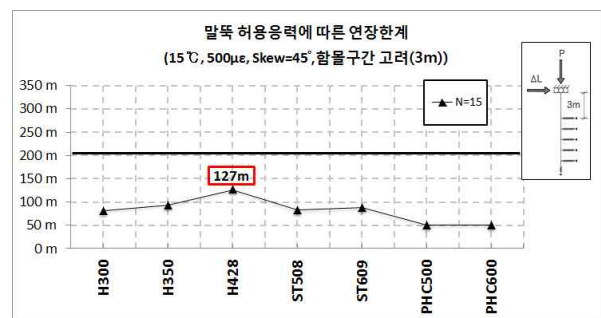
(a) 콘크리트교 연장한계(함물3m, 사각 0°)



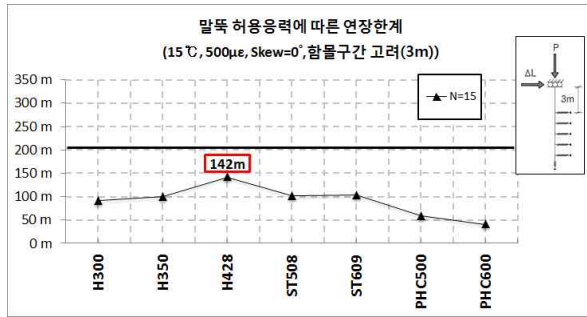
(b) 콘크리트교 연장한계(함물3m, 사각 15°)



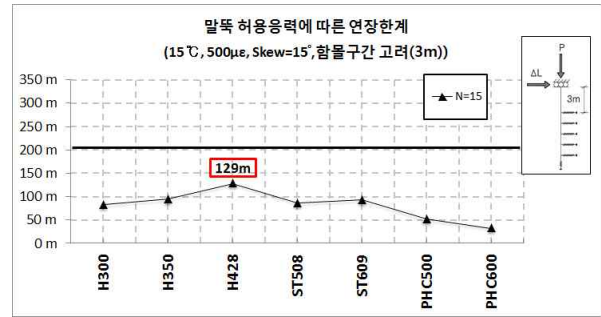
(c) 콘크리트교 연장한계(함물3m, 사각 30°)



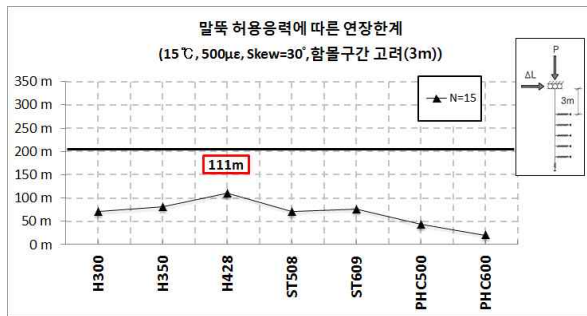
(d) 콘크리트교 연장한계(함물3m, 사각 45°)



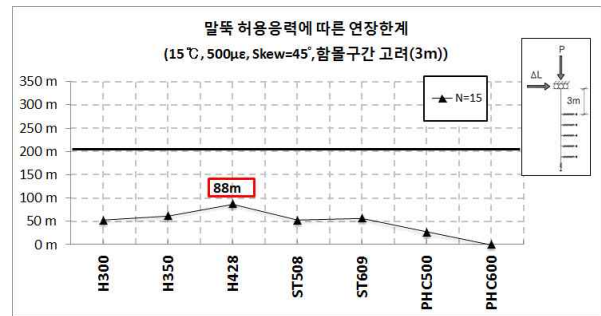
(e) 강교 연장한계(함몰3m, 사각 0°)



(f) 강교 연장한계(함몰3m, 사각 15°)



(g) 강교 연장한계(함몰3m, 사각 30°)



(h) 강교 연장한계(함몰3m, 사각 45°)

그림 3.18 교량 상부구조 형식별 연장한계 해석결과

그림 3.18에 나타난 바와 같이 함몰구간 3m를 고려하고 H형강을 사용할 경우 콘크리트교는 최대 170m, 강교는 최대 142m까지 완전일체식 교량을 적용할 수 있으며, 사각이 증가할수록 연장한계는 감소한다. 강관 및 PHC말뚝은 H형강 말뚝에 비해 연장한계가 짧게 나타나 완전일체식 교량의 연장한계 향상을 위한 목적에는 부족한 것으로 나타났다. 여기서, PHC말뚝은 연장한계 산정을 위한 응력검토시 휨응력보다 전단응력이 지배적인 것으로 나타나 말뚝의 유연한 거동을 통한 구조계의 안정성을 확보하는 완전일체식 교량에는 적합하지 않을 것으로 판단된다. 결론적으로 완전일체식 교량의 연장한계 성능향상을 위해서는 기초교대 하단에 위치하는 말뚝기초의 유연한 거동을 확보하여야 한다. 이를 위해서는 유연한 거동을 나타내는 H말뚝을 사용해야 하고, 기초하단의 말뚝이 자유로운 거동을 할 수 있도록 해야 한다. 말뚝상단이 자유로운 거동을 하기 위해서는 시공시 발생하는 함몰구간을 고려하거나, 필요시 일정깊이의 사전천공 구간을 두어야 한다.

해외사례를 조사한 결과, 완전일체식 교량의 말뚝에 사전천공을 하도록 하는 경우가 많이 있었으며 천공깊이는 8~10ft(2.4~3.0m), 천공지름은 말뚝직경에 100~250mm 추가하고 있었다.

채움재로는 무다짐 모래(uncompacted sand) 또는 스티로폼 조각(styrofoam)을 사용하는 것으로 조사되었다. 다짐모래(compacted sand), 벤토나이트(bentonite) 및 자갈류(gravel)는 말뚝의 장기적인 유연한 거동을 확신할 수 없으므로 사용하지 않도록 권고하고 있었다.

기초교대 하단에 위치하고 일정한 공간을 확보한 말뚝기초는 축하중과 휨을 받는 압축부재이며 이러한 부재는 안정성 검토가 필요하다. 그림 3.19(VTrans, 2008)은 말뚝기초의 거동 및 경계조건에 따른 유효길이를 나타내고 있다.

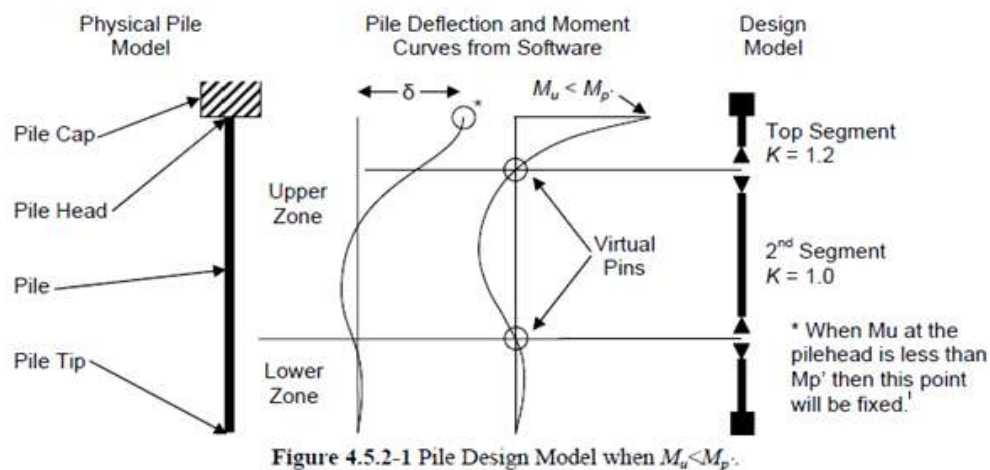


그림 3.19 말뚝 안정성 검토를 위한 개요도(VTrans, 2008)

설계기준에서 압축부재의 안정성 검토를 위해서 제시하는 방법은 모멘트 확대계수 검토 또는 세장비가 큰 경우 P-△해석을 제안하고 있다. 여기서 사용되는 말뚝기초의 경우 세장비가 크지 않아 모멘트 확대계수 설계법을 사용하였다. 안정성 검토대상은 연장한계의 향상을 할 수 있는 H형강 말뚝이다. 표 3.2는 H형강 말뚝의 안정성 검토결과를 나타낸다.

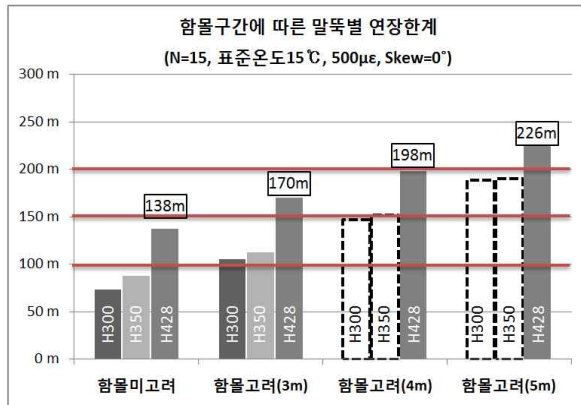
표 3.2 사전천공 깊이에 따른 말뚝기초 안정성 검토결과

구 분	함몰구간 0m	함몰구간 3m	함몰구간 5m
H300	모멘트 확대 필요 없음	모멘트 8% 확대	모멘트 64.4% 확대
H350	모멘트 0.4% 확대	모멘트 9.9% 확대	모멘트 59.1% 확대
H428	모멘트 0.2% 확대	모멘트 0.4% 확대	모멘트 5.7% 확대

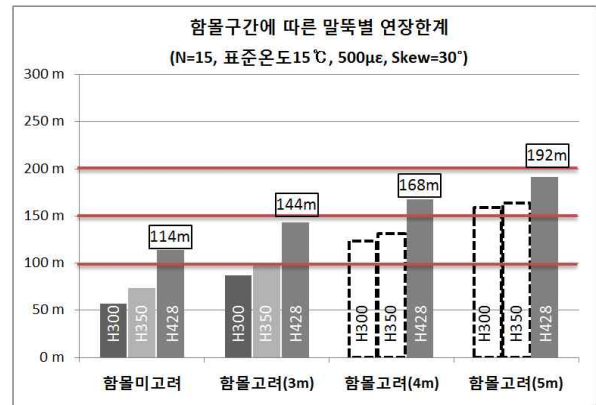
검토 결과 H300 및 H350 말뚝은 사전천공 구간을 4m 이상 사용시 구조안정성에 문제가

있음을 알 수 있었으며 H428 말뚝은 사전천공 구간을 5m로 하여도 약 5%내외의 모멘트 증가를 나타내었다. 그러므로 일정한 길이 이상을 갖는 완전일체식 교량은 유연한 거동을 확보하는 말뚝기초와 일정 깊이의 자유로운 거동을 위한 공간 및 안정성을 만족해야 함을 알 수 있다.

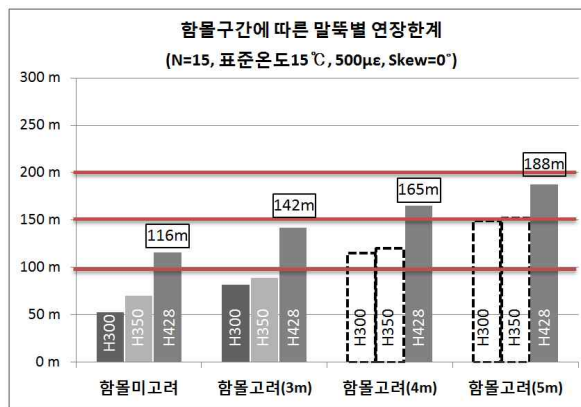
그림 3.20은 응력 및 안정성을 만족하는 완전일체식 교량의 연장한계를 나타내었다.



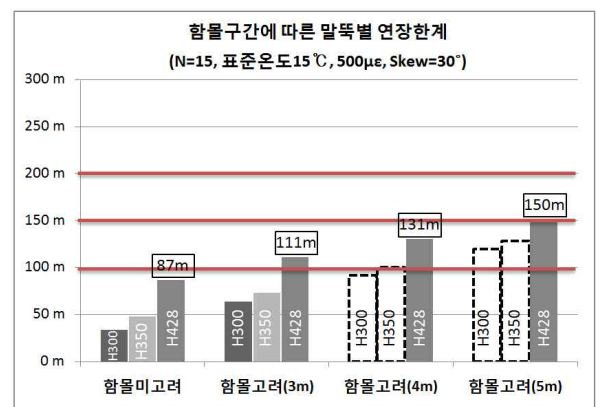
(a) 콘크리트교 연장한계(사각 0°)



(b) 콘크리트교 연장한계(사각 30°)



(c) 강교 연장한계(사각 0°)



(d) 강교 연장한계(사각 30°)

그림 3.20 사전천공 구간을 고려한 형식별 연장한계

그림 3.20에서 점선으로 표현된 그래프는 안정성을 만족하지 못하는 말뚝크기를 나타내며, 일정한 교량연장을 확보하기 위해서는 말뚝의 크기를 사용해야 함을 나타낸다. 완전일체식 교량의 연장한계는 사전천공을 고려하고 H428을 사용할 경우 콘크리트교는 198m, 강교는 165m로 하는 것이 적절할 것으로 판단된다. 여기서, 사각이 증가할수록 한계는 감소하게

되며 사각이 30° 인 경우 168m, 131m로 각각 감소하게 된다.

3.4.2.2 반일체식 교량

반일체식 교량은 상부구조의 거동은 완전일체식 교량과 유사하나 교량받침으로 상하부구조가 분리되어 거동하므로 연장한계의 제약이 크지 않다. 반일체식 교량은 일반 거더교와 유사한 거동을 나타내므로 발생하는 변위의 장치의 수용가능여부 및 수동토압이 작용하는 벽체교대의 두께 등에 의해 제한될 것으로 판단된다.

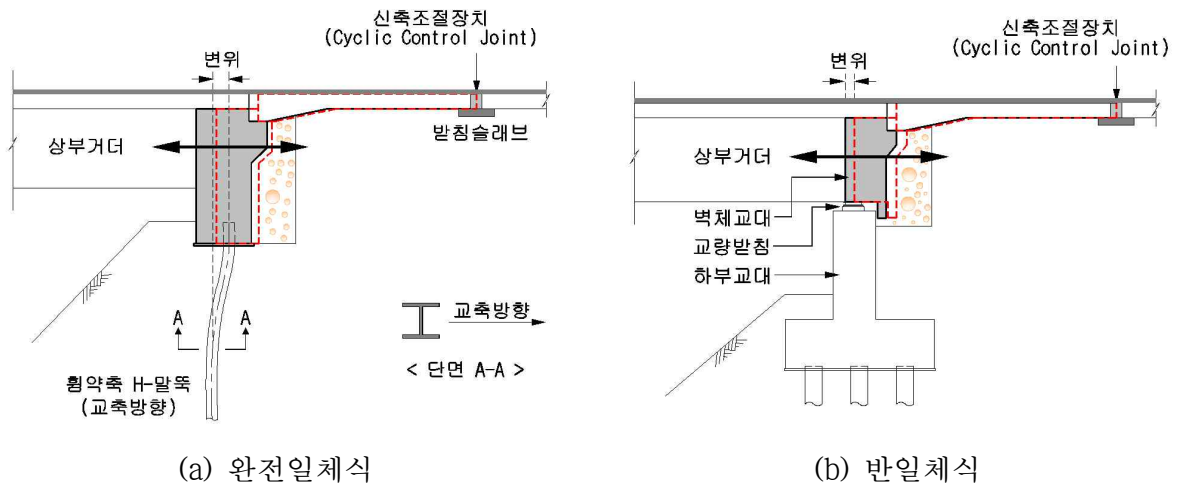
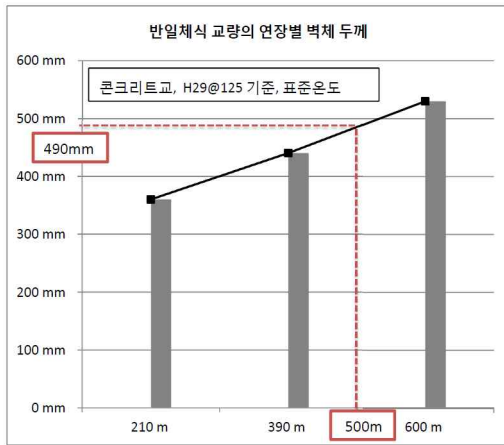
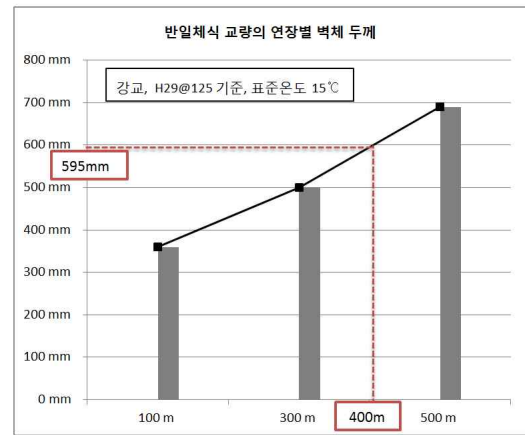


그림 3.21 일체식 교량 교대

제작업체 문의결과 교량받침 및 신축조절장치의 발생변위 수용여부는 제약사항으로 작용하지 않으며, 벽체교대는 온도상승시 상부구조의 신장거동으로 인한 수동토압을 저항하는 중요한 구조요소이다. 수동토압을 저감하기 위해 현재 국내에서는 무다짐 뒤채움을 사용하고 있으며, 교량의 연장에 따른 발생 수동토압에 따라 1단 철근으로 저항할 수 있는 벽체두께는 그림 3.22와 같다. 여기서, 1단 철근의 의미는 시공성을 고려함이다.



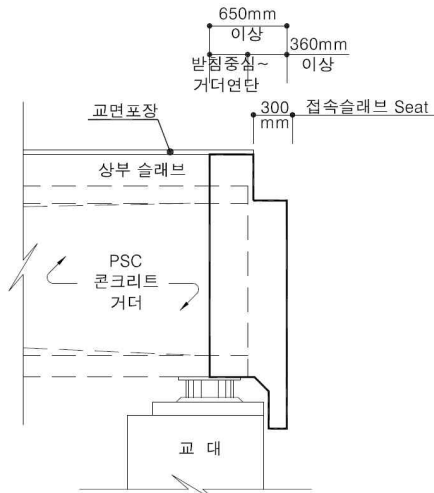
(a) 콘크리트교



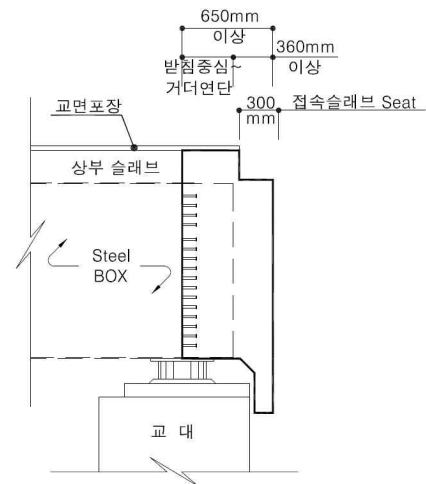
(b) 강교

그림 3.22 반일체식 교량의 연장에 따른 필요 벽체두께

그림 3.22에서 벽체두께를 650mm 사용하면 콘크리트교는 약 500m, 강교는 400m에서 발생하는 수동토압에 대한 안전성을 만족하므로 반일체식 교량의 연장한계로 적용할 수 있을 것으로 판단된다. 그림 3.23은 설계지침에서 제안할 수 있는 벽체교대의 형상을 나타내었다.



(a) 콘크리트교



(b) 강교

그림 3.23 벽체교대의 설계지침을 위한 형상제안

3.4.3 매개변수의 영향 검토

일체식 교량의 연장한계를 산정함에 있어 적용한 매개변수별 영향은 다음과 같다.

① 온도의 영향

모든 교량은 온도에 의해 상부구조가 신축거동을 하게 된다. 특히, 일체식 교량은 온도에 따라 상부구조의 신축거동이 발생하며 벽체교대에 주동토압 및 수동토압을 유발하게 된다. 완전일체식 교량은 말뚝의 응력이 온도하중에 의해 지배적이므로 온도의 변화는 상당히 중요한 하중요소이다. 현재 설계시에는 표준온도를 15°로 하여 설계기준에서 제시하는 온도의 한계범위에 대해 반영하고 있으며 현장에서 온도변화시 이를 적절하게 반영하고 있다. 그러므로 온도의 변화에 대한 일체식 교량의 영향은 매우 크며 이에 따라 연장한계에 대한 영향을 검토하였다.

그림 3.24는 교량 사각별 표준온도 변화에 따른 연장한계의 분포를 나타내었다.

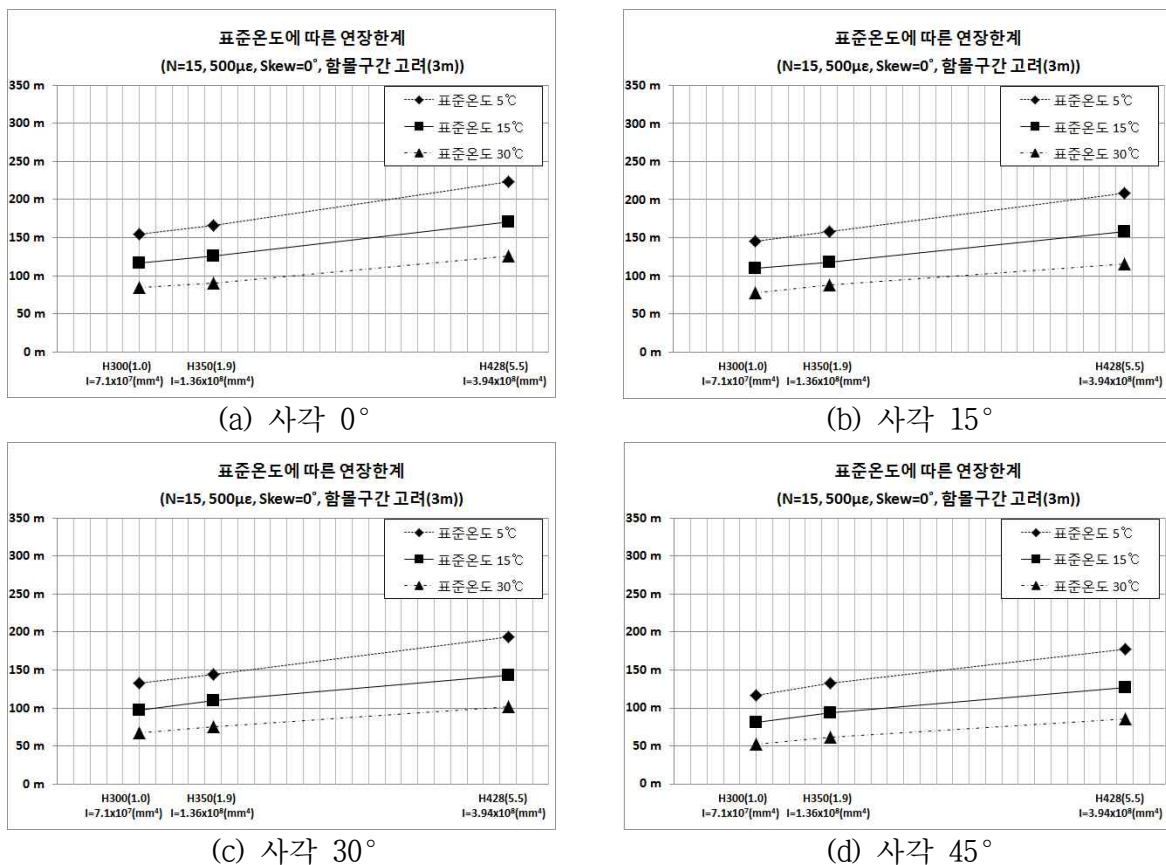


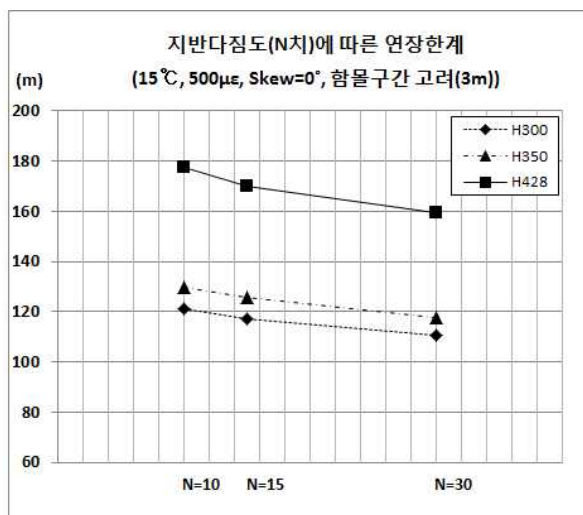
그림 3.24 표준온도의 변화에 따른 연장한계

사각이 0°인 H428에 표준온도가 15°C에서 30°C로 증가할 때 교량의 연장한계가 170m에서 125m로 감소하였다(그림 3.24 (a)). 완전일체식 교량의 경우 온도하강시 수축이 발생하며 이 때 건조수축과 합쳐져 팽창시에 비해 말뚝응력에 대해 더 지배적

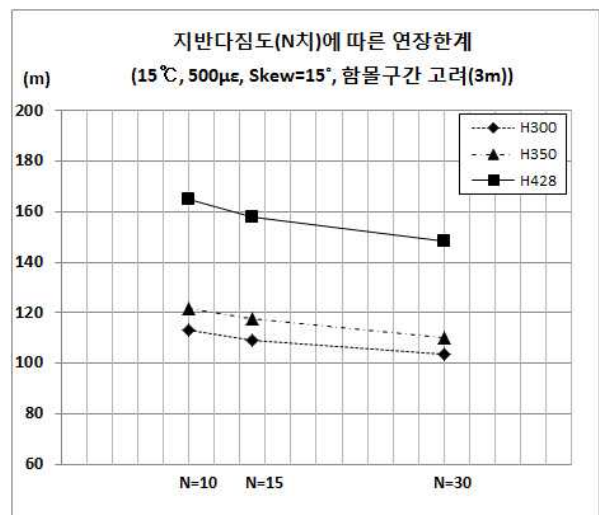
이다. 그러므로 표준온도가 낮을 때보다 높은 경우가 온도하강 범위가 더 커지게 되며 말뚝의 응력변화폭 또한 커지게 된다. 따라서, 완전일체식 교량은 구조계가 완성되어 상부구조의 신축거동이 말뚝에 영향을 가하는 순간을 표준온도라고 가정할 때 이에 대한 영향을 고려하여야 한다. 반일체식 교량의 경우 상하부 구조가 분리되어 이와 같은 영향은 없으며 팽창시 벽체교대에 발생하는 토압에 더 지배적이고 벽체교대의 두께는 하중상태에 맞추어 변화가 가능하므로 온도에 대한 영향은 별도로 검토하지 않았다.

② 말뚝기초 지반 다짐도의 영향

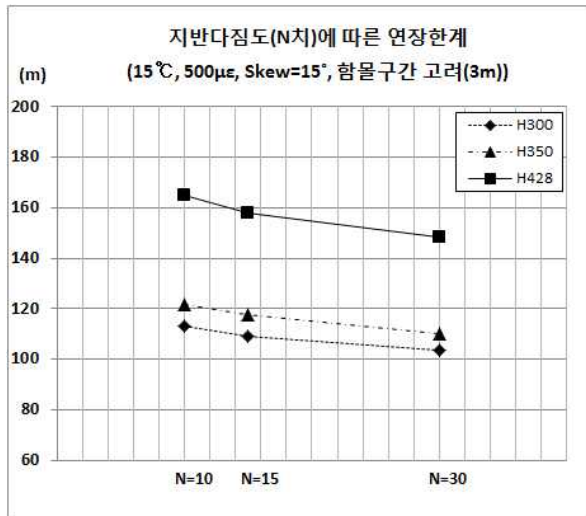
완전일체식 교량은 말뚝기초가 교대를 직접 수직과 수평방향을 지지하는 형식이다. 유연한 말뚝거동을 통해 구조물의 안정성을 확보하는 완전일체식 교량의 말뚝 수평방향은 말뚝을 지지하는 주변 지반의 다짐도가 상당히 중요하다. 지반이 단단하면 상부구조의 신축거동시 말뚝이 움직이지 않으므로 기초와의 연결부에서 상당히 큰 응력이 발생하게 된다. 반대로 지반이 덜 단단하면 말뚝이 어느 정도 거동이 가능하므로 연결부에서의 응력을 감소시킬 수 있다. 따라서 완전일체식 교량은 말뚝의 안정성이 확보된다면 유연한 지반이 교량 시스템의 안정성에 도움이 된다. 이번 연구에서 말뚝의 사전천공구간을 3m를 확보하는 것을 기본 가정으로 하였으므로 이 구간 외에 지반다짐도를 반영하여 연장한계에 대한 영향을 검토하였다. 그림 3.25는 사각별 말뚝주변 지반의 다짐도에 따른 연장한계를 나타낸다.



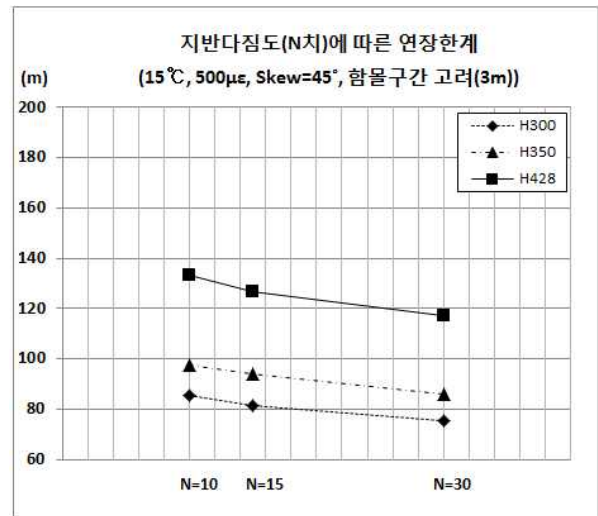
(a) 사각 0°



(b) 사각 15°



(c) 사각 30°



(d) 사각 45°

그림 3.25 지반다짐도에 따른 연장한계

동일한 사각에서 말뚝 주변 다짐도가 증가함에 따라 연장한계는 줄어들었고, 동일한 지반다짐도에서 사각이 증가함에 따라 연장한계는 줄어들었다. H428말뚝을 사용하고 사각이 0° 일 때 지반다짐도가 N=15에서 N=30으로 증가할 때 교량 연장한계는 170m에서 160m로 감소하였다. 일반적으로 성토의 대부분이 N=15이므로 지반다짐도가 이렇게 상승하는 경우는 일반지반에 말뚝을 설치하는 경우에 해당될 것으로 판단된다. 그러므로 성토부가 아닌 일반지반에 말뚝을 설치하는 경우는 이러한 영향을 감안하여 설계를 하여야 한다.

③ 건조수축의 영향

건조수축은 현장타설되는 콘크리트의 주요 수축현상이다. 일체식 교량에서 사용되는 상부구조는 PSC거더교 또는 강교이다. PSC거더교는 증기양생 후 현장존치, 긴장 및 거치 등 상당한 시간이 경과한 후 완성계를 구성하며, 강교는 재료의 특성상 건조수축의 영향이 없게 된다. 따라서 상부거더에서의 건조수축의 영향은 거의 없으며 거더 거치후에 현장타설되는 슬래브의 건조수축이 구조계에 주로 작용하게 된다. 건조수축율은 400~800 $\mu\epsilon$ 정도로 분포하며, 현장타설되는 슬래브에 해외연구자료에 따르면 일체식 교량의 장기적 거동 예측결과 슬래브에 500 $\mu\epsilon$ 의 건조수축율을 작용시 가장 부합하는 해석값을 나타내는 것으로 나타나 이번 연구에서는 이 값을 적용하였다. 건조수축을 작용시 온도하중에 의한 해석값을 비교한 결과는 그림 3.26에 나타내었다.

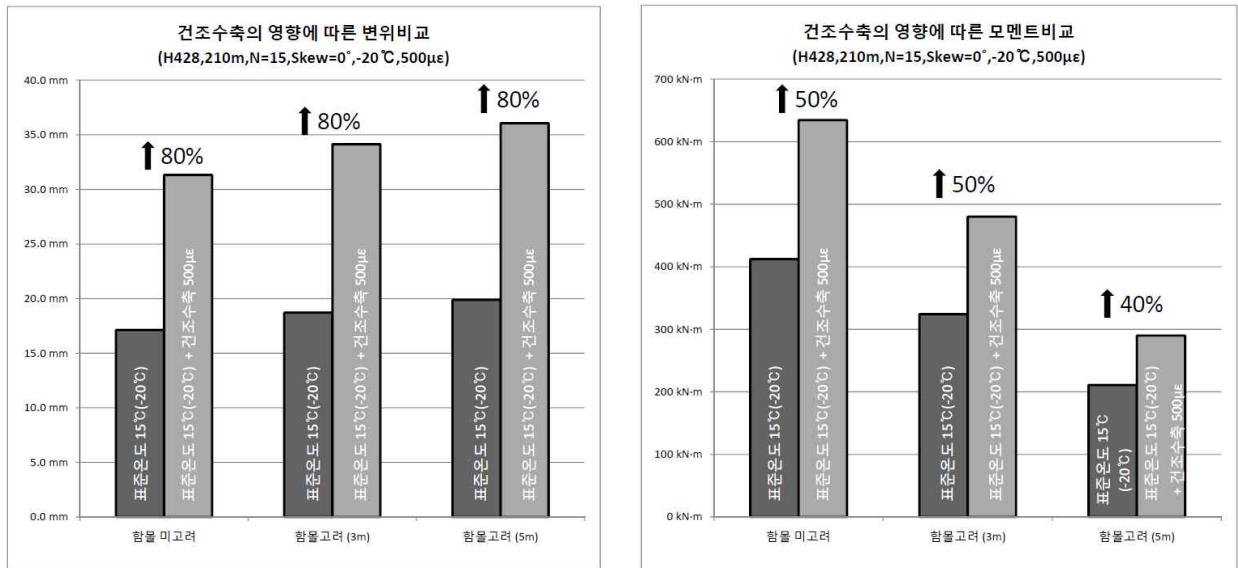
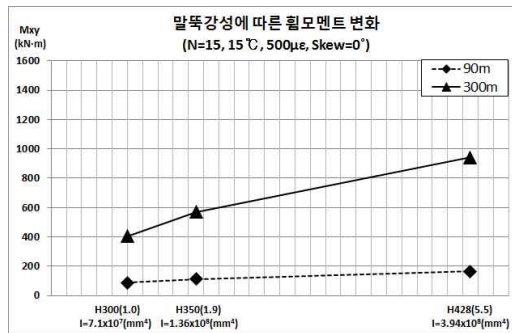


그림 3.26 건조수축 작용 시 해석결과 비교

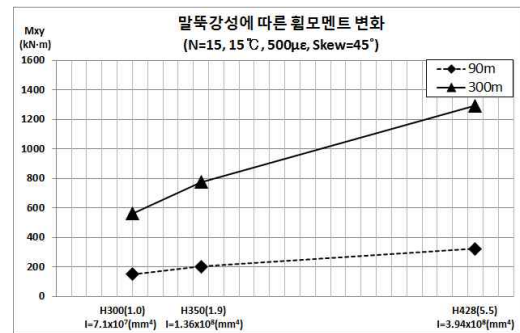
건조수축 작용 시 온도하중에 의한 결과 값에 비해 변위는 약 80%, 말뚝연결부에 작용하는 휨모멘트는 50%가 증가하였다. 이는 곧 연장한계의 감소를 유발하였다. 검토 결과, 온도하중만 고려한 경우는 건조수축을 동시에 고려한 경우보다 약 45%의 연장한계가 감소하였다. 그러므로 건조수축에 대한 영향은 고려할 필요가 있다.

④ 말뚝강성 및 교량 폭원의 영향

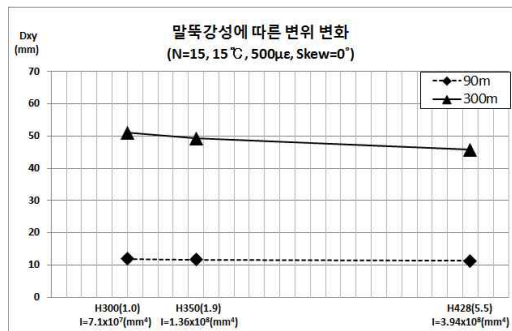
말뚝반력에 따라 말뚝의 크기는 정해지게 된다. 말뚝의 크기는 휨 강성의 변화를 가져오므로 완전일체식 교량처럼 휨과 축방향력을 동시에 받는 구조는 말뚝 크기의 영향을 무시할 수 없다. 완전일체식 교량에서 말뚝의 휨 응력을 유발하는 주 원인은 수평방향을 발생하는 상부구조의 신축거동이다. 그러므로 상부에서 전달되는 축력과 휨 응력을 수용하기 위해서 말뚝의 크기는 정해지게 된다. 그림 3.27은 말뚝 강성에 따른 휨모멘트와 변위 변화를 나타내었다. 그림 3.27에서 말뚝강성이 커질수록 휨모멘트는 선형적으로 증가한다. 반면에 변위는 감소하지만 차이는 크지 않다. 완전일체식 교량의 연장이 일정한 경우 말뚝강성이 커질수록 기초교대 하단의 말뚝상단에 휨모멘트 증가에 따라 응력은 커지게 되며, 말뚝기초의 강성은 수평변위에 저항하게 된다. 그림 3.27 (a), (b)에서 휨모멘트의 증가 기울기는 (c), (d)에서 변위 변화 기울기에 비해 상당히 크다. 이러한 기울기의 차이는 곧 응력의 증가는 상당한 반면 수평변위에 대한 저항은 효율적이지 않음을 의미한다.



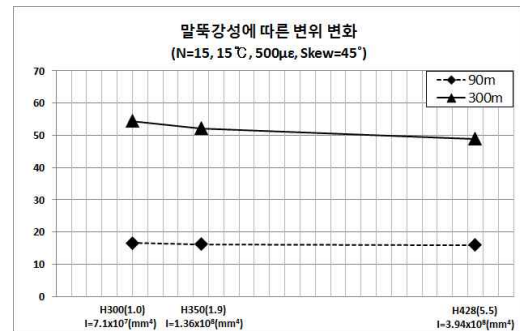
(a) 말뚝강성에 따른 휨모멘트 (사각0°)



(b) 말뚝강성에 따른 휨모멘트 (사각45°)



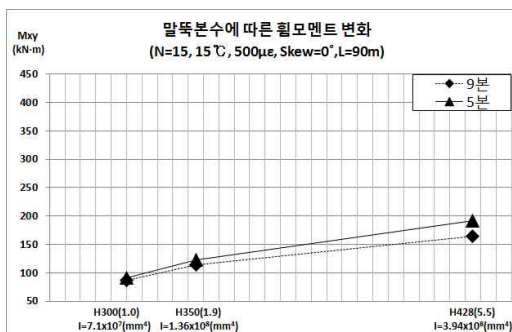
(c) 말뚝강성에 따른 변위 (사각0°)



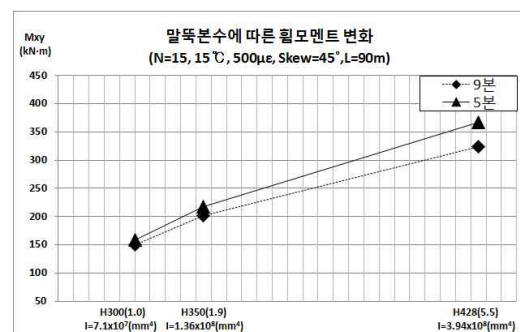
(d) 말뚝강성에 따른 변위 (사각45°)

그림 3.27 말뚝강성에 따른 휨 모멘트 및 변위

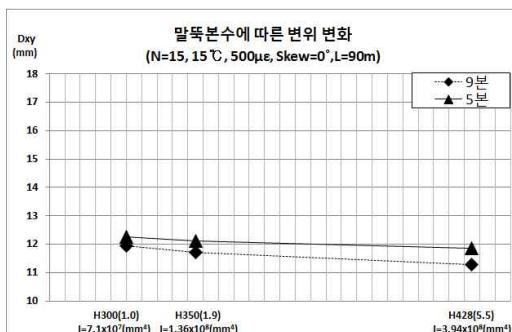
그림 3.28는 말뚝의 본수에 따른 휨 모멘트 및 변위 변화를 나타내었다.



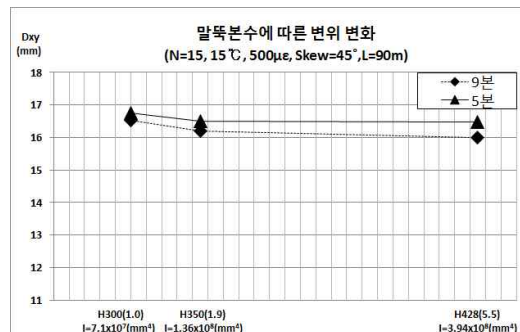
(a) 말뚝본수에 따른 휨 모멘트 (사각0°)



(b) 말뚝본수에 따른 휨 모멘트 (사각45°)



(c) 말뚝본수에 따른 변위 (사각0°)



(d) 말뚝본수에 따른 변위 (사각45°)

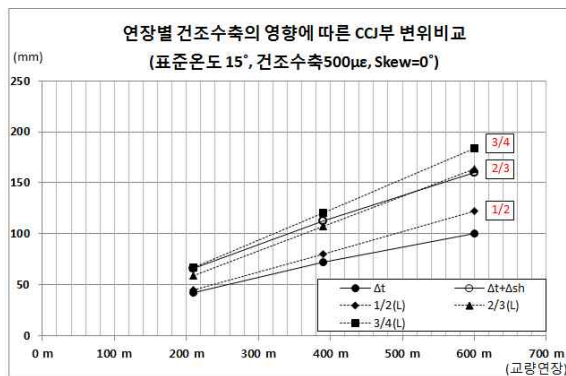
그림 3.28 말뚝본수에 따른 휨모멘트 및 변위

본수를 증가하여 말뚝기초 강성을 키운 경우도 그림 3.27과 유사한 결과를 나타낸다. 말뚝 9분을 가진 경우가 5분을 가진 경우의 휨 모멘트보다 크게 증가한다. 반면에 말뚝 9분의 변위는 5분보다 작게 감소하지만 차이는 크지 않다. 말뚝 본수 증가로 말뚝기초 강성을 크게 해도 수평변위에 대한 저항능력은 효과적이지 않음을 알 수 있다.

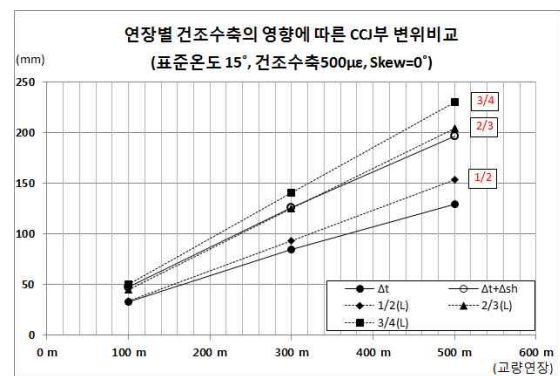
위와 같은 결과로 상부구조의 폭원이 변화하거나 말뚝의 크기 및 본수를 변화하여도 종방향으로 발생하는 상부구조의 신축거동은 거의 동일하게 발생할 것으로 예상되며, 완전일체식 교량에서는 상부에서 전달되는 축력과 상부의 종방향 신축에 따른 휨모멘트를 수용할 수 있는 크기를 사용해야 한다. 그리고 말뚝반력에 따라서 말뚝본수를 증가하거나 감소시켜도 휨모멘트를 받을 수 있는 제원을 사용하면 무방할 것으로 판단된다.

3.4.4 기타 검토 사항

신축조절장치는 일체식 교량의 신축거동을 확보하는 주요 부대시설이다. 완전일체식 교량에 비해 반일체식 교량의 발생 변위량이 다소 커서 이에 대해 검토한 결과는 다음과 같다.



(a) 콘크리트교 반일체식 교량



(b) 강교 반일체식 교량

그림 3.29 신축조절장치에 발생하는 변위 검토결과

그림 3.29는 표준온도 15° 및 슬래브에만 건조수축을 500 $\mu\epsilon$ 을 적용하여 산정한 교대의 변위를 나타내었다. 이 때 적용한 건조수축율은 국내에는 비교사례가 없었고 해외에서 일체식 교량의 실험측정결과와 비교한 결과(Robert J. Frosch, 2011) 가장 유사한 값을 나타

내고 있어 연구 시 적용하였다. 그림에서 점선은 온도만을 기준으로 하고 신축장을 교량 연장의 1/2, 2/3, 3/4로 나타낸 값이다. 여기서, 신축장을 현재 사용하고 있는 교량연장의 2/3로 할 경우 교량의 변위는 유사함을 나타내고 있다. 따라서, 일체식 교량의 신축조절부 설치유간은 온도 및 건조수축을 고려하여 산정한 값을 사용하도록 한다. 교량연장이 증가하게 되면 큰 변위를 수용하는 장치가 필요하며 신축조절장치의 형식을 구분하면 다음과 같다.

Type 1		
Type 2		
Type 3		
Type 4		

그림 3.30 발생 변위별 적용 가능한 신축조절장치 형식

3.5 일체식 교량 설계지침 제안

이 연구에서는 일체식 교량의 성능향상을 목표로 하고 있으며, 기존의 설계지침의 목차 중 연구를 통한 성능향상에 해당하는 항목은 다음과 같다.

2 장 설계일반사항

2.2 적용조건

2.2.1 교량연장

2.2.2 교량사각

2.2.3 평면선형 및 종단선형

2.3 교량계획

2.3.4 말뚝기초

2.5 교대 뒤편 채움 계획 및 시공

2.5.1 뒤편 채움 재료

2.5.2 뒤편 채움 범위

2.6 신축조절부, 접속슬래브 및 날개벽

2.6.1 신축조절장치(Cycle Control Joint)

3 장 설계 및 해석

3.8 말뚝기초

3.11 신축조절부

3.11.1 신축조절장치 설치유간

3.5.1 성능향상 제안사항

1) 교량 연장, 사각

기존 설계지침에서는 완전일체식 교량에 대해서 콘크리트교 120m, 강교 90m를 연장한 계로 제안하고 있다.

상부구조에서 발생하는 온도신축에 의한 변위로부터 벽체교대, 일렬 말뚝기초, 교대 연결부 등에 응력이 발생되므로 교량 총 연장 길이에 대하여 제한을 둔다. 교량연장은 연구결과에 따라 완전일체식 교량은 콘크리트교 180m 이하, 강교 150m 이하로 하며 사각이 커질수록 연장한계는 감소한다. 다만 상기 교량연장을 초과 적용할 때는 상부구조 형식, 설치 경간수, 지반조건 및 설치지역의 온도변화 등 제반사항을 고려하여 유한요소 해석기법 등을 활용한 별도의 구조검토를 실시하고 충분한 안전성을 확인하여 이를 적

용할 수 있다. 미국과 캐나다에서 다경간 일체식 교량의 합리적인 변위 분산을 통하여 프리캐스트 콘크리트 거더를 이용한 콘크리트 교량은 총 연장 358.4m가, 강재 거더를 이용한 강 교량은 318.4m가 시공된 바 있다.

교량사각이 큰 경우에는 양측 교대배면에 작용하는 토압력의 분력영향으로 교량계가 회전 변위할 가능성이 존재하며, 동시에 교대 배면에 발생하는 토압력은 말뚝에 조합응력으로 작용하므로 사각은 교축직각방향에서 30° 를 초과하지 않도록 하여야 한다(도로교 설계기준, 2008). 미국, 캐나다, 호주, 영국 등의 도로국에서는 일체식 교량의 사각을 최대 45° 로 정하고 있다. 하지만, 대부분 최대 사각을 30° 로 하고 있으며 교량의 안정성을 확보를 위해 사각 제한조건은 유지하도록 한다.

도로의 평면 곡률을 따라 교량을 설치할 경우 상부구조에 발생하는 실제적 온도변위의 방향을 정확하게 밝히기가 어려우며, 이로 인하여 양측 교대 조건에 차이가 발생할 수 있으므로 이를 최소화하여야 한다. 거더의 배치는 곡선의 접선에 따라 직선으로 배치하고 거더 간의 간격은 평행하여야 한다. 박스 거더교와 같이 곡률에 따라 곡선 거더를 설치하는 경우 적용 대상에서 제외한다. 온도변위에 대한 재료적 특성에 따라 교량연장을 결정하였으므로 곡률반경에 대한 제한조건 대신 교량 시종점이 이루는 교각(橋角)을 5° 이하로 정하였다. 일체식 교량은 거동 특성상 양측 교대조건이 가능한 동일한 조건으로 계획하는 것이 바람직하다. 다만 교량 종단경사가 5%를 초과하는 경우 별도의 구조검토를 통해 적용할 수 있다. 미국의 경우 교각(橋角)이나 종단경사 모두 기존 조건을 초과하지만 교각(橋脚)의 연성을 이용하여 구조안전성을 확인하여 적용한 사례가 있다.

2) 말뚝기초

기존 설계지침에서 완전일체식 교량의 경우 H말뚝, 강관 그리고 PHC말뚝의 일렬배치 사용을 제안하였다.

일체식 교량의 말뚝은 온도신축에 의한 횡 변위를 수용한 거동으로 교량 전장을 결정하는 중요한 인자이다. 따라서 말뚝단면에 발생하는 응력을 낮추고 탄성거동을 목적으로 말뚝의 최소길이를 제한하여 말뚝의 연성거동을 확보할 수 있도록 한다. H형강, 원형강관 그리고 PHC말뚝을 각각 적용하여 완전일체식 교량의 연장한계를 산정한 결과, 강관 말뚝은 현재의 기준에 비해 연장한계 확대효과가 없고, PHC말뚝은 휨 응력에 비해 전단응력이 지배적 이어서 연성거동을 확보해야 하는 완전일체식 교량에는 적합하지 않은 것으로 나타났다. H형강의 경우 강축에 비해 말뚝의 연성능력을 충분히 발휘하며 연장

한계를 만족시킬 수 있으므로 H형강 말뚝 및 약축 일렬배열을 적용하는 것이 적절할 것으로 판단된다.

3) 뒤채움 재료

기존 설계지침에서 일체식 교량에서 사용되는 뒤채움에 대해서는 무다짐을 사용하는 것을 제안하고 있다.

해외문헌 조사결과, 주로 사용되는 뒤채움 재료로는 골재를 사용하는 무다짐 뒤채움, 다짐 뒤채움, EPS 및 토목 보강재를 사용한 빈 공간 형성방법 등이 있었다. 이 중 다짐 뒤채움을 제외한 나머지는 모두 벽체교대에 작용하는 수동토압을 최소화하는 재료 및 방법이고 다짐 뒤채움은 상부구조의 변위를 억제하고자 사용하는 방법이다. 현재 사용되는 SB-1의 다짐도를 이용하여 검토한 결과, 다짐 뒤채움에 의해 억제되는 상부구조의 변위량이 크지 않고 억제효과의 불확실성이 있으므로 벽체의 수동토압을 저감시키기 위해 현재 사용되고 있는 무다짐 뒤채움이 적절할 것으로 판단된다.

4) 신축조절장치

기존 설계지침에서 일체식 교량에서 사용되는 신축조절장치에 대해서 교량에서 발생하는 변위량을 제어할 수 있는 적절한 장치를 사용하는 것을 제안하고 있다.

신축조절부는 온도변화에 따른 교량의 신축변위가 상부구조에 연속된 접속슬래브에 직접 전달되므로, 접속슬래브와 본선 포장부 사이에 설치한다. 신축변위를 직접 조절하는 신축조절장치는 팽창줄눈방식, 단순채움방식(plug joint), 방수형 탄성봉합재 방식, 기계식 이음장치 방식 등을 적용할 수 있다.

5) 말뚝기초 설계 및 해석

기존 설계지침에서 완전일체식 교량에서 사용되는 말뚝기초의 설계 및 해석시 최소길이 6m 사용을 제안하고 있다.

일체식 교량의 말뚝은 온도신축에 의한 횡변위를 수용하여야 하므로 교량 종방향의 휨 거동에 유연하게 거동하도록 말뚝을 배열하고, 말뚝단면의 발생응력이 재료의 허용응력을 초과하지 않도록 하여야 한다. 따라서 일체식 교량에서 말뚝기초는 수직말뚝이 기본이고, 수평변위를 허용하여야 하므로 다열말뚝 또는 경사말뚝을 적용할 수 없다. 그러나 반일체식 교량은 일반교량과 같은 수직 및 경사인 다열말뚝배열을 적용한다.

말뚝은 적용 가능한 일체식 교량의 전체길이를 결정하는 중요한 인자로서, 온도변화에

따른 교량의 교축방향 변위를 수용하는 역할을 한다. 온도변화에 따른 변위는 교량연장과 비례하여 증가하므로 보다 긴 교량에서는 말뚝의 길이가 충분히 확보되어야만 한다. 말뚝의 최소 길이는 6m 이상을 확보하고, 말뚝상부는 주변지반 간의 거동에 저해하지 않도록 H말뚝 항타시 생긴 양측 플랜지 사이의 함몰부에 모래를 무다짐 충전한다. 해외 문헌 조사결과, 충전 재료로는 다짐 모래, 무다짐 모래, 스티로폼 펠렛 및 벤토나이트 등이 사용될 수 있으나 무다짐 모래 외에는 말뚝의 유연한 장기거동을 확신할 수 없는 것으로 조사되어 무다짐 모래를 충전재로 사용하도록 한다. 만약 지반이 견고하여 말뚝의 유연거동이 제한되는 경우, 지반에 인위적으로 말뚝 지름보다 큰 사전천공 구간을 약 3m 깊이 정도로 시공하여야 한다. 이때 사전굴착 구간에는 말뚝시공이 완료된 후 모래를 충전한다. 사전천공 구간이 4~5m인 경우 유연한 말뚝거동이 확보되어 연장한계는 증가하나 축력과 휨모멘트를 받는 말뚝구조의 안정성에 문제가 있어서 최대 4m를 적용하도록 한다.

6) 신축조절장치 설계

기존 설계지침에서 일체식 교량에서 사용되는 신축조절장치에 대해서 교량연장의 2/3를 신축장으로 사용하는 것을 제안하고 있다.

일체식 교량은 일반교량의 교대부에 설치하는 신축이음장치를 제거하여 상부구조의 신축량에 대해서 벽체교대 배면의 뒤편 강성과, 벽체교대와 일체로 시공되는 접속슬래브 끝단의 신축조절장치를 통해서 교량의 변위를 조절한다. 따라서 신축조절장치의 유간 결정시 상부구조의 온도변화에 의한 구조물과 뒤편 강성을 고려하여 공용중 발생할 수 있는 변위량을 수용할 수 있어야 한다. 기존 지침은 온도만을 고려하여 신축량을 계산하고 있으나, 상부슬래브에 건조수축을 작용시키는 경우가 실물 계측결과와 유사하다는 연구결과를 참고하여 온도 및 건조수축 등이 작용하여 발생하는 신축량을 반영시키는 것이 적절할 것으로 판단된다.

제 4 장 적용성 확대를 위한 일체식 교량 경계조건 영향 연구

4.1 완전일체식 교량 교대연결부(힌지처리)의 영향

완전일체식 교량의 연장한계를 결정하는 가장 지배적인 요소는 기초교대 속에 매입된 말뚝머리보강부분과 말뚝상단(기초교대 아래의 말뚝부분)에서 발생하는 높은 응력이다. 이 부분에서의 응력을 낮춘다면 경제성 및 유지관리성이 우수한 완전일체식 교량의 연장한계를 좀 더 효율적으로 증가시킬 수 있다. 높은 응력을 해소시키기 위해서는 기초교대와 벽체교대를 힌지방식으로 연결하는 방법, 기초교대와 말뚝기초를 힌지방식으로 연결하는 방법, 말뚝상단의 단면감소를 통한 응력감소 등이 있다. 이 절에서는 말뚝머리의 응력을 해소하는 방법에 대한 사례소개 및 힌지방식으로 연결 시 완전일체식 교량의 연장한계에 대한 영향을 검토하고자 한다.

4.1.1 연결부 변경 사례

일체식 교량이 가장 보편화된 미국 각 주의 도로국(Department of Transportation)에서는 일체식 교량에 대해 주별로 각각의 표준도를 제시하고 있다. 이 중에서 말뚝머리의 고응력을 해소하고자 말뚝과 완전일체식 교량의 소교대(Stub Abutment)의 연결부를 변형시킨 사례를 소개하고자 한다.

그림 4.1은 일반적인 완전일체식 교대의 단면도를 보여준다. 접속슬래브를 지지하는 브라켓의 형태가 직사각형으로 직벽형 또는 경사형 브라켓을 사용하는 국내와 약간 상이하지만 국내에서 사용하는 방식과 크게 다르지 않음을 알 수 있다.

그림 4.2와 같이 인디애나주의 도로국(INDOT, 2013)에서는 완전일체식 교량에서 기초교대와 거더 및 벽체교대 연결부에 오목부를 만들어 온도에 의해 상부거더의 수축·팽창 시 벽체교대만 거동하여 말뚝기초와 기초교대의 움직임을 최소화하려 하고 있다. 이러한 교대를 갖는 완전일체식 교량의 거동은 반일체식 교량과 유사하다. 여기서는 완전일체식 교량을 기준으로 하므로 편의상 완전일체식 교량의 변형된 형태로 명칭하도록 한다.

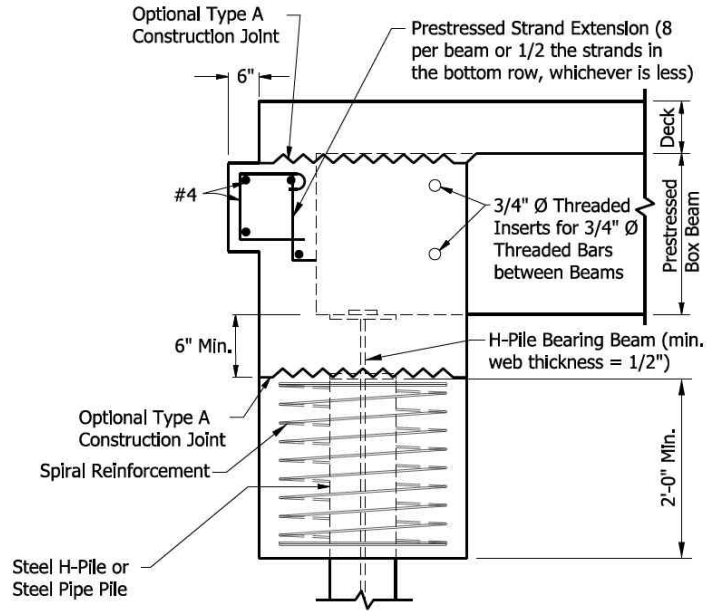
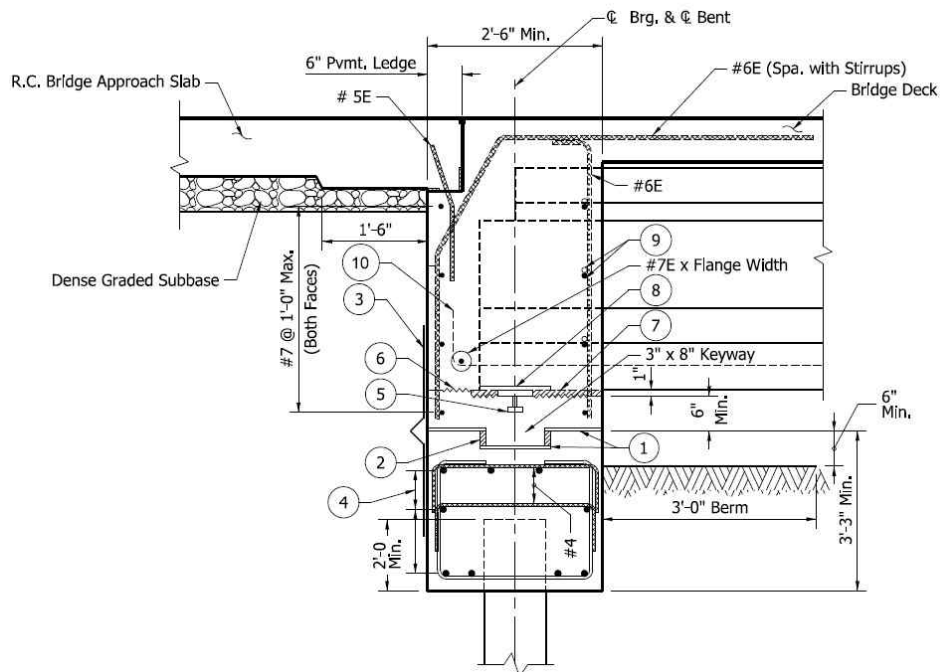
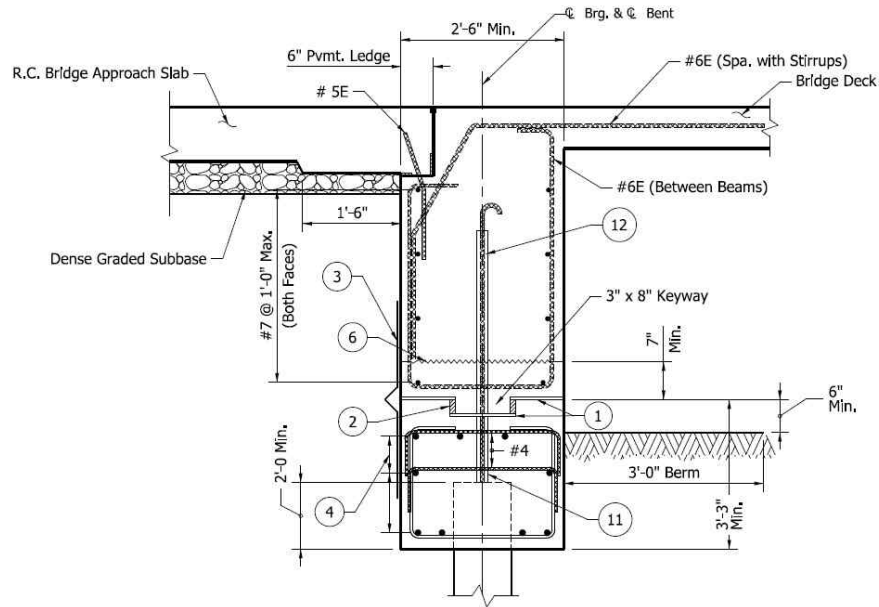


그림 4.1 완전일체식 교량의 단면도

그림 4.2는 기초교대 상단이 오목부로 만들어져 힌지거동을 할 수 있도록 하는 단면이다. 완전일체식 교대와 형태는 유사하지만 그림 4.2와 같이 거더 하단부는 오목부로 연결(a)되며, 일반부(거더와 거더사이)는 오목부 및 수평력 전달을 위한 철근이 배근(b)되어 있다.



(a) 거더부 단면도



(b) 일반부(거더와 거더 사이) 단면도
그림 4.2 힌지 처리된 벽체교대 단면도

여기서, 단면도에 있는 각 부재에 대한 설명은 다음과 같다.

- ① 유연한 수평거동을 할 수 있는 3겹의 고밀도 플라스틱 받침재
(그리스로 층 사이 도포)
- ② 팽창 폴리스티렌(expanded polystyrene) 받침재
- ③ 폴리크로펜 시트(polychoroprene joint membrane)
- ④ 고정하중과 활하중을 위한 주철근
- ⑤ 앵커 플레이트(anchor plate)
- ⑥ 시공이음부
- ⑦ 거더와 시공이음부의 충돌방지용 팽창 폴리스티렌(expanded polystyrene, 1inch)
- ⑧ 받침 플레이트(거더내에 위치)
- ⑨ 벽체교대 횡철근
- ⑩ 강연선
- ⑪ 기초교대 상단에 현장천공하여 정착(1ft)된 철근(소정의 인발력 보유)
- ⑫ 철근 보호 PVC 파이프(그라우팅 채움)

일반부에 설치되는 수직철근(⑪)은 수직거동이 예상되는 지역에서 필요하므로 국내 여건에는 부합되지 않는다. 그림 4.2에 나타난 단면은 국내에서도 충분히 사용될 수 있으며, 합리적으로 연장한계를 증가시킬 수 있을 것으로 판단된다.

국내에서는 말뚝머리부의 단면을 감소시켜 변형을 원활하게 함으로서 고응력을 해소시키는 연구가 있었다. 해당 연구에서는 완전일체식 교량의 H형강 말뚝기초는 기초교대에서 나선철근의 배치로 연결부 성능을 만족하게 되지만, 철근의 구속효과로 말뚝의 저항력이 변위에 선형적으로 비례하여 증가하게 되므로 강말뚝의 형상을 개선하여 응력을 해소시키고자 하였다.

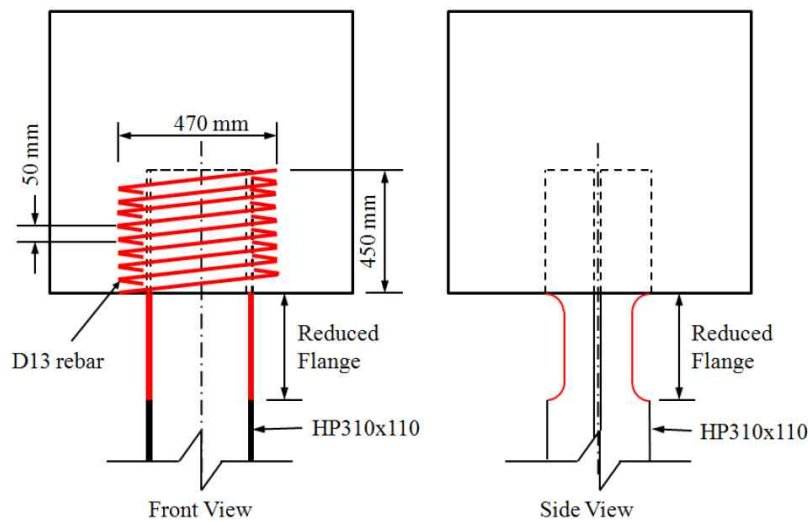


그림 4.3 변형된 단면을 갖는 말뚝기초(김우석, 2013)

그림 4.3은 변형된 단면을 갖는 말뚝기초의 형태를 나타낸다. 기초교대 연결부의 응력은 그림 4.4와 같이 나선철근에 의해 소산되나 말뚝상단에 발생하는 응력은 그대로 유지되므로 플랜지를 감소시켜 응력을 해소하고자 하였다.

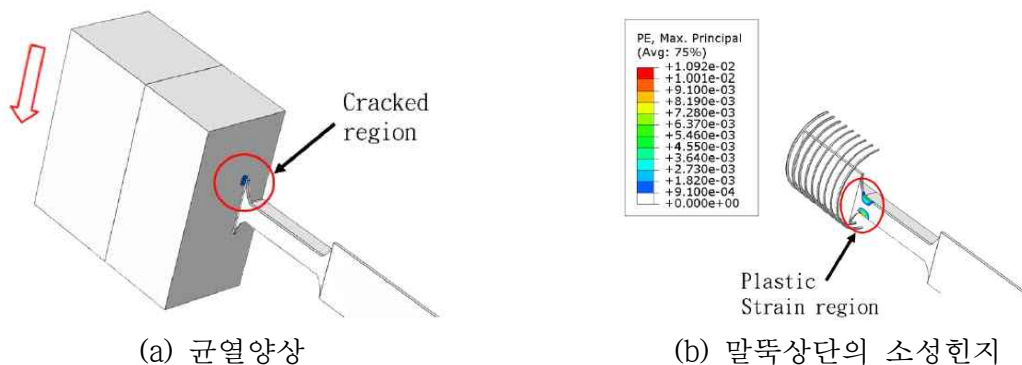


그림 4.4 해석결과(김우석, 2013)

상기된 방법들은 다각적인 검토 및 연구를 통해 적용성을 확인한다면 활용성이 우수한 완전일체식 교량의 적용 및 설계에 유용하게 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

4.1.2 벽체교대 힌지연결시 영향검토

완전일체식 교량의 연장한계를 산정함에 있어 기초교대와 벽체교대는 강결 연결되는 것으로 가정하여 모델링에 표현하였다. 하지만 기초교대와 벽체교대 연결부를 힌지 연결하는 것으로 모델링 할 경우 상부에서 전달되는 모멘트가 없기 때문에 완전일체식 교량 구조계의 안전성을 지배하는 말뚝기초 상단의 응력이 상당히 완화될 것으로 예상된다. 4.1.1절에서와 같이 이미 이러한 개념을 반영한 표준도 및 연구가 진행되어 왔으며, 여기서는 기초교대와 벽체교대를 힌지로 연결할 경우에 대한 영향을 검토하고자 한다.

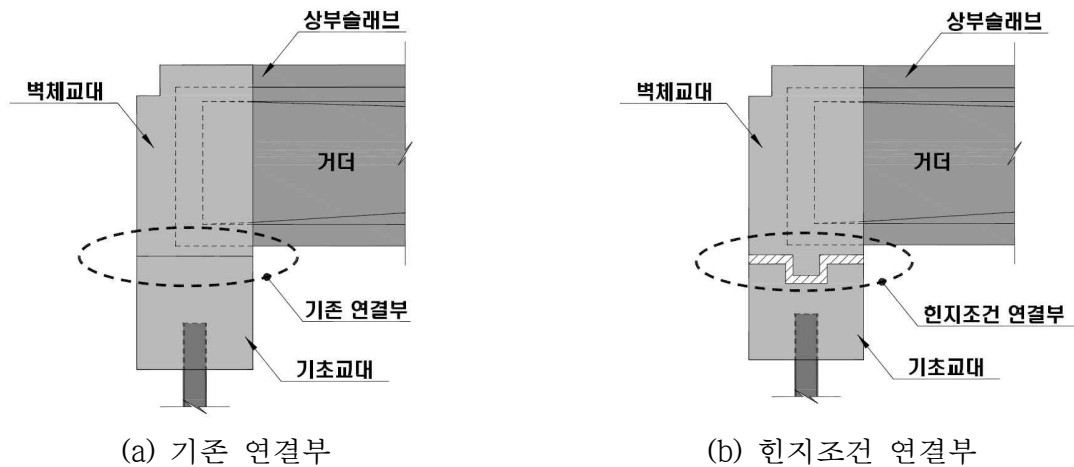
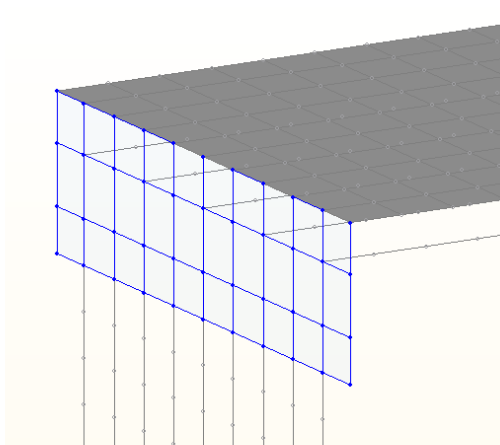
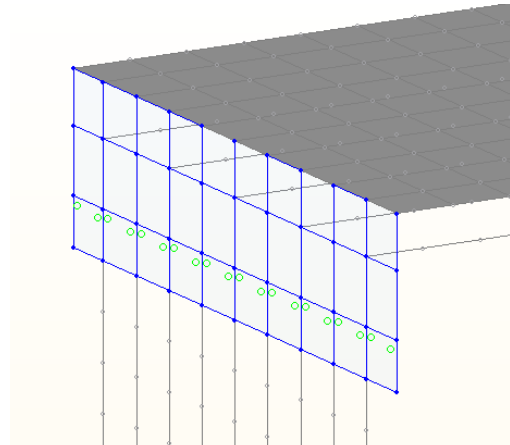


그림 4.5 연결부 개념도

그림 4.5는 연결부 개념도에 대해서 나타내었다. 기존 연결부는 기초교대와 벽체교대가 강결처리되는 국내에서도 현재 사용되는 방식이다. 힌지조건 연결부는 기초교대에 오목부 처리를 하여 오목부 하단에 탄성패드와 같은 받침을 임시용으로 설치하고 나머지 부분은 채움재를 사용하여 마감을 하게 된다. 거더가 놓이지 않는 부분은 힌지철근을 설치하여 힌지를 통해 전달될 수 있는 수평력에 대해 안전성을 확보할 수 있도록 한다. 이와 같은 조건을 모델링에 반영하면 그림 4.6과 같다.



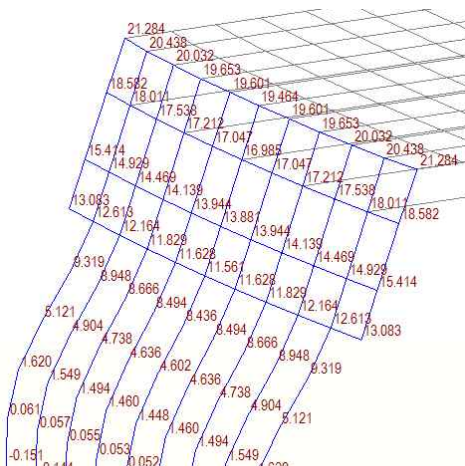
(a) 기존 연결부



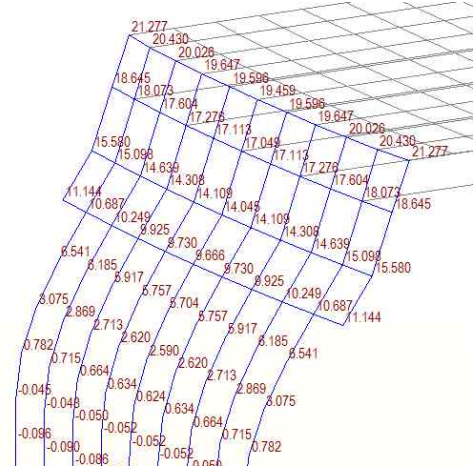
(b) 힌지조건 연결부

그림 4.6 모델링

하중조건 및 기타 경계조건은 기존 모델링과 동일하며 해석결과는 그림 4.7과 같다. 예상한대로 기존 방식은 벽체교대와 기초교대가 상부구조에 따라 휨 거동을 나타내므로 말뚝 상단 변위는 힌지방식에 비해 크게 발생한다. 그림 4.7 (b)와 같이 힌지방식의 벽체교대는 상부구조에 따라 거동을 나타내지만, 힌지조건으로 연결된 기초교대는 벽체교대로부터 전달되는 수평력에 의한 거동만을 보이므로 강결연결된 기존 방식에 비해 변위가 작게 나타남을 알 수 있다.



(a) 기존 연결부



(b) 힌지조건 연결부

그림 4.7 변위에 대한 해석결과(L=90m)

그림 4.8은 말뚝상단에 발생하는 휨모멘트를 비교하였다. 변위의 감소로 힌지방식으로 연

결된 말뚝상단의 휨모멘트는 강결방식에 비해 작게 나타났다.

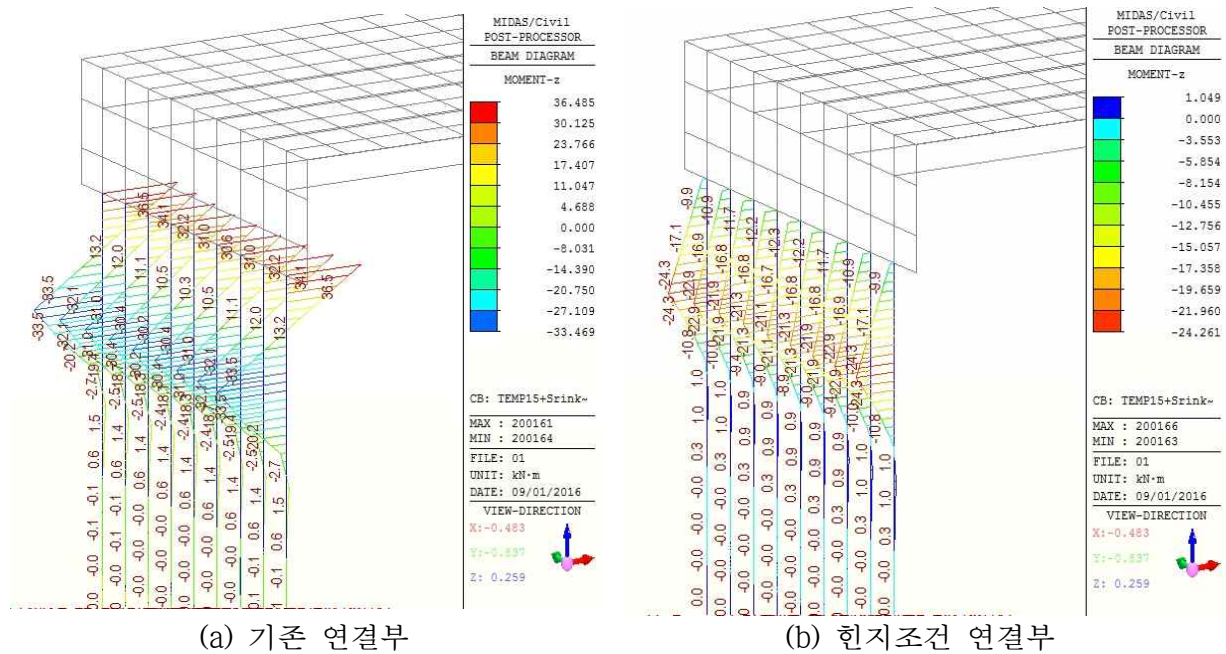


그림 4.8 휨모멘트에 대한 해석결과(L=90m)

기초교대와 벽체교대의 연결부에 강결조건 및 힌지조건을 반영한 완전일체식 교량의 연장한계는 그림 4.9와 같다.

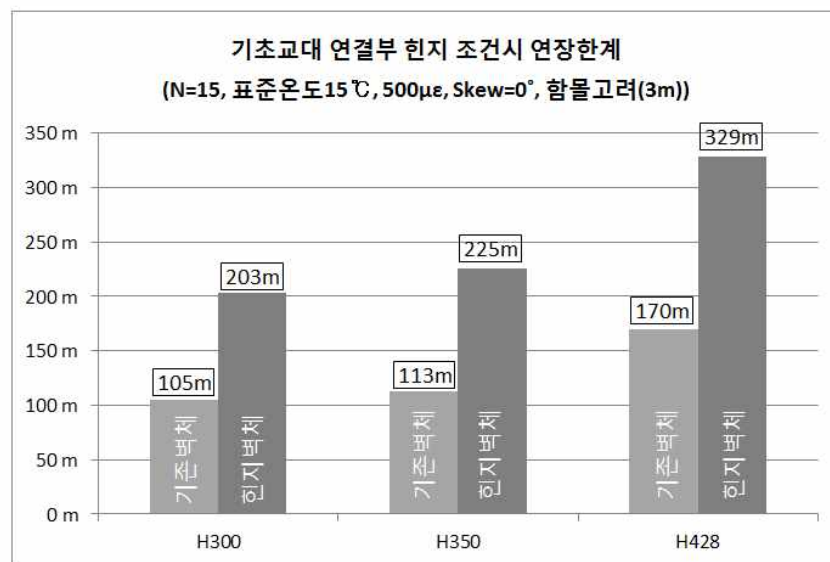


그림 4.9 연결조건에 따른 완전일체식 교량의 연장한계 비교

그림 4.9에 따르면 힌지방식으로 연결하는 경우가 강결 연결조건을 갖는 기존 형식보다 약 2배의 연장한계 증가효과가 있음을 알 수 있다.

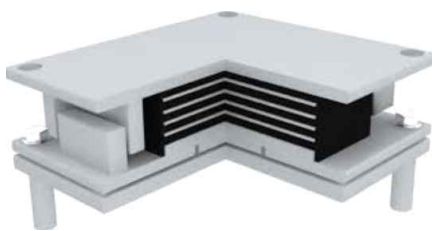
검토결과, 기초교대와 벽체교대를 힌지방식으로 연결할 경우 상부구조로부터 발생하는 휨모멘트가 전달이 안되고 수평력에 의한 변위거동만을 나타내므로 말뚝과 기초교대 연결부에 발생하는 휨모멘트가 작아져서 기존 강결방식에 비해 연장한계가 증가할 수 있다. 따라서 현재 제안된 연장한계의 증가가 필요한 경우 구조안전성 및 적용성을 다양한 관점에서 검토하면 충분히 적용 가능한 하나의 해결책을 제시할 수 있을 것으로 판단된다.

4.2 고정단을 갖는 교각의 영향

일체식 교량 뿐만 아니라 일반 조인트 교량에서도 고정단을 갖는 교각을 사용한다. 고정단을 갖는 교각을 사용함으로써 교각이 높은 경우 수평하중에 대한 저항성을 향상시킬 수 있으며, 부정정 구조로 추가적인 안정성을 기대할 수 있다. 하지만 부정정력의 발생으로 과도한 단면을 유발할 수 있는 단점도 있다. 따라서 교량현황에 부합하는 적절한 강성을 갖는 교각구조를 적용해야 한다.

4.2.1 고정단 교각 사례

완전일체식 교량에서 고정단을 갖는 교각을 사용하게 되면 온도로 발생하는 상부구조의 수평거동을 제어하는 효과가 있다. 교각을 고정단으로 하는 방법은 고정방식의 교량받침을 사용하는 방식, 교각 코핑에 콘크리트 블록을 설치하여 변위를 제어하는 방식 그리고 상하부 구조를 완전히 결합하는 방식 등이 있다. 그림 4.10은 일반적으로 사용되고 있는 고정방식의 교량받침이다. 탄성받침의 경우 고무패드의 이동을 쉼기블록이 저항함으로써 고정받침으로서의 역할을 수행하도록 하고 있으나, 고무패드와 쉼기블록 사이에 간격이 있어 일정량의 이동량은 발생하므로 명확한 의미에서 고정받침이라 하기는 힘들 것으로 판단된다. 포트받침의 경우 돌출부가 받침거동의 방향성을 정해줌으로서 고정받침의 역할을 수행하게 된다.



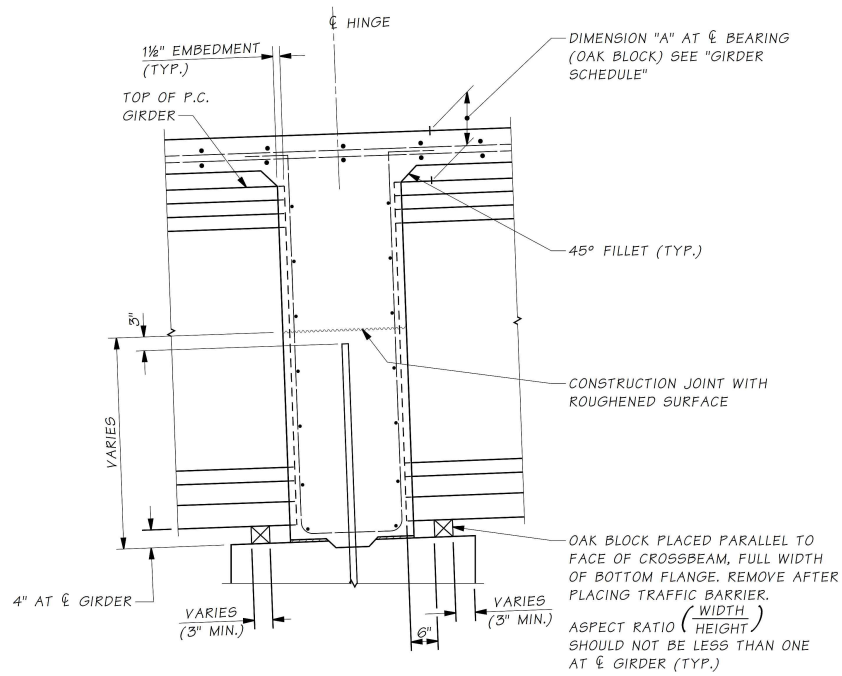
(a) 탄성받침



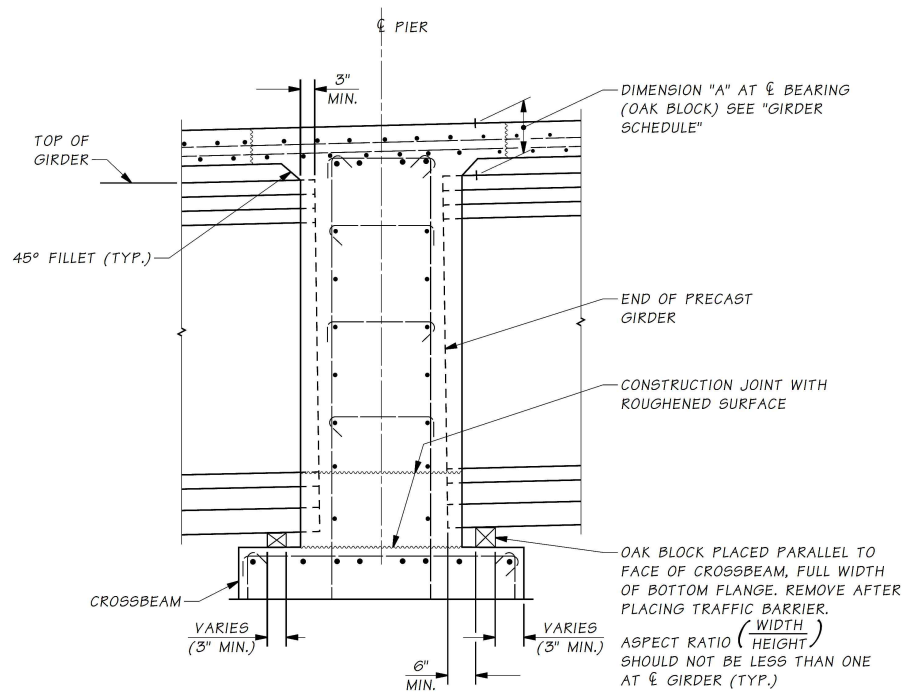
(b) 포트받침

그림 4.10 고정단 교량받침

그림 4.11은 해외(WSDOT, 2012)에서 사용되는 고정단 교각이다. 그림 4.11(a)는 힌지방식으로 가로보를 힌지철근으로 고정하여 거더와 연결시키는 방식이다. 그림 4.11(b)는 힌지방식과 마찬가지로 교량받침이 없고 철근을 전후로 배치하여 강결연결시키는 방식이다.



(a) 힌지방식



(b) 고정방식

그림 4.11 고정단 교각 사례

그림 4.12는 교축직각방향을 제어하는 약간 다른 사례이지만 고정단 교각을 형성함에 있어

응용이 가능할 것으로 판단되며, 교각의 코핑에 거더블록을 만들어 거더의 이동을 제어하는 방식이다.

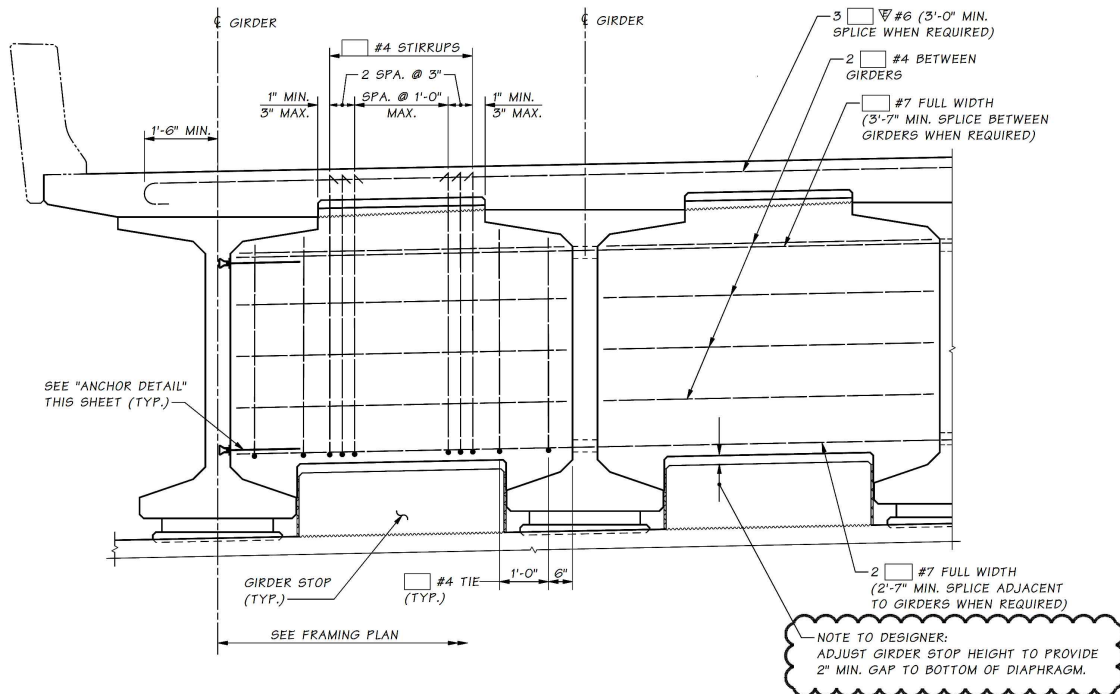


그림 4.12 거더블록 방식

4.2.2 고정단 교각의 영향검토

완전일체식 교량 구조의 전체적인 안전성을 지배하는 것은 교대를 지지하는 말뚝상단에 발생하는 휨모멘트이다. 4.1절에서 검토한 바와 같이 힌지방식으로 기초교대와 벽체교대를 연결할 경우 말뚝기초 상단의 휨모멘트가 감소하여 연장한계의 증가를 유도할 수 있음을 알 수 있었다. 또 다른 방식으로는 완전일체식 교량에 고정단 교각을 적용하여 상부거더의 온도하중에 의한 수평방향의 거동을 제어함으로써 말뚝에 발생하는 부재력을 제어하는 방안을 생각할 수 있다. 기존 모델링은 연장한계를 산정함에 있어 안전측의 결과를 유도하기 위해 상부구조의 수평방향 거동에 영향이 없도록 교각에서 롤러 경계조건을 갖도록 하였다. 여기서는 연속교 조건인 완전일체식 교량의 교각에 고정단을 모델링에 반영함으로써 교량 거동의 영향을 확인하고자 한다.

교각의 고정단은 해외사례 조사결과와 같이 고정방식과 힌지방식으로 구분될 수 있다. 고정방식은 상부구조의 수평방향에 대한 이동 뿐만 아니라 휨에 대한 거동에 대해서도 저항하며, 힌지방식은 수평방향에 대한 이동에 대해서만 저항한다. 따라서 고정방식의 강성이 일반적으로 더 크다. 교각 상단에 발생하는 상부구조의 수평방향 하중에 대한 힌지방식의 교각 강성은 $3EI/h^3$ 이고, 고정방식의 교각 강성은 $12EI/h^3$ 이므로 동일한 조건인 경우 고정방식이 힌지방식에 비해 4배가 크다. 그림 4.13은 교각을 포함하는 해석 모델링을 나타낸다.

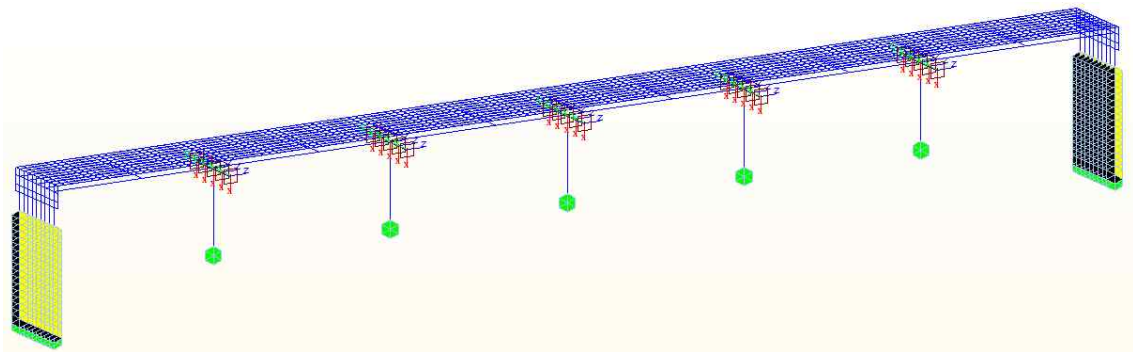
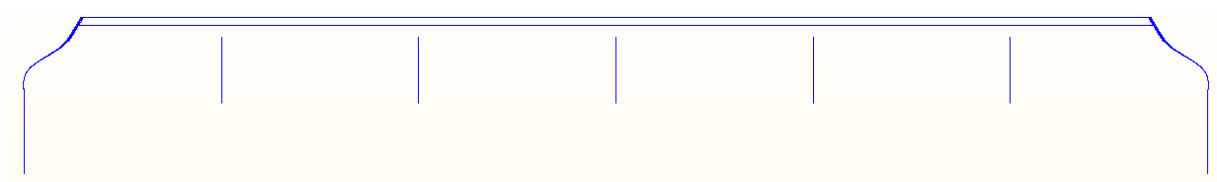
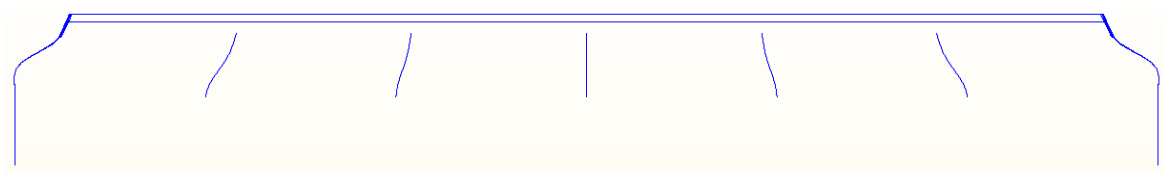


그림 4.13 교각을 포함하는 해석 모델링

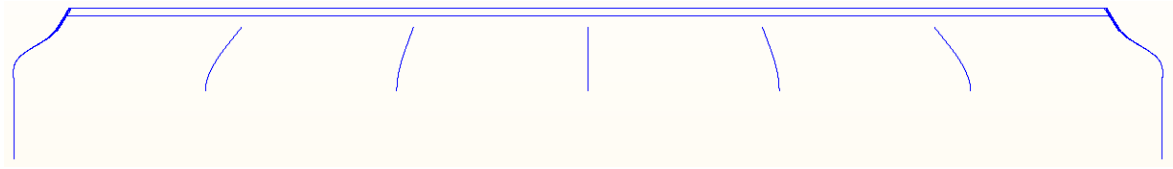
롤러방식은 교각이 수평 및 회전에 대한 저항을 하지 않으므로 수직방향에 대한 지지강성만을 모델링에 포함하였고, 힌지방식은 수직 및 수평방향 저항을 할 수 있도록 강성을 입력하였다. 마지막으로 고정방식은 수직, 수평 및 회전에 대해 저항할 수 있도록 모델링에 반영하였다. 그림 4.14는 해석결과에 따른 거동을 나타낸다.



(a) 롤러방식



(b) 고정방식



(c) 힌지방식

그림 4.14 교각 경계조건에 따른 교량 거동

그림 4.14와 같이 교각 경계조건에 따른 교량 거동을 살펴보면 먼저 롤러 방식은 상부구조의 수평방향 거동이 교각과 전혀 상관없이 나타남을 알 수 있다. 고정방식의 경우 교각은 수평방향에 대해 수평및 휨저항을 하므로 2개의 변곡점 갖는 형상을 갖는다. 힌지방식의 경우 수평저항만 하므로 교각의 형태가 단일 곡률을 갖는 형태를 갖게된다. 그림 4.15에서 이와 같은 교각의 거동을 수치적으로 확인할 수 있다.

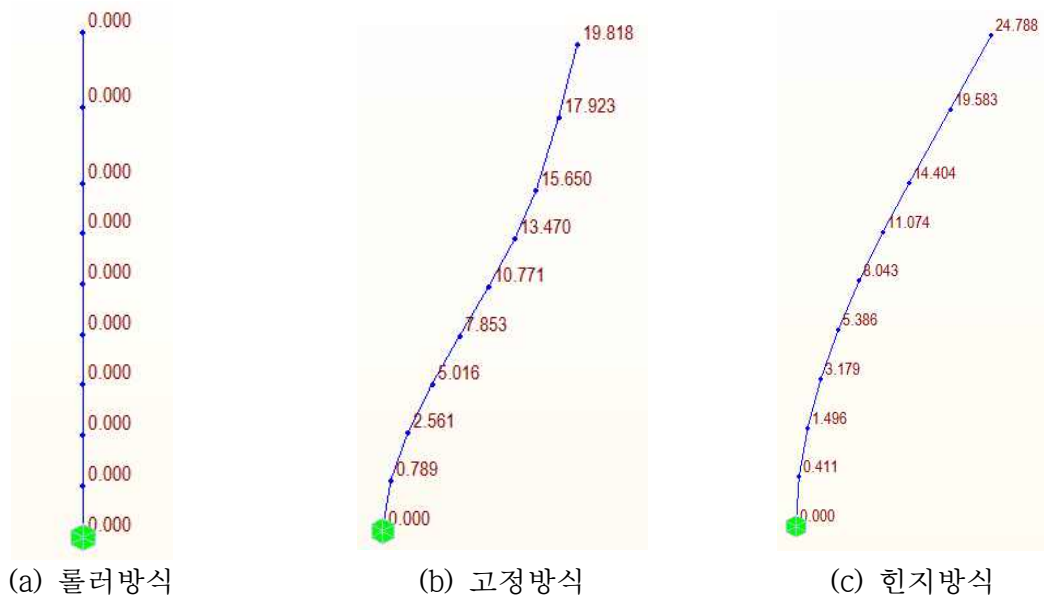


그림 4.15 교각 경계조건에 따른 교각 거동

그림 4.16은 교각의 경계조건에 따른 교대와 말뚝기초의 거동을 나타낸다.

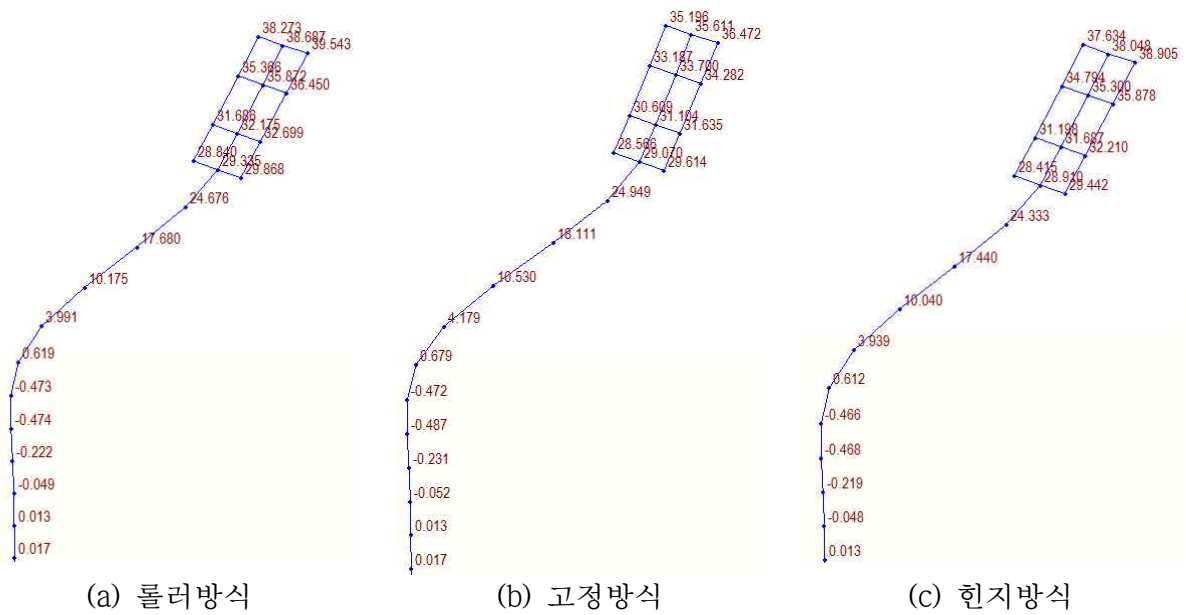


그림 4.16 교각 경계조건에 따른 교대 및 말뚝 거동

먼저, 말뚝상단의 변위를 전체적으로 살펴보면 큰 차이를 보이지 않고 있음을 알 수 있다. 이는 교각의 강성에 의한 저항이 온도변화에 따른 상부구조의 수평이동에 큰 영향이 없음을 나타내는 것으로 판단된다. 그리고 교대에서 말뚝상단의 변위는 교각이 고정방식인 경우가 힌지방식에 비해 더 크게 발생하고 있다. 교각이 고정방식인 경우에는 힌지방식에 비해 말뚝상단의 휨곡률이 더 커져 발생하는 것으로 판단된다. 그림 4.17은 말뚝상단의 휨모멘트를 나타낸다.

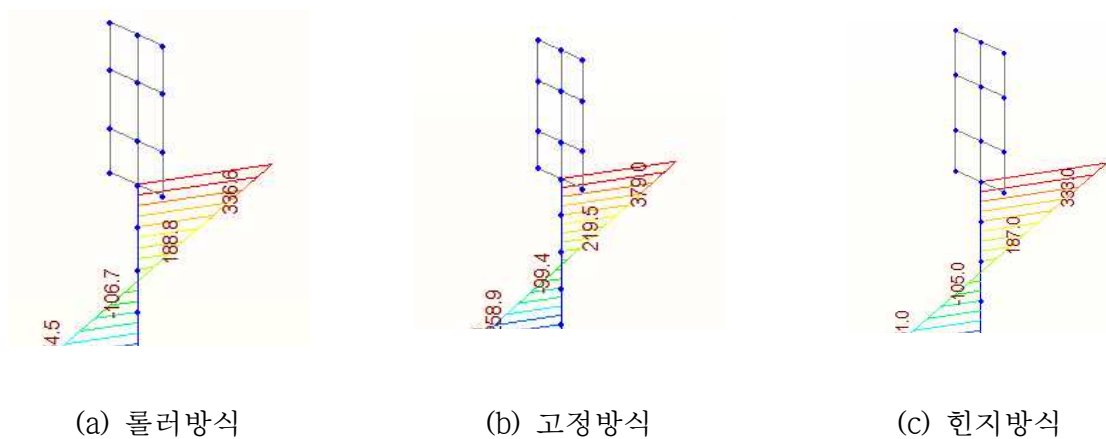


그림 4.17 교각 경계조건에 따른 말뚝의 휨모멘트

고정방식에 따른 교대 말뚝상단의 휨 곡률이 더 크게 발생하므로 그림 4.17에서 고정방식의 말뚝상단의 휨모멘트가 힌지방식에 비해 상대적으로 크게 발생하는 것을 알 수 있다. 하지만, 전체적으로 롤러방식에 비해 큰 차이 나지 않고 있다.

표 4.1 교각 경계조건에 따른 말뚝의 휨모멘트

구 분	롤러방식	고정방식	힌지방식
휨모멘트(kN-m)	336.6	379.0	333.0
비 율	100%	113%	99%

표 4.1과 같이 말뚝상단의 휨모멘트를 비교한 결과 상부구조 수평이동에 대한 저항에 교각의 강성은 큰 영향을 미치지 않음을 알 수 있으며 이와 같은 결과는 산술적으로 확인할 수 있다.

① 온도에 따른 상부구조 수평방향 발생 축력

$$\Delta = \frac{Pl}{AE} = \alpha \Delta t l \quad \text{이므로}$$

$$\text{따라서, } P = A \times E \times \alpha \times \Delta t$$

$$= 6.309 \times 2.5 \times 10^7 \times 0.00001 \times 20$$

$$= 3.155 \times 10^4 \text{ kN}$$

여기서, P = 온도에 따른 상부구조 수평방향 발생축력(kN)

$$A = \text{상부구조 단면적}(6.309m^2)$$

$$E = \text{상부구조 탄성계수}(2.5 \times 10^7 kN/m^2)$$

$$\alpha = \text{콘크리트 선팽창계수}(0.00001)$$

$$\Delta t = \text{온도변화}(20^\circ\text{C})$$

② 고정단 교각의 수평방향 발생변위

• 고정방식

$$\delta = \frac{Ph^3}{12EI} \quad \text{이고, } P = \delta \times K \text{에서 } \delta = \frac{P}{K} \quad \text{이므로 } K = \frac{12EI}{h^3} \text{ 이다.}$$

병렬 저항이므로,

$$K = K_1 + K_2 + K_3 \cdot \cdot \cdot K_n$$

$$= \frac{12 \times 2.5 \times 10^7 \times 3.976}{10^3} + \frac{12 \times 2.5 \times 10^7 \times 3.976}{10^3}$$

$$= 2.386 \times 10^6 \text{ kN/m}$$

$$\therefore \delta_F = \frac{P}{K} = \frac{3.155 \times 10^4}{2.386 \times 10^6} = 1.322 \times 10^{-2} \text{ m} = 1.322 \times 10^{-5} \text{ mm}$$

여기서, δ_F = 고정방식의 교각 수평방향 저항변위(mm)

$$K_n = n\text{번째 교각 강성}(kN/m)$$

$$E = \text{교각 탄성계수}(2.5 \times 10^7 kN/m^2)$$

$$I = \text{교각 단면2차 모멘트}(3.976m^4)$$

• 힌지방식

$$\delta = \frac{Ph^3}{3EI} \text{ 이고, } P = \delta \times K \text{ 에서 } \delta = \frac{P}{K} \text{ 이므로 } K = \frac{3EI}{h^3} \text{ 이다.}$$

병렬 저항이므로,

$$K = K_1 + K_2 + K_3 \cdot \cdot \cdot K_n$$

$$= \frac{3 \times 2.5 \times 10^7 \times 3.976}{10^3} + \frac{3 \times 2.5 \times 10^7 \times 3.976}{10^3}$$

$$= 5.964 \times 10^5 \text{ kN/m}$$

$$\therefore \delta_H = \frac{P}{K} = \frac{3.155 \times 10^4}{5.964 \times 10^5} = 5.289 \times 10^{-2} \text{ m} = 5.289 \times 10^{-5} \text{ mm}$$

여기서, δ_H = 힌지방식의 교각 수평방향 저항변위(mm)

$$K_n = n\text{번째 교각 강성}(kN/m)$$

$$E = \text{교각 탄성계수}(2.5 \times 10^7 kN/m^2)$$

$$I = \text{교각 단면2차 모멘트}(3.976m^4)$$

일반적으로 교각이 힌지 또는 고정단을 가지게 되면 상부구조의 하부구조의 저항으로 수평

변위를 감소시킨다. 상기된 수식에 의한 결과도 상부구조의 수평방향 힘에 대해 힌지방식이 고정방식에 비해 약 5배 정도 큰 변위가 발생하므로 힌지방식에 비해 고정방식이 더 큰 저항을 나타낸다. 다만, 이 절의 경우는 교각의 경계조건에 따른 저항하는 변위의 경향은 일반적인 경우와 같으나 모두 상당히 작은 값을 나타내고 있으므로 교각의 강성은 상부구조의 수평방향에 대한 저항을 거의 못하는 것으로 판단된다.

검토결과, 고정단 교각에서 상부구조 수평변위에 대한 저항은 교각의 휨 저항이며, 고정방식의 교각은 오히려 말뚝기초의 휨 변형을 제약하고 수평변위는 동일하게 발생시켜 말뚝상단의 휨 곡률을 크게 하여 모멘트 상승효과를 나타내었다. 하지만, 그 값은 크지 않고 교각의 휨 저항은 상당히 미소하여 교대의 말뚝기초 수평변위 및 휨모멘트에 대한 영향은 거의 없을 것으로 판단된다.

4.3 상부슬래브와 접속슬래브의 연결 검토

일체식 교량은 조인트 교량의 신축이음장치가 없으므로 상부슬래브와 접속슬래브가 일체로 연결되게 된다. 이러한 연결은 상부구조의 신축거동에 따른 수평력을 접속슬래브로 전달시켜 접속슬래브 끝단에 위치하는 신축조절장치로 변위를 유도하게 된다.

일체식 교량의 상부슬래브와 접속슬래브의 연결은 힌지(hinge) 방식과 강결(fix) 방식이 있다. 힌지방식은 수평력만 전달하게 되고, 강결방식은 수평력과 모멘트가 동시에 발생되기 때문에 두 가지 방법 모두 다양한 검토를 통해 적용성을 확인해야 한다. 이 절에서는 상부슬래브와 접속슬래브를 연결하는 방식에 대해 국내외 현황을 분석하여 연결방식의 적정성을 검토하고자 한다.

4.3.1 국내 사례

국내에는 과거 강결방식의 연결사례(그림 4.18)가 있지만, 현재에는 힌지방식을 주로 사용하고 있다. 힌지방식은 힌지철근(Hinge Bar)을 사용한다(그림 4.19). 힌지철근은 상부구조의 온도변화에 따른 신축거동의 수평력을 접속슬래브에 전달하는 역할을 하며, 힌지구조로 연결함으로서 연결부에서 발생할 수 있는 모멘트를 해소하게 된다.

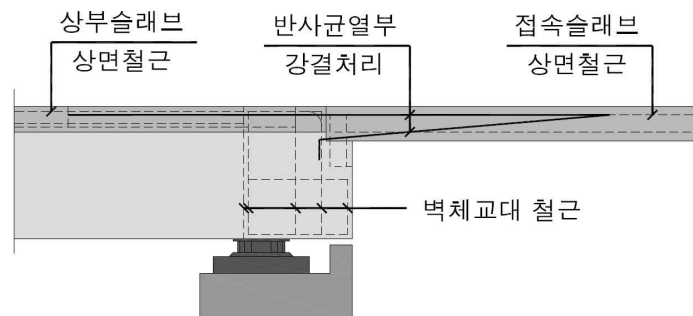
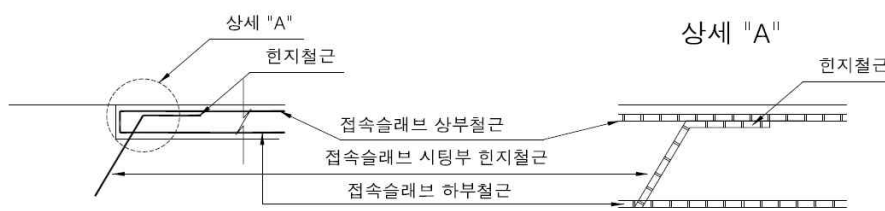


그림 4.18 상부슬래브와 접속슬래브의 강결방식 연결



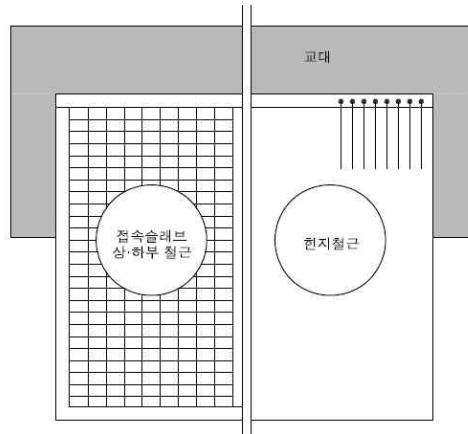
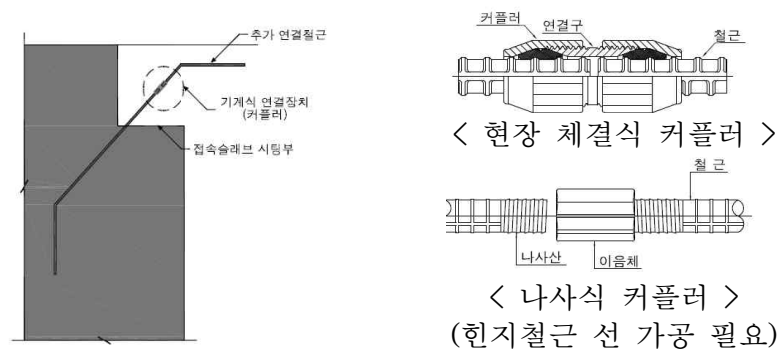
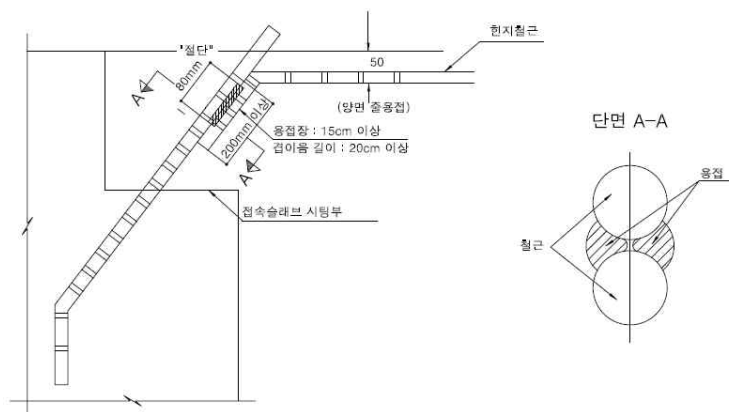


그림 4.19 상부슬래브와 접속슬래브의 현지방식 연결

현지철근은 벽체교대에서 45° 각도로 돌출되어 용접 또는 기계식 연결방식으로 정착철근이 연결되어 접속슬래브 상면철근에 위치하게 된다(그림 4.20).



(a) 기계식 연결방식



(b) 용접식 연결방식

그림 4.20 현지철근의 연결방식

힌지연결방식은 모멘트는 구속하지 않으므로 연결부에서 균열이 발생하게 되며 이런 균열을 제어하기 위해서 그림 4.21과 같이 균열유도줄눈을 설치하게 된다.

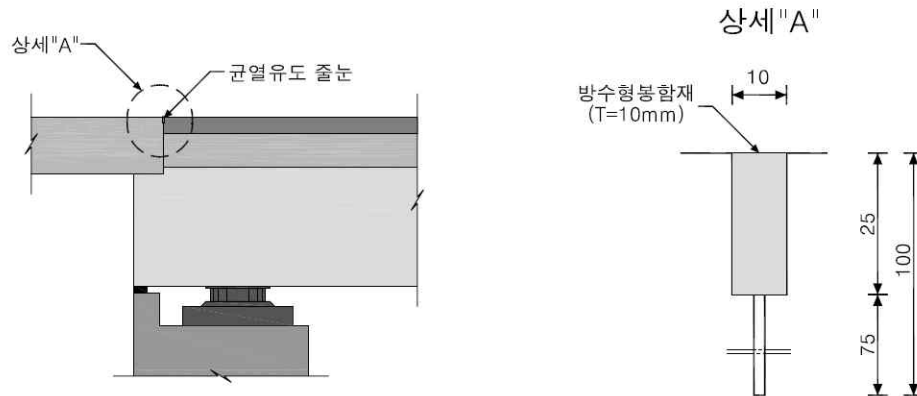


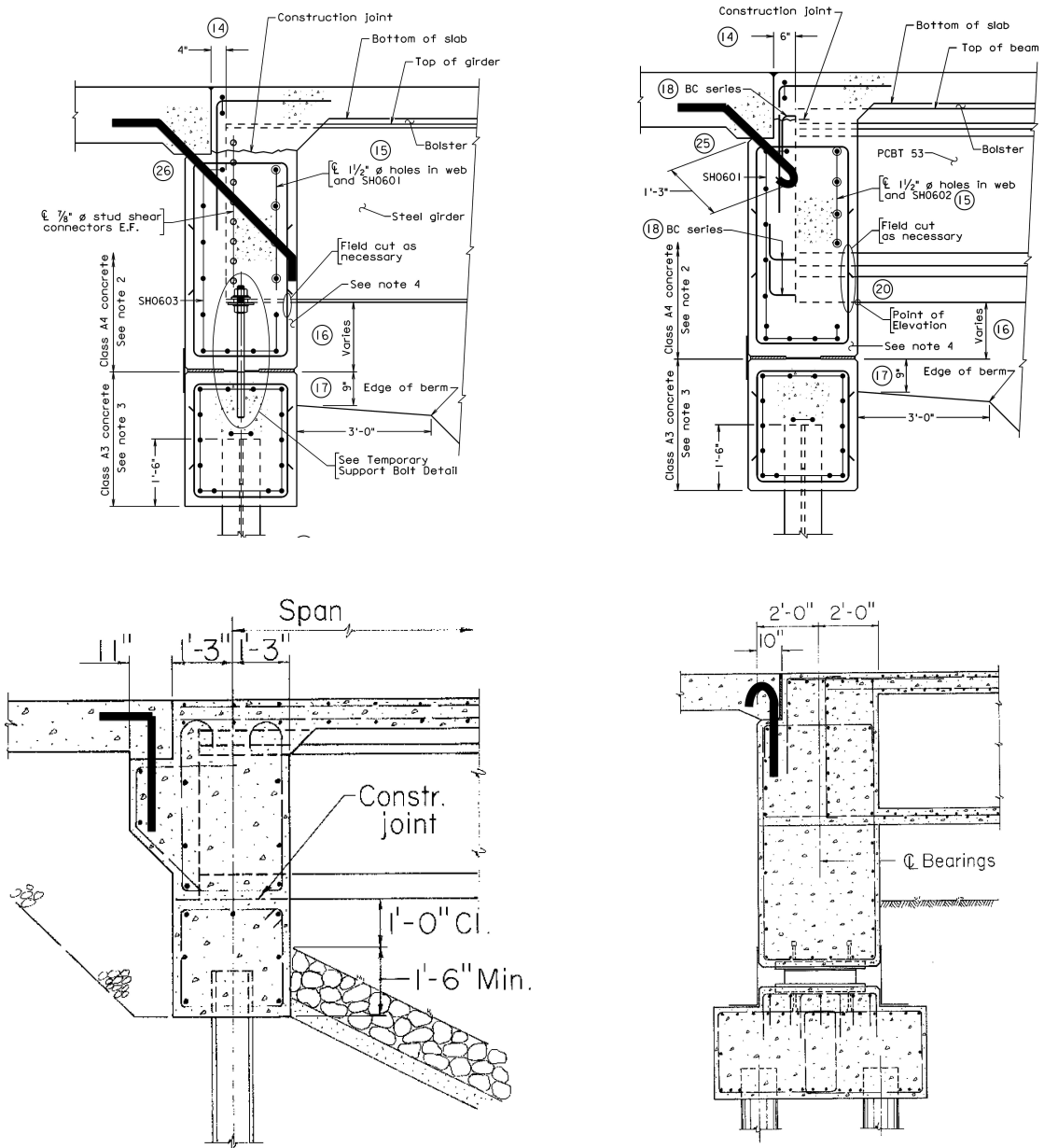
그림 4.21 균열유도줄눈

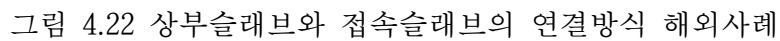
상부슬래브와 접속슬래브를 강결하여 사전에 균열을 차단하는 방법이 사용될 수도 있다. 이 부분을 강결하게 되면 균열유도를 위한 줄눈을 설치할 필요는 없다. 국내에 도입된 사례가 있으며 강결처리할 경우 시공순서에 따라서 상부슬래브와 접속슬래브를 일괄 타설이 가능하여 반사균열 방지 외 공기 절감, 시공성 향상 등의 부수적인 효과를 얻을 수 있다. 이를 위해서는 구조검토를 통해 반사균열부의 균열을 확실하게 방지하도록 배근을 하여야 한다. 프리스트레스트 콘크리트 거더 사용시에는 상부슬래브 타설전에 거더의 솟음량이 있어서 상부슬래브와 접속슬래브를 동시에 타설할 경우 연결부에 상당한 부모멘트가 발생할 수 있으므로 이에 유의하여야 한다. 특히, 접속슬래브 하부 성토지반의 침하가 억제되어야 하는 어려움이 크게 작용한다.

힌지연결방식의 철근은 벽체교대 시공 시 45°로 노출되어 설치되므로, 거푸집 탈형시 시공성이 저하된다. 또한 철근의 경사방향으로 용접 또는 기계적 연결을 하기 때문에 현장작업성이 저하되는 측면도 있다. 반면에 힌지연결방식은 균열유도줄눈을 설치함으로써 연결부에 발생하는 휨 균열을 제어할 수 있고, 철근량이 감소하는 효과가 있다. 강결연결방식의 경우 상부슬래브의 상면철근이 그대로 연장되기 때문에 힌지연결방식에 비해 거푸집 탈형이나 정착을 위한 철근 연결이 작업성 측면에서는 유리하다. 하지만, 접속슬래브 침하에 따른 발생 모멘트를 저항하여야 하므로 철근직경에 대한 검토가 필요하며 다소 증가한다. 따라서, 상부슬래브와 접속슬래브의 연결방식은 설계자의 공학적, 시공적 판단에 의해 적합한 형식을 선택하는 것이 적절할 것으로 판단된다.

4.3.2 해외 사례

해외사례를 조사한 결과, 미국의 경우 표준도 및 설계자의 공학적 판단에 따라 연결부를 설계하고 있다. 연결부에 대한 일반적인 표준도는 그림 4.22와 같으며 연결방식은 다양한 형식이 있음을 알 수 있었다.





Technical drawing of a bridge pier cross-section, showing various components and dimensions. The drawing includes a red line indicating a construction joint or hinge location.

Key components and dimensions labeled:

- Approach slab
- ST0602
- 7"
- 7"
- 1'-5"
- 1"
- End of slab
- Deck reinforcement
- Hot poured joint sealer
- SV0402
- SV0401
- Construction joint
- SH0602
- SV0401
- 1'-4" min. lap typ.
- Face of integral abutment
- SV0401
- See Hinge Detail
- AF0402
- AF0601
- AF0402
- 3'-0"
- 14
- HP10x42 steel piles typ.
- 2'-6"
- 6" min.
- 6" x 6" pvc under-drain. Extend to surface of fill.
- Geocomposite wall drain
- EPS material
- 1'-1"
- 6"
- 25
- 2 3/4" typ.
- Back of integral abutment
- Geotextile filter fabric
- SH0603
- 12" wide waterproofing fabric centered at hinge

그림 4.23 균열유도줄눈 사례(VDOT, 2014)

따라서 연결부에는 그림 4.23과 같이 채움재 등을 이용하여 균열예상부위를 보호하게 되며 이는 국내에서 사용하는 방식과 재료만 차이가 있을 뿐 기능은 동일한 것으로 판단된다.

4.3.3 검토결론

일체식 교량의 상부슬래브와 접속슬래브의 연결은 힌지(hinge) 방식과 강결(fix) 방식이 있다. 힌지방식은 수평력만 전달하게 되고, 강결 방식은 수평력과 모멘트가 동시에 발생되기 때문에 두 가지 방법 모두 다양한 검토를 통해 적용성을 확인해야 한다.

국내에서는 현재 힌지철근의 연결방식이 주로 사용되고 있다. 해외의 경우에는 힌지연결 방식, 고정연결방식 및 일반 조인트 교량과 같은 다웰바 연결방식 등이 사용되고 있으나, 해외에서도 힌지연결방식이 많이 사용되고 있는 실정이다.

힌지연결방식의 철근은 벽체교대 시공 시 45° 로 노출되어 설치되므로, 거푸집 탈형시 시공성이 저하된다. 또한 철근의 경사방향으로 용접 또는 기계적 연결을 하기 때문에 현장작업성이 저하되는 측면도 있다. 강결 연결방식의 경우 상부슬래브의 상면철근이 그대로 연장되기 때문에 힌지연결방식에 비해 거푸집 탈형이나 정착을 위한 철근 연결이 작업성 측면에서는 유리하다. 하지만 접속슬래브 침하에 따른 발생 모멘트를 저항하여야 하므로 철근직경에 대한 검토가 필요하며 다소 증가할 수 있다. 따라서, 상부슬래브와 접속슬래브의 연결방식은 설계자의 공학적, 시공적 판단에 의해 적합한 형식을 선택하는 것이 적절할 것으로 판단된다.

제 5 장 기존 교량 무조인트화

5.1 개요

일반 조인트 교량의 신축이음장치는 교량받침과 함께 교량의 주요 유지관리부재이다. 신축이음장치를 통해 유입되는 우수, 염화물 및 오염물질은 인접하는 상부구조, 하부구조, 교량받침 등에 열화, 부식을 유발하게 되어 종국적으로는 교량의 수명에 영향을 미치게 된다. 또한 차량의 충격음 및 주행진동 발생으로 사용자에게 도로 사용시 불편함을 유발하게 된다.

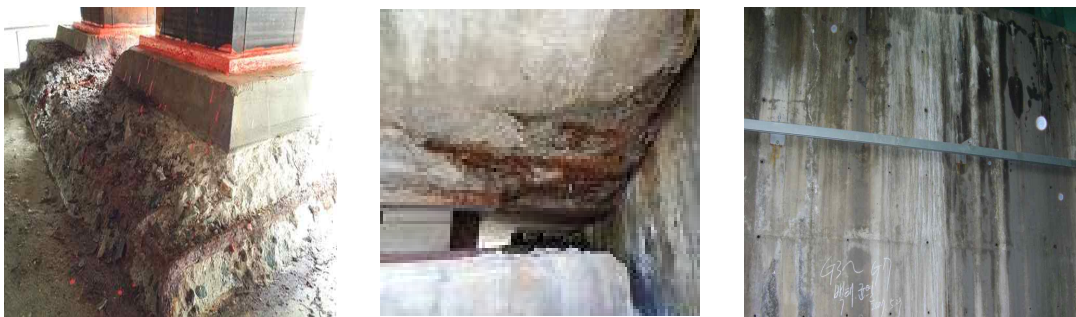


그림 5.1 누수로 인한 교량 손상

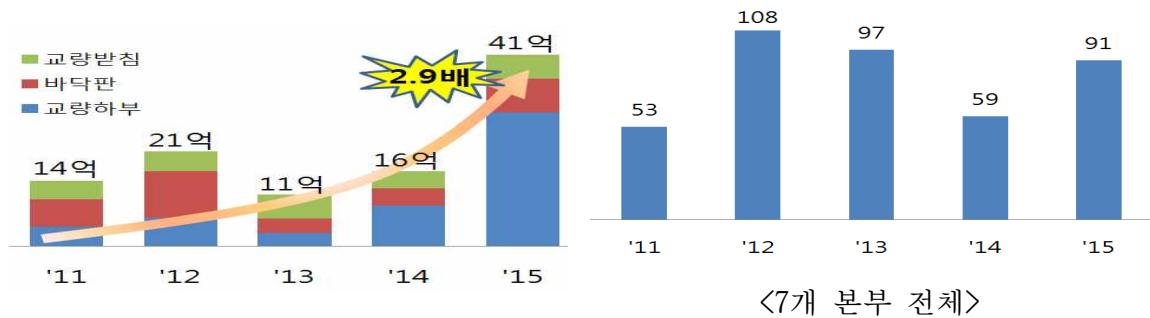
신축이음장치의 누수는 구조물 손상의 주요 원인이다. 표 5.1은 교량 부재별 손상빈도를 나타낸다

표 5.1 교량 부재별 손상빈도(이일근, 2015)

구 분	누수 관련 손상빈도(A)	총 손상빈도(B)	A/B
계	1,756	12,541	14.0%
바 닥 판	127	2,756	4.6%
콘크리트거더	32	1,083	3.0%
강재거더	469	2,274	20.6%
교 대	535	2,597	20.6%
교 각	146	1,875	7.8%
받 침	447	1,956	22.9%

표 5.1에 따르면 교량에 발생하는 전체 손상의 14%가 누수로 인한 손상이며, 강재거더, 교대 및 받침 손상의 약 20%는 누수가 원인임이 조사결과 나타났다.

그림 5.2는 한국도로공사의 최근 5년간 열화보수 및 신축이음장치 교체 현황을 나타낸다.



(a) 주요 부재 보수비 (열화)

(b) 신축이음장치 교체비용

그림 5.2 보수 및 교체비용 현황

그림 5.2에 나타난 바와 같이 교량 주요 부재가 열화로 인한 보수비용은 최근 약 20억원이 증가하였고, 신축이음장치 교체 비용으로 평균 연간 82억원이 소요되고 있다. 향후 이와 같은 유지관리비용은 지속적으로 증가할 것으로 예상된다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 교량 계획 시 일체식 교량과 같은 무조인트 교량으로 적용을 하거나, 공용중인 교량은 조인트를 제거하고 이를 보완하는 시스템의 교체가 필요하다.

일반적으로 사용하는 모노셀이나 핑거조인트와 같은 신축이음장치는 개방형 조인트(opened joint, 그림 5.3)라고 한다. 이와 같은 형태는 장치하면에 누수방지 시스템이 대부분 있지만 다양한 원인에 의한 손상으로 기능을 유지하기 위해서는 지속적인 관리가 필요하다.

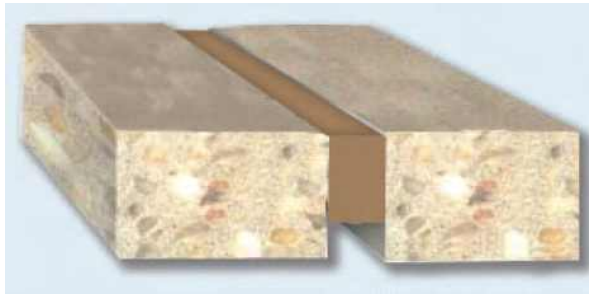


(a) 모노셀 방식

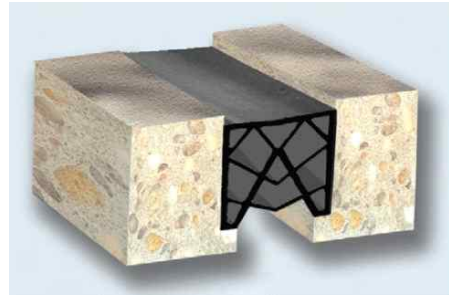
(b) 핑거 방식

그림 5.3 개방형 조인트(opened joint)

소규모의 신축이동이 가능하고 누수를 사전 예방할 수 있는 형태로는 폐쇄형 조인트(closed joint, 그림 5.4)가 있다. 이러한 형태는 조인트를 통한 누수는 조인트의 파손 없이는 불가능하다. 하지만 조인트와 구조물이 접하는 부분에서 국부적 파손이 발생하여 파손부위를 통한 누수가 발생하여 탄성콘크리트 같은 보강재를 사용하기도 한다.



(a) 봉함재 방식



(b) 컴프레션셀 방식

그림 5.4 폐쇄형 조인트(closed joint)

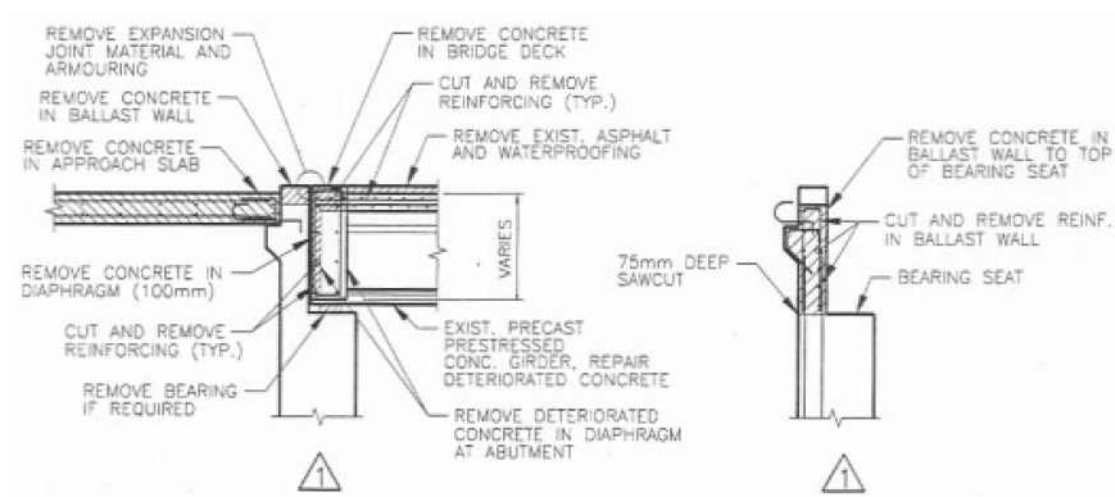
누수와 같은 문제점은 결국 지속적인 유지관리 또는 추가적인 재료가 필요하므로, 이와 같은 문제점을 해결하기 위해서는 해당 장치를 제거하는 것이 근본적인 대책이 될 것이다.

일체식 교량은 신설교량에 대해서 경제성을 확보하면서 교대위에 설치되는 신축이음장치를 배제할 수 있는 근본적인 대책이다. 해외에서는 일반적인 조인트 교량을 무조인트 교량으로 교체함으로서 기존 교량 상에 설치되어 있는 조인트의 문제점을 해결하고자 노력을 하고 있다. 무조인트 교량화 하는 방법으로는 완전일체식 교량화, 반일체식 교량화 및 거더 연결부를 슬래브로 연속화하는 공법 등이 있다. 하지만, 현실적으로 우리나라의 일반 조인트 교량의 교대에는 종방향으로 다수의 열을 갖는 말뚝이 설치되므로 교량받침까지 배제할 수 있는 완전일체식 교량화는 불가하며, 교량받침은 유지하고 신축이음은 배제할 수 있는 반일체식 교량화는 가능하다. 해외에서는 오래전부터 반일체식 교량화 사례가 있으며 다음은 관련 내용을 정리하였다.

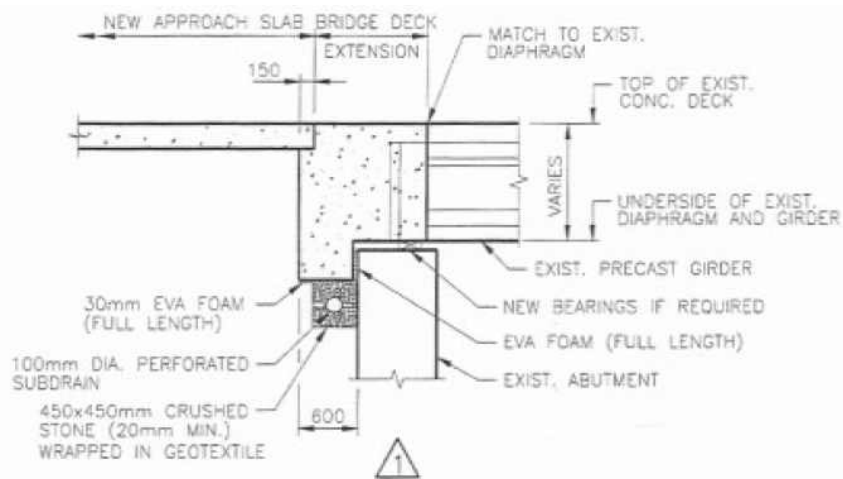
1) 반일체식 교량화 사례(온타리오주, 캐나다)

1990년대에 캐나다의 온타리오주 도로국(Ministry of Transportation)에서는 일체식 교량이 초기공사비를 절감시킬 수 있고 구조물의 내구성이 향상된다는 점을 파악하고 오래

된 교량의 신축이음장치 교체시 반일체식 교량화 함으로서 이와 같은 장점을 반영시킬 수 있도록 하였다. 무조인트 교량화를 하면서 중요한 부분은 신축장치, 적용재료, 접속 슬래브 및 배수시스템 관리 등이므로 이러한 부분은 설계자가 고려하도록 하고 있다. 또한 내진설계의 경우 1994년 미국 캘리포니아 노스리지 지진시 구조안정 성능을 잘 보여준 여러 개의 교량에서 알 수 있듯이 일반 조인트 교량과 거의 유사하나 뒤통음으로부터 제공되는 반력이 지진시 안정성을 더욱 확보하게 되므로 큰 문제가 안 되는 것으로 간주하고 있다.

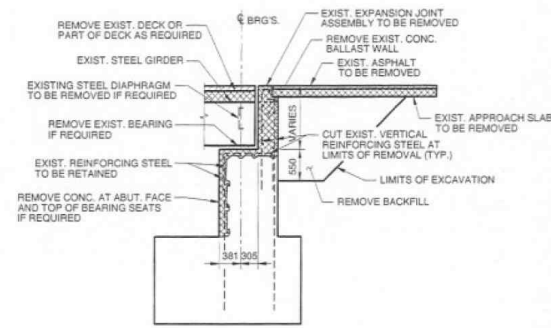


(a) 조인트 교량 철거 개요도

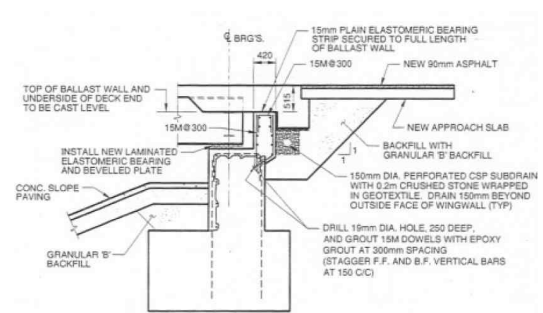


(b) 무조인트 교량 설치 개요도

그림 5.5 기존 PSC 콘크리트 교량 무조인트화 개요도



(a) 기존 교량

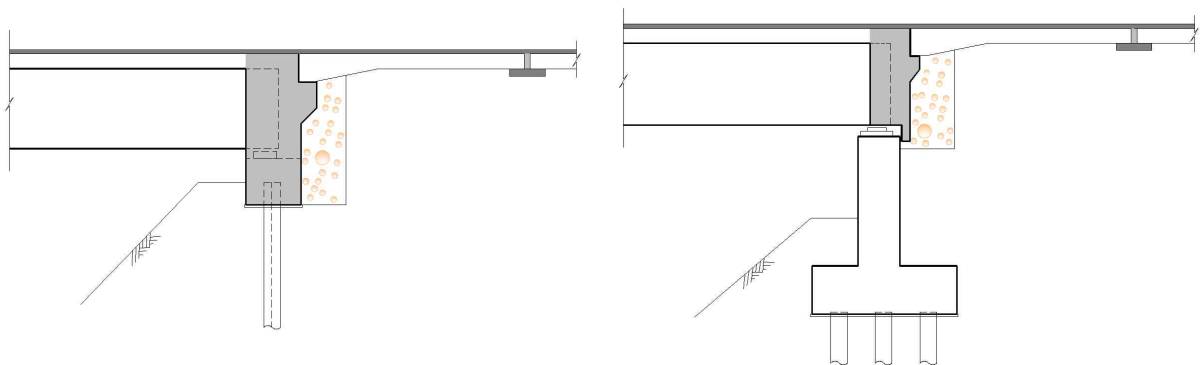


(b) 슬래브 확장후

그림 5.6 기존 강교량 슬래브 확장 개요도

2) 국내 사례

국내에서는 신설 교량에서 신축이음장치를 배제하려는 노력을 하고 있으나 기존 교량을 무조인트화하는 연구 및 시공실적은 없다. 하지만 최근 한국도로공사에서는 신설교량에 대해서 슬래브 확장방식과 반일체식 교대와 연결슬래브를 사용하여 상부슬래브에 신축이음장치를 배제하려는 방침이 있었으며, 향후 해외에서 적용된 반일체식 교량화 사례는 발생할 것으로 예상된다.

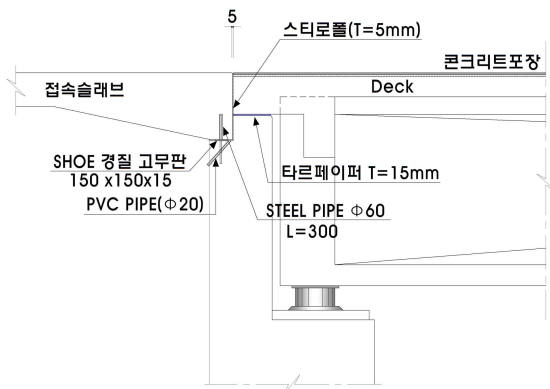


(a) 완전일체식(full-IAB)

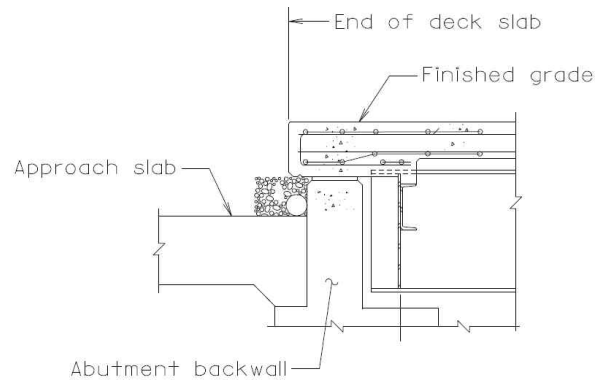
(b) 반일체식(semi-IAB)

그림 5.7 일체식 교량(integral abutment bridge, jointless bridge)

이러한 일체식 교량형식이 적용곤란한 경우에는 슬래브 연장(slab extension)방법을 적용할 수 있다. 슬래브 연장방법은 신축이음장치를 배제할 수 있지만 하부구조의 규모는 그대로 사용되기 때문에 경제성에서는 일체식 교량에 비해 불리하다.



(a) 국내 단면(한국도로공사, 2012)



(b) 해외 단면(VDOT, 2014)

그림 5.8 슬래브 연장(slab extension) 방법

또 다른 무조인트화 방법으로는 기존 조인트의 신축거동을 재료특성으로 수용하며 상부에서는 연속화가 가능한 방법으로서 연결슬래브 공법이 있다. 연결슬래브에 사용되는 재료는 고연성 시멘트 복합체로서 콘크리트에 소량의 합성섬유를 보강하여 콘크리트의 인성을 증가시켜, 콘크리트의 인장변형성능을 개선한 콘크리트이다. 교량의 신축장에 따라 연결슬래브의 적용범위를 다르게 함으로서 연결슬래브 내에서 상부구조의 신축거동을 수용하게 되며 개요도는 그림 5.9와 같다.

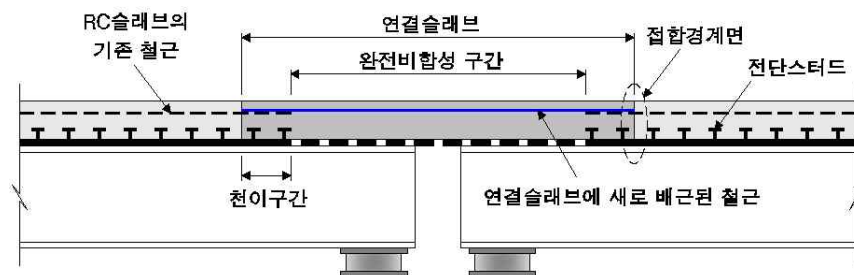


그림 5.9 연결슬래브 설치개요

한국도로공사에서는 2012년 신축이음부 누수로 인한 손상을 최소화하기 위해 앞에서 소개한 폐쇄형 조인트에 대한 시험시공을 실시하였다.

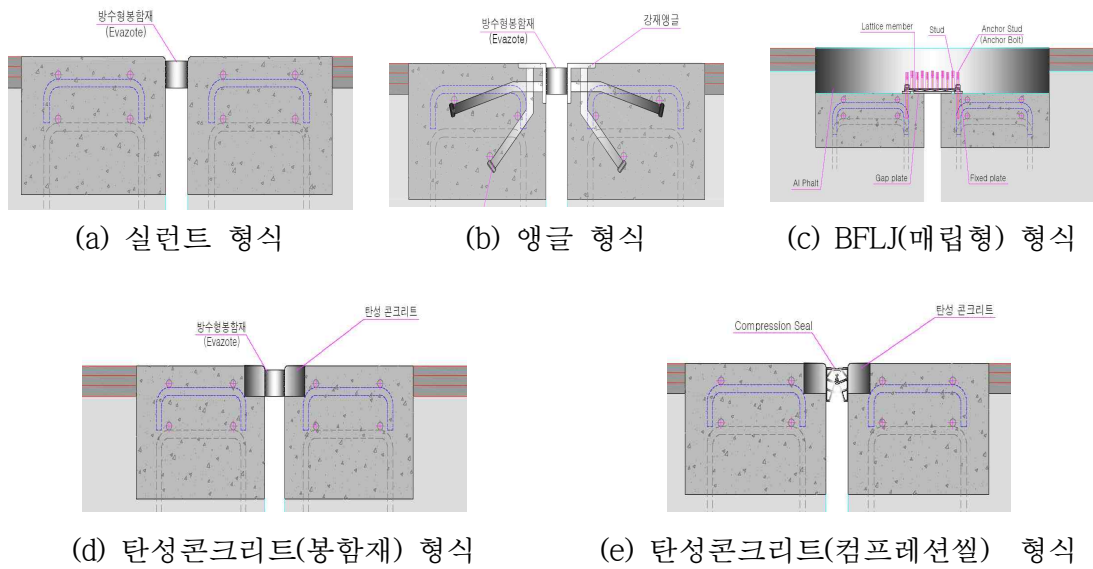


그림 5.10 시험시공 적용형식

그림 5.10은 시험시공 시 적용한 형식을 나타내고 있다. 모두 폐쇄형이므로 채움재의 손상 또는 박리현상이 없는 경우 누수는 발생하지 않는다.

시험시공 후 추적조사 결과, 탄성콘크리트 형식의 부착성이 양호하였으며 최종적으로 컴프레션셀과 탄성콘크리트를 사용하는 형식이 가장 성능이 우수한 것으로 조사되었다.



그림 5.11 탄성콘크리트(컴프레션셀) 시공후 조사

그림 5.11은 시험시공 후 컴프레션셀과 탄성콘크리트를 사용한 형식에 대해 조사한 현황을 나타내고 있다. 조사결과, 탄성콘크리트의 표면상태 및 탄성콘크리트와 후타설콘크리트 접착부 상태가 양호하였고 채움재와 탄성콘크리트간의 접착 상태도 양호하였다. 가장 중요한 누수에 대한 조사결과 우천 시 하부 누수 구간이 없음을 확인하였다. 향후

국내의 신소재 또는 해외 기술 도입을 통해 다양한 제품 또는 신공법이 있을 경우 이와 같은 시험시공 또는 평가를 통해 적용확대를 함으로서 적극적인 유지관리 예방을 할 수 있을 것으로 판단된다.

일본에서는 신축이음장치의 문제점을 해결하기 위해 RC연결조인트라는 공법을 2008년부터 도입 시행하였다. 이 공법은 공용 년수가 상당히 진행되어 크리프 및 건조수축의 영향이 없고 온도에 의한 상부구조의 수평변위가 발생하는 교량에 적용이 가능하다.

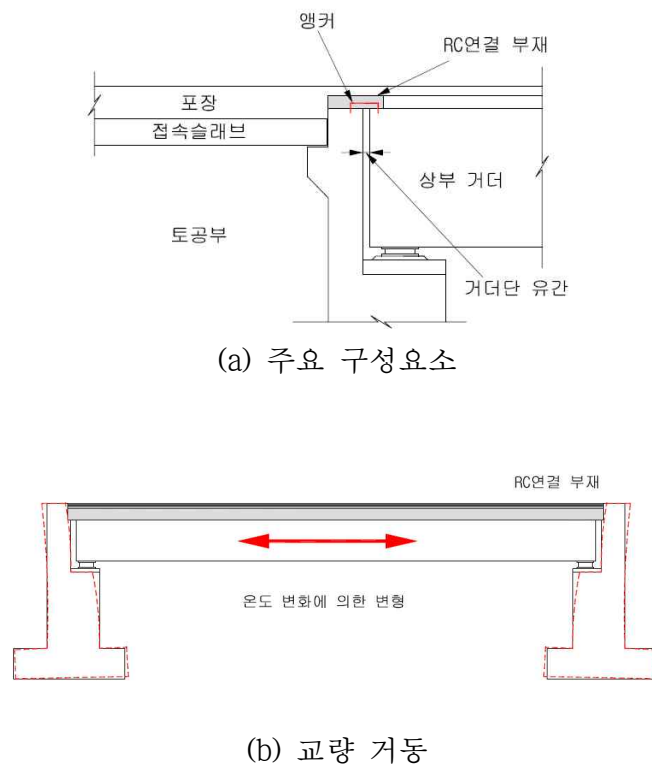


그림 5.12 RC연결조인트 개요

이 장에서는 RC연결조인트 공법으로 2016년 7월 한국도로공사 도로교통연구원과 강원본부에서 시행한 무조인트화 시험시공에 대해 소개하도록 한다.

5.2 연결조인트

이 절에서는 일본에서 사용된 RC연결조인트의 개요 및 일본의 관련기준을 소개하도록 한다.

5.2.1 공법개요

도로교의 유지관리에 있어 큰 과제로 인식되는 신축이음장치에 대한 문제점을 해결하기 위해 일본 고속도로 공사(NEXCO)에서는 철근콘크리트 부재에 의한 조인트 연결개발을 착수하여 2008년 시행 도입하였다.

RC연결조인트는 기존의 신축이음장치를 제거하고 철근과 콘크리트로 교대 흥벽과 상부슬래브를 강결하여 신축이음부의 누수를 원천 배제하는 공법이다. 기존에 분리되었던 교대가 상부구조와 강결됨으로서 상부구조의 온도에 따른 신축거동시 동시에 거동을 함으로서 연결부에 큰 응력이 발생하지 않도록 하게 된다.

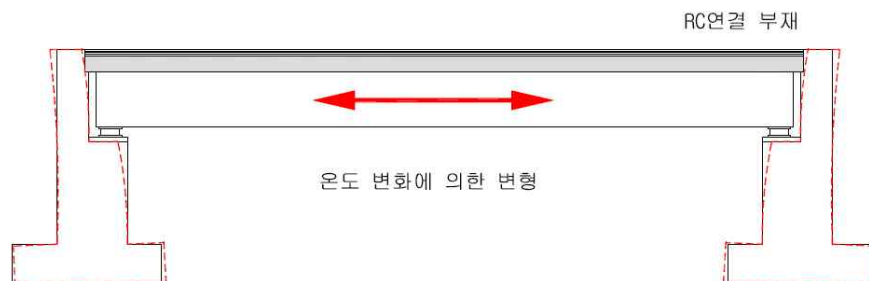


그림 5.13 연결조인트의 거동 개요

이 방법은 그림 5.13에 나타난 바와 같이 하부 구조나 기초 구조가 변형되어 온도변화에 의한 거더 수축을 수용함으로서 신축장치에서의 여러 가지 문제를 근본적으로 해결하는 것을 기대할 수 있다. 대상 구조물은 콘크리트의 크리프 및 건조수축이 모두 발생되어 재료적인 특징에 의한 추가적인 수축현상이 없으며 상부구조의 설계 신축량이 20mm이하인 콘크리트교에 적용하는 것을 전제로 하고 있다. RC연결조인트의 기본구조는 다음과 같다.

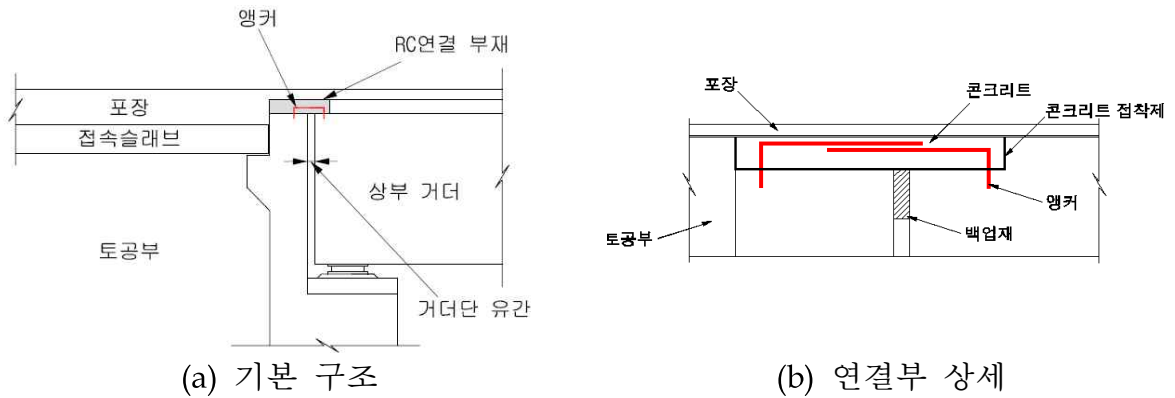


그림 5.14 RC연결조인트의 기본구조

그림 5.14에 나타난 바와 같이 기존 교대 홍벽 및 상부슬래브를 철근으로 연결함으로써 상부구조의 거동을 교대로 전달하게 된다. 연결되는 철근의 필요량은 상부구조의 신축량에 의해 결정된다. 연결부에 타설되는 콘크리트는 신속한 시공 후 공용을 해야 하므로 초속경 콘크리트를 사용하게 된다.

5.2.2 일본 기준 소개

다음은 일본에서 사용된 RC연결조인트에 대한 설계지침을 소개하도록 한다.

1) 적용범위

연결 조인트 공법(link joint method)은 일반 교량(joint bridge) 교대홍벽과 거더의 유간을 철근콘크리트 구조로 연결하여 무조인트화하는 공법이다. 연결 조인트의 적용범위는 콘크리트의 크리프, 건조수축이 끝난 거더의 신축량이 20mm이하인 콘크리트교를 대상으로 한다.

연결 조인트란 교량의 교대홍벽과 상부슬래브의 유간부에 설치하여 교량의 온도변화 및 활하중에 의한 교량 변형에 대하여 차량 주행에 지장을 주지 않도록 노면을 형성하기 위한 구조부재이다. 연결조인트는 신축기능을 가지지는 않으나 설계요령에서 신축장치로서 위치한다. 또한, 설계에 있어서는 교량의 종별, 설계 신축량, 건설 후 경과연수 및 교량의 손상 상황 등의 조건을 고려한다. 연결조인트는 차량을 지지하는 철근콘크리트 연결부재와 앵커로 구성되며, 온도변화에 의한 거더신축에 대해서는 하부구조(기초구조)가 변형되는 구조이다. 연결조인트는 설치 위치에서의 교통 특성, 노면으로서의 유지 및 사용 조건을 고려하며 다음 사항이 요구된다.

- ① 연결 조인트는 교량의 온도변화나 활하중 등에 의한 교량 변형에 대하여 차량이 노면을 지장없이 주행할 수 있는 평탄성을 확보한다.
- ② 빗물 등에 대하여 지수성 및 배수성을 확보한다.
- ③ 통행하는 차량에 대하여 소음 및 진동이 최대한 영향을 끼치지 않도록 한다.
- ④ 차량의 통행에 대하여 충분한 내구성을 가지고 예상하지 못한 상황에 의해 손상된 경우의 안전성, 유지관리 및 보수의 용이함을 고려한다.

2) 설계

- ① 설계 신축량 : 연결조인트의 설계에 이용하는 설계 신축량은 설계기준을 준수한다.
설계신축량의 산정에는 크리프, 건조수축을 고려하지 않는다.
- ② 활하중 : 설계기준에 따른 활하중을 이용한다.
- ③ 온도변화의 영향 : 대상 교량 전체를 모델화하여, 프레임 해석을 통해 점검하는 것을 기본으로 한다.

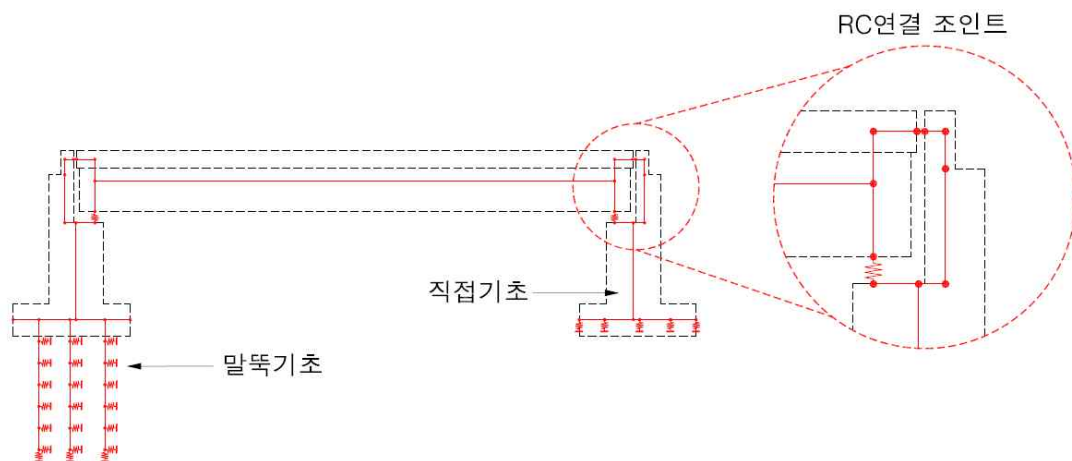


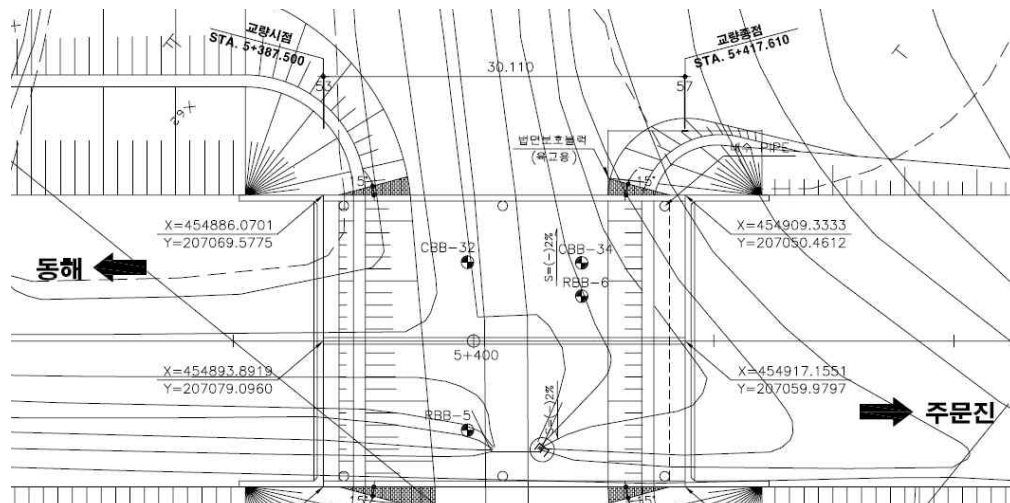
그림 5.15 해석모델

- ④ 구조해석 : 프레임 해석을 통한 구조 점검은 온도변화의 영향만을 고려한다. 일본 시험 시공의 활하중 재하에서 연결조인트에 발생하는 응력은 매우 작은 것으로 나타났다. 이러한 점에서 활하중의 영향에 대한 점검은 생략해도 된다. 온도변화의 영향은 상부구조, 하부구조 및 기초구조를 고려한 해석모델을 이용하며, 연결조인트 시공시의 온도를 감안한다.

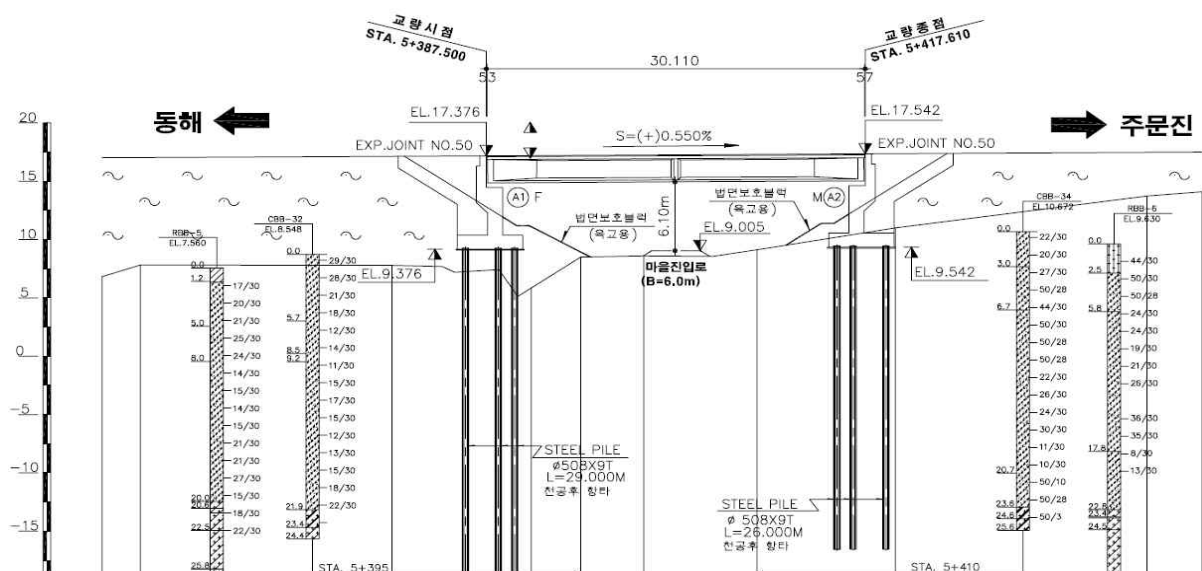
5.3 시험시공

5.3.1 개요

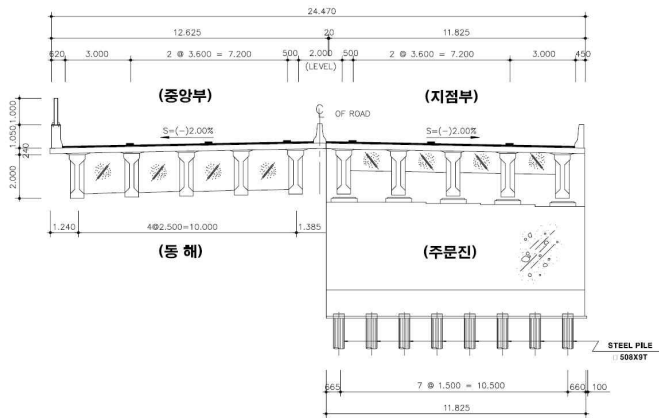
한국도로공사 도로교통연구원과 강원본부에서 2016년 7월 RC연결조인트를 시험시공한 망상3교는 동해선 망상IC 인근에 위치한 교량으로서 경간장 30m의 상하행분리 4차선 교량으로 2004년 준공되었다. 교량받침은 탄성받침이고 기존 신축이음장치는 모노셀 형식이다. 준공후 12년 되었지만 교대와 상부구조의 협착은 없었고 전반적인 교량상태는 양호하였다.



(a) 평면도



(b) 종단면도



(c) 횡단면도

상부형식	PSC Beam
경간구성	$L = 1 @ 30 = 30\text{m}$
폭 원	$B = 11.825 + 20 + 11.625 \text{ m}$
형 고	$H = 2.2 \text{ m}$
하부형식	역 T 형 + 말뚝기초

(b) 교량제원

그림 5.16 대상교량 종평면도

시공은 신축이음장치 교체시와 유사하나 파쇄된 기존 구조물의 단면에 현장 천공을 실시하여 연결철근을 설치하게 된다. 철근배근 후 초속경 콘크리트를 타설하여 마감하고 2~3시간의 양생 후 개통하게 되므로 신축이음장치 교체시와 공사시간은 큰 차이가 없다.



(a) 기존 신축이음장치



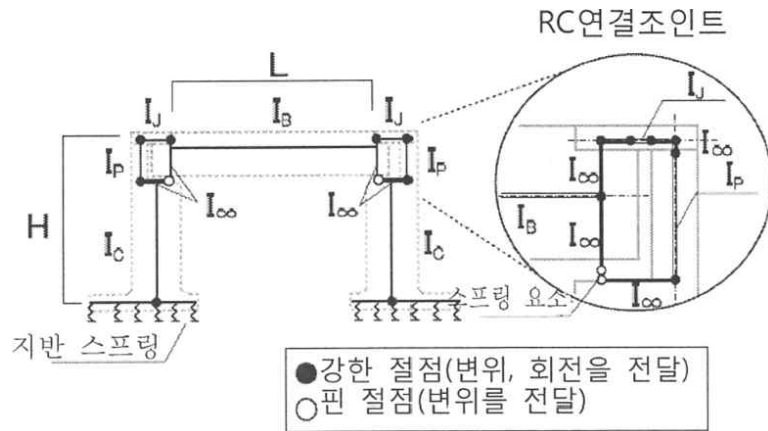
(b) 변경 연결조인트

그림 5.17 연결조인트 시공전후 사진

5.3.2 대상교량 구조검토

1) 구조해석 개요

연결조인트의 시험시공에 대해 구조해석을 수행하고 이로부터 안전성을 검토하였으며, 구조해석 프로그램은 MIDAS CIVIL을 이용하였다. 안전성 검토위치는 연결부, 교대 흥벽이며 시공시 온도변화를 고려하여 기준온도를 변화시켜가며 검토를 수행하였다.



(b) 모델링 개요

그림 5.18 연결조인트 모델링 개요

구조해석 모델링은 상부구조, 하부구조(교대) 및 말뚝기초까지 하였으며, 말뚝기초의 주변 지반스프링은 지질주상도의 N치를 참고하였으며 깊이별 p-y 곡선을 L-pile프로그램으로 산정하여 모델링에 적용하였다. 말뚝기초의 깊이는 교대의 거동이 6m이상에는 영향이 없을 것으로 판단되어 6m까지 모델링에 포함시켰다. 탄성받침은 탄성연결요소로 적용하였으며 그림 5.18에 모델링의 개요에 대해서 나타내었으며, 그림 5.19는 이와 같은 개념을 이용하여 작성한 대상교량 모델링이다.

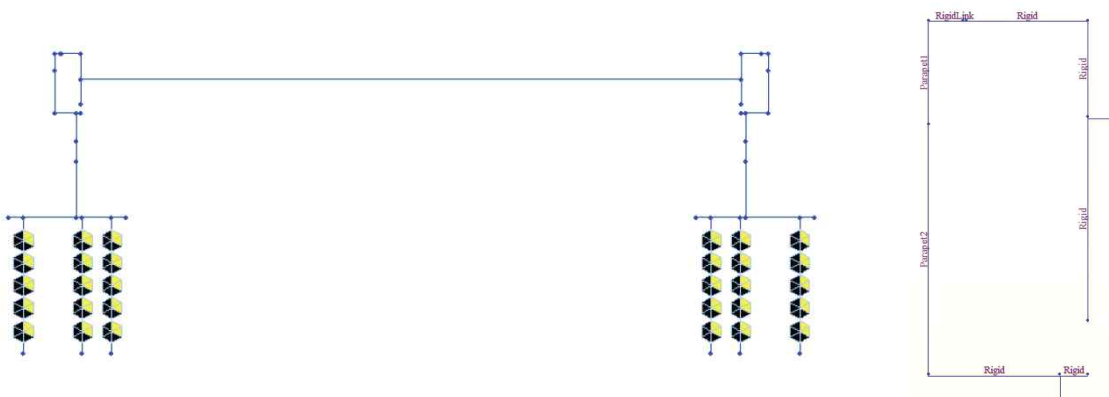


그림 5.19 대상교량 모델링

작용하중은 상부구조에 온도하중으로 작용하였으며, 연결부의 안전측 검토를 위해 교대의 앞성토나 뒤채움의 저항은 고려하지 않았다.

2) 구조검토 결과

안전성 검토부재는 연결부와 교대홍벽이다. 연결부는 온도하중으로 인한 상부구조의 수축과 신장으로 발생하는 인장력과 압축력에 대한 안전성 및 차륜하중이 연결부의 유간 위에 곧바로 재하되는 경우에 대한 휨 안전성을 검토하게 된다.

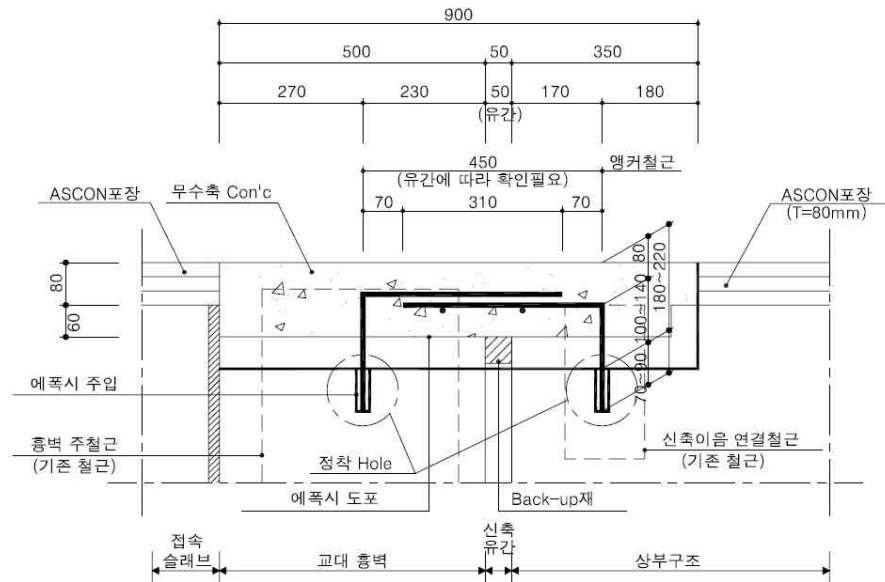
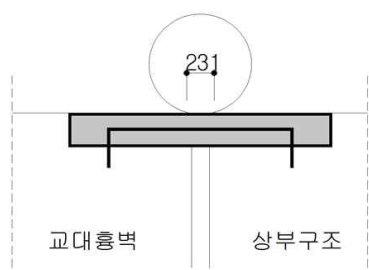


그림 5.20 연결조인트 설계단면

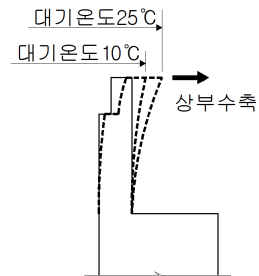
교대홍벽은 뒤채움 토사의 토압에 저항하는 구조로 설계되었지만 연결 시 홍벽상단에 수평력이 작용하여 하단에 설계당시 작용하지 않았던 수평력과 휨 모멘트가 작용하게 되며 이에 대한 휨 안전성을 검토하게 된다.

① 연결부

연결부는 온도하중으로 인한 상부구조의 수축과 신장으로 발생하는 인장력과 압축력에 대한 안전성 및 차륜하중이 연결부의 유간 위에 곧바로 재하 되는 경우에 대한 휨 안전성을 검토한다(그림 5.21).



(a) 휨모멘트 검토



(b) 축력 검토

그림 5.21 연결부 안전성 검토 개요

연결부의 유간위에 곧바로 차륜하중이 재하 되는 상태의 안전성을 검토한 결과, 모두 안전측의 결과를 나타내었다(표 5.2).

표 5.2 연결부 휨모멘트 안전성 검토 결과

(a) 충격계수를 미고려한 경우

거더유간 (mm)	전단력 (kN)	전단응력 (MPa)	휨모멘트 (kN-mm)	휨응력		합성응력	검토
				fc(압축) (MPa)	fs(인장) (MPa)		
허용응력	-	1.012	-	16.0	180	1.2	-
20	7.2	0.103	24.0	0.114	4.596	0.01	O.K
50	18	0.257	150.0	0.711	28.727	0.07	O.K

(b) 충격계수를 고려한 경우

거더유간 (mm)	전단력 (kN)	전단응력 (MPa)	휨모멘트 (kN-mm)	휨응력		합성응력	검토
				fc(압축) (MPa)	fs(인장) (MPa)		
허용응력	-	1.012	-	16.0	180	1.2	-
20	9.4	0.134	31.2	0.148	5.975	0.02	O.K
50	23.4	0.334	195.0	0.925	37.345	0.11	O.K

연결부의 유간이 단면에 비해 상당히 작아 응력이 크게 발생하지 않으므로 모두 안전측의 결과를 나타내는 것으로 판단된다.

온도하중에 의해 상부구조에 신축거동이 발생하며 이에 따라 연결부에 발생하는 축력에 대한 안전성을 검토한 결과는 표 5.3과 같다. 여기서, 시공 시 온도가 변화할 수 있으므로 거더의 기준온도를 변화시켜가며 검토하였으며 실제 설계시에도 이와 같이 검토하여 현장여건이 변화하더라도 시공이 원활하게 진행될 수 있도록 준비하는 것이 적정할 것

으로 판단된다.

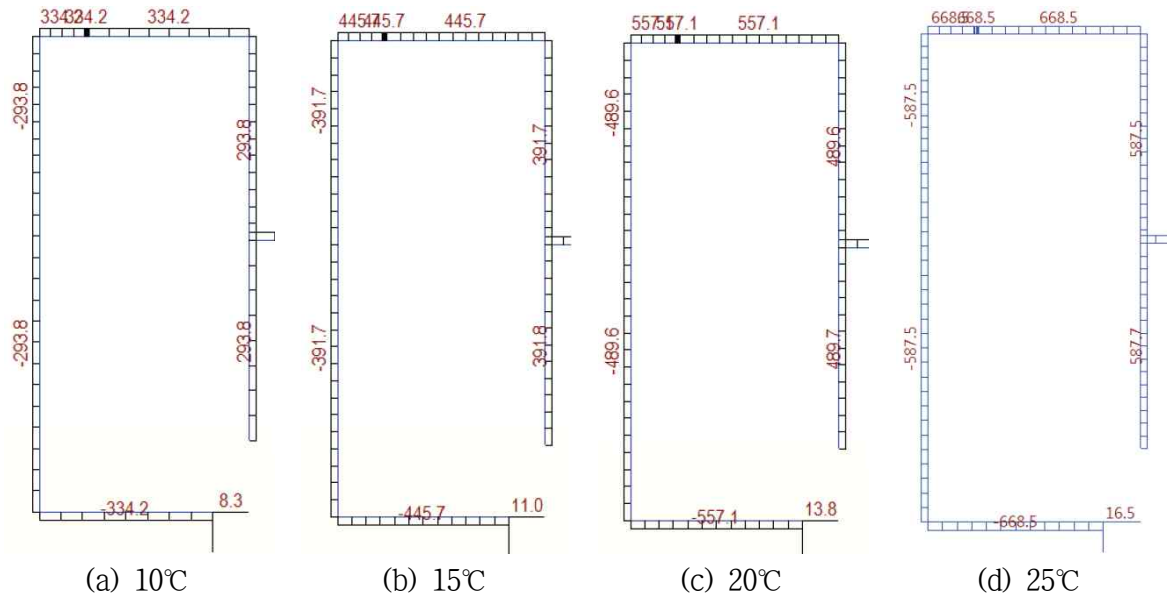


그림 5.22 기준온도에 따른 연결부 발생축력

표 5.3 연결부 축력 안전성 검토 결과

구 분	기준온도				
	10℃	15℃	20℃	25℃	28℃
철근 인장(kN/m) (축력/ $A_{s,req}$)	28.3 H6.6@200	37.7 H7.6@200	47.1 H8.5@200	56.5 H9.3@200	62.2 H9.8@200
콘크리트 인장(MPa) (발생/허용)	0.20 < 0.82	0.27 < 0.82	0.34 < 0.82	0.40 < 0.82	0.44 < 0.82

여기서, $A_{s,req}$ 의 직경은 필요 철근량을 나타낸다. 즉, H6.6@200은 철근직경 6.6mm이상을 200mm 간격으로 배치하면 안전함을 나타낸다. 철근의 경우 기준온도가 28℃가 되더라도 필요 철근직경이 9.8mm이므로 일반적으로 사용하는 철근의 직경 내에서 사용이 가능할 것으로 판단된다. 콘크리트는 인장시 발생하는 응력과 인장 허용응력을 나타내었으며 철근 및 콘크리트 모두 안전측의 결과를 나타내고 있다.

② 교대 홍벽

교대홍벽은 뒤채움 토사의 토압에 저항하는 구조로 설계되었지만 강결연결시 홍벽상단에 수평력이 작용하여 하단에 설계당시 작용하지 않았던 수평력과 휨모멘트가 작용하게 되며 이에 대한 휨 안전성을 검토한다. 상부구조가 수축시에는 홍벽배면 하단에 인장이 발생하며, 이와 반대로 신장시에는 홍벽 전면 하단에 인장이 발생하게 된다. 일반적으로 설계단계에서는 교대배면의 뒤채움에 의한 토압에 대해서 홍벽을 설계하게 되므로 인장 철근은 홍벽배면에 주로 배치하지만 철근의 소요직경이 크지 않아 전면과 동일하게 배치하기도 한다. 표 5.4는 기준온도별 기준에 배근된 철근과 홍벽단면에 대해서 검토한 결과이다.

표 5.4 교대홍벽 안전성 검토 결과

구 분	기준온도				
	10℃	15℃	20℃	25℃	28℃
수축 (kN-m) ($M_u / \phi M_n$)	234.8 < 357.2 O.K	268.6 < 357.2 O.K	302.4 < 357.2 O.K	336.2 < 357.2 O.K	356.5 < 357.2 O.K
신장 (kN-m) ($M_u / \phi M_n$)	169.0 < 372.4 O.K	135.2 < 372.4 O.K	101.4 < 372.4 O.K	67.6 < 372.4 O.K	47.3 < 372.4 O.K

여기서, 수축은 홍벽배면을 나타내며, 신장은 홍벽전면을 나타낸다. 기준온도가 28℃에 다다르면 수축량이 커지고 이에 따라 홍벽배면 하단에 작용되는 휨모멘트가 커져 기준단면이 한계모멘트에 거의 근접함을 알 수 있다.

5.3.3 시험시공

1) 시험시공 개요

본 시험시공은 동해선 고속도로 망상3교(상부구조 PSC Beam, 교량연장 30m)를 대상으로 실시하였다.



그림 5.23 교량전경

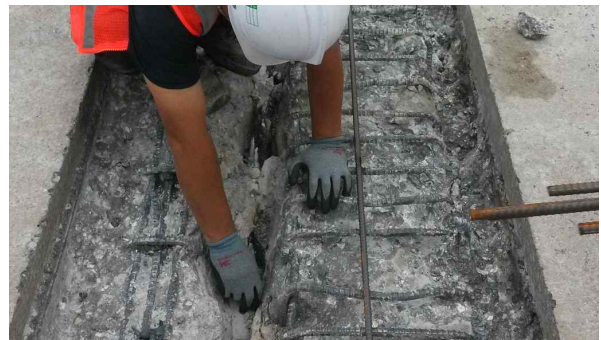
시험시공시 대기온도는 24~25℃ 내외, 상부거더의 온도는 23℃ 내외를 유지하였다. 검토 시 28℃ 이내인 경우 교대홍벽 및 연결철근의 안전성에 문제가 없었으므로 온도에 의한 상부구조의 신축거동으로 문제가 없을 것으로 판단하였다.

2) 시공절차

시공순서는 일반적인 노후된 신축이음장치를 교체하는 순서와 동일하다. 그림 5.24은 시공단계별 현장사진을 나타내었다.



(a) 콘크리트 깨기



(b) 먼 청소



(c) 현장 천공



(d) 연결철근 설치



(e) 초속경 콘크리트 타설



(f) 양생



(g) 면 정리



(h) 개통

그림 5.24 시공절차

시공순서에 대해 설명하면 먼저 기존의 신축이음장치를 철거하기 위해 교대 홍벽과 슬래브의 설치부위를 파쇄한다. 이 때 설계시 고려된 깊이의 면을 확보하기 위해서 기존 철근사이를 주의깊게 파쇄하여야 한다. 파쇄후 면청소를 실시한 후 현장천공을 실시한다.

현장천공시 주의할 사항은 설계시 산정한 연결철근의 정착깊이를 확보하여야 한다. 현장천공시 구조물 내의 기존 철근과의 간섭으로 천공이 안 되는 경우에는 안전율을 확보

하는 상태에서 좌우로 이동하여 천공을 하여야 한다. 천공이 끝난후 가공된 연결철근을 설치한다. 연결철근과 배력근은 현장 시공여건을 고려하여 용접으로 연결하였다. 파쇄, 면청소 및 연결철근 설치가 끝난 후 현장배합을 통한 초속경 콘크리트를 타설한다. 이때 골재분리 및 공극방지를 위해 진동기를 이용하여 콘크리트 타설이 구석구석 잘 될 수 있도록 해야 하며, 초속경 콘크리트는 경화시간이 상당히 빠르므로 작업속도에 유의하여야 한다.

콘크리트 타설후 양생을 하고 타설면과 기존의 상부슬래브 및 점속슬래브 포장면과의 요철부위를 그라인더를 이용하여 면 정리를 실시한다. 초속경 콘크리트의 배합에 따라 경화시간이 다르지만 보통 2~3시간의 양생을 실시한 후 콘크리트의 경화를 확인하고 개통을 하게 된다.

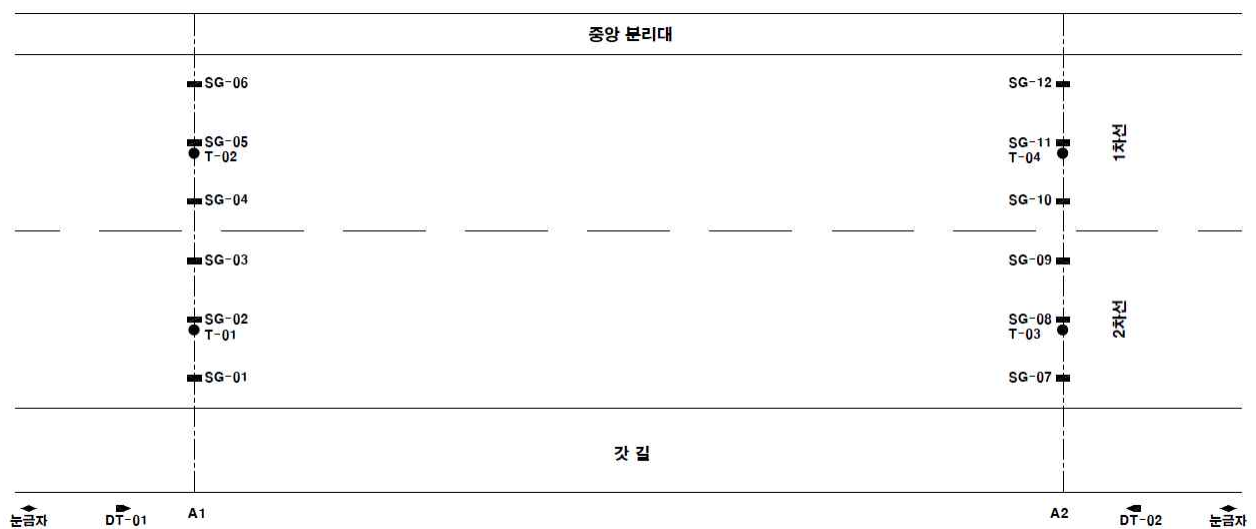
5.4 대상교량 계측결과

5.4.1 계측결과

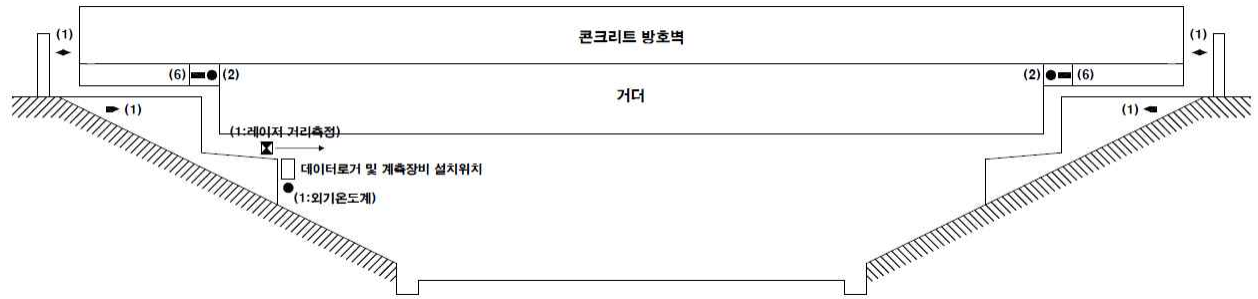
본 시험시공후 교량 거동의 상태를 파악하기 위해 상행선방향에 계측기기를 설치하였다. 연결조인트내의 연결철근에는 변형률계를 설치하였고, 교량의 거동을 파악하기 위해 변위계 및 레이저 거리 측정기를 설치하였으며 그 현황은 다음과 같다.

표 5.5 대상교량 계측기 설치현황

구분	계측항목	계측센서	계측목적
상부 및 교대	온도신축거동	레이저 거리 측정기	• 양쪽 교대간 온도신축거동 측정
		변위계	• 슬래브 온도신축거동 측정
		변위측정용 눈금자	• 상부 온도신축거동 측정(수동)
강결 구조부	철근콘크리트 응력	철근 변형률계	• 철근콘크리트 응력 측정
	내부온도 및 대기온도	온도계	• 강결구조부 내부 온도 및 대기온도 측정



(a) 평면도



(b) 종단면도

범례	계측기기	수량	비고
■	변형률계	12	
●	온도계	5	4ea:매립설치, 1ea:외기온도
▶	변위계	2	
◆	수동측정용 눈금자	2	
☒	레이저 거리측정기	1	

그림 5.25 대상교량 계측기 설치현황도



(a) 레이저 거리 측정기



(b) 변위계



(c) 변형률계 및 온도계



(d) 변위측정기(수동)

그림 5.26 설치 계측기

본 시험시공후 계측 센서의 설치 및 데이터 측정 시점은 다음과 같다.

- ① 교대 변위계(A1, A2): 2016년 7월 18일 설치 완료, 계측 시작
- ② 교대 레이저 거리 측정기(A1): 2016년 7월 29일 설치 완료, 계측 시작
- ③ 변위측정용 눈금자(상부 접속슬래브 방호벽-가드레일 말뚝): 2016년 7월 29일 설치 완료
- ④ 철근변형률계(신축이음 강결구조철근): 2016년 7월 21일 설치 완료, 계측 시작
- ⑤ 강결구조부 내부온도계: 2016년 7월 21일 설치 완료, 계측 시작
- ⑥ 대기온도계: 2016년 7월 21일 설치 완료, 계측 시작

계측결과 교량 시험 시공후 구조물의 거동이 시작되는 것을 확인 할 수 있었으며 변위계 및 레이저 거치 측정기에 의해 계측된 변위는 그림 5.27과 같다.

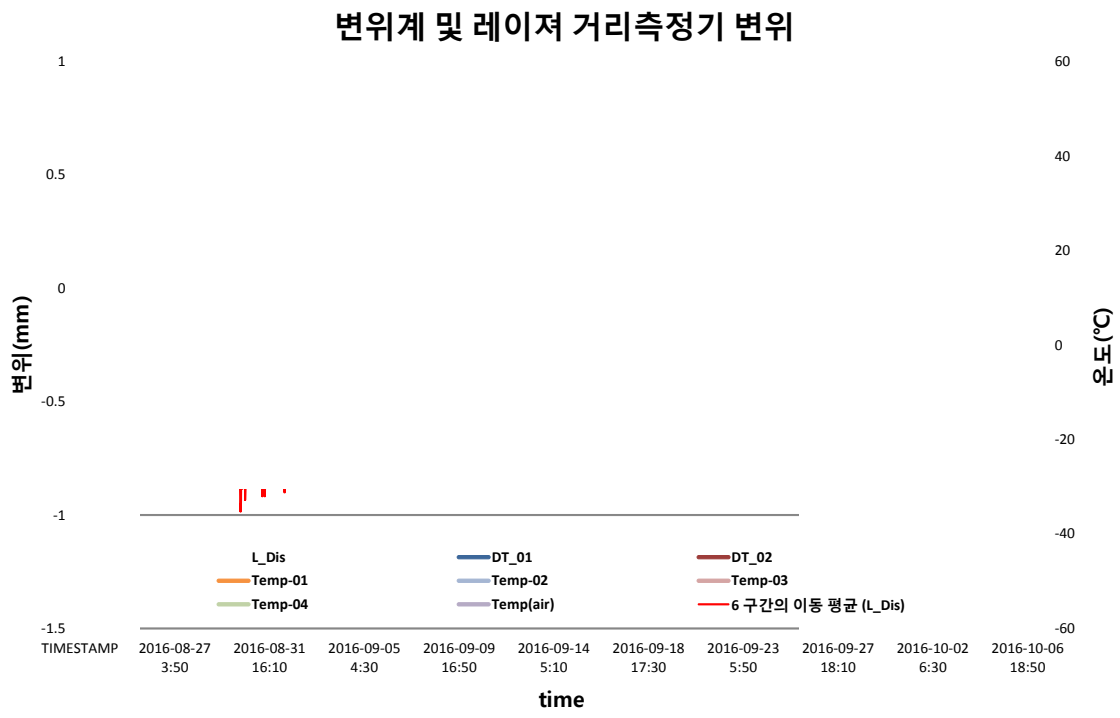


그림 5.27 변위 계측결과

온도는 연결조인트 내부에 설치된 상태를 나타내며 이는 상부슬래브의 온도와 유사할 것으로 예상된다. 교량의 거동은 상부슬래브의 온도변화보다는 거더의 온도변화에 지배적이며 시험시공시 거더의 온도는 23℃ 내외를 나타내었다. 거더의 온도를 측정하여보니 낮과 밤의 온도차이 큰 변동을 나타내지 않음을 알 수 있었다. 이에 따라 변위를 확인해보면 교대의

상대변위는 시점부 교대가 최대 1mm, 종점부 교대는 최대 0.5mm를 보이고 있으며 그래프에 나타난 온도와는 부합하지 않음을 알 수 있다. 시점부 교대의 변위가 종점부 교대보다 큰 이유는 시점부 교대는 말뚝기초 상단이 성토에 위치하여 원지반에 위치한 종점부에 비해 지반강성이 약해 상대적으로 큰 거동을 나타내는 것으로 판단된다. 현재의 계측변위는 미소하여 계절적 대기온도가 시험시공시보다 낮아지거나 높아지면 상부거더의 변위가 발생하게 되므로 이 후 계측결과에 따라 시험시공에 의한 교량의 거동 및 건전성을 확인 할 수 있을 것으로 판단된다.

5.4.2 재하시험

본 시험에서는 활하중에 대한 구조적 거동 및 내하력 평가를 위하여 차량을 이용한 재하시험을 실시하였다. 재하차량은 총중량 31.09tonf이다. 재하시험은 A1 → A2 방향으로 갓길과 2차로에 대해서 각각 정재하, 시속 5km로 저속주행, 시속 30km 및 시속 60km로 주행하여 지간 중앙부의 처짐과 무조인화된 단부의 신축 변위 및 응력에 대한 응답이력을 측정하였다.

재하시험시 교량의 구조적 응답(처짐)이 가장 크게 발생하는 경간의 중앙부, 즉 그림 5.28의 X-X' 단면에 차량을 재하하였으며, 재하에 의한 교량의 응답은 그림 5.25와 같이 매립되거나 부착된 Strain gauge 및 수평거리측정기 등 15EA 센서와 지간 중앙부 거더 하단에 5개의 Displacement를 설치하여 교량의 수직처짐에 대한 변화량을 측정하였다.

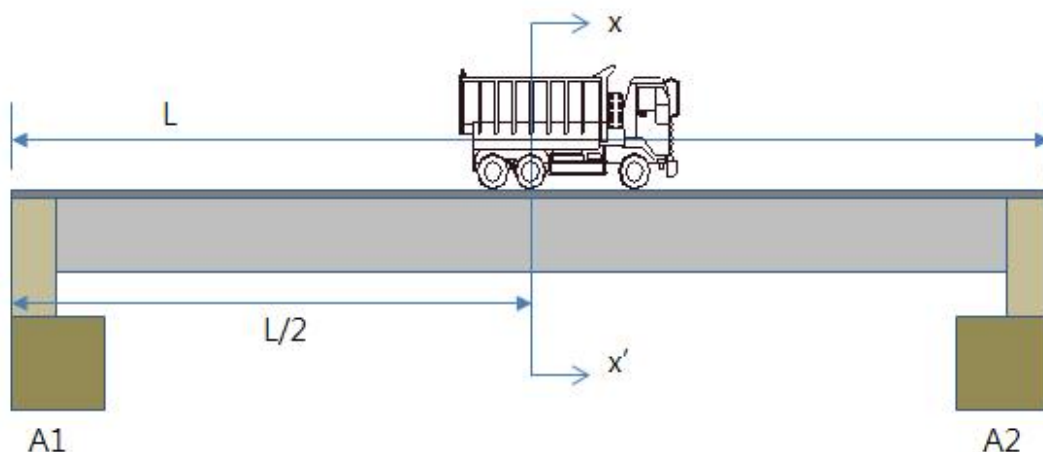


그림 5.28 재하시험에서의 계측위치

본 과업에 사용된 재하차량은 총 중량 31.09tonf 재하차량으로서 차량의 제원 및 축중량은 표 5.6과 그림 5.29에 나타내었다. 재하차량을 이용한 재하시험시, 갓길과 2차로에 대해서 각각 정적재하, 5km/h, 30km/h 및 60km/h의 동적재하시험을 실시하였으며, 고속도로 통행차단을 최소화하고 사용자의 편의를 위하여 가능한 1차로에 대해서는 60km/h의 동적재하시험만을 실시하였다. 하중 경우(Load Case) 및 각 차선에 따른 재하위치는 표 5.7 및 그림 5.30과 같다.

표 5.6 재하차량의 축중량(tonf)

구 분		재하차량 중량(tonf)
총중량		31.09
전륜	전륜1	8.69
	전륜2	7.94
후륜	후륜1	7.54
	후륜2	6.92

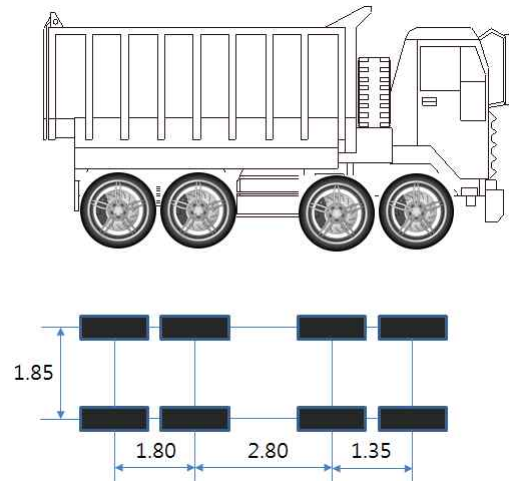
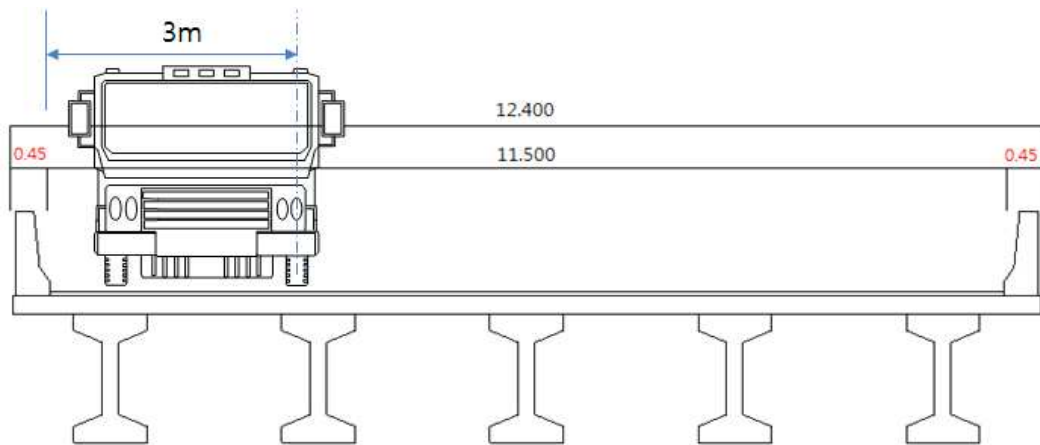


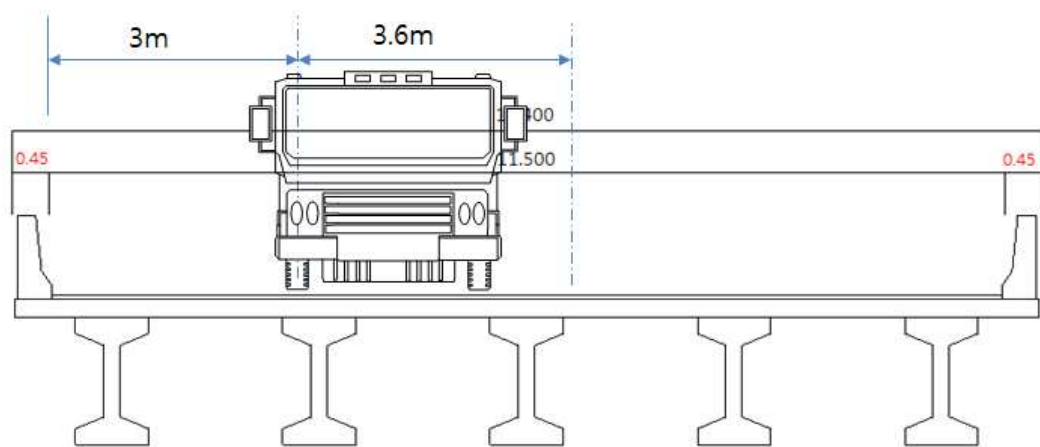
그림 5.29 차량 제원(m)

표 5.7 Load Case

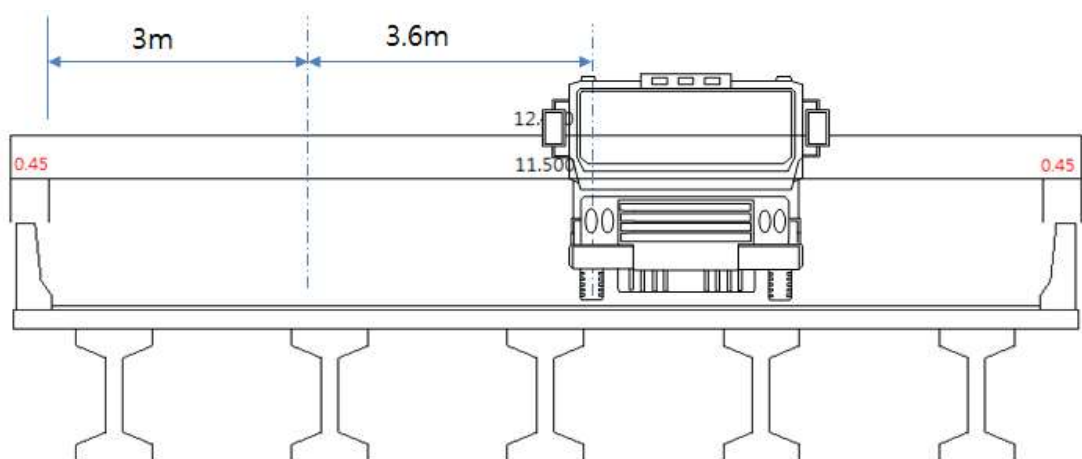
구 분	내 용	비 고
LC1	갓길 정재하	
LC2	2차로 정재하	
LC3	갓길 5km/h 주행	
LC4	2차로 5km/h 주행	
LC5	갓길 30km/h 주행	
LC6	2차로 30km/h 주행	
LC7	갓길 60km/h 주행	
LC8	2차로 60km/h 주행	
LC9	1차로 60km/h 주행	



(a) 갓길 재하 위치



(b) 2차로 재하 위치



(c) 1차로 재하위치

그림 5.30 차로별 차량 재하위치

재하시험을 통하여 측정된 변형율로부터 응력을 계산하고 그 결과를 표 5.8에 나타내었다.

표 5.8 측정된 변형율로부터 계산된 응력 (단위 : kg/cm^2)

측정위치	하행측 재하		중앙부 재하		상행측 재하	
	10 km/h	30 km/h	10 km/h	30 km/h	10 km/h	30 km/h
G2	-9.45	-8.40	-8.40	-8.40	-7.35	-7.35
G3	42.00	36.75	19.95	21.00	13.65	13.65
G5	95.55	90.30	56.70	57.75	40.95	40.95
G6	97.65	97.65	61.95	61.95	37.80	40.95
G9	5.25	6.30	12.60	12.60	32.55	33.60
G10	52.50	57.50	105.00	105.00	127.05	128.10
G11	37.80	39.90	70.35	70.35	94.50	91.35

주) 강재의 허용응력 = $1,900 \text{ kg/cm}^2$

표 5.8에 따르면 재하차량에 의하여 신축이음부에 작용하는 응력은 $6.3 \sim 128 \text{ kg/cm}^2$ 로 분포한다. 최대값인 상행측 재하시 128.1 kg/cm^2 이며 이 값은 허용응력 6%에 해당하는 크기로 전체 안전성에 큰 영향은 미치지 않는 것으로 판단된다.

동하중 재하에 의한 충격계수는 표 5.9에 나타내었다.

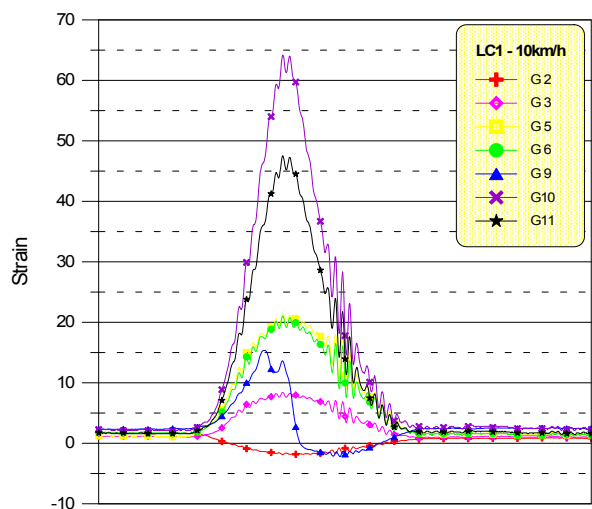
표 5.9 재하시험시 측정된 변형율 및 충격계수 (단위 : $\mu \epsilon$)

측정위치	하행측 재하			중앙부 재하			상행측 재하		
	10 km/h	30 km/h	충격계수	10 km/h	30 km/h	충격계수	10 km/h	30 km/h	충격계수
G2	-4.5	-4.0		-4.0	-4.0		-3.5	-3.5	
G3	20.0	17.5		9.5	10.0		6.5	6.5	
G5	45.5	43.0		27.0	27.5		19.5	19.5	
G6	46.5	43.5	0.00	29.5	29.5	0.00	18.0	19.5	0.08
G9	2.5	3.0		6.0	6.0		15.5	16.0	0.03
G10	25.0	27.5	0.10	50.0	50.0	0.00	60.5	61.0	0.01
G11	18.0	19.0		33.5	33.5		45.0	43.5	

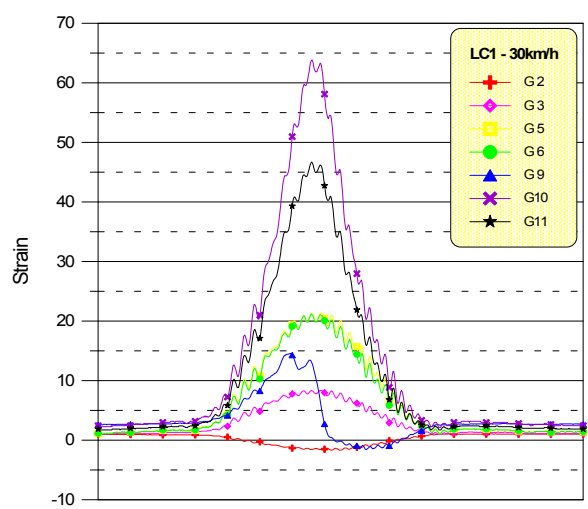
주) 충격계수(i) = 측정치(30km/h)/측정치(10km/h)-1

충격계수는 0.01~0.08로 분포하며 이 값은 도로교설계기준에서 제시한 충격계수 0.195보다 작아 안정된 거동을 나타냄을 알 수 있다. 이와 같은 수치의 차이는 신축이음장치를 배제하고 연결슬래브를 사용함으로써 차량의 주행감을 부드럽게 하는 효과가 있음을 알 수 있다.

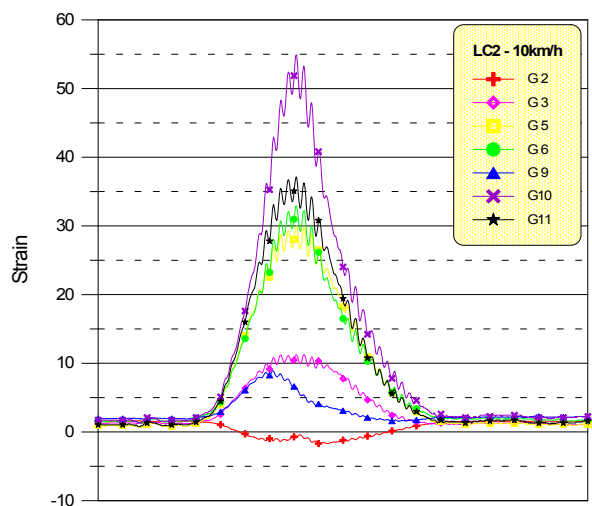
참고로 망상3교(속초)의 활하중에 대한 구조적 거동 및 내하력 평가를 위한 기초 자료를 제공하기 위하여 덤프트럭을 이용한 재하시험을 통하여 변형율을 계측하였으며 계측기록을 그림 5.31에 수록하였다.



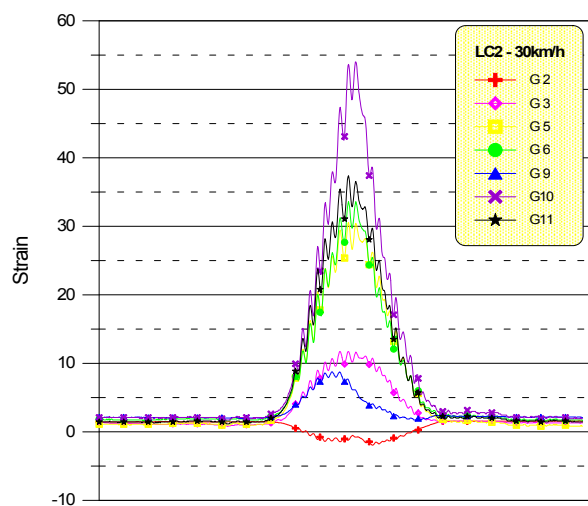
(a) 하행측 10km/h 주행시 계측기록



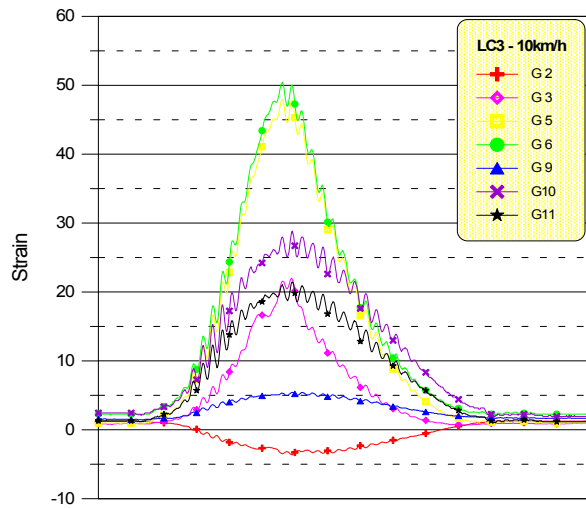
(b) 하행측 30km/h 주행시 계측기록



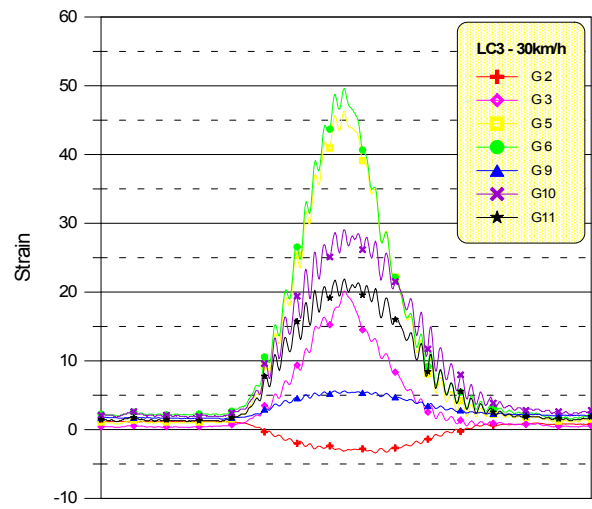
(c) 중앙부 10km/h 주행시 계측기록



(d) 중앙부 30km/h 주행시 계측기록



(e) 상행측 10km/h 주행시 계측기록



(f) 상행측 30km/h 주행시 계측기록

그림 5.31 재하차량에 의한 계측기록

제 6 장 일체식 교량 설계사례집

6.1 개요

일반 교량(joint bridge)은 그림 6.1과 같이 온도 및 습도 등 외부환경 변화에 의한 상부구조 신축을 처리하기 위해 신축이음장치(expansion joint)와 교량받침(bearing)을 포함하고 있다. 이와 같은 기계적 장치는 공용중 활하중 또는 2차 하중의 영향으로 파손되어 교량 내구성 저하 및 유지관리 측면에서 심각한 문제로 지적되고 있다. 이를 개선하고자 1930년대 이후 미국, 캐나다 등을 중심으로 신축이음장치나 교량받침을 설치하지 않는 교량형식이 출현되었다.

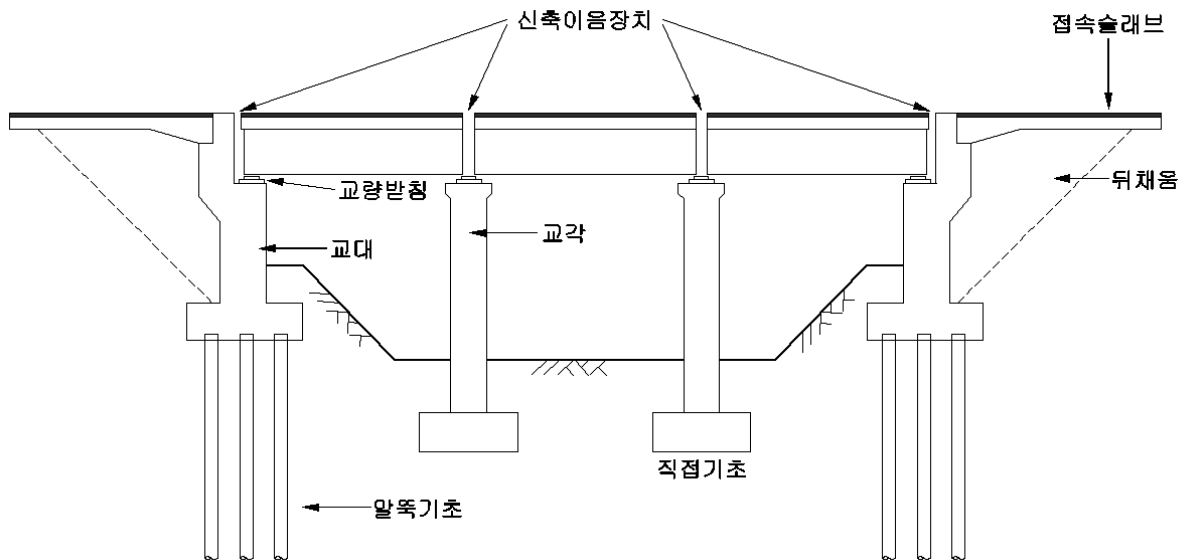


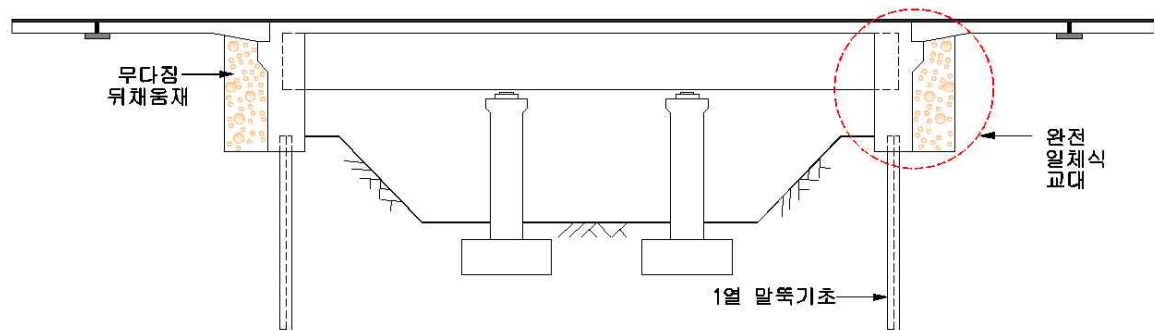
그림 6.1 일반 교량(joint bridge)

무조인트 교량(jointless bridge)은 장기적인 외부환경 변화에 대응한 유지관리 비용을 최소화하기 위한 목적으로 교량 상부구조 즉, 슬래브 또는 바닥판(deck)에서 신축이음을 설치하지 않은 교량을 총칭한다.

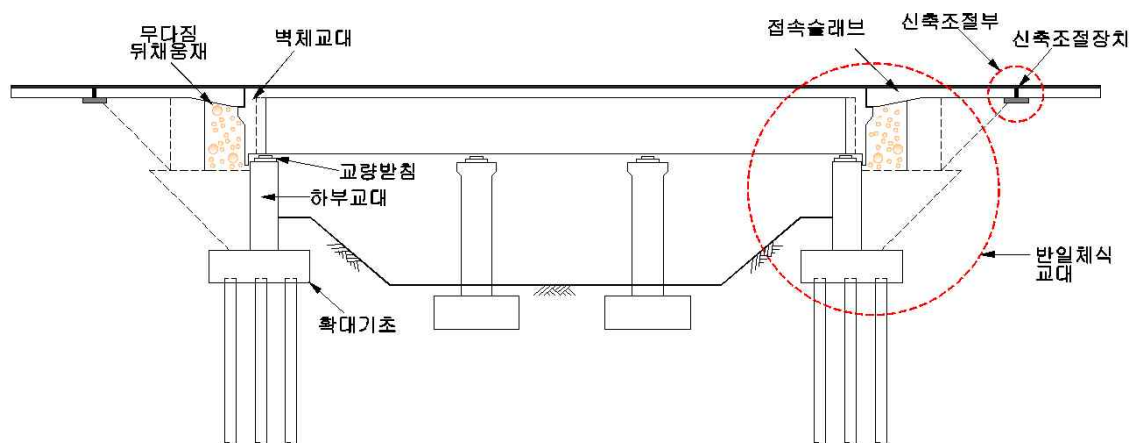
일체식 교량(integral bridge)은 무조인트 교량(jointless bridge)의 한 형식으로 신축이음장

치를 설치하지 않는 부분에서 무조인트 교량과 유사한 개념을 갖지만 상부구조와 낮은 높이의 교대 전체(그림 6.2 (a)) 또는 상부구조와 벽체교대(그림 6.2 (b))를 일체로 시공하여 온도 신축으로 발생하는 수평변위 또는 회전변위 등을 허용하는 부분에서 구조적인 차이점을 갖는다. 편의상 이 보고서에서는 일체식 교량(integral bridge)이라고 한다.

무조인트 교량 형식의 하나인 라멘구조 교량은 내구성 및 유지관리에 용이하지만 온도하중 및 2차 하중 등에 대한 변위에너지를 단면강성으로 제어하기 때문에 다경간 또는 장경간 교량에 부적합하거나 비경제적일 수 있다. 따라서 일체식 교량은 변위를 허용할 수 있도록 교대 배면의 무다짐 뒤채움토와 교대부의 발생 변위를 적절히 조정하기 위한 일렬 말뚝기초 형식(완전일체식 교량), 또는 교량받침을 포함한 독립된 기초 형식(반일체식 교량)을 적용하여 경제성, 내구성 및 유지관리 성능을 향상시킬 수 있는 교량형식이다.



(a) 완전일체식 교량 (full-integral abutment bridge)



(b) 반일체식 교량 (semi-integral abutment bridge)

그림 6.2 일체식 교량 (jointless bridge)의 구분

1990년 말 완전일체식 교량(평촌1교)이 국내에 가설된 이후 현재 고속국도에서 공용 또는

시공중인 완전일체식 교량은 3개소, 반일체식 교량은 32개소로서(표 6.1) 한국도로공사에서는 적극적으로 유지관리 향상을 위해 조인트를 배제하려고 노력하고 있다.

이 장에서는 설계사례집에 적용된 일체식 교량의 설계개요, 설계호름 및 설계사례 요약을 위주로 기술하였다.

표 6.1 국내 고속국도 일체식 교량 현황

교량명	연장 (m)	형식	비고
평촌1교	3@30=90	완전일체식	공용중
상남1교	3@30=90	완전일체식	시공중
하남2교	3@35=105	완전일체식	
상유교	1@30=30	반일체식	
단천교	1@30=30	반일체식	공용중
구수교	7@35=245	반일체식	
서운2교	1@35=35	반일체식	
상록2교	6@35=210	반일체식	
동홍천IC육교	1@43=43	반일체식	
도천2교(부산)	2@30=60	반일체식	
외이2교(대구)	1@30=30	반일체식	
청계교(대구)	1@40=40	반일체식	
기죽교(대구)	2@35=70	반일체식	
내촌IC교	1@30=30	반일체식	
내촌3교	4@30=120	반일체식	
하남1교	4@30=120	반일체식	
현리3교	2@30=60	반일체식	시공중
장평3교	1@45=45	반일체식	
외이2교(광주)	1@30=30	반일체식	
옥계1교	4@35=140	반일체식	
청계교(광주)	1@40=40	반일체식	
의지육교	1@40=40	반일체식	
기죽교(광주)	2@35=70	반일체식	
반곡2교	2@30=60	반일체식	
천전1교	1@30=30	반일체식	
건천2교	2@30=60	반일체식	
도천2교(서울)	2@30=60	반일체식	
거마1교	2@30=60	반일체식	
거마2교	2@35=70	반일체식	
토골교	1@30=30	반일체식	
둔산교	4@35=140	반일체식	
소동교	1@30=30	반일체식	
가정교	3@40=120	반일체식	
낙산1교	1@35=35	반일체식	
서변나들목교	1@45=45	반일체식	

6.2 설계 지침

이번 연구를 통해 개정할 일체식 교량 설계지침의 주요 사항은 적용성 확대를 위한 내용이 주를 이룬다. 일체식 교량은 소규모 교대를 사용하고 교량받침 및 신축이음장치를 배제할 수 있으므로 초기공사비 및 유지관리비를 대폭 절감할 수 있는 교량형식이다. 따라서, 해외에서도 교량 적용조건을 만족하면 우선적으로 일체식 교량을 적용하고 있다. 개정되는 설계지침에서는 이와 같은 동향을 반영하여 기존의 일체식 교량 적용조건을 개선하고 적용성을 확대하고자 연구의 시작이 되었다. 다음 내용은 이번 연구를 통해 설계지침에서 개정될 조건에 대한 부분이며 설계사례집 작성시 반영되었다.

교량의 총 연장은 상부구조의 재료적 특성에 따라 별도로 적용하여야 한다. 완전일체식 교량은 말뚝기초가 교대를 직접 지지한다. 상부구조에서 발생하는 온도신축에 의한 변위로 인해 벽체교대, 말뚝기초, 교대 연결부 등에 응력이 발생되므로 교량 총 연장에 대하여 제한이 필요하다.

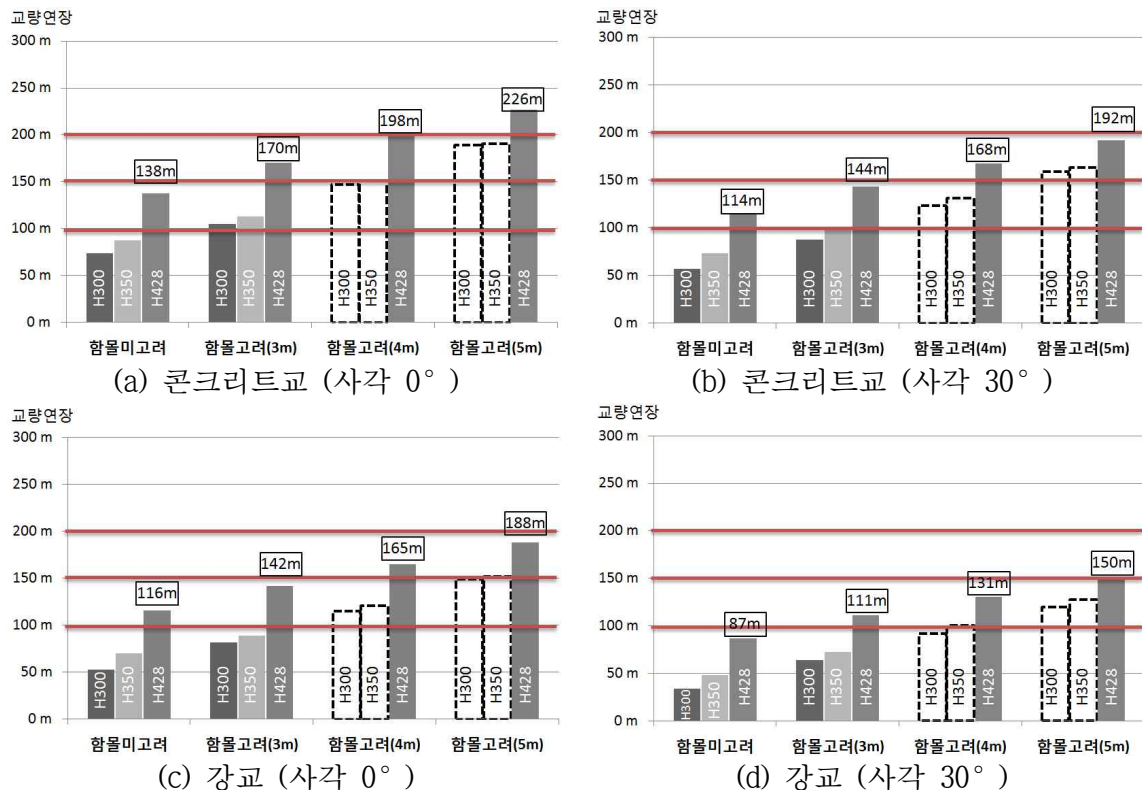


그림 6.3 완전일체식 교량의 연장한계

완전일체식 교량 연장한계는 말뚝머리와 기초교대의 연결부에서 발생하는 높은 응력에 지배된다. 응력을 감소시키기 위해서는 말뚝의 유연한 거동을 확보해야 하며 이를 위해 H형강 말뚝기초의 1열 약축배치 및 사전천공을 사용할 수 있다. 교량거더의 재료와 사각, 말뚝제원과 말뚝머리부 주변지반의 함몰깊이에 따라 적용 가능한 교량연장은 그림 6.3과 같다.

말뚝에 대한 응력 검토 및 장주효과를 고려한 안정성을 확인한 결과, H말뚝의 경우 말뚝제원 크기에 따라 허용응력($f_a = 190MPa$)을 초과하는 경우가 발생하므로 현재 국내에서 생산 가능한 크기를 기준으로 완전일체식 교량의 최대 연장한계를 산정하였다. 세로축은 교량의 연장한계를 나타내며 가로축은 완전일체식 교량에서 말뚝머리의 함몰(또는 사전천공)구간을 나타낸다. 예를 들어, 함몰고려(3m)는 기초교대 하단에서 3m 지점까지 함몰 또는 사전천공에 의해 말뚝주변지반의 저항이 없으므로 해석시 지반스프링을 배제하는 것을 의미한다(그림 6.4).

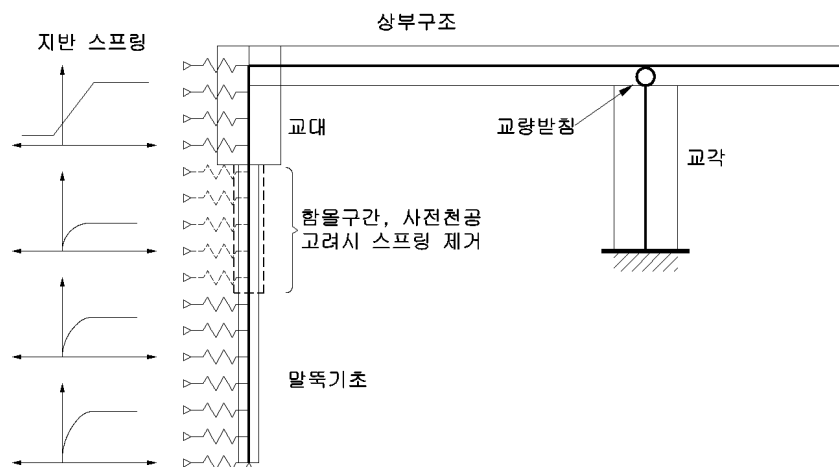


그림 6.4 완전일체식 교량의 모델링 개요

함몰(또는 사전천공)구간이 클수록 말뚝머리에서 발생하는 부재력이 감소되어 연장한계는 증가하지만 말뚝 안정성은 감소하며, 모멘트 확대를 통한 말뚝 안정성 검토시 허용응력을 초과하여 적용이 불가능한 상태를 점선으로 표현하였다. 그리고, 상대적으로 강성이 강한 강관 말뚝은 높은 응력으로 인해 연장한계가 다소 짧았고, PHC말뚝은 전단응력이 지배적으로 나타나 취성파괴의 우려가 있으므로 가급적 사용하지 않는 것이 좋다. 이에 따라 현재 적용 가능한 완전일체식 교량의 연장한계는 함몰구간 또는 사전천공을 4m까지 고려하고 H형강 말뚝기초(H428x407)를 사용하는 경우에 대해 콘크리트교 180m 이하, 강교 150m 이하이다.

상·하부 구조가 분리된 반일체식 교량 연장한계의 지배적 요소는 교량받침, 신축조절장치

및 벽체교대 제원이다. 교량받침과 신축조절장치는 조사결과, 발생변위의 수용이 가능하거나 제작이 가능하므로 벽체교대의 제원이 교량의 연장한계를 가늠하는 판단기준이 되었다. 이에 따라 콘크리트 및 강 반일체식 교량을 교량 연장별로 온도하중에 따른 벽체교대에 작용하는 부재력을 산정하여 벽체교대의 안전성을 검토하였다.

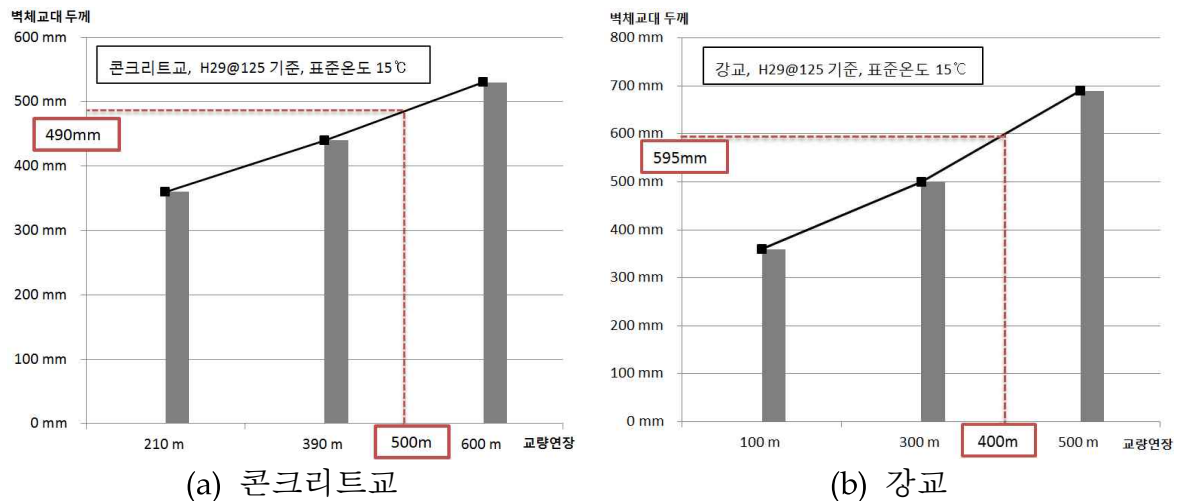


그림 6.5 반일체식 교량의 연장한계

그림 6.5 (a)에서 교량연장이 500m인 경우, 벽체교대 490mm가 시공성을 고려한 1단 배근시 구조 안전성을 만족하며, (b)에서는 교량연장이 400m인 경우, 벽체교대 595mm가 시공성을 고려한 1단 배근시 구조 안전성을 만족함을 나타낸다. 그림 6.5에서 나타난 바와 같이 수동토압에 의한 휨모멘트에 대한 저항, 전단파괴 및 시공성을 고려할 때 벽체교대 두께가 650mm일 때, 콘크리트교 및 강교에 대해 만족하였다. 해외 표준도는 550~900mm이었고, 향후 시공경험 및 교량 안정성에 대한 신뢰성이 축적되면 이에 대한 개선이 이루어 질 수 있을 것이다. 이에 따라 반일체식 교량의 연장한계는 콘크리트교 500m 이하, 강교 400m 이하이다.

제시된 연장한계는 기준온도를 15℃로 하여 산정된 연장이다. 하지만, 각 지역별 또는 구조계가 완공되는 시기에 따라 기준온도가 변화하게 된다. 기준온도는 일체식 교량에서 연장한계를 지배하는 중요한 외부 요소이며, 온도가 낮을수록 교량의 연장한계가 커지고, 높을수록 교량의 연장한계가 작아진다. 이는 온도에 의한 수축거동시 교량을 수축시키는 하중과 조합되어 말뚝에 작용하는 응력이 더 크게 발생하므로 온도가 높은 시기에 구조계가 완공되는 것은 교량에는 불리한 영향을 미치게 된다. 또한 한랭지역과 같이 온도가 낮은 지역에서

는 연장한계는 유리한 측면으로 나타나게 된다. 따라서, 기준온도의 변화가 예상되는 경우에는 이에 대한 검토가 이루어져야 한다. 다만 상기 교량연장을 초과 적용이 필요한 경우에는 상부구조형식, 설치 경간수, 지반조건 및 설치지역의 온도변화 등 제반사항을 고려하여 별도의 구조검토를 실시하고 충분한 안전성을 확인하여 이를 적용할 수 있다.

교량사각이 큰 경우에는 양측 교대배면에 작용하는 토압의 분력 영향으로 교량이 회전할 가능성이 존재하며, 동시에 교대 배면에 발생하는 토압은 말뚝에 조합응력으로 작용하므로 사각은 교축직각방향에서 30° 를 초과하지 않도록 하여야 한다. 미국, 캐나다, 호주, 영국 등에서는 일체식 교량의 사각을 최대 45° 로 정하고 있다. 사각을 가진 교량의 회전변위는 뒤채움재 마찰력으로 저항된다. 뒤채움재의 최대 내부마찰각은 35° 이므로 지침에서는 안전 측으로 사각한계를 최대 30° 로 정하였다.

도로의 평면 곡률을 따라 교량을 설치할 경우 상부구조에 발생하는 실제 온도변위의 방향을 정확하게 밝히기가 어려우며, 이로 인하여 양측 교대 조건에 차이가 발생할 수 있으므로 이를 최소화하여야 한다. 거더의 배치는 곡선의 접선에 따라 직선으로 배치하고 거더 간의 간격은 평행하여야 한다. 박스 거더교와 같이 곡률에 따라 곡선거더를 설치하는 경우 적용 대상에서 제외한다. 온도변위에 대한 재료적 특성에 따라 교량연장을 결정하였으므로 곡률 반경에 대한 제한조건 대신 교량 시중점이 이루는 교각(橋角)을 5° 이하로 하였다. 이와 같은 기준을 초과하는 경우 해외사례 조사결과, 교각(橋角)을 초과하는 교량도 시공된 바가 있으므로 별도의 구조검토를 통해 적용할 수 있다.

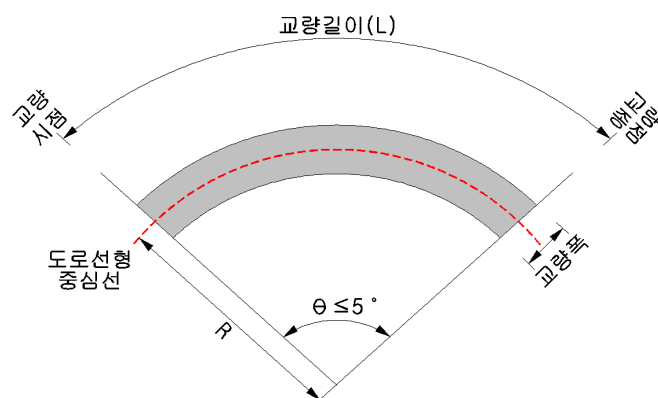


그림 6.6 교량 시중점이 이루는 교각(橋角)

일체식 교량은 거동 특성상 양측 교대조건이 가능한 동일한 조건으로 계획하는 것이 바람직하다. 다만 교량 종단경사가 5%를 초과하는 경우 별도의 구조검토를 통해 적용할 수 있다.

6.3 설계 사례 요약

이 연구에서는 고속도로 상하행 분리 각 2차로 편측폭원 5경간 교량의 일반 조인트 교량을 개정된 일체식 교량 설계지침으로 설계하였다. 일반 조인트 교량의 흙벽을 갖는 교대와 완전일체식 교량의 소교대 및 반일체식 교량의 벽체교대와 하부교대를 설계함으로써 설계된 결과의 구조성능과 경제성 등을 비교 분석하였다.

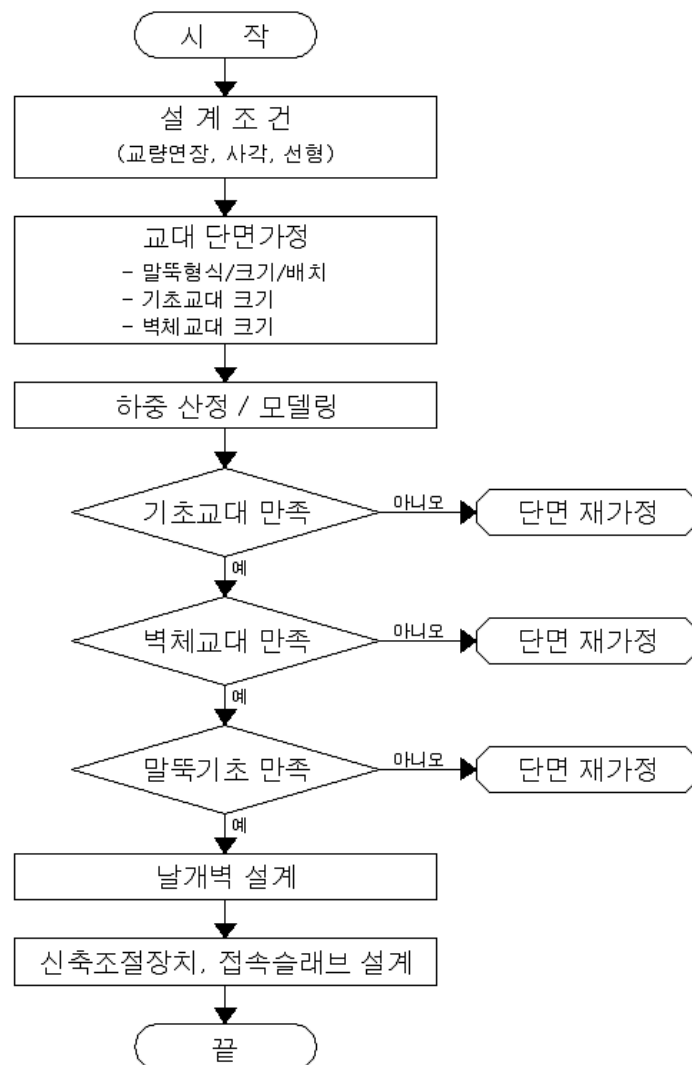
표 6.2 개정된 일체식 교량 설계지침 주요내용

구분	기존 설계지침	개정 설계지침
연장한계	• 콘크리트 교량 : 120m 이하 • 강교량 : 90m 이하	• 완전일체식 교량 : 콘크리트 180m 이하, 강 150m 이하 • 반일체식 교량 : 콘크리트 500m 이하, 강 400m 이하
교량사각	• 최대 30 °	• 최대 30 ° (안전측으로 사각 유지)
평면/종단	• 시종점 교각 5 ° • 종단경사 5% 이내	• 시종점 교각 5 ° • 종단경사 5% 이내 • 별도의 구조검토를 통한 적용가능 언급 추가
말뚝기초	• 함몰/사전천공 구간 : 1.5~3m	• 함몰/사전천공 구간 : 1.5~4m • p-y곡선을 사용한 말뚝과 지반 상호 작용 고려
신축조절 장치	• 온도변화에 의한 신축량	• 온도+건조수축+크리프에 의한 신축량 (도로교설계기준 참조)

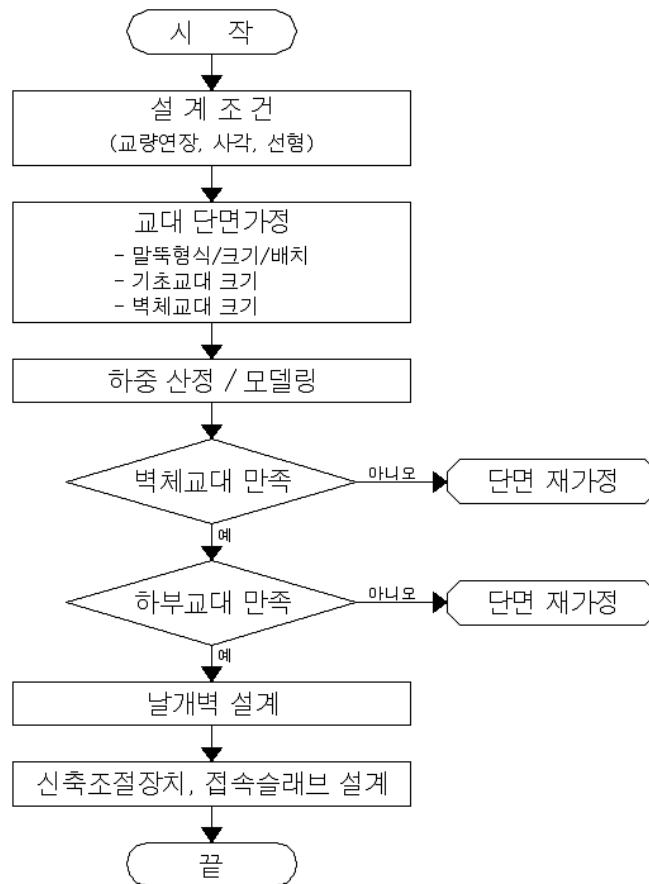
완전일체식 교량의 설계는 상부구조, 기초교대, 벽체교대 및 말뚝기초 순으로 진행된다. 반일체식 교량은 상하부 구조가 분리되므로 상부구조, 벽체교대, 하부교대 및 필요시 말뚝기초 순으로 진행된다. 일체식 교량의 상부구조 설계는 일반교량과 유사하며, 교대 설계는 일체식 교량의 종류에 따라 달라지게 된다. 그림 6.7은 일체식 교량의 전체적인 설계순서를 나타낸다.

완전일체식 교량의 단면력 산정에 있어서 뼈대구조이론으로 해석하는 것을 원칙으로 한다. 완전일체식 교량의 교대는 시공시기에 따라 기초교대와 벽체교대로 구분되며 이를 고려한 일반적인 설계흐름도를 도식화하면 그림 6.7 (a)와 같이 나타낼 수 있다.

반일체식 교량은 교대에서 상하부구조가 교량받침으로 분리되어 있으므로 하부교대 단면력 산정을 위해 별도의 전체 모델링을 할 필요는 없다. 다만, 벽체교대는 상부거더를 지지점으로 하는 연속보가 수동토압을 받게 되는 형태이므로 연속보 계산이나 또는 이에 대한 단순 모델링은 할 수 있다. 이를 고려한 일반적인 설계흐름도를 도식화하면 그림 6.7 (b)와 같이 나타낼 수 있다.



(a) 완전일체식 교량



(b) 반일체식 교량

그림 6.7 일체식 교량의 설계순서

6.3.1 완전일체식 교량

완전일체식 교량(full-integral abutment bridge)은 말뚝기초가 교대를 직접 지지하여 상부 구조에서 발생하는 온도신축에 의한 변위로부터 벽체교대, 말뚝기초, 교대 연결부 등에 응력이 발생된다.

일반 조인트 교량(joint bridge)의 교대에 비해 교대단면 및 말뚝기초의 규모가 감소하므로 경제성이 우수하고 교량받침과 조인트가 배제되므로 유지관리성 또한 우수하며 교량의 주요 특징은 다음과 같다.

- 교대 및 말뚝기초 규모감소로 초기공사비 절감

- 조인트 및 교량받침 배제로 유지관리비 절감
- 교대와 말뚝기초 연결부의 고응력 발생으로 교량의 연장 제한
- 교대배면에 토압작용으로 사각 제한

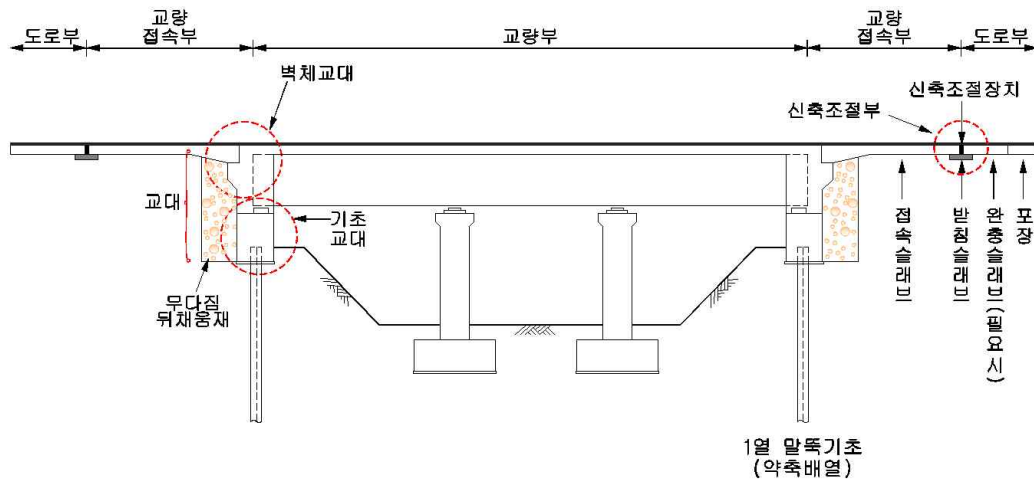


그림 6.8 완전일체식 교량의 주요 구성

완전일체식 교량은 말뚝기초의 유연한 거동이 안정적으로 발생할 수 있도록 하고, 기초교대와 말뚝기초의 연결부에서 발생하는 고응력을 낮추는 것이 전체 구조계의 안정성을 지배하므로 이에 유의하여 설계를 수행하여야 한다.

1) 단면계획시 고려사항

완전일체식 교량은 교대배면에 걸리는 토압 저감과 말뚝 거동을 용이하게 하기 위하여 높이가 낮은 교대를 사용하는 것이 구조적 안정성과 경제성에 유리하다. 말뚝의 안정성 확보를 위해 교대 전면에 앞성토를 설치하는 것이 바람직하다. 앞성토 계획시 거더와 교대 접합부의 유지관리를 위한 형하공간이 필요하며, 그 높이는 최소 400mm 이상이 바람직하다. 또한 교대는 일렬 말뚝의 온도신축 변위에 대한 거동과 말뚝 보호를 위하여 교대부 저면으로부터 600mm 이상을 지반에 근입하는 것이 바람직하다(그림 6.9).

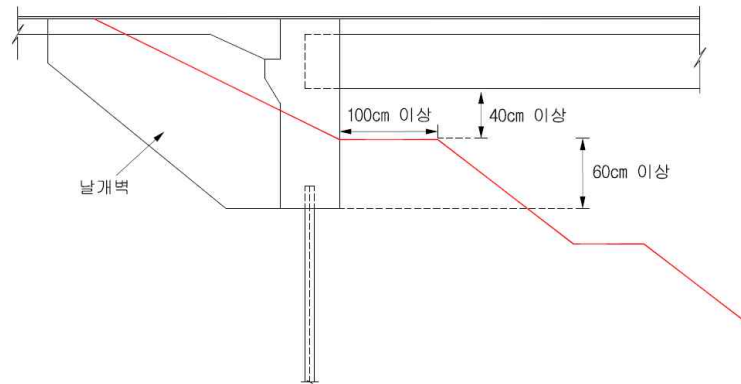


그림 6.9 완전일체식 교량의 앞성토

하천에 설치하게 되는 경우, 터파기 등에 의해 압밀되었던 하천 제방이 느슨하게 되므로 유수의 영향과 침투수에 의해 유실 가능성이 높다. 특히 말뚝의 안정성 확보를 위한 앞성토의 유실은 완전일체식 교량의 구조적 거동에 영향을 줄 수 있으므로 「하천설계기준」 등에 제시되어 있는 적절한 보강방법으로 보호하여야 한다. 세굴방지를 목적으로 제방에 사면보강공법을 적용 시, 말뚝기초를 보호하는 케이싱을 하상 또는 제방하단까지 설치하거나 제내지 제방 하단과 교대 전면 사이에 별도의 차수시설물을 두는 것이 바람직하다.

교대 뒤택움부에 분리막 사용 목적은 일반 뒤택움구간(또는 토공구간)영역과 무다짐 뒤택움구간 사이에 설치하여, 토사에 이동으로 인한 무다짐 뒤택움 재료의 엇물림 효과(interlocking effect)가 증가하지 않도록 하는데 있다. 만약 계절적인 대기온도 변화에 의해 발생하는 상부구조의 수평거동으로 전이구간의 토사가 무다짐 뒤택움 구간으로 유입되면, 무다짐 뒤택움 재료의 입도분포에서 배제되었던 세립분의 영향으로 무다짐 뒤택움재가 SB-1 또는 SB-2와 같은 성향을 갖는 재료로 전환될 수 있다. 이로 인해 교대 온도신축변위 발생시 뒤택움 재료의 엇물림 작용을 증가시켜 수동토압을 상승시키는 원인이 될 것이다. 또한 무다짐 뒤택움영역 하부에 설치한 유공관과 같은 배수시설에 악영향을 줄 수도 있고, 토사이동에 따른 접속슬래브 침하에 원인이 된다.

일반 성토부의 진동다짐에 따라 무다짐 뒤택움 재료가 다짐되지 않도록 하기 위하여 무다짐 뒤택움 구간과 일반 뒤택움 구간(또는 토공구간) 사이에 폭 1m 정도의 전이구간을 둔다. 이 구간은 일반뒤택움 재료 및 장비를 사용하지만 무진동 다짐시공을 하여야 한다.

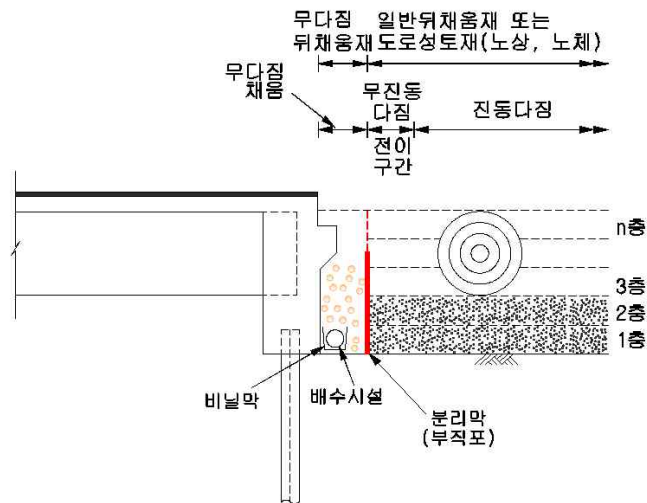
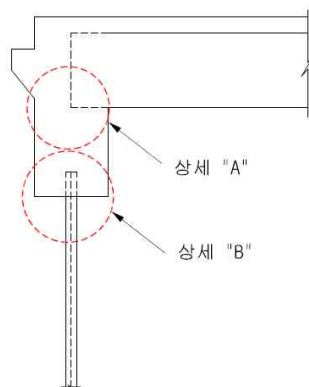


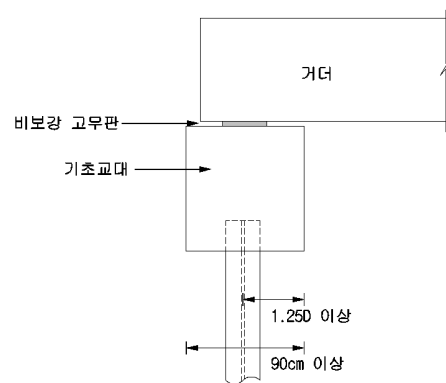
그림 6.10 완전일체식 교량의 뒤채움 시공방법

2) 기초교대 단면 결정

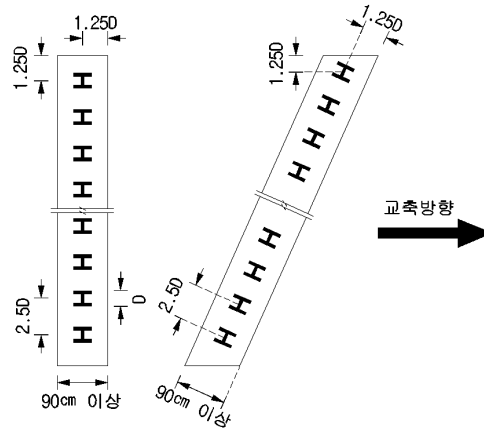
기초교대는 상부구조에 작용하는 하중을 말뚝기초로 전달하기 위한 콘크리트 구체로서 상면에 거치되는 거더와 바닥판 콘크리트 및 교량부속시설물 등 고정하중과 활하중에 대하여 충분한 저항을 할 수 있어야 한다. 이때 기초교대 단면 높이는 수동토압이 최소화 되도록 계획을 수립하여야 한다. 그리고 교대 폭은 교대 측면으로부터 연단거리 $1.25D$ (D =말뚝 단면 폭 또는 지름)배 이상을 확보하며, 상부 거더가 교대에 충분한 매입으로 일체거동을 확보하기 위해 900mm 이상을 적용하는 것이 바람직하다. 또한 말뚝 중심간의 거리는 최소 $2.5D$ 이상으로 한다.



(a) 소교대



(b) 상세 A



(c) 상세 B

그림 6.11 소교대의 제원

3) 벽체교대 단면 결정

벽체교대는 기초교대 위에 거터를 거치한 후 바닥판과 동시 타설되며 콘크리트가 경화된 후 일체 거동한다. 벽체교대는 계절적인 온도변화에 의한 교량 신축변위로 인하여 교대 배면에 수동토압이 발생한다. 따라서 벽체교대 설계시 수동토압에 의한 휨모멘트를 고려하여야 한다. 또한 상부구조와 교대간의 연결부는 상부구조에 작용하는 설계하중에 의한 휨모멘트에 안전하도록 설계한다.

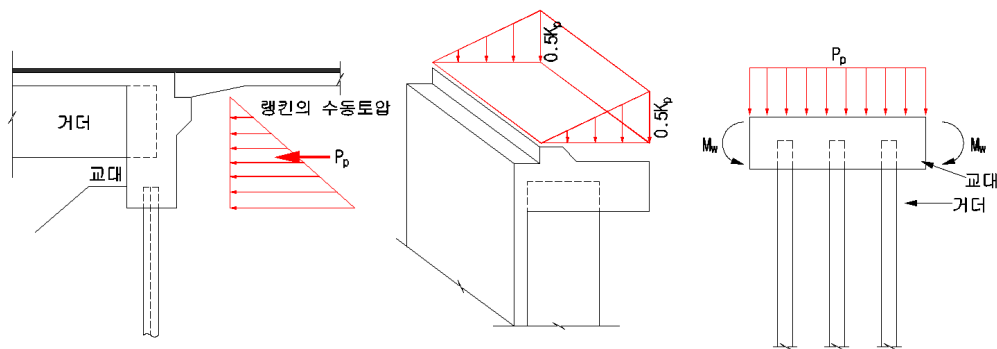


그림 6.12 벽체교대 모델링 개요

4) 신축조절장치, 접속슬래브 결정

신축조절부는 온도변화에 따른 교량의 신축변위가 상부구조에 연속된 접속슬래브에 직접 전달되므로, 접속슬래브와 본선 포장부 사이에 설치한다. 단, 완충슬래브를 설치하는 경우는 접속슬래브와 완충슬래브 사이에 설치한다. 신축변위를 직접 조절하는 신축조절

장치는 팽창줄눈방식, 단순채움방식(plug joint), 방수형 탄성봉합재 방식, 기계식 이음장치 방식 등을 적용할 수 있다.

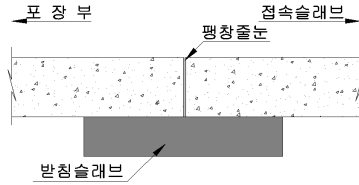
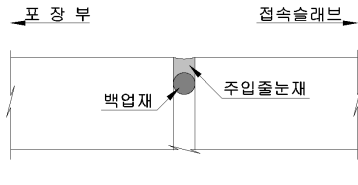
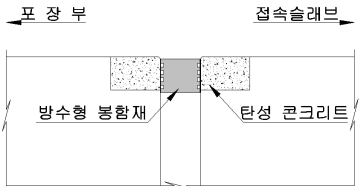
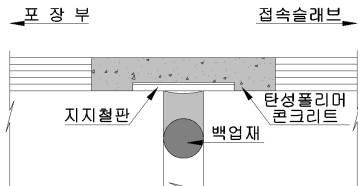
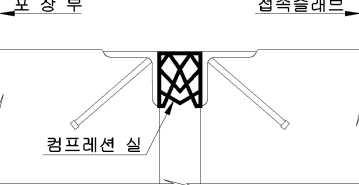
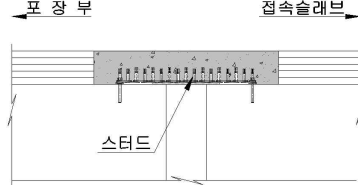
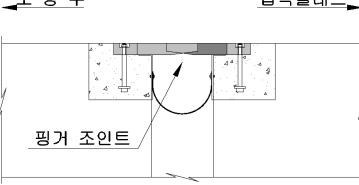
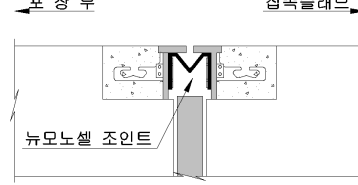
Type 1		
Type 2		
Type 3		
Type 4		

그림 6.13 신축조절장치의 종류

신축조절장치 형식에서 Type 1은 콘크리트 포장에서 사용되고 있으며 교량연장이 짧아 신축변위가 크지 않은 곳에서 사용될 수 있다. Type 2는 현재 주로 사용되며 방수형 봉합재 형식은 콘크리트 포장에서 탄성폴리머 콘크리트 형식은 아스팔트 포장형식에서 사용된다. Type 3, 4는 교량연장이 길어지는 경우에 대해 사용될 수 있는 형식이다.

접속슬래브의 제원과 각종 관련 규정은 한국도로공사 지침을 준용한다. 다만, 접속슬래브의 길이는 최소 4m 이상이어야 한다. 접속슬래브 하면에는 이동에 의한 마찰이 최소화 되도록 반드시 두께 1.2mm 이상의 PE막(polyethylene sheet)을 2겹 이상 설치한다.

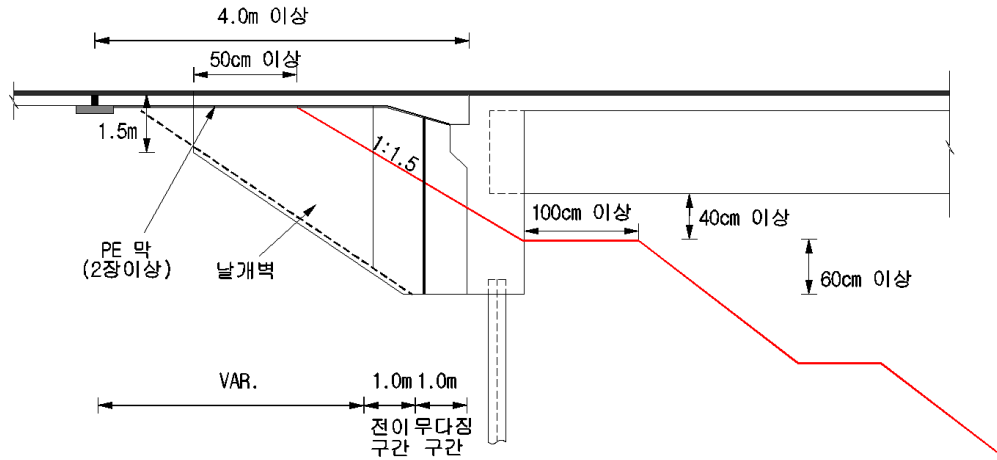
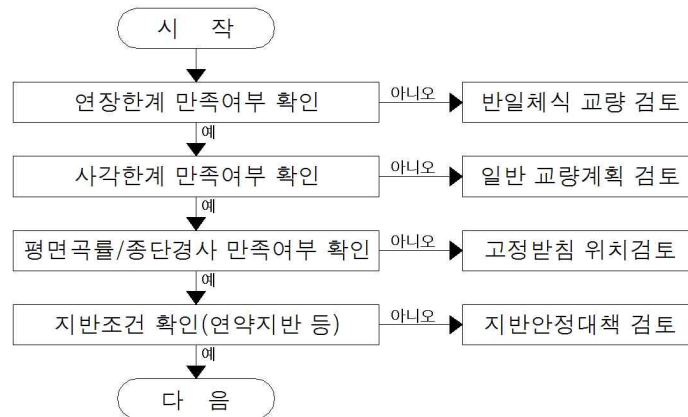


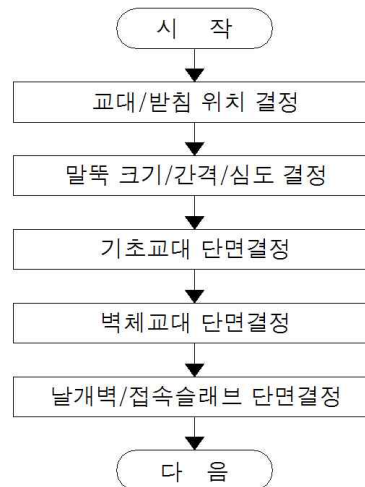
그림 6.14 접속슬래브와 날개벽 상세

5) 단계별 설계흐름도

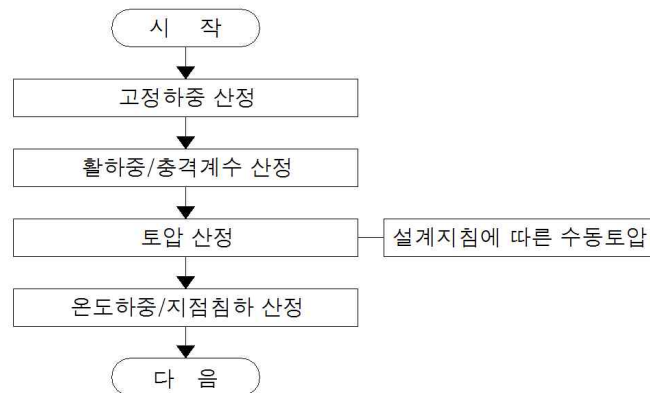
① 설계조건



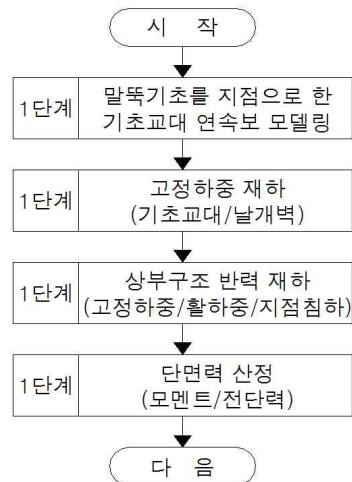
② 설계단면가정



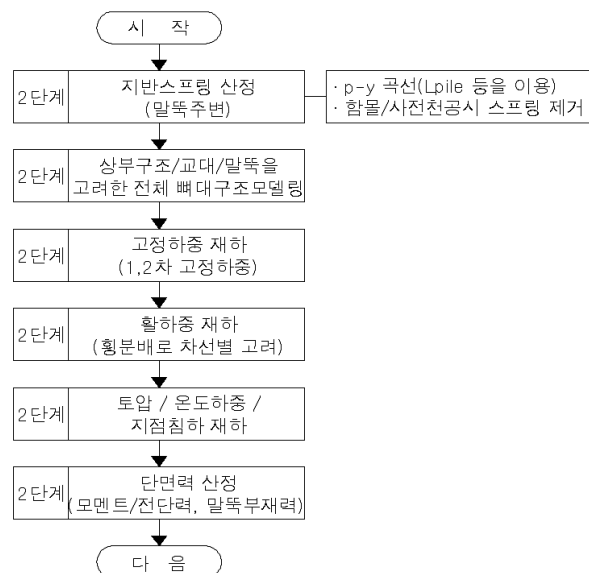
③ 하중계산



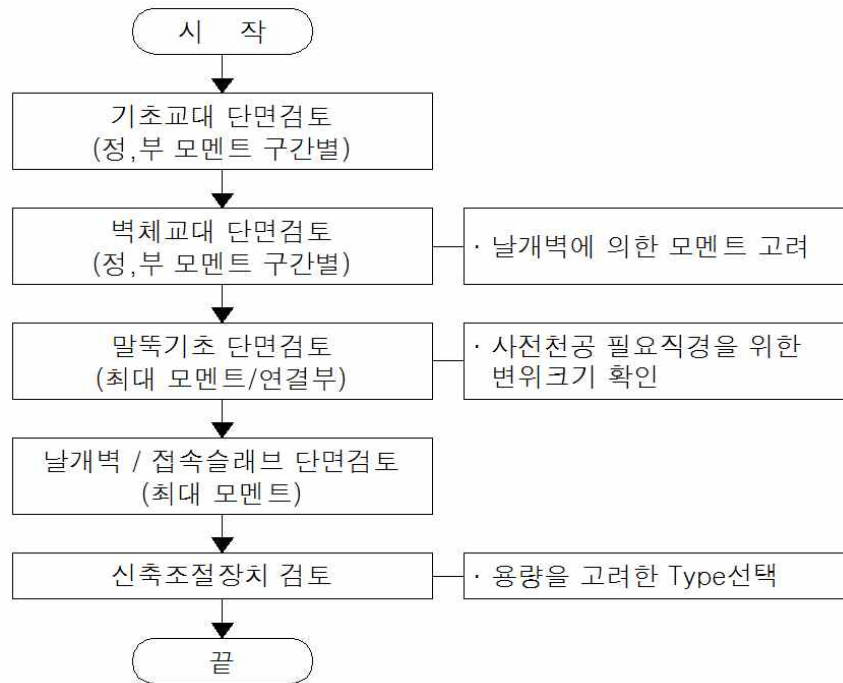
④ 기초교대 모델링



⑤ 벽체교대 모델링



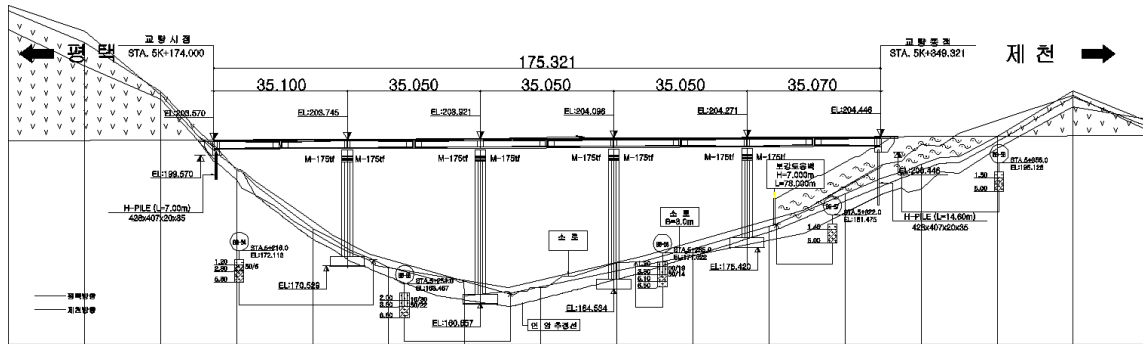
⑥ 철근량 산정 / 단면검토



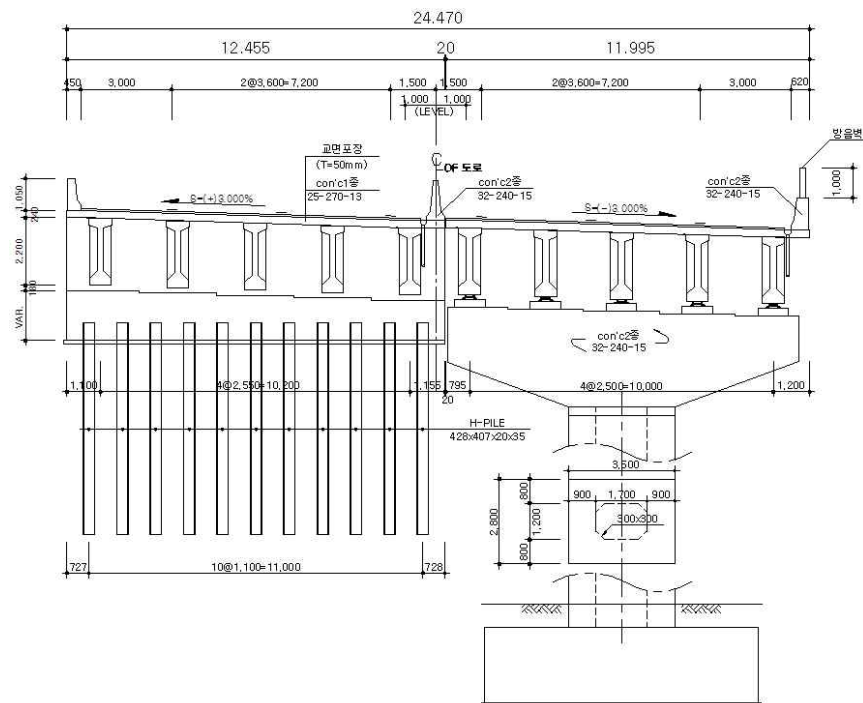
완전일체식 교량 설계사례 대상교량은 PSC Beam 35m 5경간의 총 연장 175m를 갖는 상하행 분리교량이다. 기존의 일반 조인트 교량으로 설계된 것을 개정된 설계지침의 효과를 분석하기 위해 완전일체식 교량으로 계획하였다. 개정예정인 일체식 교량 설계지침은 허용응력설계법 및 강도설계법을 따르고 있다. 현재 시행중인 한계상태설계법을 적용하지 않은 이유는 말뚝기초에 대한 명확한 규명이 되어있지 않고, 설계지침의 효과를 비교하기 위해 기존 설계기준과 통일하였기 때문이다.

설계된 예제의 교량제원과 교대상세를 그림 6.15과 6.16에 나타내었으며, 교량 일반사항은 다음과 같다.

- 교량연장 : 5 @ 35 = 175m
- 교량폭원 : 12.455 + 20 + 11.995 = 24.470m
- 상부구조 형식 : PSC Beam
- 하부구조 형식 : T형 교각 (중공형)
- 교량등급 : 1등교
- 기초형식 : H형강 말뚝기초(교대), 직접기초(교각)



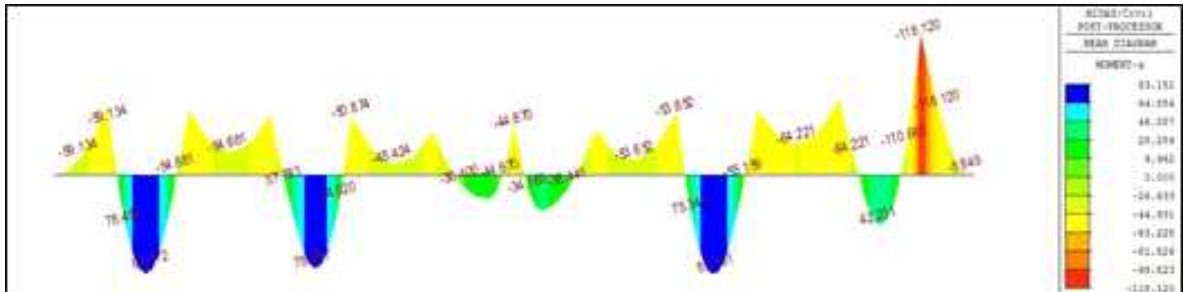
(a) 종단면도



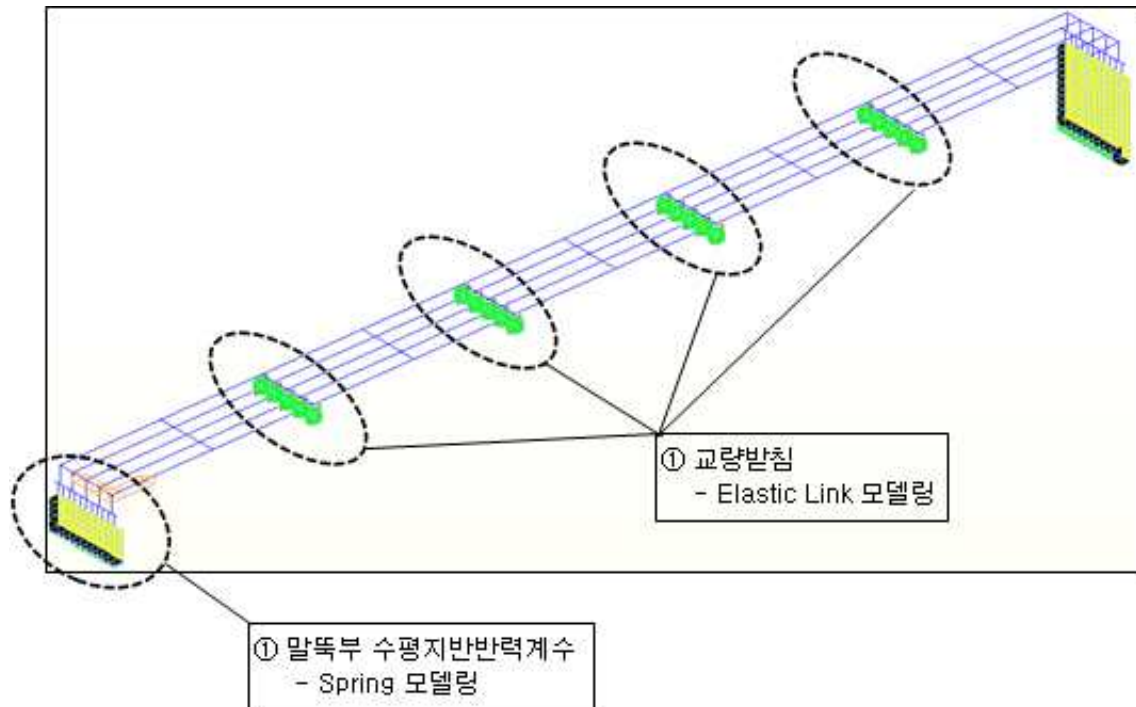
(b) 횡단면도

그림 6.15 대상교량 종평면도

는 교량 전체를 모델링하여 설계를 하게 된다. 단계별 모델링은 그림 6.17에 나타내었다.



(a) 기초교대 모델링 및 부재력



(b) 벽체교대 모델링

그림 6.17 해석 모델링

교대 구조물별 설계결과는 다음과 같다.

표 6.3 대상교량 설계결과

기초교대		Mu (kN-m)	ϕ Mn (kN-m)	사용철근
시점부	부모멘트부	118.120	653.258	D16@250
	정모멘트부	83.151	653.258	D16@250
종점부	부모멘트부	152.550	650.017	D16@250
	정모멘트부	82.867	650.017	D16@250

벽체교대		Mu (kN-m)	ϕ Mn (kN-m)	사용철근
시점부	부모멘트부	1491.819	2294.294	D25@125
	정모멘트부	652.137	2294.294	D25@125
종점부	부모멘트부	1449.967	2294.294	D25@125
	정모멘트부	614.482	2294.294	D25@125

말뚝기초		발생응력 (MPa)	허용응력 (MPa)	사용 말뚝
시점부	상 시	190.690	218.500	428x407x20x35 11본
	지진시	232.233	285.000	
종점부	상 시	191.360	218.500	428x407x20x35 11본
	지진시	214.464	285.000	

상기와 같이 175m의 PSC 콘크리트 거더교를 설계한 결과 구조 안전성을 만족함을 확인하였으며, 경제성 확인을 위한 수량 비교는 상부구조와 교각부는 대동소이하므로 교대를 대상으로 하여 비교분석하였다.

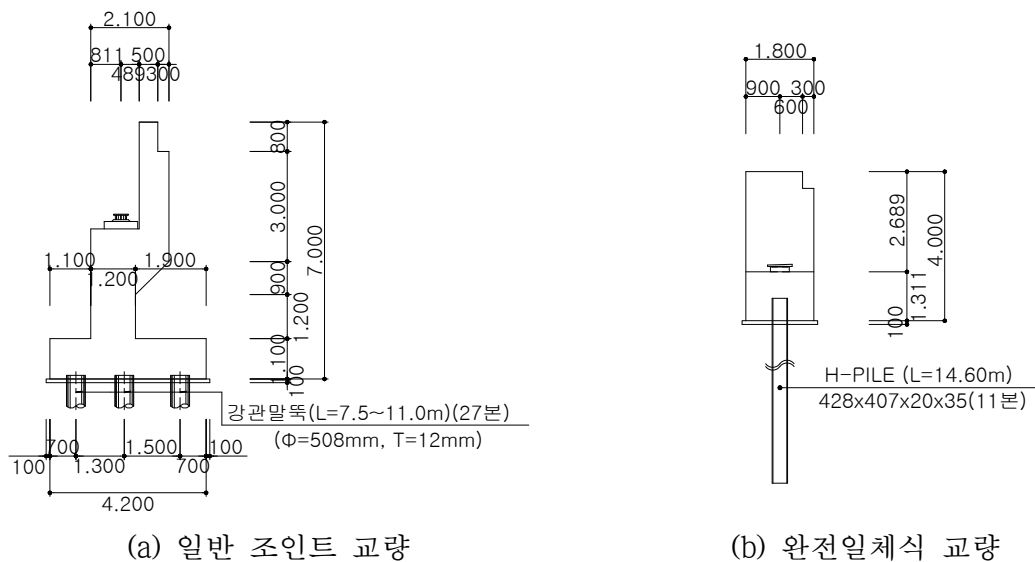


그림 6.18 일반 조인트 교량과 완전일체식 교량 교대 비교

표 6.4 대상교량 교대 주요수량

항 목	단위	수량				비고
		시점부		종점부		
		조인트 교량	완전일체식	조인트 교량	완전일체식	
콘크리트	m³	378.446	173.430	301.331	177.506	• 전폭 • 조인트 교량은 강관말뚝 • 완전일체식 교량은 H형강말뚝
철 근	Ton	34.497	18.238	27.149	18.346	
거 푸 집	m²	546.502	260.264	509.094	276.384	
말뚝기초	본	-	11 (77m)	54 (326m)	11 (161m)	

표 6.4에 나타난 바와 같이 주요 물량은 30~50% 감소되며 공사비는 교대구조물의 약 60%정도 감소된다. 완전일체식 교량은 일반 조인트 교량에 비해 교대부에 위치하는 신축이음장치와 교량받침이 없으므로 LCC를 고려한 유지관리비를 포함할 경우 경제성 및 유지관리성에서 매우 우수한 형식의 교량임을 알 수 있다.

6.3.2 반일체식 교량

완전일체식 교량(full-integral abutment bridge)은 말뚝기초의 유연한 거동이 안정적으로 발생할 수 있도록 하고, 교대와 말뚝기초의 연결부에서 발생하는 고응력을 낮추는 것이 전체 구조계의 안정성에 지배적이므로 교량연장에 한계가 있다.

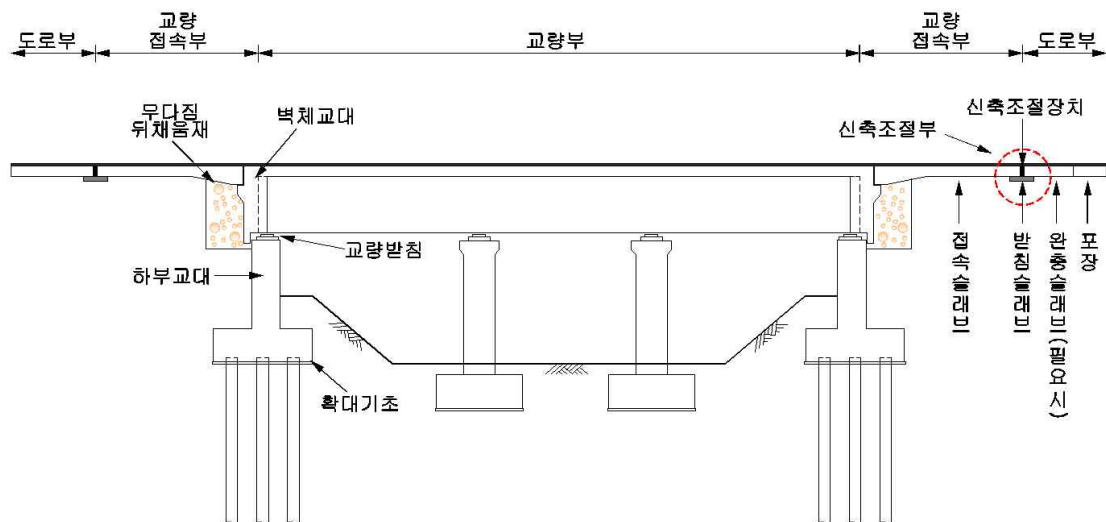


그림 6.19 반일체식 교량의 주요 구성

완전일체식 교량의 연장한계를 극복하기 위해서는 교대에서 상·하부구조가 교량받침으로 분리된 반일체식 교량(semi-integral abutment bridge)을 적용할 수 있다. 상·하부 구조의 분리로 상부구조의 이동량은 교량받침의 강성에 따른 수평력으로 하부구조(교대)에 전달되므로 교량연장을 증가시킬 수 있다.

반일체식 교량의 교대는 일반 조인트 교량(joint bridge)의 교대에 비해 하중중심의 하향이동으로 확대기초 및 말뚝기초의 규모를 작게 할 수 있어 경제적이다. 또한 교대에 설치되는 조인트가 배제되므로 유지관리성도 우수하며 누수 및 오염물질 차단으로 하부구조 및 교량받침의 내구성을 향상시킬 수 있다. 교량의 주요 특징은 다음과 같다.

- 교대 및 말뚝기초 규모감소로 초기공사비 절감
- 조인트 배제로 유지관리비 절감
- 상·하부구조 분리로 완전일체식 교량에 비해 교량의 연장한계 증가
- 완전일체식 교량에 비해 상하부 분리구조로 내진안전성 유리

반일체식 교량의 상부구조 거동은 일반적인 콘크리트 또는 강거더교와 유사하여 설계흐름이 동일하다. 하지만 거더와 일체화된 벽체교대에 수동토압이 작용하며 교대배면 지반스프링은 하부에 작용하는 상부의 지진력을 감소시킨다. 이와 같은 기본적인 거동에 유의하여 설계를 수행하여야 한다.

1) 단면계획시 고려사항

반일체식 교량의 교대는 조인트 교량의 흉벽을 제외하고 형태는 동일하므로 앞성토 및 유지관리를 위한 형하공간 등에 대한 계획은 조인트 교량과 동일하다.

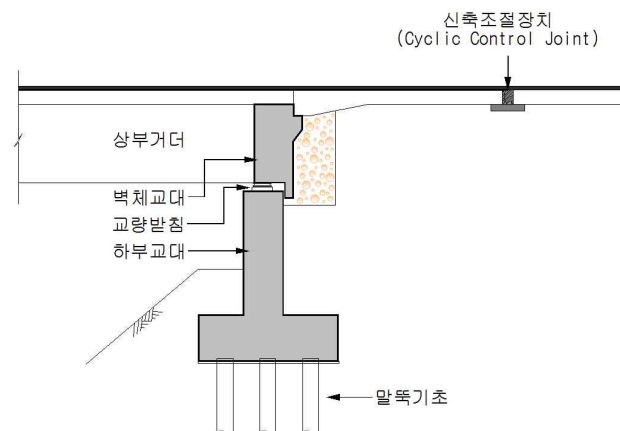


그림 6.20 반일체식 교량의 교대 구조

교대는 하부교대와 벽체교대로 구성되며 분리하여 시공한다. 하부교대는 제작 완성된 거더가 시공중에 거치되는 역할을 하며, 교량받침으로 상부구조와 분리되므로 상부로부터 전달되는 모든 하중에 대하여 충분한 저항력을 가지도록 설계하여야 한다. 또한, 거더가 거치되는 면에는 조인트 교량과 동일한 교량받침이 설치되며, 시공중에 상부하중을 고르게 전달하도록 하여야 한다. 벽체교대는 상부구조의 신축량에 의해 발생하는 교대배면의 토압에 대하여 충분히 안전하여야 한다. 반일체식 교량에서 벽체교대는 조인트 교량과 동일한 단순지지 구조이므로 상부 바닥판과 합성 후 활하중에 의한 부모멘트에 대하여 검토할 필요는 없다.

하천에 설치하게 되는 경우, 터파기 등에 의해 압밀되었던 하천 제방이 느슨하게 되므로 유수의 영향과 침투수에 의해 유실 가능성이 높다. 일반 조인트 교량과 마찬가지로 「하천설계기준」 등에 제시되어 있는 적절한 보강방법으로 보호하여야 한다.

교대 뒤택움부에 분리막 사용 목적은 일반 뒤택움구간(또는 토공구간)영역과 무다짐 뒤택움구간 사이에 설치하여, 토사에 이동으로 인한 무다짐 뒤택움 재료의 엇물림 효과(interlocking effect)가 증가하지 않도록 하는데 있다. 만약 계절적인 대기온도 변화에 의해 발생하는 상부구조의 수평거동으로 전이구간의 토사가 무다짐 뒤택움 구간으로 유입되면, 무다짐 뒤택움 재료의 입도분포에서 배제되었던 세립분의 영향으로 무다짐 뒤택움재가 SB-1 또는 SB-2와 같은 성향을 갖는 재료로 전환될 수 있다. 이로 인해 교대 온도신축변위 발생시 뒤택움 재료의 엇물림 작용을 증가시켜 수동토압을 상승시키는 원인이 될 것이다. 또한 무다짐 뒤택움영역 하부에 설치한 유공판과 같은 배수시설에 악영향을 줄 수도 있고, 토사이동에 따른 점속슬래브 침하에 원인이 된다.

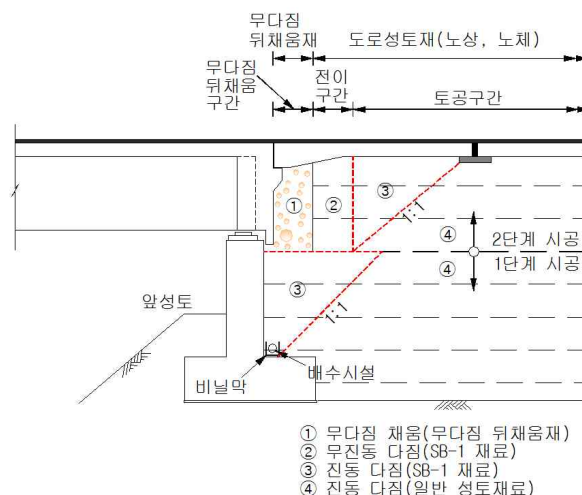
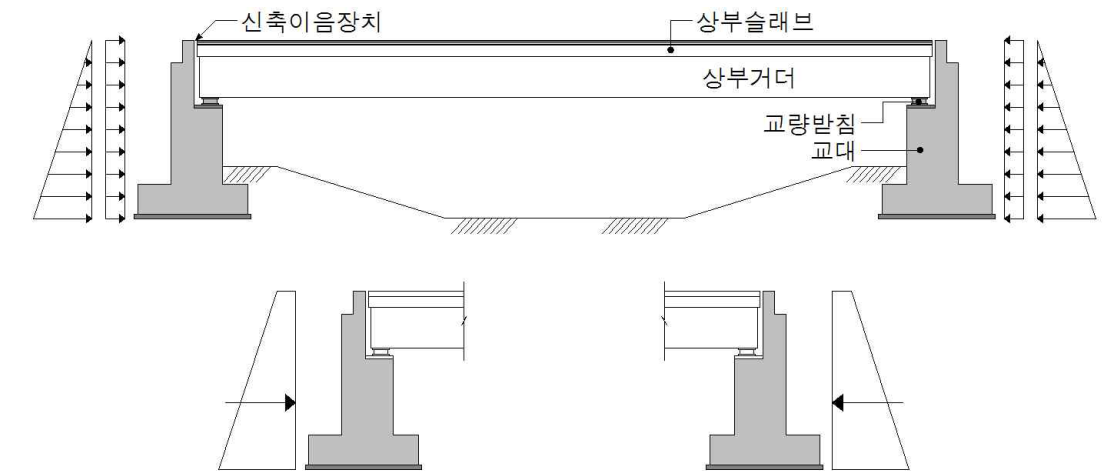


그림 6.21 반일체식 교량의 뒤택움 시공방법

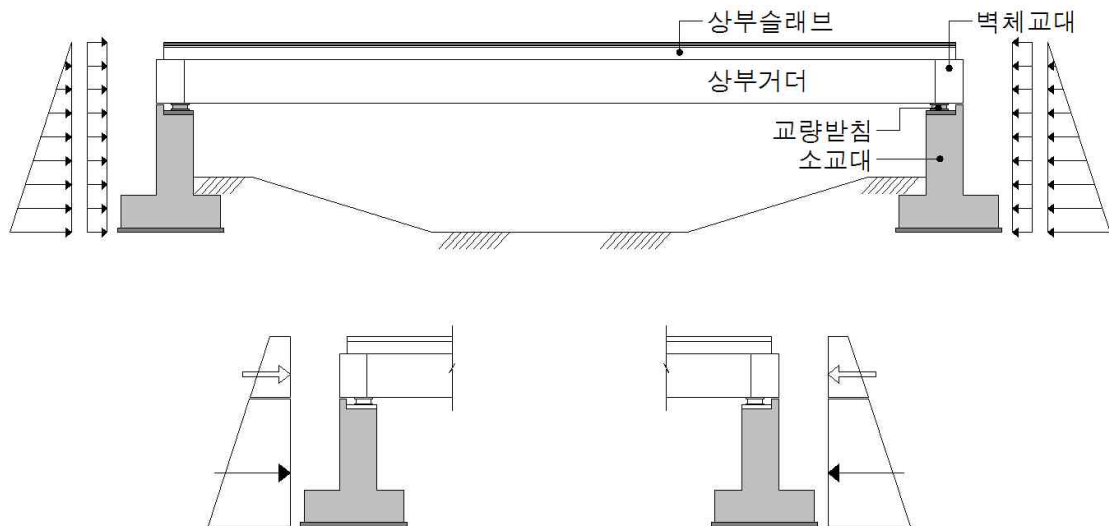
일반 성토부의 진동다짐에 따라 무다짐 뒤채움 재료가 다짐되지 않도록 하기 위하여 무다짐 뒤채움 구간과 일반 뒤채움 구간(또는 토공구간) 사이에 폭 1m 정도의 전이구간을 둔다. 이 구간은 일반뒤채움 재료 및 장비를 사용하지만 무진동 다짐시공을 하여야 한다.

2) 하부교대 단면 결정

반일체식 교량의 교대는 일반 조인트 교량과 유사한 형태를 갖지만 하중중심의 하향이 동으로 확대기초 및 말뚝기초의 규모가 작아진다.



(a) 조인트 교량의 하중작용



(b) 반일체식 교량의 하중작용

그림 6.22 조인트 교량과 반일체식 교량의 교대 비교

조인트 교량의 교대에 작용하는 하중은 계획고에서 기초하단까지 발생하지만, 반일체식 교량은 계획고에서 상부거더 높이까지는 하중의 대칭작용으로 상쇄되며 하부교대에는 벽체에서 기초하단까지 하중이 작용하게 되므로 동일한 조건에서 교대의 크기를 비교할 경우 반일체식 교량의 교대가 작다(그림 6.23).

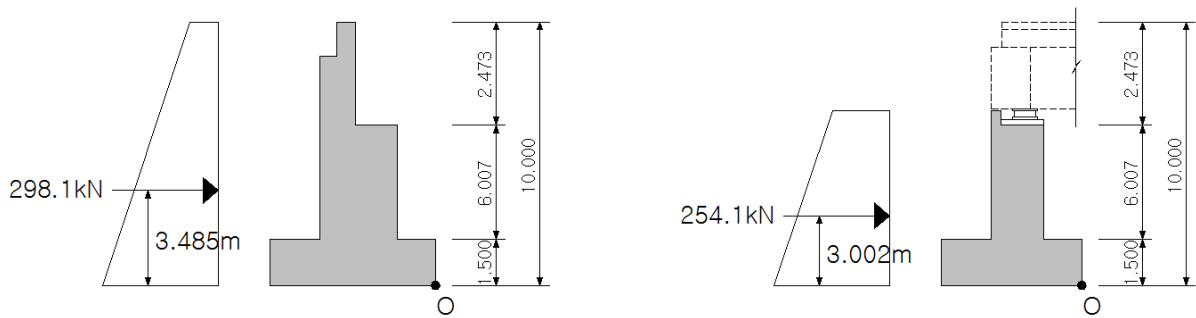


그림 6.23 조인트 교량과 반일체식 교량의 하중중심 비교

3) 벽체교대 단면 결정

벽체교대는 하부교대 위에 거더를 거치한 후 타설되며 콘크리트가 경화된 후 상부슬래브 및 접속슬래브가 시공되고 경화된 이후 일체 거동하게 된다. 벽체교대는 계절적인 온도변화에 의한 교량 신축변위로 인하여 교대 배면에 수동토압이 발생한다. 따라서 벽체교대 설계시 수동토압에 의한 휨모멘트를 고려하여야 한다. 반일체식 교량에서는 날개벽과 벽체교대는 별도의 구조이므로 이에 대한 고려를 할 필요가 없다.

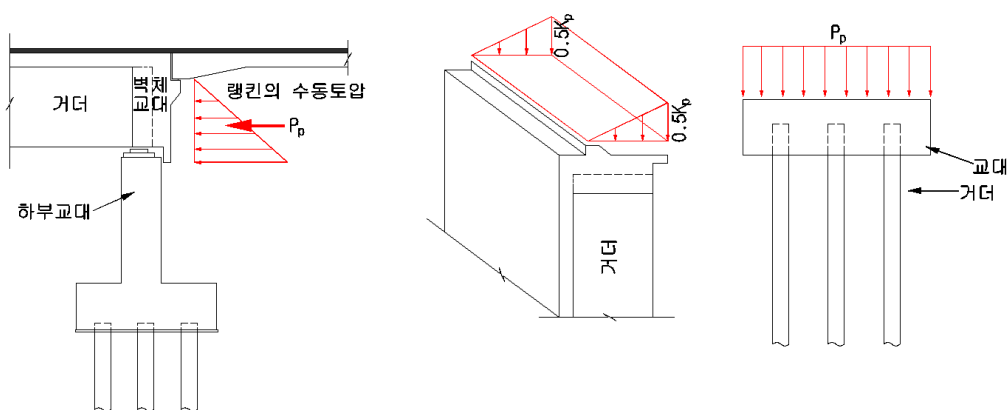


그림 6.24 벽체교대 모델링 개요

4) 신축조절장치, 접속슬래브 결정

신축조절부는 온도변화에 따른 교량의 신축변위가 상부구조에 연속된 접속슬래브에 직접 전달되므로, 접속슬래브와 본선 포장부 사이에 설치한다. 단, 완충슬래브를 설치하는 경우는 접속슬래브와 완충슬래브 사이에 설치한다. 신축변위를 직접 조절하는 신축조절 장치는 팽창줄눈방식, 단순채움방식(plug joint), 방수형 탄성봉합재 방식, 기계식 이음장치 방식 등을 적용할 수 있다.

Type 1		
Type 2		
Type 3		
Type 4		

그림 6.25 신축조절장치의 종류

신축조절장치 형식에서 Type 1은 콘크리트 포장에서 사용되고 있으며 교량연장이 짧아 신축변위가 크지 않은 곳에서 사용될 수 있다. Type 2는 현재 주로 사용되며 방수형 봉합재 형식은 콘크리트 포장에서 탄성폴리머 콘크리트 형식은 아스팔트 포장형식에서 사용된다. Type 3, 4는 교량연장이 길어지는 경우에 대해 사용될 수 있는 형식이다.

접속슬래브의 제원과 각종 관련 규정은 한국도로공사 지침을 준용한다. 다만, 접속슬래브의 길이는 최소 4m 이상이어야 한다. 접속슬래브 하면에는 신축이동에 의한 마찰이 최소화 되도록 반드시 두께 1.2mm 이상의 PE막(polyethylene sheet)을 2겹 이상 설치한다.

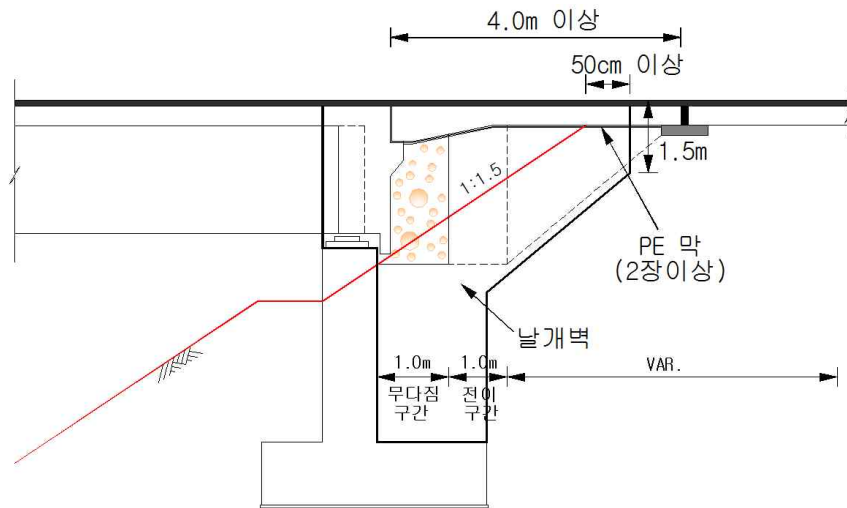


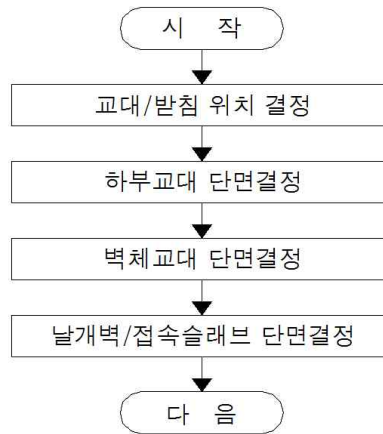
그림 6.26 접속슬래브와 날개벽 상세

5) 단계별 설계흐름도

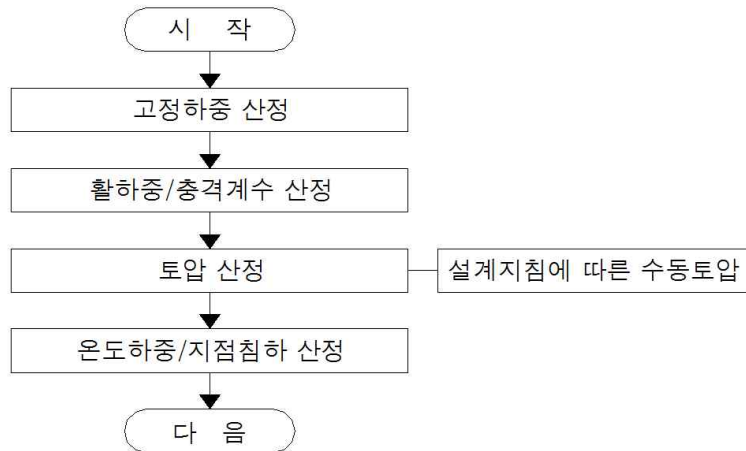
① 설계조건



② 설계단면가정



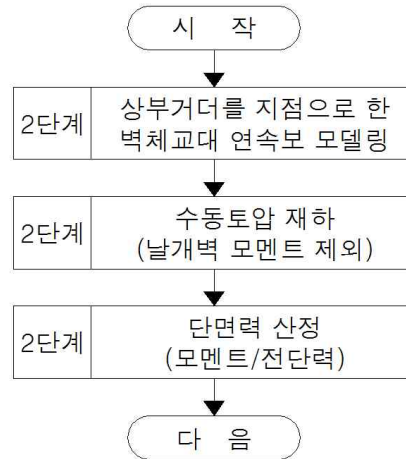
③ 하중계산



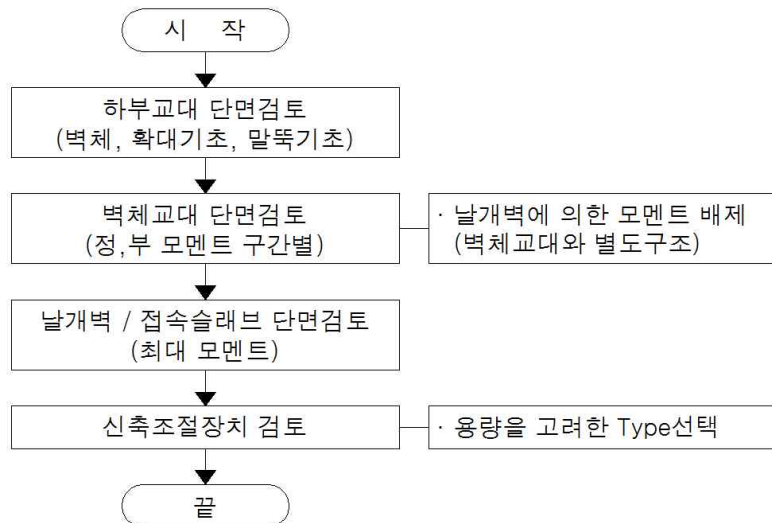
④ 하부교대 모델링



⑤ 벽체교대 모델링



⑥ 철근량 산정 / 단면검토



반일체식 교량 설계사례 대상교량은 완전일체식 교량과 동일한 조건을 갖는 PSC Beam 35m 5경간의 총 연장 175m를 갖는 상하행 분리교량이다. 기존의 일반 조인트 교량으로 설계된 것을 개정된 설계지침의 효과를 분석하기 위해 반일체식 교량으로 계획하였다. 개정예정인 일체식 교량 설계지침은 허용응력설계법 및 강도설계법을 따르고 있다. 현재 시행중인 한계상태설계법을 적용하지 않은 이유는 말뚝기초에 대한 명확한 규명이 되어있지 않고, 설계지침의 효과를 비교하기 위해 기존 설계기준과 통일하였기 때문이다.

설계된 예제의 교량제원과 교대상세를 그림 6.27과 6.28에 나타내었으며, 교량 일반사항은 다음과 같다.

-

- 152 -

반일체식 교량의 교대를 설계하기 위해서는 하부교대 및 벽체교대 설계 순으로 하여야 한다. 반일체식 교량은 상하부구조가 분리되므로 하부교대는 일반 조인트 교량과 마찬가지로 별도의 독립 구조로서 설계가 가능하다. 흙벽을 갖는 일반 교대와 다른 점은 흙벽은 벽체교대로서 상부구조와 일체화되고 하부교대는 벽체와 기초를 갖게 된다. 따라서 교대 배면에서 작용하는 토압하중은 일반 교대와 동일하지만 하중의 중심이 하향이동 하기 때문에 반일체식 교대에 작용하는 휨모멘트가 작아지고 이는 확대기초 및 필요시 말뚝기초의 규모를 감소시키는 효과를 나타낸다(그림 6.23). 벽체교대는 거더를 지점으로 하는 연속보로 모델링하고 상부구조의 신장에 따라 발생하는 수동토압을 재하하여 설계를 하게 된다. 벽체교대 모델링은 그림 6.29에 나타내었다.

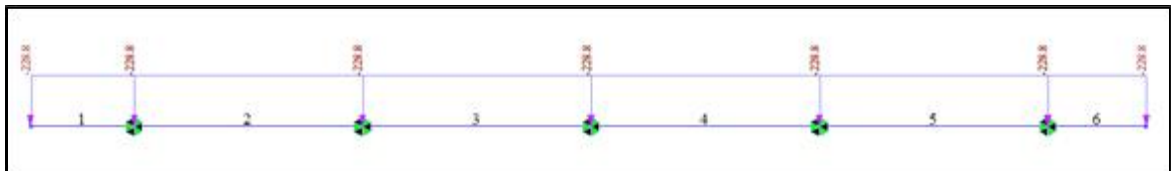


그림 6.29 반일체식 교량 벽체교대 모델링

교대 구조물별 설계결과는 다음과 같다.

표 6.5 대상교량 설계결과

하부교대		Mu (kN-m)	ϕ Mn (kN-m)	사용철근
시점부	벽체하단	222.32	796.23	D25@125
	기초앞굽	175.79	811.19	D22@125
	기초뒷굽	204.24	850.67	D22@125
종점부	벽체하단	207.68	796.23	D25@125
	기초앞굽	196.37	771.70	D22@125
	기초뒷굽	233.84	771.70	D22@125

벽체교대	Mu (kN-m)	ϕ Mn (kN-m)	사용철근
부모멘트부	259.50	568.97	D16@150
정모멘트부	105.40	330.93	D16@300

말뚝기초(종점)	발생응력 (MPa)	허용응력 (MPa)	사용 말뚝
상 시	85.59	140.00	강관말뚝(ϕ 508, 12t) 18본
지진시	78.67	210.00	

상기와 같이 175m의 PSC 콘크리트 거더교를 설계한 결과 구조안전성을 만족함을 확인하였으며, 경제성 확인을 위한 수량 비교는 상부구조와 교각부는 대동소이하므로 교대를 대상으로 하여 비교분석하였다.

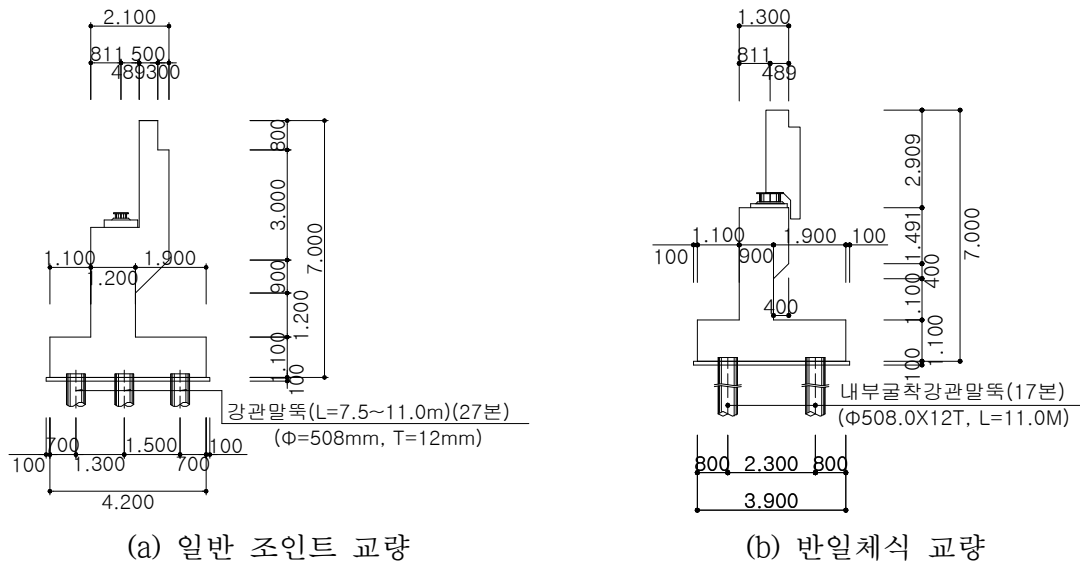


그림 6.30 일반 조인트 교량과 반일체식 교량 교대 비교

표 6.6 대상교량 교대 주요수량

항 목	단위	수량				비고
		시점부		종점부		
		조인트 교량	반일체식	조인트 교량	반일체식	
콘크리트	m³	378.446	338.240	301.331	285.408	• 전폭
철 근	Ton	34.497	29.720	27.149	24.359	
거 푸 집	m²	546.502	548.308	509.094	512.352	
말뚝기초	본	-	-	54 (326m)	18 (198m)	

표 6.6에 나타난 바와 같이 주요 물량은 8~17% 감소되며 공사비는 교대구조물의 약 35%정도 감소된다. 반일체식 교량은 완전일체식 교량에 비해 교대 구조물이 상대적으로 커서 공사비 감소효과가 작음을 알 수 있다. 하지만, 반일체식 교량 또한 교대부에 위치하는 신축이음장치가 없으므로 LCC를 고려한 유지관리비를 포함할 경우 경제성 및 유지관리성에서 매우 우수한 형식의 교량임을 알 수 있다.

6.4 경제성 분석

일체식 교량은 교대구조물의 감소로 초기공사비를 감소할 수 있으며, 신축이음장치의 파손, 누수 등에 따른 유지관리 요소를 사전 예방함으로서 비용을 최소화 할 수 있다.

현재 우리나라의 경우 총 도로관련 예산의 10~15% 를 유지보수에 사용하고 있어 OECD 국가 중 가장 낮은 수준에 있는 실정이다. 선진국의 경우 도로관련 예산의 약 40% 를 유지보수에 사용하고 있으며, 미국도 도로관련 1,470억 달러 예산 가운데 24.6%인 364억 달러를 유지보수를 위해 사용하고 있다(도로유지 관리를 위한 예산수준 예측, 2010). 그림 6.31과 같이 도로부문 개량 및 유지관리 투자의 비중이 2003년 14.6% 에서 2020년에는 40% 를 상회할 것으로 전망하고 있는 실정이다(김재영 외, 2004).

세계경제의 흐름이나 건설시장 분야에서도 저성장 상태이며, 특히 국내의 경우 짧은 기간 동안 많은 도로와 시설물들이 건설되었다. 당초 초기비용만을 중시한 건설 시장 경쟁 구도에서 이제는 발주처나 관리주체가 유지관리성을 고려한 건설비용 투입에 대한 관심과 이후 관련 기술에 대한 관심이 높아졌다. 일체식 교량은 조인트 교량의 신축이음장치를 포장부에 단순한 신축조절장치 방식으로 대체하고, 흙벽을 제거함으로서 향후 기술 선호도가 높아질 것으로 판단된다.

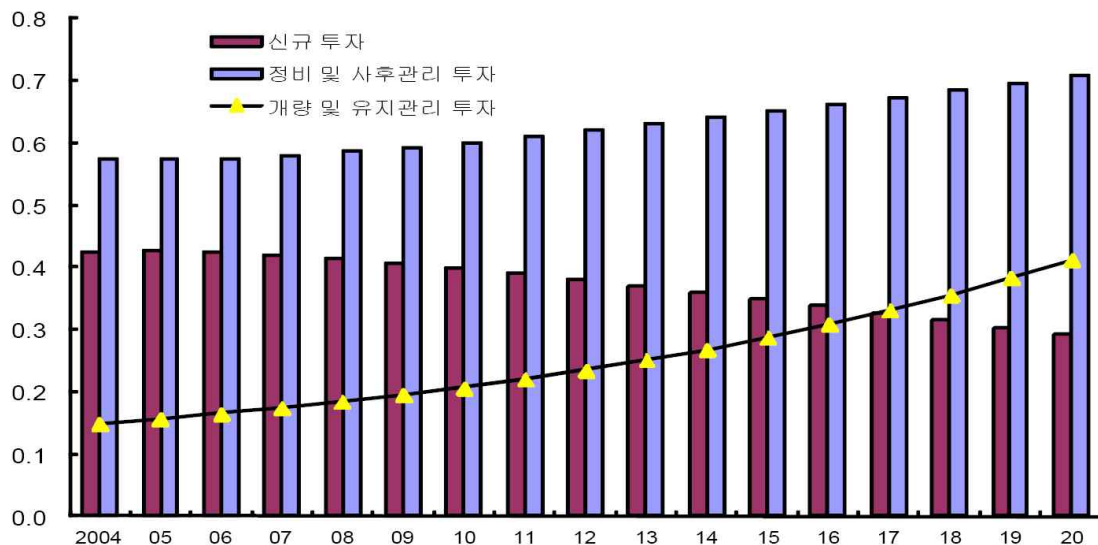
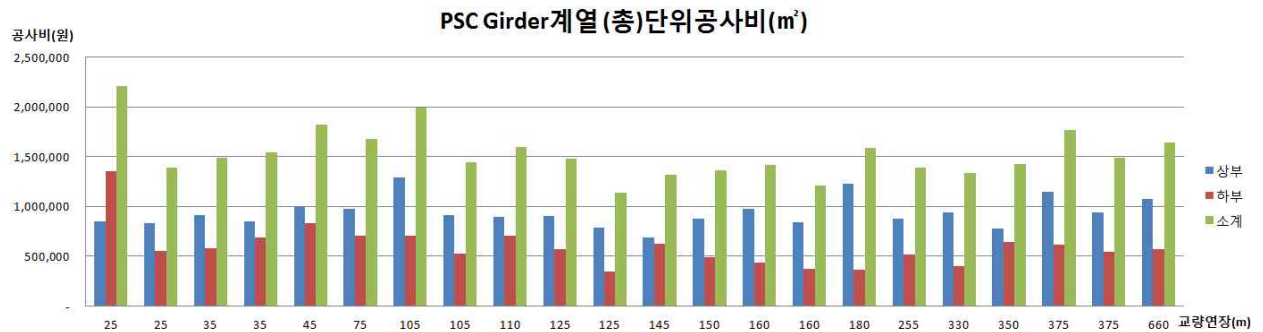


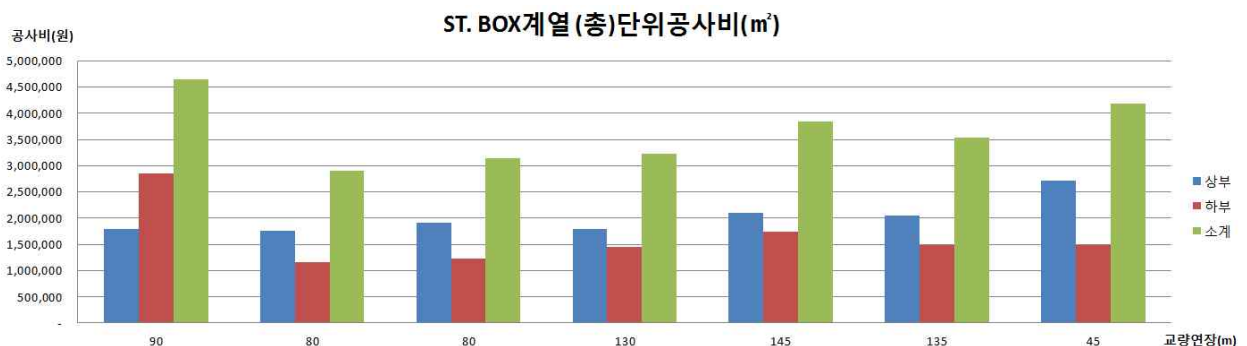
그림 6.31 도로투자 유형별 비중 전망(2004~2020)

일체식 교량의 초기 공사비에 대한 경제성을 분석하기 위해 기 설계된 고속국도의 PSC

거더계열과 강BOX계열의 공사비를 조사하였다. 조사결과, 말뚝기초를 제외하고 PSC 거더계열은 단위 면적당 150만원 내외로 형성되고 있고, 강BOX계열은 단위 면적당 320만원 내외로 형성되고 있음을 알 수 있었다. 강BOX계열의 공사비가 다소 높은 것은 조사 교량이 램프교의 소교량으로 포함되어 단위 공사비가 높게 나온 것으로 판단되며, 단위 공사비가 높은 교량을 제외시킨 경우에는 일반적인 공사비와 유사하다.



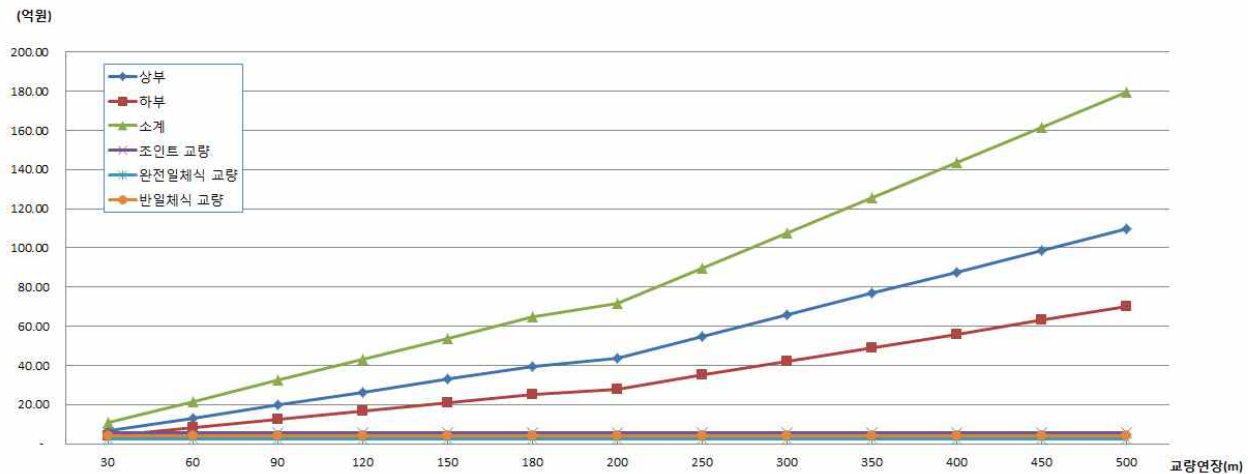
(a) PSC 거더계열 단위공사비



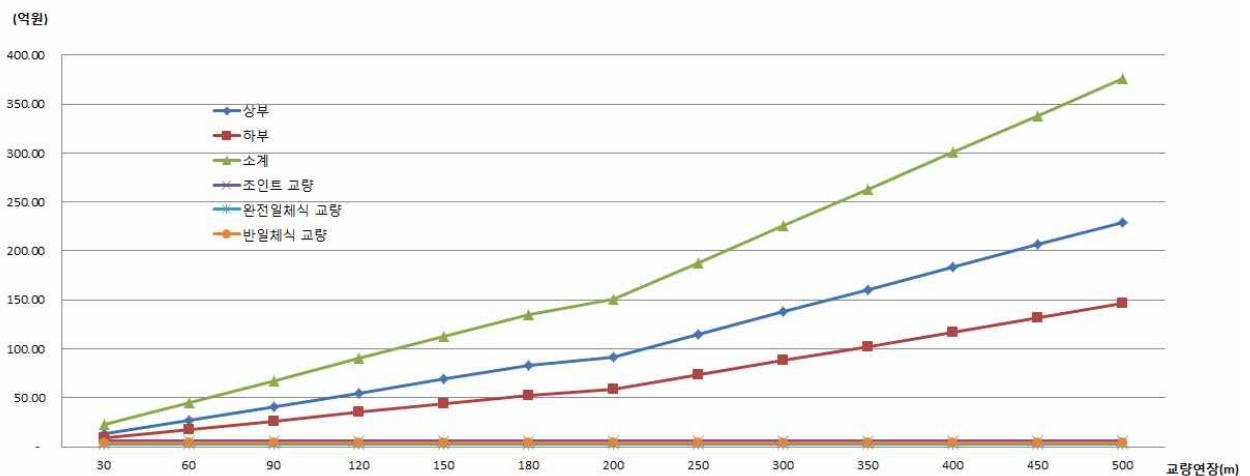
(b) 강BOX 계열 단위공사비

그림 6.32 교량형식별 단위공사비

일체식 교량은 조인트 교량에 비해 상부 및 교각의 물량은 동일하며, 교대 규모 축소에 따라 공사비가 감소한다. 그림 6.33은 단위공사비로 교량연장별 공사비 대비 교대 구조물의 공사비 비율을 나타내고 있다. 교대 공사비를 상호 비교할 경우 50%내외의 차이를 보이지만 교량 전체 공사비에서 차지하는 비율은 단경간에서는 상당히 큰 비중이지만 교량연장이 길어질수록 그 비율은 크지 않다.



(a) PSC 거더계열



(b) 강BOX 계열

그림 6.33 교량형식별 총공사비 대비 교대 공사비

조인트 교량 대비 일체식 교량의 공사비 감소비율을 검토한 결과는 표 6.7에 나타내었다. 여기서, 조인트 교량 교대 공사비는 말뚝기초 공사비가 제외된 구조물만의 평균금액이므로 말뚝기초를 포함할 경우 절감비율은 증가하게 된다. 교량연장이 짧을수록 교량 총공사비에 대한 교대 공사비의 비중은 크다. 교량연장이 30m일 때 완전일체식 교량의 경우 교대 구조물 공사비 감소에 따라 감소비율은 23.4%에 이르며, 반일체식 교량의 경우 15.6%가 감소하게 된다. 교량연장이 길어짐에 따라 교대의 총공사비에 대한 비중은 작아지며 교량연장이 500m일 경우 1~1.5%에 해당되어 초기공사비 감소비율은 상당히 작다.

생애주기비용을 고려할 경우 감소비용은 추가적으로 발생하게 된다. 조인트 교량에서 신축이음장치 교체주기는 약 7~10년이다. 교체시에는 교통통제로 인한 차량의 지체비용이 추

가적으로 발생하게 된다. 터널 앞에 교량이 위치할 경우 지체차량이 터널 내에서 저속 운행
을 하게 되므로 사용자 불편이 추가적으로 발생하게 된다.

표 6.7 일체식 교량(PSC 거더계열)의 총공사비 대비 공사비 감소비율

교량 연장(m)	공사비(억원)						감소비율(%)	
	상부	교대			교각	합계	완전 일체식	반 일체식
		조인트	완전 일체식	반 일체식				
30	6.6	4.21	1.68	2.52	-	10.79	-23.4	-15.6
60	13.2	4.21	1.68	2.52	4.21	21.57	-11.7	-7.8
90	19.7	4.21	1.68	2.52	8.41	32.36	-7.8	-5.2
120	26.3	4.21	1.68	2.52	12.62	43.15	-5.8	-3.9
150	32.9	4.21	1.68	2.52	16.82	53.93	-4.7	-3.1
180	39.5	4.21	1.68	2.52	21.03	64.72	-3.9	-2.6
200	43.9	4.21	-	2.52	23.83	71.91	-	-2.3
250	54.8	4.21	-	2.52	30.84	89.89	-	-1.9
300	65.8	4.21	-	2.52	37.85	107.87	-	-1.6
350	76.8	4.21	-	2.52	44.85	125.84	-	-1.3
400	87.8	4.21	-	2.52	51.86	143.82	-	-1.2
450	98.7	4.21	-	2.52	58.87	161.80	-	-1.0
500	109.7	4.21	-	2.52	65.88	179.78	-	-0.9

이와 같이 하부구조 최적화에 따른 초기공사비 비용과 교량의 생애주기를 고려한 신축이
음장치 및 교량받침 교체비용, 주행차량 지체비용, 사용자 편의성 등을 고려할 경우 일체식
교량은 일반 조인트 교량에 비해 교량 성능 및 내구성 향상을 유도할 수 있고, 사회적 비용
을 절감할 수 있는 훌륭한 대안이 될 수 있다.

제 7 장 결 론

이 연구에서는 국내외 설계법 조사, 시공사례 조사 및 분석, 수치해석, 설계검증 등을 통하여 일체식 교대무조인트 교량의 성능향상을 위한 연구를 수행하는 것을 목적으로 하며 주요 연구내용 및 결과는 다음과 같다.

국내의 경우, 연장상향을 위한 연구는 전무한 실정이며, 해외의 경우, 미국에서 활발하게 관련연구가 수행되고 있으며, 그 적용연장 또한 국내에 비해 상향 적용되고 있는 실정이다.

일체식 교대 교량의 적용 연장한계를 조사하기 위하여 3차원 교량모델을 이영한 매개변수해석 수행하였다. 말뚝상단에 사전천공구간을 설치하여 교량 연장한계를 산정하였으며 연구결과 콘크리트교 180m, 강교 150m까지 가능함을 확인하였다. 완전일체식 교량은 말뚝기초의 유연한 거동으로 구조시스템이 유지되므로 H형강말뚝 약축 일렬배열 사용을 제안하였다. 강관말뚝은 검토결과 연장한계가 짧아서 적용성이 떨어지고 있으며 PHC말뚝은 전단응력의 지배로 구조 안정성이 부족한 것으로 판단되어 배제하였다. 반일체식 교대 교량은 말뚝기초의 응력과 무관하므로 교량받침 및 신축조절부에 발생하는 변위의 수용여부와 벽체교대의 수동토압 저항여부가 지배요소이다. 검토결과 콘크리트교 500m, 강교 400m까지 가능한 것으로 검토되었다.

기존 교량의 상부 슬래브와 교대 흙벽을 연결하여 무조인트교량으로 리모델링하는 공법을 제안하고 시험시공을 통하여 검증하였다. 시험시공 결과, 기존 조인트 구간에 콘크리트를 타설하므로 누수에 따른 하부구조 열화, 차량 충격소음 및 주행성을 향상시킬 수 있다.

일반 교량, 완전일체식 교대 교량 및 반일체식 교대 교량의 경제성을 검토한 결과완전일체식 교대 교량은 조인트 교량 대비 60%의 공사비 절감효과가 있었으며, 반일체식 교대 교량은 40%의 효과가 있다. 교량연장이 길어질수록 교대에 의한 공사비 감소효과는 작지만, 생애주기를 고려한 비용을 고려할 경우 교량의 경제성 및 내구성을 향상시킬 수 있는 훌륭한 대안이다.

일체식 교대 교량은 국내에서 적극적으로 사용되기 시작한 것은 얼마 되지 않기 때문에 다소 생소하고 새로운 설계기준, 시공방법 등이 필요하므로 이러한 요구를 반영한 연구를 수행하여 해외와 대등한 수준의 성능을 갖는 지침의 초석을 놓았으며, 구조물의 안전성, 내구성 및 사회적 비용절감에 사전적 예방효과를 가져올 수 있으며, 교량 유지관리 측면에서도 매우 효과적인 방법이 될 것이다.

참 고 문 헌

1. 박종면, 이재혁, 유성근, 김성환, “일체식 교대 교량의 실용화 연구”, 대한토목학회 학술발표회 논문집, Vol. 1997, No.1, 1997.
2. 박종면, 유성근, 이재혁, “P.C. Beam을 이용한 일체식 교대 교량의 설계 및 시공”, 콘크리트학회지, Vol. 10, No. 3, 1998
3. 계측에 의한 무조인트교량 장기거동 해석(II), 한국도로공사 도로연구소, 2001
4. 박종면, 유성근, 임성순, 윤순중, “무조인트 교량의 적용성”, 한국강구조학회지, Vol. 15, No. 1, 2003
5. 유성근, 정재호, 홍정희, 윤순중, “교대변위 형상에 따른 일체식 교대 교량의 수동토압에 대한 스프링 모델”, 대한토목학회논문집, 제23권, 제3A호, 2003
6. 김재영, 안흥기, 권혁진, 이춘용, 김선희, “SOC시설의 효율적 정비 및 사후관리방안 연구(II)”, 국토연구원, 2004
7. 남문석, 박영호, “일체식 교대의 장기토압 거동” 한국지반공학회 논문집, 제 23권, 4호, 2007
8. 박영호, 남문석, “일체식 교대의 토압과 변위 거동” 대한토목학회논문집, 제 27권, 제 3C호, 2007
9. 콘크리트구조설계기준, 한국콘크리트학회, 2007.
10. 반일체식 교대 교량의 실용화 연구, 도로교통 연구원 연구보고서, 한국도로공사, 2008
11. 하천설계기준·해설, 한국수자원학회, 2009.
12. 도로교설계기준, 한국도로교통협회, 2010
13. 도로교설계기준, 대한토목학회, 교량설계핵심기술연구단, 2010.
14. 김우석, 이재하, 박대효, “일체식 교대 교량의 대형변위를 위한 교대와 H형 말뚝 연결부의 개발”, 한국전산구조공학회 논문집, 제26권 제4호, 2013
15. 유성근, 김나연, 김호섭, 김현기, 김영호, “일체식 교량의 접속슬래브 연결철근 형상에 따른 연결부 구조거동에 대한 실험연구”, 한국복합신소재구조학회 논문집, 제5권 4호, 2014
16. 이일근, “교량내구수명 100년을 위한 유지관리 전략개발 연구”, 한국도로공사 도로교통연구원, 2015

17. Arsoy, S., Barker, R.M., and Duncan, J.M., "The Behavior of Integral Abutment Bridges", Final Contract Report, VRTC 00-CR3, Virginia Transportation research Council, Charlottesville, Virginia, 1999
18. Burke, Jr. M. P., "Integral & Semi-Integral Bridges", Wiley-Blackwell, 2009
19. Cheng Lan, " On The Performance of Super-Long Integral Abutment Bridges - Parametric Analyses and Design Optimization", Engineering of Civil and Mechanical Structural Systems, University of Trento, 2012
20. John Connal. "Integral Abutment Bridges - Australian and US Practice", Maunsell Australia Pty Ltd., Australia, 2003
21. "Jointless Bridges", Virginia High and Transportation Research Council, Charlottesville, 1981
22. Kunin, J. and Alampulli, S., "Integral Abutment Bridges Current Practice in United States and Canada", Journal of Performance of Constructed Facilities, ASCE, Vol.14, No.3, August, pp.104~111, 2000
23. Navid Nikravan, "Structural Design Issues For Integral Abutment Bridges", Ryerson University, 2013
24. Robert J. Frosch, Vorcaniti Chovichien, Kartrinna Durbin, David Fedroff, "Jointless and Smoother Bridges : Behavior and Design of Piles", Joint Transportation Research Program, Purdue University, 2006
25. Robert J. Frosch, Matthew D. Lovell, "Long-Term Behavior of Integral Abutment Bridges", Joint Transportation Research Program, Purdue University, 2011
26. Rodlofo F. Maruri, Samer H.Petro, "Integral Abutment and Jointless Bridges(IAJB) 2004 Survey Summary", The 2005 - FHWA Conference, p.12~29, 2005
27. "Retrofitting of Existing Bridges with Joints to Semi-Integral Bridges", Ministry of Transportation, Ontario, 2004
28. Sami Arsoy, "Experimental and Analytical Investigations of Piles and Abutments of Integral Bridges", Blacksburg, Virginia, Chapter 4, Appendix A, 2000
29. Sami Arsoy, Richard m. Barker, Ph.D., J. Michael Duncan, Ph. D., The charles E. Via, Jr., " The Behavior of Integral Abutment Bridges", Department of Environmental Engineering Virginia Polytechnic and State University Blacksburg, Virginia, 1999
30. Scott M. Olson, James H. L., James R. H., Dzuigas R., James M. L., " Modification of

IDOT Integral Abutment Design Limitations and Details“, Illinois Center for Transportation, 2009

31. “Integral Abutment Bridge Design Guidelines“, Vermont Agency of Transportation, 2008

도 서 정 보

1. 연구보고서 번호 : 연구원-2016-45-534.9607	2. 도서목록번호	3. 수령번호	
4. 제 목 연장 200m급 무조인트 교량시스템 개발		5. 발간년월일 : 2016년 12월	
		6. 연구수행 기관명 코드	
7. 연구담당자와 소속연구실 구조물연구실 강형택		8. 연구보고서 발간번호	
9. 연구수행기관 또는 부서 한국도로공사 도로교통연구원		10. 사업분류코드	
		11. 계약 또는 인가번호	
12. 연구제안 부서 또는 기관명 도로교통연구원		13. 연구기관과 보고형태	
		14. 연구의뢰 기관명코드	
15. 기타사항			
16. 요 약 : 일체식 교대 교량(무조인트 교량)은 교량의 주요 유지관리부재인 신축이음 및 교량 받침을 배제함에 따라 초기 건설비와 유지관리비의 절감이 가능한 경제적인 공법이다. 미국에서는 1930년대부터 일체식 교대 교량이 적용되기 시작하여 현재 교량 연장을 200m를 상향하는 완전 일체식 교대 교량이 적용되고 있으며, 최대 340m까지 적용된 바 있다. 반면에 국내에서는 일체식 교대 교량의 한계 값이 콘크리트교의 경우 120m, 강교의 경우 90m로 상당히 보수적으로 적용되고 있는 실정이다. 본 연구는 문헌조사, 유한요소해석, 설계검증 등을 통하여 일체식 교대 교량의 활용도를 향상시키는 것을 목적으로 하였다. 본 연구에서는 수치해석을 통해 성능향상 가능 여부를 확인하였다. 검토결과, 완전 일체식 교대 교량의 연장한계는 콘크리트교 180m, 강교 150m 까지 가능함을 확인하였다. 반일체식 교대 교량의 경우 연장한계는 콘크리트교 500m, 강교 400m 까지 가능한 것으로 검토되었다. 기존 교량의 신축이음장치를 제거하여 교대와 상부구조를 일체화하는 방법으로 교대 흙벽과 상부슬래브를 강결하고 하부구조의 거동을 이용하여 응력을 제어하는 RC연결조인트 공법을 선택하여 시험시공을 실시하고, 이 공법이 차량의 충격소음이 감소되고 주행성이 향상되는 것을 확인하였다. 기존 구조물의 유지보수에 대한 예상비용을 고려하면 일체식 교대 교량이 구조물의 안전성, 내구성 및 사회적 비용절감에 사전적 예방효과를 가져올 수 있는 하나의 대안으로의 가치가 충분할 것으로 판단된다.			
17. 키워드: 일체식 교량, 무조인트 교량, 무조인트화			18. 발행부서 및 배포구분
19. 비밀구분	20. 비밀페이지	21. 총페이지 165	22. 가격

INFORMATION

1. Report No. EXTRI-2016-45-534.9607	2. Accession No.	3. Receipt No.	
4. Title and Subtitle Development of 200m Long Integral Abutment Bridge		5. Report Date : 2016. 12.	
		6. Performing	
7. Researchers Structure Research Division Kang, Hyeong Taek		8. Performing Organization Report No.	
9. Performing Organization Name or Department Expressway & Transportation Research Institute		10. Work Unit Code	
		11. Contract or Grant No.	
12. Sponsoring Agency Name and Address Expressway & Transportation Research Institute		13. Type of Report and Period Covered	
		14. Sponsoring Agency	
15. Supplementary Note			
16. Abstract : Integral abutment bridge is known as an economical bridge type due to eliminating joints and bearings which increase construction and maintenance costs. From early in 1930s, this type has been adopted in USA, nowadays the total length of bridge is over 200m and the longest one is 340m. On the other hand, the length limits in Korea are 120m for a concrete bridge, 90m for a steel bridge. Conservative limitations have been just adopted. The goals of this study are overcoming the restrictions in jointless bridges. As results of parametric study, length limitations of Full-integral abutment bridge are 180m in case of psc concrete bridge and 150m in case of steel bridge. The limitations of Semi-integral abutment bridge are 500m, 400m in case of concrete and steel bridge, respectively.			
17. Key Word : Integral Abutment Bridge, Jointless, Retrofitting to Jointless Bridge			18. Circulation and Distribution Statement
19. Security Classify	20. Security Page	21. No. of Page 165	22. Price

본 연구는 한국도로공사 도로교통연구원에서 수행한 연구성과물로
서 정부와 공사의 정책이나 견해와는 관계없으며, 공사의 승인없이
연구내용의 일부 또는 전부를 다른 목적으로 이용할 수 없습니다.

발 행 처 :  한국도로공사 도로교통연구원

우편번호 : 18489

주 소 : 경기도 화성시 동탄면 동부대로 922번길 208-96

전 화 : 031-8098-6310

F A X : 031-8098-6319

홈페이지 : <http://www.ex.co.kr>

발 행 월 : 2016년 12월