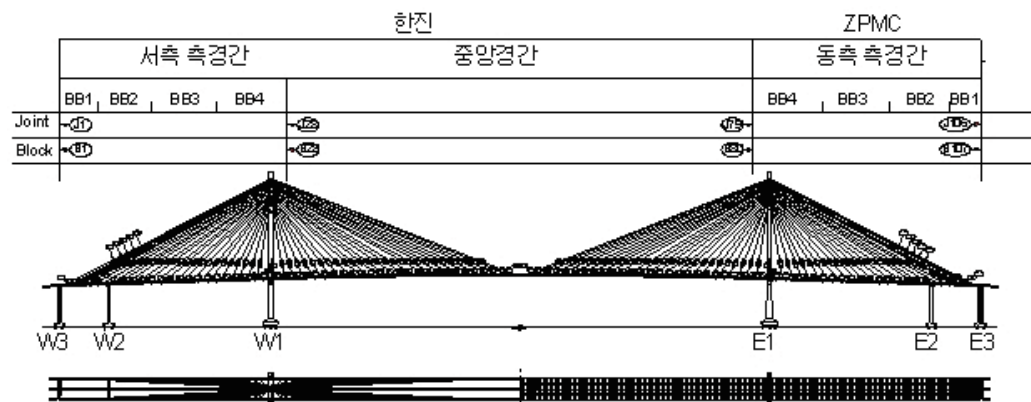


제2절 | 강교제작

2.1. 개요



> 대블럭 구성

구간	서측 측경간				동측 측경간			
대블럭	WBB1	WBB2	WBB3	WBB4	EBB4	EBB3	EBB2	EBB1
소블럭	1-6	7-12	13-19	20-28	80-88	89-95	96-101	102-107

> 사장교 기본제원

구 분	설 명	비 고
교량형식	강바닥판 Box Girder	
교량길이	1,480 m	측경간 : (62+86+105+113)m x 2 중양경간 : 46@15m+4@11.25m+12.3m
교 량 폭	상·하행선 각 15.7m	
구 배	종구배 3%, 횡구배 2%	

보강형 제작 공사의 범위는 강상판형교 본체와 부대설비 제작 및 주요 가시설 보강을 완료하고, 해상으로 블록을 운반하여 상판 가설 지점에서 바지선을 고박시키는 것이다. 주요 공사 내용은 아래와 같다.

> 주요 공사 내용

구 분	내 용	수량 (톤)
보강형 제작	- 보강형의 제작과 공장 도장	약 28,000 톤
교량 부대공 및 가시설	- 보강형 이외에 부대공/가시설 설치용 브라켓 및 공장 도장 - 방호책 및 중앙분리대의 지복, 점검차의 레일, 셋팅 빔과 리프팅빔	약 2,600 톤
보강형의 운송	- 보강형의 선적/운송/인양대기	
제작완료보고서	- 제작 공사 기록 완료 보고서식	



2.2. 공사구간

인천대교 사장교 보강형(강교) 대블럭 및 소블럭 제작의 적용범위는 W3 ~ E3이며, 그림 2.2.1을 참조한다. 제작은 한진 중공업과 ZPMC가 구간을 분할하여 제작/운송을 실시하였다.

보강형의 블럭 분할도를 그림 2.2.1에 표시하였다. 교량의 선형이 동서방향이고 시점이 서측이므로 블럭의 번호는 서측 B1부터 동측 B107번까지 정의한다. 블럭간 연결부는 J1부터 J106까지로, 격벽은 D1부터 D423으로 명명한다. 정중앙에 위치한 블럭은 B54로서 블럭의 양 끝단에 J53, J54 조인트가 있고, D212가 사장교의 중앙 지점이다. 측경간은 동서 각각 4개의 대블럭으로 구성되어 있으며 대블럭구성은 표 2.2.1과 같다.

2.3. 시공수량 및 물량

본체에 사용된 강재(볼트류 제외)의 강종별 수량은 다음의 표와 같다.

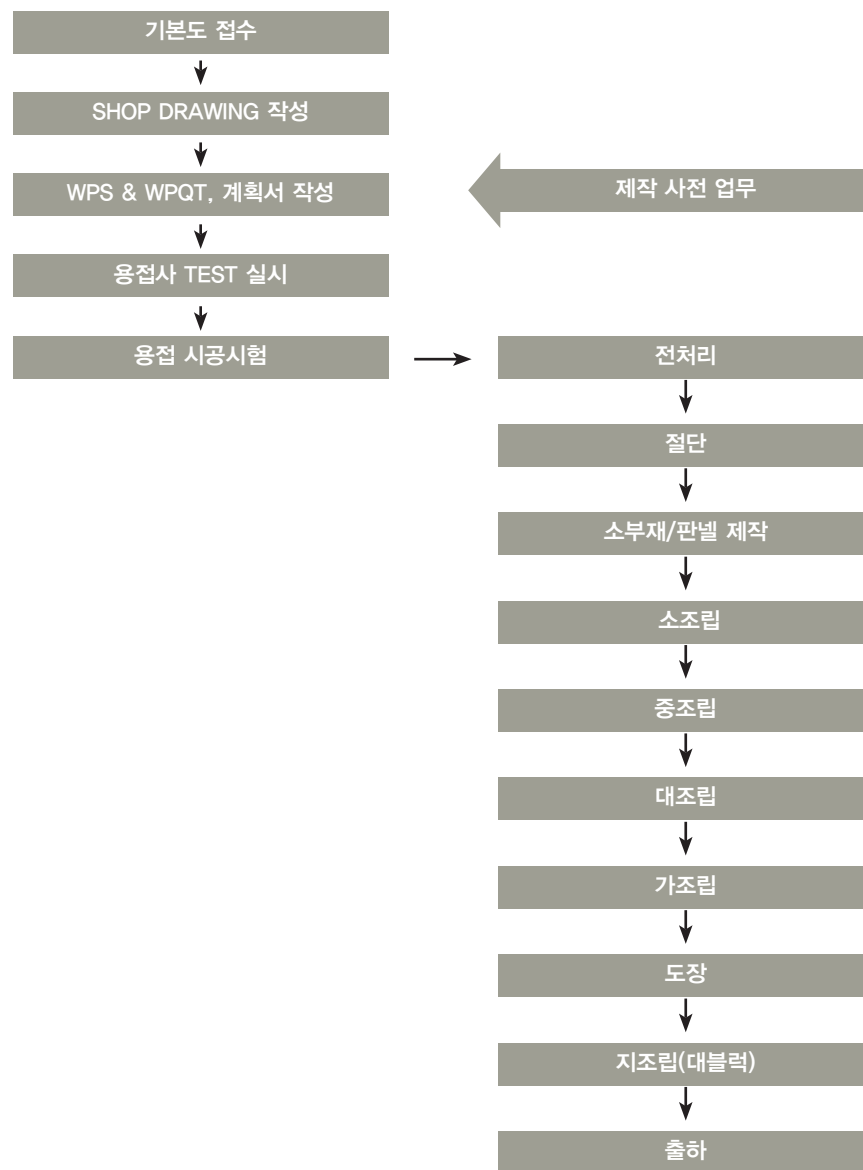
> 강종별 수량 집계표 (단위 : 톤)

강종	측경간	중앙경간	합계
SM570	3,150	790	3940
SM520C	174	139	313
SM490YB	2628	957	3585
SM490YA	7132	8855	16027
SM490C	40	0	40
SM490A	1362	1472	2834
SM400C	34	0	34
SM400A	602	557	1159
SS400	8	6	14
합계	15130	12826	27946



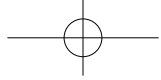
2.4. 제작절차

기본도를 접수하여 제작 사전 업무를 준비하고 제작에 착수하여 출하하는 것 까지가 공장 내의 작업이다. 인천대교의 제작 흐름을 아래의 순서도에 정리하였다.



블럭의 단계별 제작은 아래 그림과 같은 순서로 이루어졌다. 절차별 자세한 작업내용은 아래에 정리하였다.





2.4.1. 원자재입고



> 원자재입고



> 원자재 입고검사

자재가 입고되면 MILL SHEET 와 제품에 표시된 Tag를 대조 후 부재의 상태를 검사하고, 승인된 도면 및 특기시방서를 근거로 하여 종류별로 목록화하였다. 입고 검사가 끝난 판재는 도로교 표준시방서에 따라 COLOR MARKING 을 하여 자재의 혼용을 방지하여 구분관리 하였다.

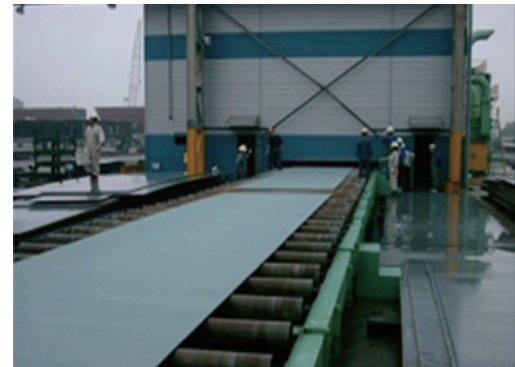
2.4.2. 전처리

절단순서에 따른 부재를 선별하여 전처리를 실시하였다. 부재의 전처리는 이후 즉시 부재의 절단이 가능한 순서로 하였다. 전처리는 판재에 붙어있는 녹을 비롯한 오염물질을 블라스팅으로 제거하여 연속된 공정하에서 무기아연말 페인트를 도포하여 완성된다. 강교의 제작을 도급한 공장내에서는 다수의 프로젝트가 동시에 진행되기 때문에 부재의 혼동을 방지하기 위해서 인천대교의 자재를 종류별로 모아서 동일한 로트로 전처리 및 절단이 될 수 있도록 자동전처리 가능부재와 수동전처리 부재를 선별하였다.

중국 ZPMC에서 제작한 블록의 경우에는 전처리시에 이들 강판을 구별할 수 있도록 색상 페인트를 첨가하였다.



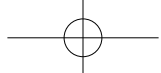
> 전처리



> 전처리 도막두께 확인

2.4.3. 절단

주요부재의 절단은 효율성을 감안하여 원칙적으로 플라즈마 절단기를 사용하였다. 소부재류는 CNC(computer numerical control) 기계를 이용하여 절단하였다. 형강절단은 BAND SAW M/C 및 자동, 반자동 가스 절단을 하였다. 용접 개선면의 가공 및 판두께에 따른 테이퍼 가공은 자동가스 절단을 사용하였다. 각 부재들은 절단된 상태에서 마커펜 등을 이용하여 각 부재의 고유 번호를 기입하였다.



> PLASMA 절단



> CNC 절단

개선각도 및 루트는 용접시 용입이 충분히 이루어질 수 있도록 정밀하게 개선되어야 하며 개선가공은 자동가스절단기 또는 기계절단기로 하였다. 개선 작업시에는 개선방향이 바뀌지 않도록 주의 하였다.

주요 부재의 판개는 원칙적으로 주응력 방향과 압연방향을 일치시키도록 하고, 각각의 자재들의 절단을 위해 재단도 (cutting plan)을 작성하였다.

판재의 절단은 2대의 플라즈마 절단기와 2대의 CNC 기계를 이용하여 자동절단하였다. U-rib의 용접은 자동용접 기계를 통해 용접되어 용접후 열변형을 후속 공정에서 연속 교정하여 판넬을 완성한다. 기타 I-rib는 정반위에서 수동용접을 하여 판넬 제작한다.



> 절단현황



> 판넬(격벽)

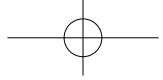
2.4.4. 판넬제작

판넬은 주로 격벽(Diaphragm)과 웹(Web)의 주판과 보강재들로 이루어져 있다. 판넬부재에 부착되는 각종 보강재들을 용접하기 전에 주판에 마킹선을 표시하였다.

Hole 가공은 원칙적으로 드릴을 이용하여 가공하는데, 드릴을 하게 되면 구멍 주변에 손상부가 발생하고 일부 절삭이 완료되지 않아 찌꺼기가 붙어있으므로 그라인더로 깎아서 제거하였다. 이들 찌꺼기는 제거하지 않으면 향후 교량의 사용 중에 발청이 시작되는 위치이므로 깨끗하게 제거하였다.

케이블 앵커 파이프는 사장교 보강형을 지지하는 중요한 역할을 수행한다. 케이블은 경사면을 가진 지압판으로 지지되어 앵커파이프 내부를 통과한다. 케이블의 2차응력 발생과 보강형내 응력흐름에 악영향을 막기 위해 앵커파이프의 각도는 10°의 관리오차를 가지고 엄밀히 관리하였다. 파이프와 웹은 평면상에서 아래보기로 double-V-groove 용접으로 연결하였다.

폐단면 U-rib와 Deck 사이의 용접은 CJP(완전용입용접)로 할 수가 없다. 국내 시방서에서는 해당 용접부에서 발생하는 피로균열을 억제하기 위해 부분용입 75%를 요구하고 있으나, 인천대교의 공사기준인 AASHTO LRFD에 따라 용입율 80%를 확보하여야 하였다. 제작사에서는 용입율 확보를 하기 위한 용접절차서를 개발하기 위하여 다양한 방법으로 용접시공시험을 실시하였으며 그 결과 충분한 용입율을 확보하는 용접절차서를 개발하였다.



> 다이어프램 제작



> 소부재 제작

2.4.5. 소조립

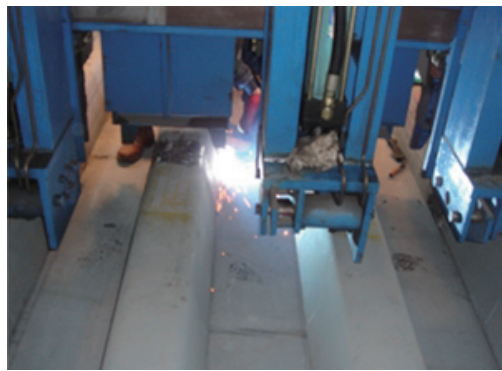
소조립의 범위는 U-rib가 포함된 상하 플랜지 제작과, 파이프와 웨브의 용접 작업까지이다.

보강형 제작의 첫번째 용접인 판계작업은 다음순서로 진행되었다.

〈마킹→GAS절단→개선가공→판조립→END TAP 취부→개선면 청소→BUTT JOINT 용접→변형 교정→BEAD CHECK 및 사상→NDE 시행〉

정도관리를 위해 용접 및 교정 작업 완료 후 치수를 재검측한 후 절단하였다. 판계작업이 끝나면 U-RIB 를 판계된 강판에 정확한 위치에 밀착/취부 하였다. 부재의 밀착도, 위치의 정확성 등을 위해 모형 JIG를 제작하여 취부에 사용하였다.

U-RIB 개선부위(용접부)는 DECK PLATE에 취부하기까지 청결을 유지해야 하지만, 일부 오염된 부분은 그라인더로 정리하였다.



> U-RIB 취부



> U-RIB 용접

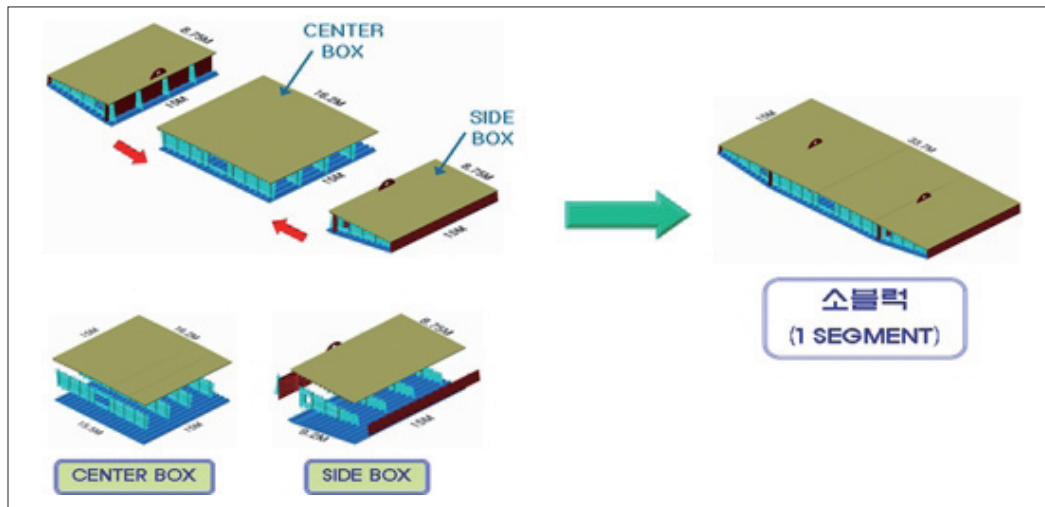
취부가 완료된 후 U-RIB 와 PLATE 용접작업을 실시하였다. 이때 U-RIB 와 DECK PLATE를 연결하는 용접부에 선행되는 가용접도 용입이 80%이상 될 수 있도록 용접하여야 한다. 가용접 부위에서 결함이 발생하지 않도록 본 용접전 가용접 부분을 그라인더로 깊숙히 파내고 사상을 실시한 다음 용접을 하였다. 그럼에도 불구하고, 이후 비파괴 시험에서 취부용접을 시행한 곳에서 문제가 자주 발생하였다. U-RIB 와 DECK PLATE를 연결하는 용접부는 용입이 80% 이상 될 수 있도록 시공시험을 통해 개발된 용접 방법으로 용접 하였다. 용접 방법은 FCAW TANDEM 자동용접으로서 용입정도의 검증을 위해 UT 실시하였다.

U-rib를 용접하고 나면 리브가 붙어 있는 쪽으로 데크 판넬이 휘어진다. 따라서 교정이 필요하므로 U-rib 용접 후속라인으로 유압교정기를 배치하여 롤러로 다듬었다.



2.4.6. 중조립

판넬을 블록으로 조립하기 위해 1개 블록을 우선 3개의 블록으로 분할제작(중조립)한 후 이를 한개의 블록으로 용접연결(대조립)하였다. 이와 같은 분할 제작은 무게 약 260톤, 폭33.4m, 길이 15m의 블록을 공장에서 반전시키고 취급하기 위해 공장에서 보유한 장비로는 곤란하였기 때문에 실시하게 되었다.



> 소블럭 조립

소부재와 DECK PLATE, BOTTOM PLATE 등이 모두 제작 되면 이를 조립하는 중조립을 실시하였다. 중조립순서는 〈DECK PANEL 배치→DIAPHRAGM 취부→INSIDE WEB 취부→BOTTOM PANEL 취부→OUTSIDE WEB 취부〉이다.



> DIAPHRAGM 취부



> 중조립 SIDE BOX (LEFT)

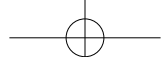
BOTTOM PANEL 변형을 방지하기 위해 200x200 H-Beam 을 바닥면에 보강한다. 중조립 블록은 제작된 후에 대조립을 위해 회전 반전시켜야 한다. TURN-OVER 용 LUG 규격과 위치는 구조검토를 시행하여 산정되었으며 TURN-OVER 시 변형이 발생하지 않도록 하였다.



> 중조립 SIDE BOX (RIGHT)



> 중조립 CENTER BOX



2.4.7. 대조립

대조립 공정은 중조립된 LEFT SIDE BOX, RIGHT SIDE BOX, CENTER BOX 를 하나의 SEGMENT로 조립하는 과정이다. TRANSPORT를 이용하여 세개의 중조립BOX를 이동/배치한다. 유압잭등으로 SUPPORT의 LEVEL을 맞춘후 취부/용접한다. 레벨을 맞추고 취부한 후에는 블록의 치수를 검증한다.



> SUPPORT LEVEL 조정



> 대조립

1번 블록과 107번 블록은 형상이 복잡하고, 대단히 많은 용접선이 존재하여 제작중 용접 수축이 많이 발생하므로 별도의 작업대에서 중조립 없이 직접 대조립을 실시하였다.

2.4.8. 가조립

대조립이 완료된 SEGMENT를 도장 전 또는 후에 조립하여 확인 및 교정하는 공종이다. 가조립은 교량 전장에 대해 실시 하면 좋으나, 본 교량의 길이가 너무 길어서 분할하여 가조립을 실시하였다.

가조립 방법은 종단 가조립과 수평 가조립의 방법이 있다. 종단 가조립은 기존 구간별 설치 현장의 조건과 동일한 평면 및 선형으로 각 부재를 조립하는 방식이다. 이 방식은 기존 구간의 종단 선형의 표고차가 크지 않아 작업에 영향이 적을 경우 적용하는 경우이다.

본 교량은 slope가 약 3%되므로 종단가설 방법보다 수평가조립 방법을 선택하는 것이 바람직하다. 수평가조립은 가조립 구간의 양끝 지점의 Level을 수평(Z=0)하게 설정하여 Level data를 산출하여 조립하는 방법으로 효율적인 정반 배치와 안전하고 능률적인 작업 환경의 조성이 가능하다.

사장교는 항해공간 확보를 위해 중앙지점에서 EL. 83.083m이며 동서 측경간은 3% 종단구배로 접속교와 연결되어 있다. 또한 중앙부 600m 구간에서는 동서측 경간을 반경 10,000 m의 원호모양으로 연결한다. 전체 길이 1480m의 블록을 일 시에 가조립하는 것이 불가하므로 이를 15개의 가조립 구간으로 구분하여 가조립을 실시하였다. 종단을 따라 가조립을 실시하게 되면 가조립 구간 양 끝단의 레벨이 약 3m까지도 차이날 수 있기 때문에 종단을 높여서 수평가조립을 실시하였다. 레벨의 오차는 -10mm ~ +25mm를 기준으로 관리하였다. 아래의 표는 구간별 가조립 구성을 설명한다.

> 수평 가조립 구간

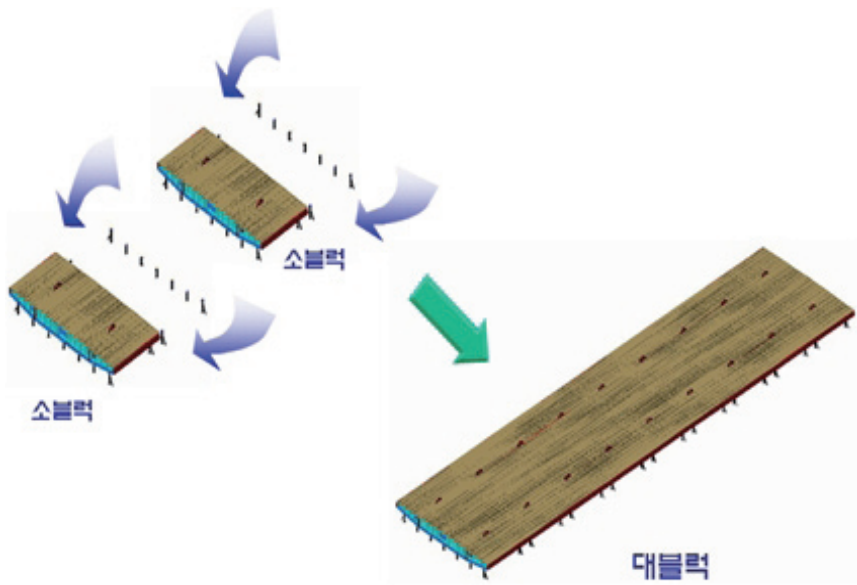
구간		가조립 블록	중첩블록	비고
서측 측경간	WBB1	1-7	7	
	WBB2	7-13	7,13	
	WBB3	13-20	13,20	
	WBB4	20-29	20,29	
서측 중앙	WCS1	29-35	29,35	
	WCS2	35-44	35,44	
	WCS3	44-54	44,53,54	



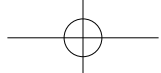
Key Segment	CEN	53-55	53,54,55	가조립 실시중
동측 중앙	ECS3	55-64	55,64	
	ECS2	64-73	64,73	
	ECS1	73-79	73,79	이상 한진중공업
동측 측경간	EBB4	79-88	79,88	이하ZPMC
	EBB3	88-95	88,95	
	EBB2	95-101	95,101	
	EBB1	101-107	101	

※ EBB4의 가조립중 79번 블록은 한진중공업에서 제작하여 ZPMC에서 가조립 실시

제작된 각각의 블록은 가조립을 실시하였다. 가조립은 완성계 상태 그대로 실시하며, 용접 수축량을 예상하여 간격을 벌리지는 않았다. 연결판도 이 상태를 상정하여 제작되었다. 대블럭의 경우에는 이후 블럭간 용접을 실시하여 한개의 대블럭을 완성하였다.



> 가조립



2.4.9. 도장

도장은 아래와 같은 순서로 시행하였다.

- 해체한 소블럭은 TRANSPORT 를 이용하여 도장 SHOP 으로 이동한다.
- 도장 전 2차 표면처리는 G80~G40 정도의 STEEL GRIT와 S100~S230 사이의 SHOT BALL을 적당한 비율로 혼합하여 표면조도가 25~75 μ m 이내로 하되 전체 표면적의 5%를 초과하는 부분이 조도 미달일 경우 RE-BLASTING을 실시한다.
- 표면처리시 분사거리를 녹의 정도에 따라 다른 통상 30cm~50cm 정도를 유지하고, 연마재 분사각도는 피도물에 대하여 50~60° 정도를 유지한다.
- 표면처리가 끝나면 보강형 전면에 하도를 실시 한다.
- 도장작업을 위한 정반은 부재의 하부 작업이 가능하도록 고려하였다. 정반위치는 도장이 되지 않으므로 도장이 완전히 완료된 후 해당 부위의 정반을 다른 위치로 옮기고 재도장을 실시한다..
- 도장면에 먼지, 모래, 기름 등이 부착되어 있지 않도록 충분히 청소한다.
- 도장금지 부분은 마스킹 테이프 등으로 덮어 도장이 되지 않도록 한다.
- 하도만 실시하는 도장 구간은 마찰볼트 체결부, 연결판, 현장용접이음부, sole plate 면, 점검차 레일 부착면, 강교 내부, 페어링 내부이다.
- 중도까지 실시하는 도장 구간은 강교 내부 주출입구 주변, tie down 케이블 설치 주변, 도로부 연석이다. 케이블 파이프 내부는 강교 내부이기는 하지만 향후 유지관리가 어렵고 제습이 되지 않으므로 상도 기준으로 엄격하게 도장한다. Outer web의 바깥면 역시 접근이 용이하지 않은 점을 감안하여 제습이 실시됨에도 불구하고 중도까지 실시한다.
- 스프레이 건은 피도면과 항상 일정한 거리를 유지하고 피도면과는 항상 수직 상태를 유지하여 도장하여야 한다.
- 도장된 도막은 재도장 전 충분히 건조될 수 있도록 재도장 간격을 유지하여야 한다.
- 위의 방법으로 하도에서 상도까지 실시한다.



> 도장검사



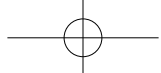
> 상도 도장 완료

2.4.10. 지조립

소블럭은 도장공정을 끝으로 출하하게 되지만, 대블럭은 도장 후 소블럭을 9EA, 7EA, 6EA 씩 연결하여 대블럭을 만드는 데 이를 지조립 공정이라 부른다.

아래의 사항들을 유념하면서 일반적인 내용은 가조립과 동일하게 진행하였다.

- CENTER MARKING 선과 일치되도록 BOX를 연결하며, 부재간 GAP이 5mm이내로 작업되도록 하며 수시로 LEVEL을 확인하여 조립한다.
- 2열이상 BOX SETTING시 조인트에서의 Punch Marking을 확인하여 열간 간격이 유지되도록 하여야 한다.



> LEVEL 확인



> PUNCH MARKING

- 연결이 완료된 부재에 대해서는 견고한 JIG를 사용하여 온도변화에 따른 변형에 대비하였다.
- 지조립 취부 및 치수검사가 완료되면 지조립 DECK는 용접 그밖의 JOINT는 BOLT 체결하고, 도장 누락 부위 및 손실 부위에 보수도장을 하여 대블럭의 메인부를 제작 완료하게 된다.
- 완료된 블럭은 토크검사 및 도장검사를 실시한다.



> JIG 설치



> 토크검사

2.4.11. 부대공 및 기타

인천대교는 Fast Track 방식으로 공사를 진행하여 강교의 제작 착수 시점에 일부 부대공 및 가시설에 대해서 설계가 완료되고 이후 공사 진행에 따라 계속적으로 설계도면이 확정되었다. 부대공/가시설은 설계도면이 완성되는 즉시 제작사/감리단과 긴밀히 협의하여 제작도면을 작성하고 본체공의 진행 공정에 맞추어 후속 작업을 진행하였다. 인천대교는 여러가지 공사용 가시설, 금구, 부대공을 공장에서 사전 제작하여 현장에서의 용접 작업을 최소화하였다. 이 중에서 보강형에 큰 보강이 실시된 가시설은 대블럭인양, 소블럭인양, 셋팅빔 설치 보강이 대표적이다.

(A) 대블럭 인양 금구

대블럭 인양 금구는 inner 웹을 deck 위쪽으로 연장하여 설치하였다. 즉, deck 내에 slot hole을 설치하고 웹을 그 사이로 통과시킨후, 웹과 데크의 접합부를 완전용입용접으로 마감하였다. 이 방법으로 제작하면 반전시키기 전의 정반에서의 데크높이 확보, 웹의 취부 작업의 난이도 증가의 어려움이 있으나, 3000톤의 대블럭을 인양하는 러그의 인장 방향 용접이 없으므로 라멜라티어의 문제를 제거할 수 있다. 이들 러그는 대블럭 1개당 8개씩 설치하였다.

(B) 소블럭 인양 금구

소블럭 인양 금구는 deck에 slot 홈을 설치하여 상부로부터 러그를 삽입시킨 후 web에 용접을 실시하였다. 일부를 제외한 모든 소블럭에 4개씩 설치하며 러그의 설치는 가조립이 완료된 이후에 용접을 실시하였다. 이로 인해 segment를 건너 뛰면서 세그의 길이 오차가 있더라도 데릭크레인으로 문제없이 체결되도록 주의하였다.



(C) 셋팅빔 설치 보강

셋팅빔은 해상크레인으로 대블럭을 내려 놓아 설치할 때 거치하기 위한 지점 역할을 수행한다. 3000톤에 달하는 하중을 종방향으로 두개의 지점만으로 지지함에 따라 해당 지지점간에 격벽과 웨브를 보강해야 할 필요성이 생겼다. 1개의 joint 당 약 40톤의 보강이 실시되었으며 시간적, 경제적으로 손실이 발생하였다. 이러한 셋팅빔은 설계 당시에 반영하였으면 판재의 두께증가로 충분히 대응이 되었을 것이나, 인천대교의 설계/제작/공사가 Fast track을 따라서 기본 설계에서 충분히 검토되지 못하여 공장에서 보강이 실시된 사례이다.

(D) 셋팅빔

강형에 설치되는 각종 가시설 및 부대공중 가장 중량을 많이 차지하는 셋팅빔은 대블럭 가설을 위해 쓰이는 가시설이다. 중량이 큰만큼 양중작업에 유의하여 작업을 진행하여야 한다.

셋팅빔의 제작에서 주의할 사항은 대블럭간 건너 뛰면서 셋팅빔이 설치되어야 하므로, 인접 대블럭간 가조립 상태에서 셋팅빔과 그 좌대를 설치해야 함이 원칙이나, 현장의 여건상 대블럭을 이동해 가면서 선형을 맞추기는 곤란하였다. 따라서 측량을 통해 셋팅빔의 중심선을 확인하고 그 좌대가 설치되는 블럭에 좌대위치가 정확히 산정되도록 주의하였다.

(E) Faring

FAIRING은 철판의 두께가 작기 때문에(6 mm) 변형이 쉽게 일어난다. 이동량을 줄이고, 외부의 영향을 다른 부재보다 상대적으로 적게 받을 수 있도록 하였다. 그럼에도 불구하고, 이동중, 도장시, 수정작업시 자주 변형이 발생하여 운송 직전 까지도 계속 관리를 해야 하였다.



> SETTING BEAM 설치



> FAIRING 제작

(F) 교면 배수구

배수 HOLE 및 PIPE는 누수시험을 실시하여 보강형 내에 물이 들어가지 않는지 확인하였다. PIPE에 물이 맺히거나 떨어질 경우 접촉면의 고무PACKING 을 일차적으로 확인 후 이상이 없을 시 볼트연결 상태를 확인하였다.



> 배수 PIPE 설치



> LIFTING BEAM 제작



(G) 리프팅 빔

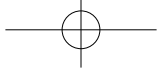
리프팅 빔은 대블럭 인양시 러그간 연결하여 교량 횡방향으로 오는 하중에 대해 대항하는 가시설이다. 리프팅 빔은 교량이 완성된 후에 제작하면서 러그간 간격과 일부 오차가 발생하였다. 이렇게 되면 현장에서 리프팅 빔이 잘 끼워지지 않기 때문에 이 문제를 해결하기 위해 리프팅 빔을 가조립하면서 일부 대블럭 인양 러그를 수정하였다.



> LIFTING BEAM 체결 확인

인천대교 보강형에는 다양한 종류의 부대공이 설치되었으며 각각의 종류와 설치위치 및 반영사항을 아래의 표에 정리하였다.

번호	부대공	설치위치	목적 및 반영내용
1	방호책	데크 하면	방호책 지복아래 보강 (약 2m 간격)
2	점검맨홀(상부)	데크	데크면에 맨홀 설치 (약 30m 간격)
3	제습설비	보강형 전반	덕트를 위한 격벽부/웹브 맨홀, 장비인입맨홀
4	점검차	하플랜지 상하면	점검차 브라켓 및 내부 보강(약3.75m 간격)
5	가로등	데크 상하면	기초판 및 하부 보강(약 45m 간격)
6	페어링	out 웹브	보강형 가장자리에 내풍목적으로 설치(전구간)
7	배수구	데크/하플랜지	교면 배수 (7.25m ~ 15m 간격)
8	안전난간	페어링 상면	작업자 난간 설치용 브라켓 (약1.8m 간격)
9	신축이음	W3, E3 위치	교량 양 끝단 신축이음 위치 내부 보강
10	거푸집	EBB1, WBB1	counter weight 타설용 거푸집 (60m 구간)
11	댐퍼	앵커파이프 상면	케이블 진동 억제용 댐퍼 (모든 케이블)
12	항로표시	out 웹브, 페어링	항로 표시판, 항로등 및 레이더 비콘
13	전선트레이	하플랜지 상면	전선 케이블 설치용 지지금구
14	설비트레이	하플랜지 상면	설비(통신선 등) 설치용 지지금구
15	내부조명	웹브 보강재	내부 조명 설치용 지지금구
16	경관조명	지복 바깥면	경관 조명용 전선 케이블 설치용 지지금구
17	교통정보시스템	out 웹브, 페어링	교통정보 시스템 설치
18	계측기	out 웹브, 페어링	장력계, GPS, 및 기타 계측장치 케이블용



2.4.12. 운송

강교 공사의 범위는 본체 및 가시설의 제작은 물론이고, 해상 운송을 실시하여 해당 위치에 바지를 셋팅하여 인양을 대기하는 업무까지 포함한다. 운송은 서측 측경간 운송, 동측 측경간 운송, 소블록 운송의 세가지 방법으로 이루어졌다. 동측 측경간 운송은 중국 상하이에 위치한 ZPMC로부터 인천항까지의 운송이기 때문에 공해를 건너는 과정에서 발생할 수 있는 각종 위험으로부터 블럭과 선박의 안전을 확보하기 위해 많은 검토를 하였다. 간략하게 선적, 운송, 바지셋팅의 방법을 요약하였다.

> 선적/운송 요약

교량구간	서측대블럭	동측대블럭	중앙소블럭
선적방법	Ballasting + MT 진입	TP 진입, Crane	FC 인양
선적장비	MT (100축, 축당 32톤)	TP(320톤) Crane(400톤 2대)	1600톤 FC + 2200톤 FC
운송장비	MJ1002, 1003	거원호	Zhenhwa 19, MJ2001, MJ1002, MJ1003
셋팅방법	2 Tugs + 1 앵커선	2 Tugs + 1 앵커선	2 Tugs + 1 앵커선

서측 대블럭의 전체적인 선적 및 해상운송 흐름도는 아래 도표와 같다. 소블럭도 운송수단이 MT가 TP로 바뀌는 것을 제외하면 유사하다. 동측 대블럭은 MT대신 Rail과 Winch system의 조합으로 암벽으로 이동한 후, 해상 크레인으로 인양하여 선적하였다.

구분	작업순서	검토 및 준비사항
육상 이송 및 선적 작업	대블럭 지/가조립장	<div>육상 이송 계획 수립</div> <div>1. 이동 장비 계획 수립 2. 이동경로 검토 및 확인</div> <div>선적 계획 수립</div> <div>1. 부두조건 2. 가상 조건 3. 선적 장비 4. Barge 접안 및 계획 검토</div>
	M/Transportor Setting	
	대블럭 선적장 이동	
	선적작업	
	선상 고박작업(Lashing)	
해상 운송 및 하역 작업	← 보험사 검사	<div>선적시 고려사항</div> <div>1. Stowage plan 2. Final position 3. Sea-fastening</div>
	출항/해상 운송	
	현장 도착/대기	
	하역 위치로 이동	
	Barge Anchoring	
	선상 고박 해체작업	
	대블럭 인양	
	Barge 퇴각	



(A) 서측 대블럭

네개의 블럭은 각각 1개씩 바지선으로 공사현장으로 운송한다. 서측 대블럭의 제작 공장이 한진중공업 인천사업소이므로 현장에서 9km 정도 떨어진 위치이다. 따라서 운송 기간은 1일이 소요되나, 바지선이 진수한 후, 해상에서 공사 준비에 필요한 시간이 있어 가설전 5일의 여유를 가지고 선적하였다.

> 서측대블럭 운송계획

항 차	BLOCK NO.	중량 (TON)	해송기간	해송장비	육상운송 및 선적장비
1항차	BB-4	2,443	1	10,000톤 바지	M/T(50축*2열)
2항차	BB-3	2,094	1		M/T(50축*2열)
3항차	BB-2	1,977	1		M/T(48축*2열)
4항차	BB-1	1,337	1		M/T(40축*2열)

공장에서 제작된 대블럭과 MT를 이용하여서 이동한다. 1개 축이 32톤을 감당하므로 100축 (50축 * 2열)로서 블럭의 이동에 충분한 용량이다.



> M/T 대블럭 진입

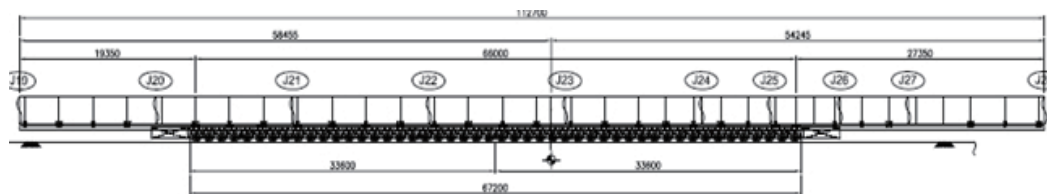


> 대블럭 암벽이동

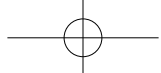
위 사진은 야적장에서 암벽으로 이동중인 대블럭의 사진이다. 블럭의 이동 및 회전에 방해되는 공장내의 시설물과 적치물들을 사전에 조사하여 모두 제거하고, 일부 지면의 요철도 메꾸어 안전하게 운송할 수 있도록 조치하였다.

BB4 블럭은 길이가 112.7m이지만, MT의 배치 길이는 67.2m 이다. 이로 인해서 돌출된 부위는 처짐이 발생하고, 대블럭에 휨모멘트가 발생한다. 이 영향을 구조해석으로 평가하여 구조물의 안전성을 확인하고, 바지선 진입시 support와 블럭과의 충돌 가능성을 제거하였다.

>그림 2.4.35. BB4 블럭 운반중인 MT



인천항은 조위가 상하 4.632m 움직이므로 바지선에 블럭을 탑재하기 위해서는 물때에 맞추어 선적한다. 블럭이 선적되기 시작하면 블럭의 하중이 바지선 끝단에 가해지면서 바지선이 암벽쪽으로 회전한다. 이렇게 되면 진입한 블럭의 선두가 바지선 또는 바지선에 배치한 support에 부딪힐 수가 있다. 이 문제를 해결하기 위해 정밀한 Ballasting 해석을 하여



진입의 시작시간, 시간별 진입길이, 초기 바지선의 셋팅 방법 등을 결정하였다. 암벽쪽을 0.7m 높이는 Trim을 실시하고 약 30분간에 걸쳐 진입을 하여 성공적으로 선적을 완수하였다.

대블럭이 BARGE에 진입이 끝나면 SUPPORT LEVEL을 맞추어 내려놓고 M/T는 빠져 나온다. 시간이 지체되어 물때를 벗어나면 다음 물때에 맞춰 M/T를 철수 시키도록 하였다.

M/T철수 후 블럭을 바지선에 고정되도록 LACING 작업을 실시하고, 최종 선적 검사와 보험사 검수가 끝나면 출항한다.



> 대블럭 BARGE 진입



> 대블럭 출항

(B) 중앙경간 소블럭

소블럭 선적의 일반적인 내용은 대블럭 선적과 동일하나, 암벽까지 이동시 대블럭의 M/T를 사용하는 것이 아니라 T/P를 사용한다. 소블럭의 선적에 있어서는 선적 시에 Trim이 그다지 변하지 않으므로 바지선의 Ballasting이 없이 선적이 가능하다. 물때가 좋지 않아 암벽(DL+10.5)까지 바지선이 올라오지 못하는 경우는 400톤 크롤러 크레인 두대를 이용하여 인양 선적하였다.



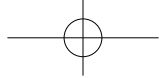
> 소블럭 암벽이동



> 소블럭 BAGE 선적 완료



> 소블럭 BARGE 현장 도착



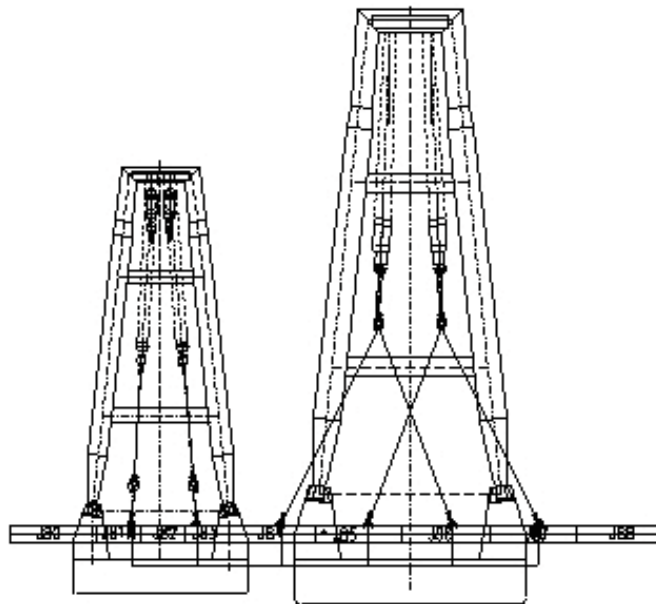
(C) 동측 대블럭

동측 경간 대블럭은 중국 ZPMC의 상해 근처 난통공장에서 제작하였다. 공장이 양쯔강에 접하여 있어 블럭을 암벽과 평행한 상태에서 지조립을 실시하였다. 블럭을 암벽까지 끌고 오기 위해 아래 그림에 있는 레일 시스템을 준비하고 블럭 밑에 대차를 넣어 winch로 끌어당겼다. winch는 바지선에 있는 원치를 사용한다.

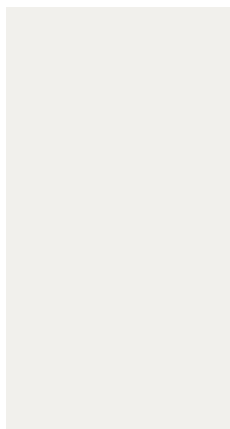
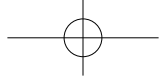


> 블럭 이동을 위한 Rail system

블럭의 선적에는 Floating 크레인 두대를 사용한다. 두대의 크레인의 무게 중심과 모멘트 중심이 블럭의 중심과 일치하도록 두 크레인(1300톤, 2200톤)의 자리를 잡고 인양 검토를 한 결과 대블럭 인양을 위한 러그가 2개 부족하였다. 이는 설계단계에서 선적 방법을 미리 확정하지 못하여 발생한 사항으로 현장에서 러그 두개를 추가로 설치하였다. 추가한 러그는 아래 그림에서 양쪽 끝에 위치한 러그들이다. 2대의 크레인 조합으로 성공적으로 인양을 하여 BB4의 선적을 완료하였다. 이후 BB3, BB2 또한 두대의 크레인으로 인양하였고, BB1은 중량이 가벼워서 2200 ton 크레인 1대로 인양하였다.



> BB4 크레인 인양 계획



> 2대의 크레인 조합에 의한 블록 인양



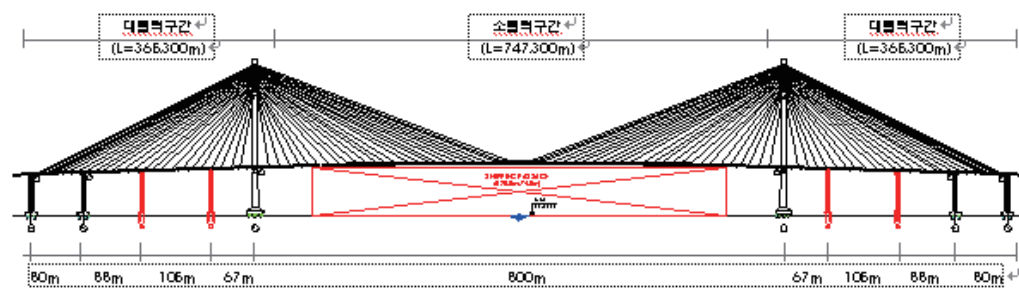
> 선적 완료 상황



제3절 | 강교 가설공사

3.1. 개요

본 교량의 주경간 가설 공법 결정에는 인천항 주항로라는 환경요인이 크게 작용하였으나, 측경간의 경우는 상기 전제 조건 외 케이블 시공 사이클 단축을 통한 공기단축 및 상부공 가설을 위한 작업공간 확보 등 작업성과 경제성, 구조적인 안정성 및 형상관리의 용이성 등을 고려한 최적의 공법을 결정하였다.



> 사장교 경간 구성 및 가벤트 배치도

3.2 가설공법의 결정

인천대교 사장교 강교부분의 가설시는 아래와 같은 사항을 고려하여 결정하였다.

3.2.1 주경간부 현장 여건

인천항 주항로를 횡단하는 주경간부는 국제여객항인 인천항을 입출항하는 일평균 100여 척의 각종 선박의 통항편의를 확보하여야 하는 등 상시 대형 선박의 입출항 이 가능한 가설공법이 선정되어야 하며, 최대 높이 85m 인양을 위해서는 기존의 가설장비(해상 크레인 등) 사용이 어려운 여건이다. 또한 약 9.27m에 이르는 조위차와 1.68m/s의 빠른 조류속에 의해 일반 해상장비가 아닌 특수 장비가 동원되어야 한다.



3.2.2 측경간부 현장 여건

측경간부는 통항금지구역으로 설정되어 있어 공사용 선박이외의 선박통항을 통제할 수 있는 특성이 있다.

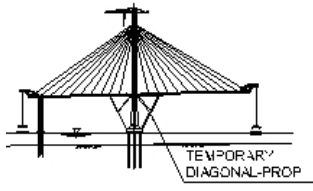
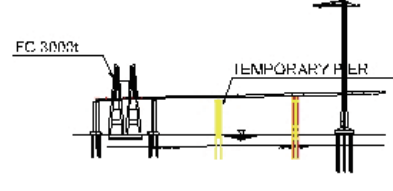
3.2.3 공기의 준수

본 사업은 국책사업의 일환으로 추진되어 09년 10월 준공되어야 하는 일정을 감안할 경우 사장교 구간의 강교 설치는 09년 2월 까지 완료되어야 하나, 인천항 부근 해상은 해상안개 및 강풍, 강수 등으로 빈번한 작업제한을 받게 되어 월평균 작업 가능일수는 22~25일 수준이다. 이러한 해상기상조건을 극복할 수 있는 가설공법이 선정되어야 한다.

3.2.4 작업공간의 제약

해상교량의 특성상 모든 물류가 육상 제작장에서 사전계획 되어 해상운송 되어야 하며, 자재의 적재, 적하 및 야적까지 모든 부분이 사전에 치밀한 계획하에 이루어져야 한다. 강교가설 및 케이블 가설을 위한 각종 가설설비 및 장비 운영을 위한 별도의 공간이 필요하다. 이러한 사항을 고려한 결과 다음 표와 같이 요약된다.

> 측경간 강교 가설공법 비교표

구 분	1안_Balancing Cantilever	2안_대블럭 가설
개요도		
특 징	<ul style="list-style-type: none">• 주탑 양측에 경사 Bent 2기 설치• 단부 1개 블럭 대블럭 가설• 주탑측부터 순차적으로 소블럭 가설• Cantilever 중간부분에 내풍 안정성을 고려하여 연직 Bent 1기 설치	<ul style="list-style-type: none">• 블럭을 거치하기 위한 연직 Bent 2기 설치• 주탑에서 순차적으로 4개 블럭 대블럭 가설
안정성	전체 강성이 낮고,내풍안정성이 떨어짐	구조적 안정성 높음
작업성	작업공간 부족, 형상관리 불리, 연직 Bent설치 불리	작업공간 확보가능, 형상관리 유리, 연직 Bent 설치 유리
경제성	불리함	유리함
공 기	불리함	Cycle Time 단축으로 공기단축 효과
평 가	안정성 작업성과 경제성, 공기 등 대체로 불리함	구조적 안정성과 작업 안정성이 매우 높고 공기단축 효과가 있음