

목 차

연구 보고

- 1 공동주택 층간소음 기준안 및 저감 대책 김상식
- 12 PHC 말뚝 시공오차 보강방안 강석규, 김응철
- 23 해상구간 장대 강교량의 가설공법에 관한 연구 육일동
- 41 파형강판 구조물의 설계 및 시공 김호비

시공 사례

- 51 인천국제공항 대한항공 Hangar Roof Lift-up 공법 시공사례 송병철, 이제창

기술 정보

- 61 Green Building 인증제도 소개 조한구
- 75 생태건축과 자연채광 김상식
- 84 친환경 관련 용어 설명 정상민

기술 단신

- 89 연구소 소식
- 93 산업재산권 등록 및 출원
- 98 자료이용정보 및 신착자료 안내

공동주택 층간소음 기준안 및 저감대책

건설기술연구소 건축기사 김상식

1. 공동주택 층간소음 기준안 동향

- 평가방법 : 충격음 차단성능 기준곡선(역A 특성곡선) 적용
- 평가기준 :

	경량충격음	중량충격음	
		1안	2안
기준 L지수 (흡음력 보정)	58 (L=67)	50 (L=54)	48 (L=52)
적용대상실	공동주택 상하층간 거실 또는 침실	좌동	좌동
현행실태와의 비교	- 1안 : 조사대상 중 47%가 만족하는 수준 - 2안 : 조사대상 중 25%가 만족하는 수준		
외국기준과의 비교	HUD(미국) : Grade II 표준치에 해당	주택품질확보촉진법 (일본) : Rank 4 수준 (차음성능 우수)	주택품질확보촉진법 (일본) : Rank 4~5 수준 (차음성능 매우우수~우수)

- 중량충격음의 경우 1안을 채택하려는 추세
- 주거문화개선시민운동본부에서 현재의 안을 강화시킬 것을 건교부에 건의
- 일본기준안과 비교해 보았을 때 경량의 경우는 완화, 중량의 경우는 강화된 수준인데 이것은 일본 목조가옥 다다미의 경우 중량은 우리나라 콘크리트 구조에 비해 그 수준이 낮고 저감이 용이하지 않기 때문에 그 기준안이 완화되어 있다고 판단, 우리나라 실정에 맞게 변화시키려는 의도로 판단됨.
- 친환경 건축물 인증제도가 거론됨에 따라 환경부에서는 내년부터 사무소, 주상복합건물 등에 이르기까지 바닥충격음을 확대 해석하기로 결정하였음.
- 환경부에서는 방음벽, 발파소음 관련 관리기준을 2003년도에 개정할 계획을 수립하고 있음.

- 건교부에서 현재 기준안을 최종검토 중에 있음(기준안의 시행에 있어 등급화, 규제안, 권고안 등을 거론 중)

※ 기준치 범위로의 설계요소 분석 예시

경량충격음	중량충격음
- 바닥마감재의 적용 : 저감효과 5dB이상 - 단열완충재의 적용 : 1) 슬래브와 온돌층을 뜯바닥으로 구성 2) 삽입에 의한 저감효과가 8dB이상	- 슬래브 두께(t)의 확보 - t=135mm이상 (실면적$\leq$ 9m²) - t=150mm이상 (실면적$\leq$ 15m²) - t=180mm이상 (실면적$\leq$ 25m²) - t=200mm이상 (실면적$\leq$ 35m²) - t=250mm이상 (실면적$>$ 35m²)

2. 공동주택 층간소음 저감대책

2.1 현재 우리나라 공동주택 층간 소음 실태

우리나라 전체 가구수의 50% 이상이 공동주택 주거 형태로 조사되고 있고, 공동주택 주거민들을 대상으로 주거환경에 대한 조사를 하면 불만족 1순위가 「층간 소음」으로 나타나고 있다. 그만큼 중요한 사항임에도 법적 제도적인 뒷받침도, 건설현장에서의 개선 대책도 미비한 실정이다.

우리나라 공동주택은 통상 두께 120 ~ 200mm의 콘크리트로 이루어진 벽체 및 바닥이 서로 연결되어 하나의 건물 구조체로 구성되는 벽식구조가 대부분이다. 이러한 콘크리트구조는 재료의 특성상 밀실하기 때문에 말소리, TV음 등 공기를 매체로 전달되는 공기 전달음에 대해서는 충분한 차단성능을 갖고 있다. 그러나 콘크리트면에 충격이 가하여질 때 발생하는 고체 전달음의 경우 콘크리트는 자체 진동 감쇄능력이 매우 작기 때문에 인접 세대로 쉽게 전달되는 특성을 갖고 있다. 공동주택에서의 이러한 고체 전달음은 위층에서 뛰는 소리, 물건 떨어뜨리는 소리, 망치 소리, 급배수관·화장실 하수관 등에서 발생하는 음 등이 있다.

2.2 바닥충격음 저감방안

바닥충격음의 전파경로, 레벨 결정요인 등과 관련하여 기존 연구결과를 고찰하여 보면 건물에서 발생하는 바닥충격음은

1) 마감재의 종류

건물의 구조형식

2) 바닥슬래브의 두께 및 구성

주변의 보나 벽에 의한 지지조건

등 여러 가지 요소들에 의하여 복합적인 영향을 받으며, 각각의 경계조건에 대한 시공방법과 사용재료에 따라 바닥충격음의 차음성능은 많은 차이를 보이는 것으로 나타났다.

바닥충격음 레벨에 관계되는 요인은 매우 다양하고 복잡하며, 시공여건에 따라 각 요소들이 수시로 변하기 때문에 이론적으로 전달과정을 해석하여 정의하기에는 많은 어려움이 있다. 이번 학회 토론회를 통하여 거론된 바닥충격음을 결정짓는 바닥구조 중요요소들의 특성과 영향을 정리하면 다음과 같다.

2.2.1 바닥마감재에 따른 영향

일반적으로 고음역의 충격음(경량충격음)에 대해 표면마감재의 탄력성을 증가시키는 방법 즉, 카펫, 모노륨, 장판지 마감 등의 처리를 함으로서 어느 정도 저감시킬 수 있지만, 저음역의 충격음(중량충격음)은 마감재의 성질과 관계없이 바닥슬래브의 경계조건, 크기, 완충공간의 유무 등에 의해 좌우되므로 이미 건물이 완성된 경우에는 처리가 매우 어렵다.

2.2.2 누름층 및 기포콘크리트층

공동주택 바닥에 사용되는 누름층 및 기포콘크리트층은 일반적으로 슬래브 상부 바닥 구성층 두께의 1/3~2/3 정도를 차지하고 있기 때문에 바닥충격음의 차단 성능 측면에서 매우 중요한 부위라 할 수 있다.

일반적으로, 자갈층을 채움층으로 사용할 경우 기포콘크리트를 사용한 구조보다 중량 및 경량 충격음에 대해 각각 2dB(A), 7dB(A)정도 낮게 나타난다. 그러나 자갈은 골재 수급 및 대량·기계화 시공의 어려움, 구조체의 하중 증가 등의 문제점을 갖고 있다.

2.2.3 단열/완충층의 영향

경량충격음은 바닥마감재에 변화를 줌으로서 어느 정도 조절이 가능하다.1 그렇지만 맨발에 의한 충격과 같은 중량충격음은 마감재보다는 바닥슬래브의 강성, 면적, 경계조건, 완충층에 의해 좌우되기 때문에 시공시 이에 대한 충분한 대책이 필요하다.

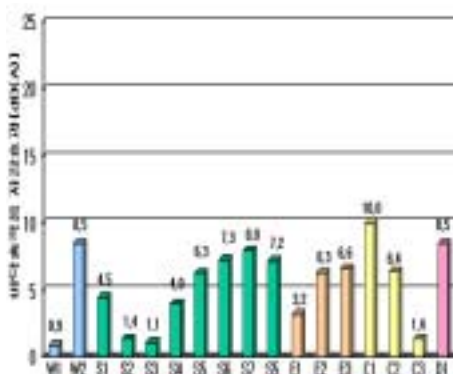
현실적으로 슬래브와 누름층의 두께를 변화시키기가 어려운 점을 감안하고 바닥충격음 저감에 가장 효과적인 요소를 고려할 경우 가장 적절한 부위가 흔히 단

열층으로 알려진 완충공간이며 바닥충격음 차음성능을 효과적으로 향상시키기 위해서는 완충층에 대한 고려가 필수적이다. 90년대 이전에는 스티로폴, 글라스울 등과 같은 완충층이 당시 단열기준을 만족시키기 위해 시공되었으나 이는 바닥충격음에 대한 완충재료로서의 역할도 겸했었다고 볼 수 있다. 그러나 최근 시공성 향상 등의 이유로 이들 재료를 경량기포콘크리트로 대체함에 따라 바닥충격음의 차음성능은 오히려 저하되는 경향이 있다.

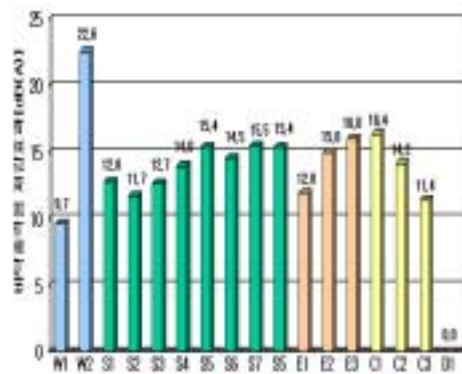
중량 충격음에 대한 저감효과는 완충재에 따라서 0.9 ~ 10.0dB(A) 정도의 저감 효과가 있는 것으로 평가되어지고 있다. 특히 유리면(W2), 제진매트(C1), 방진패드(D1) 등 특수한 완충재는 약 8dB(A) 이상의 저감 효과를 나타내고 있으며, 두께 20~30mm 인 가교 발포 폴리에틸렌(E2, E3)과 두께 40mm 이상의 발포폴리스틸렌 완충재(S5~S8)는 5dB(A) 이상의 저감 효과가 있다. 두께 20mm의 발포 폴리스틸렌(S1~S4)은 1.1~1.4dB(A)의 저감 효과가 있으며, 암면 판상 단열재(W1)는 저감 효과가 약 1dB(A) 내외 정도이다.

경량충격음의 경우 중량충격음에 비해 전반적으로 저감 효과가 높다. 특히 유리면(W2)은 22.6dB(A)로 저감효과가 우수하다. 또한 두께 20mm 발포폴리스틸렌(S1, S2, S3, S4)과 두께 10mm 가교 발포 폴리에틸렌(E1)의 경우 대개 12~16dB(A)정도의 저감 효과가 있다. 제진매트(C1)의 저감 효과는 16.4dB(A) 이다.

완충재의 충격음 저감 효과 평가 결과를 종합하면, 전반적으로 중량 충격음보다는 경량 충격음 저감에서 보다 효과적이다.(단, 완충재에 의한 저감효과는 시험 조건에 따라서 상이할 수 있다. 따라서 절대적인 수치보다는 상대적인 수치 비교에 활용해야 할 것이다)



<그림 2-1> 중량충격음

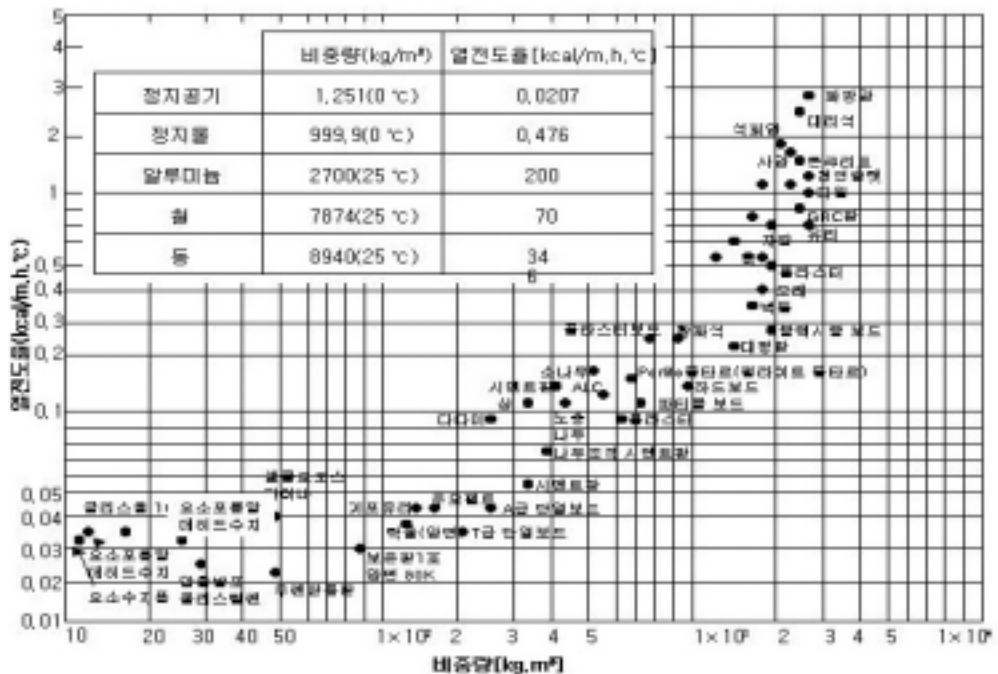


<그림 2-2> 경량충격음

[표 2-1] 완충재 종류별 저감 성능

구분	완충재 기호	완충재의 종류	두께 (mm)	밀도 kg/m ³	자재비 원/m ²	비고	중량충격음 저감량dB(A)	경량충격음 저감량dB(A)
무기섬유 류(W)	W1	암면판상단열재	15	350	4,180		0.9	9.7
	W2	유리면	25	100	4,240		8.5	22.6
발포폴리 스틸렌류 (S)	S1	KS1호	20	30	1,099		4.5	12.8
	S2	KS2호	20	25	914		1.4	11.7
	S3	KS3호	20	20	728		1.1	12.7
	S4	KS4호	20	15	543		4.0	14.0
	S5	KS2호	40	25	1,828	두께변화	6.3	15.4
	S6	KS2호 2겹	40	25	1,828	S2+S2 (겹층시공)	7.3	14.5
	S7	KS2호 2겹	60	25	5,484	S2+S5 두께변화	8.0	15.5
	S8	KS2호+KS3호	40	22.5	1,642	S2+S3	7.2	15.4
가교발포 폴리에틸 렌류(E)	E1	30배 발포	10	33	2,540		3.2	12.0
	E2	30배 발포	20	33	5,080	두께변화	6.3	15.0
	E3	30배 발포 (2겹)	30	33	7,620	E1+E2 두께변화	6.6	16.0
복합구조 (C)	C1	제진매트	10	-	10,000	polyether등 5가지 혼합	10.0	16.4
	C2	발포폴리스틸렌 KS3호20+가교발 포폴리에틸렌10	30	-	3,268	E1+S3	6.4	14.2
	C3	rubberchip+cork 혼합	10	-	9,500		1.4	11.4
방진고무 (D)	D1	방진패드	20	-	2,800	- 허용하중350kg - 정적변위 : 3mm * 바닥판과 공간층 형성	8.5	0

완충재의 사용에 있어서 주의할 점은 단순한 차음성능만을 고려하기보다는 2001년 6월 개정된 단열기준안($0.7\text{kcal/m}^2\text{h}^\circ\text{C}$)을 동시에 만족시켜 주어야 한다.



<그림 2-3> 재료별 열전도율

2.2.4 슬래브의 영향

슬래브의 종류에는 균질슬래브, 중공슬래브 등이 있지만, 기존 아파트의 바닥구조는 대부분이 균질슬래브와 온돌구성층으로 되어 있다. 경량충격시에는 진동음이 거의 균질하게 분포되므로, 슬래브의 영계수, 밀도, 두께, 슬래브의 둘레길이를 크게 해주고 슬래브의 면적을 작게 하면, 바닥충격음 레벨을 감소시킬 수 있다. 중량충격시에는 경량충격시와 같이 진동음이 균질하게 분포된다면 바닥충격음 레벨은 경량충격음과 같은 요소에 의해 영향을 받게 된다. 그러나 저음역에서 진동음이 균질하게 분포되지 않으므로 슬래브의 면적, 주변지지 조건을 고려해야 한다. 경량 및 중량충격시에 슬래브의 계획을 종합하면 슬래브는 두께를 충분히 확보하고 스펙이 큰 경우는 작은 보를 설치하여 슬래브의 강성을 높이는 것이 바람직하다. 또한 슬래브의 강성을 높이는 것은 충격점의 실효질량을 증대시켜 발생음을 줄일 수 있으나, 단순히 강성 증가가 뒷받침되지 않고 기존 슬래브위에 질량만을 부가시킬 경우에는 충격음 저감 효과를 크게 기대할 수 없을 것으로 판단된다. 따라서

보수보강의 개념으로 슬래브를 변화시키는 것은 바람직하지 못할 것으로 보인다. [표 2-2]는 중량충격음에 대한 슬래브의 두께와 면적에 따른 차음등급 차이를 나타낸 것으로 차음지수로 평가할 경우 슬래브의 두께(120mm~250mm)에 따라 L-10정도의 차이(L-지수와 L-등급간의 2dB보정치를 감안, 대략 슬래브두께가 10%정도 변화하면 중량충격음레벨의 경우 2-3dB정도 변화함)가 있음을 알 수 있으며, 이 값은 현행 바닥구조가 지니고 있는 기준 외 중량충격음 차음등급을 기준 내로 끌어들이 수 있는 수치이다. 그러나 현실적으로 무작정 모든 공동주택의 슬래브 두께를 200mm이상으로 시공하는 것에 대해서는 바닥충격음 저감이라는 긍정적 측면을 검토하기보다는 설계에서 시공에 이르기까지의 부정적인 견해가 지배적일 것이다. 따라서 슬래브 면적대비 적정 슬래브 두께를 산정하고 부족한 차음성능은 또다른 강구책을 모색하여야 할 것이다.

[표 2-2] 슬래브 두께별 저감 성능

슬래브 두께 (mm)	슬래브면적(m ²)									
	12	15	20	25	30	35	40	45	50	60
120	L-55	L-60	L-60	L-65	L-65	L-65				
130	L-55	L-60	L-60	L-60	L-65	L-65	L-65			
140	L-50	L-55	L-55	L-60	L-60	L-65	L-65	L-65		
150	L-50	L-55	L-55	L-60	L-60	L-60	L-60	L-65	L-65	L-65
160	L-50	L-50	L-55	L-55	L-60	L-60	L-60	L-60	L-65	L-65
180	L-45	L-50	L-50	L-55	L-55	L-60	L-60	L-60	L-60	L-60
200	L-45	L-45	L-50	L-50	L-55	L-55	L-55	L-60	L-60	L-60
230	-	L-45	L-45	L-50	L-50	L-55	L-55	L-55	L-60	L-60
250	-	-	L-45	L-50	L-50	L-50	L-55	L-55	L-55	L-60

* 출처: 일본 건축학회, 건물의 차음설계자료, p117

다음은 일본에서 제안하고 있는 임피던스법을 이용하여 중량충격음을 대상으로 바닥슬래브의 조건(슬래브 두께, 면적, 지지조건)의 변화에 따른 차음성능 변화를 시뮬레이션해 보았다. 현장실험에 의한 실측치가 아니므로 다소 실제와 상이할 수 있으나 변수들간의 상호 상대적인 비교를 하는 것은 가능하다고 본다.

동일한 슬래브 지지조건을 갖더라도 슬래브 두께가 증가하거나 면적이 감소하면 차음등급이 향상한다. 이것은 타이어에 의한 바닥구조 가진시 슬래브 두께가 증가할수록 슬래브의 질량이 증가하여 슬래브의 곡면진동이 억제되기 때문에 수

음실로 방사되는 중량충격음레벨이 낮아져 차음등급이 향상되는 것이다. 또한 면적이 작을수록 수음실로 방사되는 유효방사면적이 감소하기 때문에 방사에너지가 적어져 차음등급이 향상되기도 한다. 슬래브 면적과 두께가 동일하더라도 슬래브의 지지조건이 클수록 차음등급은 향상된다. 이는 곡면진동을 억제하는 힘이 향상되기 때문이다.

중량충격음의 차음성능을 향상시키기 위해서는 바닥슬래브 두께의 증가와 지지조건을 강화시킬 필요가 있다.

[표 2-3] 슬래브의 조건(슬래브두께, 면적, 지지조건)의 변화에 따른 차음성능 변화

지지조건	두께 (mm)	안방크기(m)												
		30×	33×	36×	39×	36×	39×	42×	39×	42×	45×	42×	45×	45×
		30	33	33	33	36	36	36	39	39	39	42	42	45
2변고정 2변단순 지지	120	L-55	L-55	L-60	L-60	L-60	L-60	L-60	L-65	L-65	L-65	L-65	L-65	L-65
	130	L-55	L-55	L-60	L-60	L-60	L-60	L-60	L-60	L-60	L-60	L-60	L-60	L-60
	140	L-50	L-55	L-55	L-55	L-55	L-60	L-60	L-60	L-60	L-60	L-60	L-60	L-60
	150	L-50	L-50	L-55	L-55	L-55	L-55	L-55	L-60	L-60	L-60	L-60	L-60	L-60
	160	L-50	L-50	L-55	L-55	L-55	L-55	L-55	L-55	L-55	L-55	L-55	L-55	L-55
	170	L-45	L-50	L-50	L-50	L-50	L-55	L-55	L-55	L-55	L-55	L-55	L-55	L-55
	180	L-45	L-45	L-50	L-50	L-50	L-50	L-50	L-55	L-55	L-55	L-55	L-55	L-55
3변고정 1변단순 지지	120	L-50	L-55	L-55	L-55	L-55	L-60	L-60	L-60	L-60	L-60	L-60	L-60	L-60
	130	L-50	L-55	L-55	L-55	L-55	L-55	L-55	L-60	L-60	L-60	L-60	L-60	L-60
	140	L-45	L-50	L-50	L-55	L-55	L-55	L-55	L-55	L-55	L-60	L-60	L-60	L-60
	150	L-45	L-50	L-50	L-50	L-50	L-50	L-50	L-55	L-55	L-55	L-55	L-55	L-55
	160	L-45	L-45	L-50	L-50	L-50	L-50	L-50	L-50	L-50	L-55	L-55	L-55	L-55
	170	L-40	L-45	L-45	L-50	L-50	L-50	L-50	L-50	L-50	L-55	L-55	L-55	L-55
	180	L-40	L-45	L-45	L-45	L-45	L-50	L-50	L-50	L-50	L-50	L-50	L-50	L-50

2.2.5 천장 마감에 따른 영향

아파트에서 천장구조를 설치하는 이유는 여러 가지가 있겠지만 바닥충격음 차음성능과 관련해서는 주위를 기울일 필요가 있다. 일반적으로 천장구조의 시공은 중고주파수 대역의 경량충격음에 대해 저감효과를 보이지만 저주파수대역의 중량충격음에 대해서는 저감효과를 사실상 기대하기가 어렵다. 오히려 천장 마감면의 시공이 제대로 되어 있지 않아 떨리는 경우에는 차음성능이 저하되는 경우도 있다. 따라서 천장구조의 설치시에는 슬래브와 공진하지 않도록 구조적으로 완전히 분리시키고, 중고주파수 대역에서의 차음성능을 보다 향상시키고자 할 때에는 다공성 흡음재를 충진하여야 한다.

3. 바닥충격음 저감안 적용에 있어서 주의할 점

3.1 바닥마감재

- 1) 바닥마감재는 중량충격음에 대한 저감효과는 기대하기 어렵고 주로 경량충격음을 저감하는데 효과가 있다고 판단된다. 또한 바닥마감재는 유연한 재료일수록 저감효과가 크게 나타나는 경향을 가질 것으로 보인다.
- 2) 현재 사용되고 있는 바닥마감재의 충격음 저감효과는 대체로 카펫류, 비닐펫트류, 톱류, 종이장판 순으로 크기 때문에 설계시 이에 대한 고려가 필요하다.

3.2 누름층 및 기포콘크리트층

- 1) 완충재를 설치하기 전에는 바닥판 위를 깨끗이 청소한 후 열적, 음향적 결함을 초래할 가능성이 있는 부분을 제거하여야 한다. 열적, 음향적 결함 원인은 다음과 같은 사항이 있을 수 있다. 슬래브의 요철부, 부분적으로 파손된 완충재 사용, 못, 철물 등의 사용 ⇒ 특히, 고주파수대역에서의 차단성능 저하의 원인이 된다.
- 2) 온돌층에 경량기포콘크리트류의 재료를 사용할 경우, 충격음 저감을 위해 반드시 완충재를 설치하도록 한다. 일반적으로 난방 배관설치 등을 고려할 때, 경량콘크리트 하부에 설치하는 것이 바람직하다.
- 3) 완충재 상부층은 압축강도를 충분히 하며, 재료의 종류에 따라 적정 두께를 유지하여야 한다.

완충재 상부층의 종류	완충재 상부층의 두께
시멘트몰탈	50mm 이상
보통콘크리트	50mm 이상
경량콘크리트	60mm 이상

- 4) 완충재 이음부는 틈이 생기지 않도록 시공하고 완충재를 2장 겹쳐서 이용하는 경우에는 상하의 이음부분이 일치되지 않도록 한다. 또한, 비중이 다른 재료를 사용할 경우 후속 작업시 완충재의 손상을 최소화하기 위해 고밀도품을 상부에 시공하는 것이 바람직하다.
- 5) 유리면 및 압면을 완충재로 사용할 경우 각각 비중이 80k, 120k이상의 제품을 사용하는 것이 바람직하다고 본다.
- 6) 완충재는 바닥에 가하여지는 각종 하중으로부터 안정성을 지니고 있어야 한

다. 독일의 DIN이나, BEB의 규정을 참고로 할 때 상부하중에 의한 침하량이 최고 3-5mm이하여야 할 것이다.

- 7) 벽체와의 절연용 완충재는 충격음 절연 및 크랙방지 등을 위해 마감층까지 시공하는 것을 원칙으로 한다.
- 8) 벽면완충재는 일반적으로 바닥용 완충재 설치전에 시공하며, 온돌층 시공시 탈락되지 않도록 벽면에 견고히 부착한다.
- 9) 벽면완충재는 특히 출입구의 문틀, 모서리 부분 등에서 결함이 생기기 쉬우므로 주위를 요하여야 한다.

3.3 슬래브

- 1) 슬래브의 두께는 중량바닥충격음의 차단성능에 크게 영향을 미치므로 시공 관리시 주의가 필요하다. 대개 슬래브 두께가 10%정도 변화하면 중량충격원의 바닥충격음레벨은 2-3dB정도 변화한다.
- 2) 슬래브의 콘크리트 타설을 몇 일에 나누어서 타설하면 실질적인 단면강성이 저하되어 한번에 타설한 동일 두께의 슬래브 보다 중량 바닥충격음의 차단 성능이 저하되는 경우가 있다.
- 3) 슬래브를 타설할 때, 바닥에 요철이 생기지 않도록 타설한 직후 고름대 등을 이용하여 슬래브가 가능한 평활하게 한다. self leveling 콘크리트를 사용하면 좋으나 시공비가 많이 드는 단점이 있다.
- 4) 기존의 슬래브에 보수-보강의 개념으로 콘크리트를 부가 시공하여도 바닥충격음 차단성능의 향상은 크게 기대할 수 없다.

3.4 이중천장

- 1) 충격음 저감을 목적으로 천장을 설치하는 것은 경제적인 방법이 아니지만, 경량충격음의 경우 설계방법에 따라서 중고음역에서 상당한 개선효과를 기대할 수 있다. 그러나 중량충격음에 대해서는 큰 효과를 기대하기 어렵다
- 2) 천장재는 가능한 면밀도가 높은 재료를 사용하는 것이 바람직하다. 또한 상부 슬래브와는 못 등으로 직접 고정하지 않고 방진지지 되도록 설계하는 것이 이상적이나 시공비의 상승을 감수하여야 할 것으로 판단된다.
- 3) 슬래브와 천장사이의 공간층으로 인해 저주파수대역에서는 공진이 발생할 우려가 있으므로 가능한 63Hz대역은 피할 수 있도록 설계시 주의가 필요하다.(45Hz 이하가 되도록 결정하는 것이 바람직)
- 4) 공간층내에 유리면 등의 다공질재를 설치하면 공진의 방지 및 충격음 저감

효과를 부가적으로 기대할 수 있다.

3.5 방습층

1) 사용목적

- 투습, 흡습에 의한 완충재의 단열성 및 내구성 저하 방지
- 완충재 이음부로 페이스트(경량기포콘크리트류) 침투시 완충재의 떠오름 및 열적, 음향적 결합방지

4. 맺음말

주택보급율이 95%를 넘고, 삶의 질에 대한 욕구가 점차 강해지면서 차별화된 아파트를 선호하는 경향이 두드러지고 있어 건설업계별로 자체적인 차별화 전략을 강구하고 있다. 대다수 차별화 전략이 고급마감재나 편의시설과 같이 눈에 보이는 것에 치중하고 있는 현재의 상황에서 건물의 성능을 향상시키자는 주장은 상대적으로 작은 목소리를 가질 수밖에 없지만 향후에는 이에 대한 검토가 필수요건이 될 것임에는 의심의 여지가 없다.

이론상 바닥충격음 차음성능을 향상시키는 가장 효과적인 방법은 슬래브의 두께를 늘리는 것이다. 하지만 이 방법은 국내 일반 고층아파트에 적용하기에는 현재의 건설여건상 여러 가지 제약이 있어 보편화하기에는 적합하지 않다는 것이 담당자의 견해이다. 하지만 현재 차선택으로 일반화되어지고 있는 저감재(혹은 완충재)를 적용하더라도 중량충격음에 대해 대실자들이 기대하는 수준 이상으로 성능개선이 이루어지지 않는다는 점이다. 따라서 당사는 슬래브 면적대비 적정 슬래브 두께를 산정하여 시공하고, 현장측정을 통해 적절한 완충재를 선정하여 부가적으로 시공하는 것이 바람직하다고 본다.

PHC 말뚝 시공오차 보강방안

상원구조 소장 강석규, 과장 김웅철

1. 개 요

1.1 일반사항

연약지반에 주로 사용되는 말뚝기초는 상부하중을 기초바닥 접지압과 측면 마찰력을 통하여 지반에 전달한다. 시공방법은 타입공법과 매입공법으로 크게 분류되며 각각의 설치 방법에 따라 타입공법에는 타격공법과 프리보링병용 타격공법이 있고 매입공법에는 프리보링공법, 중굴공법, 회전압입공법이 있으며 경우에 따라서 이들의 설치방법을 병용하는 경우도 있다.



<그림 1-1> 말뚝 향타

본 소고는 현장에서 말뚝공사시에 흔히 발생하는 말뚝의 위치 편심, 수직 기울기, 두부 균열 및 기초와의 접합부 처리방법에 대하여 현장 실무자에게 참고자료를 제공하는데 그 목적이 있다.

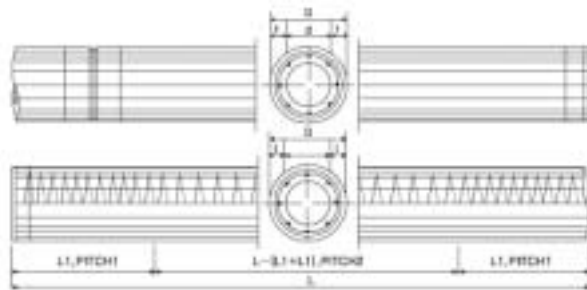
1.2 PHC 말뚝의 특성

PHC 말뚝은 **Pretensioned spun High strength Concrete piles**의 약자로서, 원심력을 응용하여 만든 콘크리트의 압축강도가 800kg/cm^2 이상의 프리텐션방식에 의한 고강도 말뚝을 말한다. PHC 말뚝은 휨과 충격에 대한 저항성이 우수하여 종래의 PC 말뚝로 시공할 수 없었던 중간층의 관통, 장대말뚝의 시공이 가능하며, 강관 말뚝에 비하여 부식성에 대한 저항성이 크다.

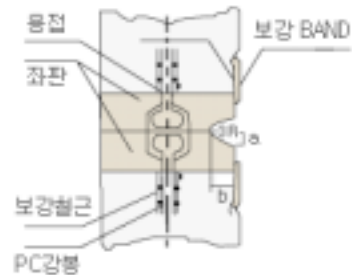
PHC 말뚝의 특성은 다음과 같다.

- 1) 콘크리트 압축강도가 크기 때문에 지지력이 크며 큰 축방향 하중에도 안전하다.
- 2) 타격내력이 우수하여 보다 깊고 단단한 지층에 관입하는 것이 가능하다.

- 3) 휨 인장응력이 크므로 내진설계시 적합하다.
- 4) 내화확성이 뛰어나다.



<그림 1-2> PHC 말뚝의 구조도



<그림 1-3> PHC말뚝 이음부

Type		Conc. Strength	Allow. Stress (Long)	Reduction Factor		Prestress 도입량
				Connection	Length/dia	
PHC 말뚝	A	800 kg/cm ² more	165 kg/cm ² less	welding 5%/ea	(L/d-85)%	40 kg/cm ²
	B					80 kg/cm ²
	C					100 kg/cm ²

2. 말뚝과 기초간의 접합부

2.1 두부정리

말뚝은 상부구조의 상재하중을 지지지반에 전달하여 그 성능을 발휘하는 작용을 하므로 말뚝머리의 처리방법과 접합방법은 대단히 중요하다. 따라서 이 부위는 설계도면에 따라 책임기술자의 지시에 의해 처리하여야 한다.

2.1.1 처리방법

말뚝머리의 처리방법은 크게 다음과 같이 분류되며 현장의 상황이나 작업여건, 구조계산 등에 의한 안정성을 확인 후 적절한 방법을 선택하여 실시하여야 한다.

- 1) 햄머에 의한 파쇄
- 2) 말뚝 Cutter에 의한 파쇄
- 3) 다이아몬드 Cutter에 의한 파쇄

2.1.2 말뚝 두부정리시 주의 항목

말뚝의 두부정리시 다음 항목에 특히 주의하여 실시하여야 한다.

- 1) 말뚝에 발생하는 미세균열과 이로 인한 말뚝의 강도저하
- 2) PC 강재의 응력저하에 의한 유효 프리스트레스량의 감소
- 3) 절단면의 불균일성에 의한 상재하중의 지지력 불균일

2.1.3 대책

상기 말뚝 두부정리시 주의 항목에서의 문제점에 대한 대책으로 다음과 같이 두부정리를 행하는 것이 좋다.

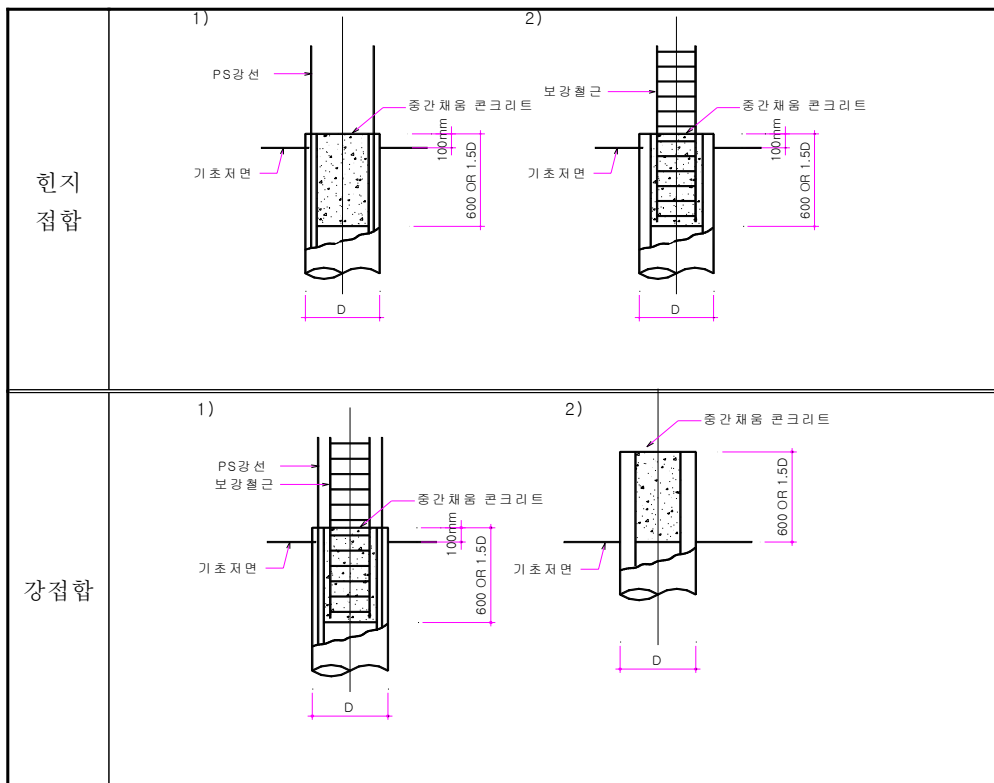
- 1) 말뚝머리를 절단하는 경우는 절단면 아래 10~20cm의 위치에 고정밴드를 감아 설치하고 말뚝을 항상 구속시켜 놓는다.
- 2) 말뚝 두부정리 방법에 따라 구멍을 내어 두부정리하는 경우에는 축근의 위치를 확인하고 그것을 피해 가능한 한 많은 구멍을 뚫고, 파쇄방식에 의한 경우에는 말뚝머리로부터 절단위치를 향하여 파쇄작업을 행한다.
- 3) 말뚝머리의 콘크리트 제거는 한쪽 손으로 작업이 가능한 정도의 무게인 햄머를 사용하고 특히 축근을 타격하지 않도록 주의할 필요가 있다.
- 4) 축근을 남겨둔 상태에서 절단면의 상부를 넘어뜨리지 말아야 한다.
- 5) 말뚝머리 절단시 말뚝에 과대한 균열이 발생하는 경우는 그 정도에 따라 적절한 조치를 강구한다. 특히 프리스트레스 콘크리트 말뚝인 경우에는 기초의 두께 증가 등 특별한 조치를 강구할 필요가 있다.

2.2 말뚝과 기초간의 결합 방법

말뚝 두부와 기초의 결합 방법은 설계상 강접합과 힌지접합으로 분류되며, 보통 건축구조물에서는 힌지접합을 사용한다. 토목구조물과 같이 수평 변위 등을 최대한 억제할 필요가 있을 경우 휨모멘트와 전단력에 저항할 수 있는 강접합을 사용한다. 이러한 접합부는 발생 응력에 저항할 수 있도록 설계되어야 하며, 구조도서 및 시방서에 접합 종류를 명기하여야 한다. 다만, 건축구조물에서 별도의 명기가 없는 경우, 말뚝 두부와 기초간의 연결은 힌지접합으로 간주된다.

▶ 말뚝과 기초간의 결합 방법

현지 접합	1) P.S 강선을 남겨두는 경우	말뚝 두부가 기초 속으로 100 mm 이상 매립 별도 보강 필요 없음. 내부 콘크리트 채움 (타설 깊이 = 600 혹은 말뚝 직경의 1.5배)
	2) P.S 강선을 절단하는 경우	말뚝 두부가 기초 속으로 100 mm 이상 매립 내부 콘크리트 채움 (타설 깊이 = 600 혹은 말뚝 직경의 1.5배) 내부 보강철근 배근 수직근 6-D13 ($\leq$ pile Φ 400), 8-D13 ($\geq$ pile Φ 450) 타이 D13@150
강접합	1) 말뚝 매입 깊이 100 mm인 경우	말뚝 두부가 기초 콘크리트 속으로 100 mm 이상 매립 내부 콘크리트 채움 (타설 깊이 = 600 혹은 말뚝 직경의 1.5배) 내부 보강철근 배근 수직근 6-D13 ($\leq$ pile Φ 400), 8-D13 ($\geq$ pile Φ 450) 타이 D13@150
	1) 말뚝 매입 깊이 600 mm 이상인 경우	말뚝 두부가 기초 콘크리트 속으로 말뚝 직경 이상 매립 내부 콘크리트 채움 (타설 깊이 = 600 혹은 말뚝 직경의 1.5배) 내부 보강철근 없음



3. 현장 오차 보강방안

3.1 두부 균열

두부 정리 작업 과정에서 콘크리트 파쇄 작업 중에 간혹 수직균열이 발생하거나 수평방향 즉 링방향의 균열이 발생할 경우, 그에 대한 보완대책은 다음과 같다.

1) 수직균열의 발생 원인 및 시공 보완대책

원 인	시공 보완대책
타입공법의 과대한 타격력의 반복 혹은 편심 타격	5cm 두께의 쿠션재를 2장 겹쳐서 사용
선단이 개방되고 두부가 폐쇄된 말뚝의 타격시 급격한 침하로 인한 내공의 공기. 물에 의한 충격내압.	향타기의 CAP을 개방형으로 하여 배기를 충분히 한다.
중굴공법시 잘 다져진 표토층(흙.점토)에서 토사가 오거에 부착되어 배토하기 힘든 상태에서 무리한 압입이나 굴착시 내공의 토사, 장애물에 의한 내압	지반특성에 따른 침설속도를 지켜 굴착 저항치를 확인하면서 침설한다.
두부정리 중 수직균열 발생	균열 길이가 기초 내에 있도록 한다.

2) 허용 균열폭

일반구조물에 대한 한국, 미국, 유럽의 허용 균열폭을 참고로 하여 노출 조건 별로 작성된 다음 표의 허용치 이하이면 별다른 구조검토나 보강 없이도 안전한 것으로 사료된다.

노출조건		허용균열폭(mm)
I. 습한 환경	유해성이 없는 흙 또는 물에 접촉되는 환경	0.3
II. 해수 환경	부분적으로 해수에 잠기거나 해수가 튀기는 환경 염분으로 포화된 공기를 갖는 환경(해안 지역)	0.2
III. 화학작용 환경	화학물에 노출되어 있는 환경	별도

3) 균열 처리방안

허용균열폭 이상이면 습한환경과 해수환경으로 구분하여, 수직 수평, 관통균열 그리고 균열폭 별로 구분하여 구조검토하거나 보수·보강하여야 한다.

◎ 노출등급 I. 습한 환경

수직균열 수평균열	외부	폭 ≤ 0.2 mm	별도 보강 불필요
		폭 ≤ 0.3 mm	외부 표면 액체 방수
		폭 > 0.3 mm	외부 피복 콘크리트 타설 피복두께 = 100 mm, 타설깊이 = 균열 하단 + 100 mm
	내부	폭 ≤ 0.3 mm	별도 보강 불필요
		폭 > 0.3 mm	내부 콘크리트 채움 타설 깊이 = 균열 하단 + 100 mm
관통균열	외부	폭 ≤ 0.2 mm	별도 보강 불필요
		폭 ≤ 0.3 mm	외부 표면 액체 방수
		폭 > 0.3 mm	외부 피복 콘크리트 타설 피복두께 = 100 mm, 타설깊이 = 균열 하단 + 100 mm
	내부	폭 ≤ 0.2 mm	별도 보강 불필요
		폭 > 0.2 mm	내부 콘크리트 채움 타설 깊이 = 균열 하단 + 100 mm

◎ 노출등급 II. 해수 환경

수직균열	외부	폭 ≤ 0.1 mm	별도 보강 불필요
		폭 ≤ 0.2 mm	외부 표면 액체 방수
		폭 > 0.2 mm	외부 피복 콘크리트 타설 피복두께 = 100 mm, 타설깊이 = 균열 하단 + 100 mm
	내부	폭 ≤ 0.1 mm	별도 보강 불필요
		폭 ≤ 0.3 mm	내부 콘크리트 채움 타설 깊이 = 균열 하단 + 100 mm
		폭 > 0.3 mm	내부 콘크리트 채움 타설 깊이 = 균열 하단 + 100 mm, 최소 600 mm 내부 보강철근 배근 수직근 6-D13 ($\leq$ pile $\phi 400$), 8-D13 ($\geq$ pile $\phi 450$) 타이 D13@300
수평균열	외부	폭 ≤ 0.1 mm	별도 보강 불필요
		폭 ≤ 0.2 mm	외부 표면 액체 방수
		폭 > 0.2 mm	내부 콘크리트 채움 타설 깊이 = 균열 하단 + 100 mm

수평균열	내부	폭 ≤ 0.1 mm	별도 보강 불필요
		폭 > 0.1 mm	내부 콘크리트 채움
관통균열	외부	폭 ≤ 0.1 mm	별도 보강 불필요
		폭 ≤ 0.2 mm	외부 표면 액체 방수
		폭 > 0.2 mm	외부 피복 콘크리트 타설 피복두께 100 mm, 타설 깊이 = 균열 하단 + 100 mm
	내부	폭 무관	내부 콘크리트 채움 타설 깊이 = 균열 하단 + 100 mm, 최소 600 mm 내부 보강철근 배근 수직근 6-D13 ($\leq$ pile $\Phi 400$), 8-D13 ($\geq$ pile $\Phi 450$) 타이 D13@300



<그림 3-1> 두부 정리



<그림 3-2> 두부 보강

3.2 평면상의 위치 편심

일반적으로 구조 검토 및 보강이 필요 없는 평면상의 위치 편심에 대한 허용 오차는 100mm 이하로 하며, 이를 초과할 경우에는 전문기술자의 구조검토 및 보강대책을 수립하여 적절히 조치하여야 한다.

일반적인 경우	등급	위치 편심 e	보강 대책
	1	$e \leq 100$ mm	구조검토 및 보강 필요 없음.
	2	$e > 100$ mm	구조검토 필요하며, 필요시 추가보강근 배근

독립기초인 경우	등급	위치 편심 e	보강 대책
	1	기초당 말뚝 1개의 위치편심 $e \leq 100 \text{ mm}$	구조검토 및 보강 필요 없음.
	2	기초당 말뚝 1개의 위치편심 $e > 100 \text{ mm}$ 기초당 2개 이상의 말뚝에 위치편심이 75 mm 이상 발생	구조검토 필요하며, 필요시 추가보강근 배근

3.3 연단거리

말뚝의 중심과 기초 최외측단까지의 거리인 최소 연단거리는 시공상의 오차를 감안하여 $1.5 \times D$ (말뚝직경)을 확보하도록 구조도서에 명기한다. 이러한 연단거리가 부족한 경우, 말뚝과 기초간의 전단응력에 안전한지를 검토하거나 기초 크기를 증가시켜 최소연단거리를 확보하도록 조치하여야 한다.

등급	연단거리	대처방안
1	연단거리 $< 1.0 D$	기초 크기 증가, 연단거리 = $1.5 \times D$ 확보
2	연단거리 $\leq 1.25 D$	기초 크기 증가, 연단거리 = $1.5 \times D$ 확보
		기초 크기는 증가시키지 않고, 편심 발생 말뚝 위에 추가보강근 3-HD22@200 (양방향) (철근 L = 연단거리 + 600 mm)
		기초 크기는 증가시키지 않고, 말뚝과 기초간을 강접합으로 처리
3	연단거리 $\leq 1.5 D$	구조검토 및 보강대책 필요 없음.

§1. 힌지접합인 경우에만 적용, 강접합인 경우는 별도 검토 필요

3.4 수직기울기

일반적으로 수직기울기에 대한 허용오차는 말뚝 길이의 1/100 이하로 하며, 이를 초과할 경우에는 전문기술자의 구조검토 및 보강대책을 수립하여 적절히 조치하여야 한다.

수직기울기	대처 방안
$e/L_p \leq 1/100$	허용오차 범위 내로서, 별도의 구조 검토 및 보강 불필요
$e/L_p \leq 1/50$	별도의 구조 검토 불필요 - 말뚝 두부와 기초간의 접합부 형태를 강접합으로 처리
$e/L_p > 1/50$	별도의 구조 검토 및 보강 필요 1) 말뚝 두부와 기초 간의 접합부 형태를 강접합으로 처리 2) 경사말뚝으로 간주한 구조검토 및 보강 필요 - 말뚝 허용 지지력 - 편심모멘트에 의한 기초 하단의 철근 보강 필요 여부

§1. 한지접합인 경우에만 적용, 강접합인 경우는 별도 검토 필요

§2. e = 편심(Eccentricity), L_p = 말뚝 길이(Pile Length)

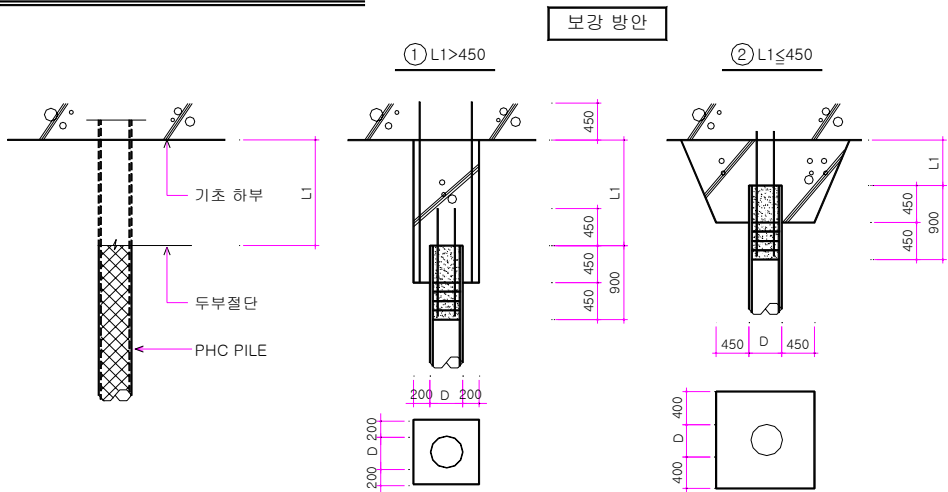
3.5 두부 레벨 오차

말뚝 선단부 지지층의 깊이가 간혹 인접 지층과 차이가 많아 예상 말뚝 길이와 실제 관입 깊이가 불일치하여 말뚝두부가 도면상의 기초 저면 레벨보다 더 아래에 설치될 수 있으며, 대처방안은 다음과 같다.

경우	대처 방안
$L1 > 450\text{mm}$	내부 채움 콘크리트 + 철근 배근 타설 깊이 = 900mm 6-D13 (pile ≤ 400) 8-D13 (pile ≥ 450) Tie D13@150 외부 보강 페데스탈 + 철근 배근 타설 깊이 = $L1 + 450\text{mm}$ 타설 폭 = pile dia. + 400mm 배근 주근 12-D22 Tie D13@300
$L1 \leq 450\text{mm}$	내부 채움 콘크리트 + 철근 배근 타설 깊이 = 900 mm 6-D13 (pile ≤ 400) 8-D13 (pile ≥ 450) Tie D13@150 외부 보강 페데스탈 타설 깊이 = $L1 + 450\text{mm}$ 타설 폭 = pile dia. + 900mm 배근 필요 없음.

§1. $L1$ = 두부 절단면과 기초 하부면 간의 거리

파일 두부 레벨 조정 방안



3.6 말뚝 내공의 지하수 유입

말뚝 내공에 지하수가 유입될 경우, 지하수 유입을 야기한 원인에 의하여 말뚝 자체가 피해를 입었거나 추후 피해를 입을 소지가 있으므로 그 원인을 분석하여 대처하여야 한다.

원 인	대 책	비 고
선단부의 슈가 파손된 경우	항타중 지하수 유입의 대표적인 경우이며, 말뚝 내공의 수위차의 변동이 발생하지 않다면 지지력에는 변화가 없는 것이므로 보완 시공이 필요 없음	보강 필요 없음
이음부 용접불량 및 인장 볼트구멍에 의한 유입	지하수 유입속도가 느리기 때문에 쉽게 판단이 가능하며, 허용수직도(=1/50) 이내인 경우에는 보완시공이 필요 없으며, 허용한도를 벗어난 경우에는 콘크리트 속채움 등으로 보완	허용수직도 초과시 콘크리트 속채움 보완
중과 등에 의한 유입	항타중 또는 피압수에 의한 균열 등으로 발생되며, 항타중 중과에 의한 경우에는 보강타를 시공하여야 하며, 피압수는 지반 조사시 검토되어 사전에 제거한 후 시공하여야 함.	추가 보강타 시공

4. 맺음말

본 소고에서는 PHC 말뚝 시공시 현장에서 발생할 수 있는 시공오차 중에서 두부 균열, 위치 편심, 연단거리, 수직기울기, 두부레벨오차, 말뚝 내공 지하수 유입에 대한 대책 및 보강방안을 정리하였다. 가장 빈번하게 발생하는 시공오차로는 말뚝 두부 손상이며 이에 따른 두부 균열과 두부레벨오차에 대한 질의를 가장 많이 받게 된다. 시공 오차의 발생시 정확한 원인규명 및 이에 따른 대처가 필요하며 무엇보다도 시공시의 품질관리가 중요하다고 할 수 있다. 말뚝 두부 손상을 방지하기 위해서는 적절한 햄머선정, 편타방지, 지중장애물에 유의하여 시공하여야 한다.

해상구간 장대 강교량의 가설공법에 관한 연구

건설기술연구소 토목과장 육일동

1. 서 론

1.1 연구배경

교량은 인류가 편의시설을 확충하기 위해 투자해온 사회간접시설 중에서 가장 중요한 핵심 구조물 중 하나라 할 수 있다. 현재 교량은 장지간 및 장경간화 추세로 발전하고 있으며, 상대적으로 기술난이도가 높은 연육·연도교도 많이 가설되고 있다. 그러므로 이러한 교량의 가설공사는 고도의 설치난이도와 더불어 열악한 환경조건을 극복해야 하는 난제에 봉착하고 있다.

경제 규모의 증대와 생활영역의 확대에 따라 장대 교량의 수요가 증가하고 있으며 여러 교량 건설재료 중에서 강재는 유지관리 및 보수·보강 측면에서 장점이 많고 콘크리트 교량에 비교하여 상대적으로 자중이 작은 특징으로 인해 대규모 장대교량의 재료로써 많이 사용되고 있다.

대형교량의 가설은 가설공법의 채택에 따라 공사비용의 절감, 공사기간의 단축은 물론 공사의 성패에도 큰 영향을 주는바 교량 가설 현장의 기상, 지형, 사용 가능 장비의 현황 및 대상 교량의 특성을 충분히 고려하여 합리적인 방법으로 교량 가설공법을 선정해야 한다.

또한 공법 선정에 있어 기존 사용되고 있는 공법들을 채용하여 사용할 수도 있겠으나 상기 설명한 가설조건에 부적합할 경우 새로운 가설 방법·공법을 개발 적용하여야 할 것이다.

1.2 연구 목적

본 연구는 증가추세에 있는 해상지역에서의 장대강교량 가설공법과 관련하여 각 공종별 적용할 수 있는 여러 공법들을 조사 분석하고 당사에서 기 수행한 영종대교 및 통영대교의 일괄가설공법 수행시 적용한 공법들에 관하여 고찰함으로써, 향후 유사 공사 수행시 참고자료로 활용할 수 있게 하기 위함이다.

2. 해상 교량 가설공법

해상에서 장대 강교량을 가설하는데 필요한 공종(육상 Load-out, 선적 및 설치)에 적용 가능한 공법 및 그 개요에 관하여 살펴보고자 한다.

2.1 육상 Load-out 공법의 종류 및 개요

Load-out(L/O)이란 중량구조물을 육상 및 해상 운송하는 것을 의미하며, 여기서는 교량제작 완료 후 해상운송을 위한 Barge 선적 이전 위치까지의 육상 운송을 대상으로 한다.

2.1.1 크레인을 이용하는 방법

일반적으로 가장 많이 사용되는 Load-out 방법으로 육상크레인을 사용할 경우 장비용량의 한계로 인해 중소형 구조물 Load-out에 주로 사용되며, 대형 중량구조물의 일괄 Load-out에는 적용하기 어려운 공법이다. 그러나 대형 해상크레인을 사용할 경우 설치작업과 연계하여 장비사용이 가능할 수 있어 후술하는 당사 적용 사례(통영대교)의 경우와 같이 최소공사기간으로 교량가설 작업 수행이 가능하다.

<그림 2-1> 육상크레인 이용 L/O <그림 2-2> Skidding system 이용 L/O

2.1.2 Skidding System을 이용하는 방법

Skidding System을 이용하는 방법은 교량 하부에 목재나 강판을 설치하고 운활제를 도포하여 마찰력을 감소시켜 견인장비(Winch나 Strand Jack)를 이용하여 Load-out하는 공법으로 일반적으로 대규모 중량구조물의 Load-out 작업에 사용된다. 그러나, 본 공법 사용시 마찰력은 이동 대상 구조물 자중의 약 20~30%([표 2-1] 참조)수준으로 이동작업시 대용량의 견인 장비가 필요하고, Skid-way에 과대한 수평력이 발생함으로 대규모의 별도 지반 보강 작업이 필요하고 이동 속도

가 늦으며, 지반에 균등한 하중 분배를 할 수 없을 뿐만 아니라 기후 상황에 영향을 많이 받는 단점을 갖고 있는 공법이다.

대규모의 수평하중을 설계에 반영해야 하므로 대형 Skid-Way 조성이나 별도의 견인장비 설치를 위한 대규모 정착단(Anchorage)의 조성이 불가피하다. 견인장비의 종류에 따라 작업속도에 영향을 미치나 Skid-Way 평탄성 불량 등의 이유로 특정 스키드 슈 부분에 부분적으로 과대 하중이 발생하여 견인작업을 중지해야 하는 경우 발생시, 사태 수습에 장시간이 소요되며 대용량 고가의 견인 장비를 필요로 하게 된다.

2.1.3 Wheel의 구름마찰을 이용하는 방법

대차(Bogie)를 이용하는 방법으로 Load-out시 마찰력이 구조물 자중의 약 1% 정도로 Skidding System을 이용하는 방법에 비해 작은 용량의 견인장비 및 정착단 조성으로 작업이 가능하다([표 2-1] 참조). 그러나 고가인 대차 제작비용을 고려할 때 Load-out 회수가 많은 경우에 적합할 것으로 판단되며 장비의 전용이 가능하다. 본 장비를 이용한 Load-out은 기상상태에 영향을 받지 않고 공사 진행이 가능하고 Load-out 속도 또한 스키딩 시스템에 비해 빠른 편이다.



<그림 2-3> Wheel의 구름마찰을 이용한 Load-out

[표 2-1] 마찰계수 (인용 : 0013/NDI Rev. 1 Appendix B)

Level surface	Static			Moving		
Sliding	Min	Typ.	Max	Min	Typ.	Max
Steel/Grease/Steel	0.10	0.15	0.30	0.08	0.12	0.20
Steel/Grease/Teflon	0.10	0.20	0.25	0.03	0.05	0.07
Teflon/Grease/Wood	0.08	0.14	0.25	0.03	0.06	0.08
Steel/Grease/Wood		0.20				
Rubber tires(locked)	0.05	0.20	0.50			
Rolling						
Steel wheel/Steel		0.01			0.01	
Rubber tires/Steel	0.01		0.02	0.01		0.02
Rubber tires/Gravel	0.02		0.04	0.02		0.04

[표 2-2] Sliding Pad 종류 및 규격 (인천공항 교통센터 Sliding 공법적용 기준)

구 분	Pad 종류	규격	접촉면	적용마찰계수	
				정지 상태	이동 상태
Vertical Support	PTFE (Teflon)	450×400×16T	SUS Plate	0.08	0.04
Lateral Support	PE (Polyethylens)	250×200×16T	Raw Steel	0.27	0.15
	Polished SUS Plate	-	Raw Steel	-	0.7~0.12
	Roller Skid	-	Raw Steel	-	0.7~0.12

2.1.4 Transporter를 사용하는 방법

본 공법은 구조물 운송이 트랜스포터에 의해 진행되기 때문에 트랜스포터 외에 별도의 장비가 필요하지 않아 작업이 간편하고 용이한 Load-out공법이다. 그러나 장비사용 비용이 고가이며 용량 및 사용에 제한이 있어 구조물의 형상과 중량을 고려하여 적용할 수 있는 공법이다.



<그림 2-4> Transporter 이용한 L/O



<그림 2-5> Transporter를 이용한 선적

2.2 선적 공법의 종류 및 개요

2.2.1 Skidding System을 사용하는 공법

육상 Load-out공법에서 설명한 바와 같이 제작된 중량물 하부에 목재를 설치하고 왁스/그리이스를 도포하여 마찰을 감소시켜 바지선 상단까지 구조물을 이동시켜 바지에 선적하는 공법이다. 이 공법은 조석간만의 차이가 작은 지역에서 적용 가능하며 교량 구조물과 같이 길이가 긴 중량 구조물의 일괄선적시 선적작업에 장시간이 소요되므로 조수간만의 차이가 큰 지역에서는 적용이 불가능한 공법이다. Barge에 Ballasting System을 장착하여 조수간만의 차를 어느 정도까지는

극복할 수 있으나 적용의 한계성이 있으며 사용 Pump의 이상과 같은 돌발사태 발생시 대형사고를 유발할 수 있다.

2.2.2 육상 크레인을 사용하는 공법

육상 크레인을 이용하여 리프팅하여 선적하는 공법으로 육상 크레인 용량의 한계로 인하여 소형 구조물의 선적공법으로만 적용될 수 있다.

2.2.3 해상 크레인을 사용하는 공법

해상 크레인을 이용하여 선적하는 공법은 국내 최대 규모인 삼성호 사용시 자중 3,000톤 이하의 중량물을 선적할 수 있는 장점이 있으나 크레인을 사용할 수 있는 작업 조건(대형 해상 크레인이 진입할 수 있는 넓은 장소 확보, 수심 확보 및 리프팅을 위한 가설구조물의 별도 설계 등)에 제한을 받으며 장비사용 비용이 고가인 공법이다.

2.2.4 Transporter를 사용하는 공법

트랜스포터를 사용하여 하중을 분산하여 선적할 수 있는 방법으로 중량물의 규모가 제한되고, 장비 사용료가 고가이며 길이기 100m이상의 장대 교량구조물 선적시 조석간만의 차이가 큰 지역에는 적용하기에는 부적당한 공법이다. 그러나 Skidding 방법 보다는 빠른 속도로 작업이 가능하고 지반에 교량 자중을 균등하게 분산이 가능하다.

2.2.5 Float Mating 공법

교량구조물 중량이 Float Crane 인양능력을 초과하고 조수간만의 차이가 큰 지역에서 이용할 수 있는 공법으로 국내에서는 영종대교 선적시 최초로 적용된 공법이다. 이 공법은 선적용 특수 전용 부두시설(Jetty)를 조성하고 부두 상단 소정의 위치까지 교량구조물에 관한 Load-out을 수행한 이후, 운송용 Barge가 교량 하면으로 진입하여 조수간만의 차이를 이용하여 교량을 선적하는 공법으로 조수간만의 차이가 큰 지역에서 초대형 교량을 선적하기에 적합한 공법으로 평가할 수 있다.

2.3 설치 공법의 종류 및 개요

교량가설 공종 전반에서 가장 비중이 큰 공종은 설치(Erection) 부분이다. 교량의 설치 방법을 단일부재를 순차적으로 설치하는 단재가설공법, 중간 크기의

Block을 조립한 후 가설하는 중 Block 가설공법 및 전체 블록(1경간)을 동시에 가설하는 대블럭일괄가설 공법으로 분류할 수 있다. 전기한 단재 및 중 Block 가설 공법은 가벤틀을 필요로 하므로 해상공사에서 설치 원가를 높아지게 하고 공사기간이 길어지는 직접적인 원인이 되므로 대블럭 일괄가설공법 적용이 유리하다. 단재 및 중블럭가설의 경우 주로 중간규모의 해상크레인을 사용하는 것이 일반적이거나 교량의 설치 높이에 따라 결정된다. 대블럭 일괄가설 공법 적용의 경우 주로 Float Mating, Strand Jack, 대형 해상크레인 및 대형바지를 이용한 설치 방법이 사용될 수 있다.

2.3.1 Float Mating에 의한 일괄설치 공법

지상에서 완전 조립한 교량을 Barge에 선적하여 현장으로 운송 후 Tide를 이용하여 전체 교량을 계획지점에 일괄설치하는 공법으로써, 조석간만의 차이를 주로 이용하는 방법과 Ballasting을 이용하는 방법이 있다. 전자의 경우는 조석간만의 차이가 큰 지역에서 적용가능하며, 후자의 경우는 조석간만의 차이가 작은 지역에 적용할 수 있는 공법이다. 그러나 간만의 차이만을 이용하여 설치시 매우 신속한 작업이 이루어져야 하고 간만의 변화가 적은 지역에서 Ballasting System에 의존하여 설치할 경우 장비(Pump 및 발전설비) 고장시 대형사고로 이어질 수 있으므로 각별한 주의가 요구되며, 양자의 경우 모두 Barge에 설치된 높은 가시설물 상에서 이루어지는 작업이므로 조류속도가 빠르지 않은 지역에서 Barge의 안정성이 충분히 확보될 경우 적용할 수 있다.

2.3.2 Strand Jack에 의한 일괄설치 공법

본 공법은 Barge를 이용하여 완전 조립된 교량을 설치위치까지 운송하는 것은 Float Mating방법을 이용한 일괄설치공법과 동일하나 조수간만의 차이나, Barge에 설치된 Ballasting System을 이용하는 것이 아니고 Strand Jack을 이용하여 운송된 교량을 일시에 Lifting해서 교량을 설치시키는 공법이다. Float Mating 공법에 비해 작업할 수 있는 기회가 많이 주어지는 장점이 있으나, Lifting Post와 같은 가설구조물이 필요하다.

교량 설치가 Strand Jack에 의해 수행되기 때문에 매우 정밀도가 높으며 Jack System이 안전하다면 여타의 공법에 비해 안전사고의 위험이 가장 적다.

Strand Jack 지지 작업대(Lifting Post)를 기존의 교대에 설치할 수 없을 경우 교대에 관한 설계를 변경하거나 신규 지지구조물 조성이 필요할 경우 대규모 토목공사를 수반할 수 있으므로 가설 경비 증가요인이 발생될 수 있다.



<그림 2-6> Strand Jack을 이용한 설치



<그림 2-7> 해상크레인 이용한 설치

2.3.3 해상 크레인을 사용한 일괄설치 공법 (3,000Tons Floating Crane)

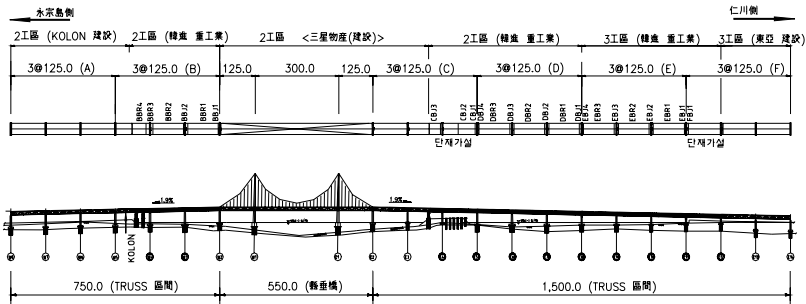
대형 해상크레인을 이용하여 해상구간에 장대교량을 설치하는 방법으로 일본의 경우 해상에 가설되는 교량에 많이 적용해온 공법이나 국내의 경우 삼성호(최대 인양능력 3,000Tons)가 건조되기 이전까지 대용량 Floating Crane의 부족으로 본 공법을 이용한 일괄가설 시공 경험이 거의 없는 실정이었다. 그러나, 삼성호 건조 이후 통영대교 가설을 필두로 하여 국내 주요 대형 교량 가설시 많이 사용되고 있다.

3. 당사 적용 사례

당사가 시공한 대표적인 해상 가설 강교량인 영종대교 및 통영대교의 가설시각 공중에 적용한 공법들을 아래에 소개한다.

3.1 영종대교

동북아 지역의 중추 공항 기능을 담당할 인천국제공항의 접근 교통 수단인 영종대교는 총 연장 4,420m의 연속교로서 주경간부는 10,000톤급 이상의 선박운항이 가능한 세계 최초의 도로 및 철도 병용 복층 자정식 현수교와 접속 구간은 주경간부와 연속성을 고려하여 복층 Truss교와 강상형교로 구성되어 있다. 당사에서는 2,250m의 복층 Truss 형식 중 해상구간 1,375m(60,000tons)를 가설하였으며, 본 교량은 상로 6차선 도로, 하로 4차선 도로 및 철도 복선으로 구성된 대규모 강교이다.



<그림 3-1> 영종대교 일반도

3.1.1 당초 설치공법의 문제점

당사에서 수행한 영종대교 가설구간 1,375m는 대부분 해상구간으로 세계최대 규모의 조수간만의 차 및 빠른 조류속도 등으로 인하여 작업 난이도가 높은 현상이었다. 당초 가설공법은 교각사이에 Temporary Bent를 시공하여 75m 중블럭 단위로 교량을 분할한 후 해상크레인을 사용하여 설치하는 Bent 공법으로 계획되었다. 그러나 본 공법을 이용한 공사수행에 있어서 핵심장비인 3,000Tons 해상크레인 은 국내에 1척만을 보유하고 있으며, 해상운송시 사용해야할 Barge 또한 본 교량 규모에 적합한 장비가 세계적으로 희소하여 장비 수급이 어려운 상태였다. 상기 해상크레인은 동일한 기간에 인접 해상공사 구간에서도 사용할 계획이었으므로 원활한 장비사용에 지장을 초래할 수 있을 뿐만 아니라, 10개월 이상 장비를 사용해야하는 본 공사의 경우 임차비용이 고가이므로 공사비용 측면에서도 대단한 부담 요인이었다.

또한 해상 가벤트 설치 개소 및 현장 연결 개소가 많아 품질확보가 불확실하고 대부분 해상에서 수행하는 고소작업이므로 기상변화에 크게 영향을 받게되어 공사 기간이 길어질 가능성이 컸다. 그리고 가설 현장의 조류속도(Max. 2.15m/sec)가 빠르고 조수간만의 차이가 심하여 해상크레인 작업시 정확한 위치에 구조물을 설치하는데 많은 시간이 소요될 것으로 예상되었다.

3.1.2 대안의 설치공법 개발

전기한 바와 같이 공사 수행에 있어 핵심장비 사용에 고비용이 소용되고 수급 또한 원활하지 않을 것으로 예상되며 난이도가 높은 해상작업량이 많으므로 공사 기간 준수가 불확실한 상태에서 원안 설치공법에 의한 물의 없는 교량 가설이 불

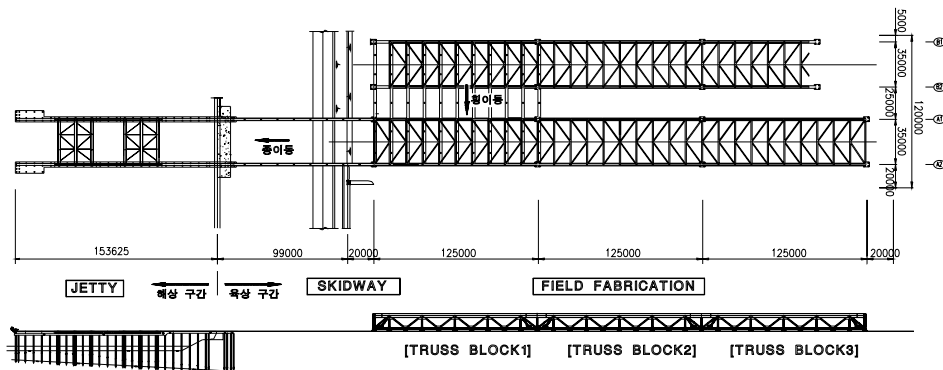
가능한 상태였다. 그러므로 당사에서는 당면한 공사비용, 장비수급, 작업환경, 공기 준수 등의 문제점을 극복할 수 있는 대안의 설치공법을 연구하여 해상 가벤프를 사용하지 않고 해상 크레인의 사용을 최소화함과 동시에 공사수행에 가장 악영향을 끼칠 것으로 예상되는 조석간만의 차를 순기능화하여 교량을 선적 및 거치할 수 있는 신개념의 해상교량 가설공법을 개발하였다. 본 공법은 운송 및 설치 단위 블록을 약 110m로 크게 하여 해상작업을 최소화함으로써 공사기간 단축이 가능하고 교량의 품질을 극대화시킬 수 있는 새로운 대안의 일괄가설공법이다.

3.1.3 가설공법 개요

당사에서는 대블럭 일괄가설공법으로 교량을 가설하기 위해 대형교량의 육상/해상 운송 및 설치 공법을 독자적으로 개발하여 적용하였다. 본 공법은 해상공사수행시 안전 및 품질 확보가 가능하고, 경제성 또한 우수한 교량가설 공법으로 평가받고 있으며, 교량가설시 적용한 주요 공법들의 개요를 설명하면 다음과 같다.

1) Bogie System을 이용한 Load out 공법

<그림 2-9>와 같이 Skid-way를 조성하여 3경간 연속 강 Truss 교량을 육상에서 완전조립 및 검사 완료 후 1경간이 125m인 5,500톤 단위로 교량을 분리하여 해상 Jetty까지 Bogie System을 사용하여 안전하고 신속한 육상 운수작업은 수행하였다

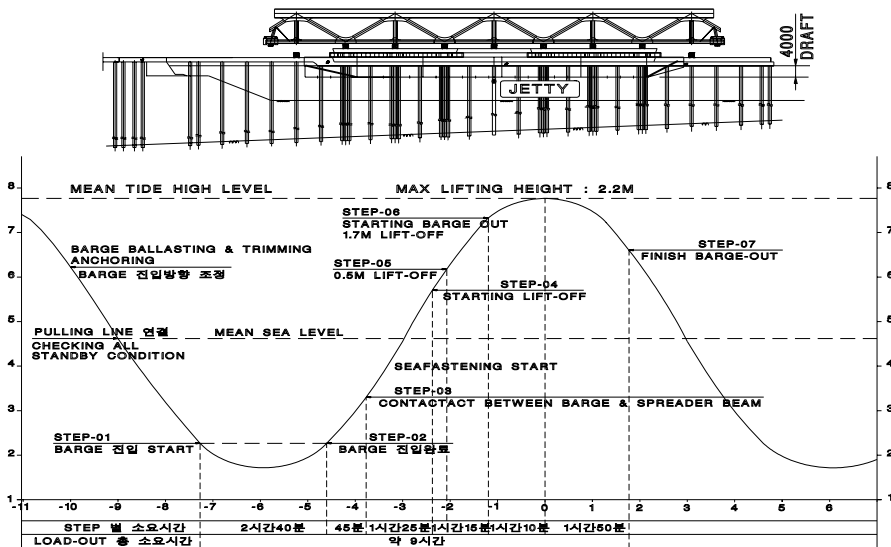


<그림 3-2> Skid Way 및 Jetty 배치도

2) Float Mating 공법에 의한 선적 및 거치 공법

세계에서 조석간만의 차이(약 9.7m)가 가장 큰 인천지역의 자연 조건을 최대한 활용하여 국내 최초로 조석간만의 차이를 이용하여 11,000톤급 중형 Barge에 대형 Truss 교량을 선적하였다. 선적된 Truss는 예인선을 이용하여

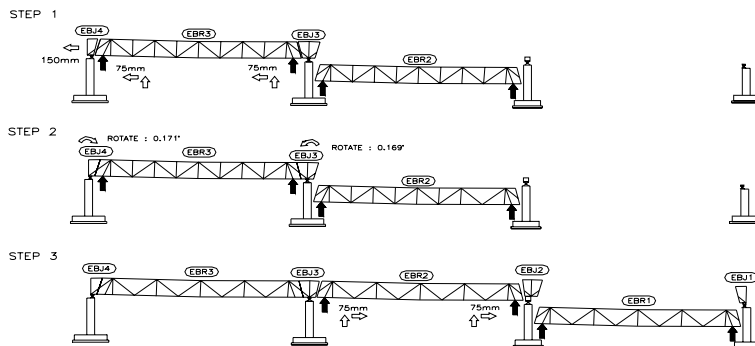
가설 위치까지 약 7.7km 해상 운송 후 교각 기초 상부에 기 설치된 작업대 (Base Structure)에 조수간만의 차이를 이용하여 거치하였다.

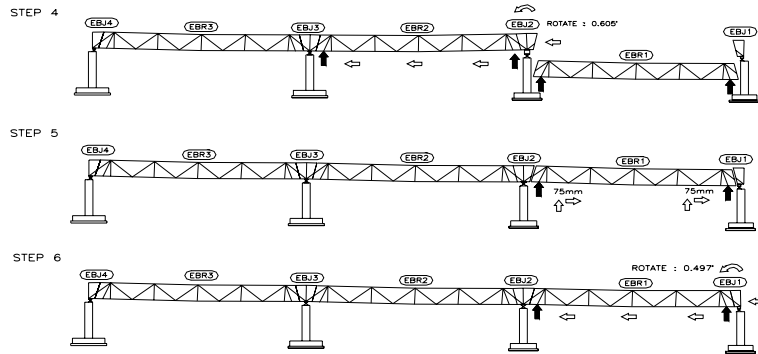


<그림 3-3> Float mating에 의한 선적 Time Schedule

3) Hinged Double Post를 이용한 설치 방법

거치 후 Lifting Post와 Truss 본체를 Lifting System을 이용하여 교각위로 Lifting하고 Truss의 연결작업은 Lifting 장비인 Strand Jack과 교각 상부에 설치된 미세 조정 장치 등의 Jig를 개발하여 상하, 전후, 좌우 이동 및 회전 이 가능하게 하여 작업성을 확보하고, 안전한 작업이 가능하도록 하였다.

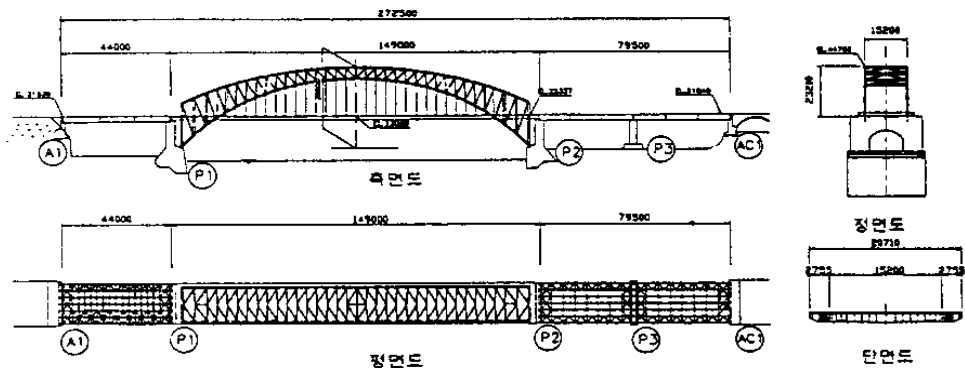




<그림 3-4> Lifting Procedure

3.2 통영대교

통영대교는 통영시의 육지부 당동과 미륵도의 미수동을 연결하는 연육교 공사로서 기존의 통행로는 왕복 2차로의 충무교가 유일하여 주민들의 교통불편을 해소하고, 한려수도 해상국립공원의 중심지인 통영시의 관광발전과 지역의 균형발전을 위하여 계획된 아치형식의 교량이다.



<그림 3-5> 일반도

3.2.1 당초 설치공법의 문제점

본 강 아치트러스교의 가설방법은 공장에서 제작·조립을 완료하고 대형 바지선을 이용하여 설치현장까지 교량을 해상 운반 후 바지선과 Sand Jack을 이용한 일괄설치공법 및 Tide와 Barge의 Ballasting System을 이용하여 설치하는 Float Mating 공법을 검토하였다. 그러나 본 교량 설치현장은 조수간만의 차이가 2 ~

3m이고, 최대유속이 약 1.2m/sec로 빠른 지역에 위치하고 있었다. 이러한 환경하에서 정확한 바지의 흘수조절 뿐만 아니라 현장의 빠른 유속으로 인하여 정밀한 교량 설치가 어려워 바지를 이용한 Float Mating 공법 적용이 불가능하고, Strand Jack을 이용한 설치공법 적용의 경우 빠른 조류속도로 인해 교대 사이로 바지 진입 후 안정성 확보가 어렵고, Lifting Tower와 같은 가설구조물 지지를 위한 교대의 설계변경과 Footing 지지력 보강이 필요하므로 상당한 추가 공사비용이 예상되었다. 또한 본 지역은 선박의 왕래가 빈번하고 설치기간 동안은 선박의 왕래를 완전 차단해야 했으므로 설치방법의 재검토가 불가피했다.

3.2.2 대안의 설치공법 선정

당시 삼성중공업에서 3,000ton 해상크레인을 제작중 이었고 제작완료 시점이 당 현장의 아치트러스 설치예정 시기와 맞아 해상크레인을 이용한 일괄 설치공법을 검토하고 국내 최초로 해상크레인을 이용하여 149m 중앙 경간을 일괄설치하는 공법을 선정하였다.

3.2.3 가설공법 개요

일본의 경우 대형 해상크레인을 이용하여 해상구간의 장대교량을 일괄설치하는 방법은 일반적인 방법이며, 특히, 단일 경간에 적용시 설치공기 및 공사비 측면에서 절대적인 비교 우위를 지니고 있는 공법이다. 그러나, 국내의 경우 대형 Floating Crane(F/C)의 부족으로 본 공법의 검토 시점까지 시공 경험이 거의 없는 실정이었다.

1) Load-out 및 선적

설치공법 변경 이전에는 Skidding 방법을 이용하여 Barge에 일괄선적하는 공법을 계획했으나, 설치공법이 3,000톤 해상크레인을 이용하게됨에 따라 교량을 안벽 가까이에 평행하게 조립한 후 해상크레인을 이용하여 일괄 선적하는 공법으로 변경 적용하였다.

2) F/C를 이용한 일괄설치

실제 현장설치는 현장 도착부터 설치완료까지 4일정도 소요되므로 설치공기를 최소화할 수 있었으며, 교량 운송을 1회에 일괄 완료하여 소요되는 물류비용의 절감뿐만 아니라 항로 폐쇄를 최단시일화 함으로써 간접적인 물류비용도 절감할 수 있었다. 또한 현장에서의 부분조립시 발생할 수 있는 안전사고를 줄일 수 있었으며, 불확실한 원안설계 설치공법을 대형 해상크레인을 이용한 일괄설치공법으로 변경시공 함으로써 성공적인 교량가설이 가능했다.



<그림 3-6> F/Crane을 이용한
일괄 선적



<그림 3-7> F/Crane을 이용한
일괄 설치

4. 결론

본 장에서는 대형 강교량의 해상가설시 현장조건, 공사기간을 고려하여 육상운송(Load-out), 선적(Shipping) 및 설치(Installation)에 가장 적절한 공법들을 소개하고 각 공법들의 장단점을 비교 검토하였다.

4.1 Load-out 공법 선정

대상 교량의 규모에 따라 여러 가지 공법들을 사용할 수 있으나, 본 장에서는 통영대교와 같이 단일 경간만을 1회 선적 및 설치하는 경우와 영종대교의 경우와 같이 약 9개월간 11회의 Load-out을 수행해야하는 경우, 즉 공사기간에 따른 공법 적용성을 비교 검토하였다.

4.1.1 장기간 Load-out에 적합한 공법

Bogie System을 이용하는 방법은 Skidding 방법과 비교하여 여러 차례 반복작업에 적합하고 신속한 Load-out 수행이 가능하다. 본 방법은 Skidding 방법과 달리 구름마찰을 이용함으로 작은 마찰계수를 이용하여 견인이 가능하고, Bogie에 유압 및 제어 장치를 도입하여 Load-out시 균등한 지반반력상태를 유지한 상태로 Load-out을 수행할 수 있는 공법이다. 그러므로 Skid-Way 조성비용을 절약할 수 있으며 소형의 견인장비를 사용하여 공사가 가능하고 기상조건에 관계없이 우천시에도 작업이 가능하다. 그러나 Bogie System의 제작에 상당한 비용이 소요되므로 Load-out 회수 및 공사 후 전용성에 관한 검토가 필요할 것이다.

4.1.2 단기간 Load-out에 적합한 공법

1) Floating Crane 이용하는 방법

통영대교와 같이 대형 해상크레인을 이용하여 단일 경간만을 설치하는 경우 구조물 중량이 F/Crane의 인양능력 범위이내 이므로 안벽 가까이에서 지조립을 수행 후, F/Crane를 이용하여 직접 교량을 선적할 수 있었다. 이 경우 1회의 장비임차로 육상 Load-out 공종을 생략할 수 있어 공사기간 단축 및 경제적인 가설공사 수행이 가능하다. 통영대교의 선적, 설치와 같은 최적의 공법 적용을 위해서는 교량 중량이 F/Crane 인양능력 이내인 경우이며 안벽 가까이에서 지조립장이 조성이 가능해야 하고, F/Crane이 진출입 가능한 준설 및 기타 Mooring 시설이 준비되어야 한다.

상기 방법은 Load-out 대상 교량이 단일 경간일 경우 가장 효과적일 수 있으나, 영종대교와 같이 여러 경간을 반복적으로 장기간 Load-out해야 하는 경우 고가의 해상장비 사용기간이 길어지므로 충분한 경제성 검토가 필요하다.

2) Transporter를 사용하는 방법

대용량의 유압장비를 이용하여 적재하중을 균등하게 지반에 분포시킬 수 있는 방법이지만 장비사용 비용이 고가이므로 장기간 사용해야하는 경우 공사 비용 측면에서 부담스러운 공법이라 할 수 있다. 그러나 단기간 사용시에는 우수한 방법이라 할 수 있으며, 상기 Skidding 또는 Bogie System 적용시 조성해야 하는 Skid-way는 필요하지 않으며, 대상구조물의 중량에 따라 Unit를 조합하여 사용 가능하므로 대용량 구조물의 Load-out에도 적합한 공법이라 할 수 있다.

[표 4-1] Load-out 공법 비교표

구 분 공법명	장 점	단 점	비 고
Floating Crane	-단기간의 Load-out 및 선적시 유리 -설치와 병용하여 사용시 원가 절감의 극대화 가능	-Load-out 회수가 많아 공사 기간이 길어지는 경우 과다한 장비임대료 발생	단기간 공사에 유리
Transporter	-단기간의 Load-out 및 선적시 유리		
Skidding 방법	-가장 일반적으로 사용되는 공법	-대형 Skid-way 조성 및 대형견인장비 필요	
Bogie System	-균등한 지반반력상태로 Load-out 가능	-경제적 Skid-way 조성 및 중형 견인장비 필요 -System제작을 위한 초기 투자비 과대, 유사공사 적용 가능	장기간 반복 공사에 유리

4.2 선적공법 선정

선적공법의 선정은 전술한 Load-out과 관련하여 동일 공법을 적용하는 것이 가장 경제적인 방법이다. 또한 선적공법은 대상교량의 중량, 조수간만의 차이 및 조류속도 등을 고려하여 적절한 공법을 적용하여야 하며, 아래와 같이 조석간만의 차이, 공사기간 및 조류속도 등을 고려하여 적절한 선적공법을 선정하여야 한다.

4.2.1 조석간만의 차이가 큰 지역에서의 선적

1) F/C를 이용하는 방법

해상에서 길이가 긴 교량구조물의 선적은 조수간만의 차이에 따라 공법적용의 제약조건으로 작용한다. 영종대교 가설지역인 인천과 같이 조석간만의 차이가 큰 지역에서 100m 이상의 장경간 구조물을 Barge에 직접 일괄 선적하는 것은 장시간이 소요되므로 Skidding, Transporter 및 Bogie system을 이용하는 공법 적용은 부적절하다. 이러한 경우 가장 적절한 공법은 F/Crane을 이용하는 방법이라 할 수 있으나 장비의 인양 능력에 따라 본 공법 적용여부가 결정되며, 장비 임차 비용이 고가이므로 장비의 사용기간을 충분히 고려해야 할 것이다.

2) Float Mating 공법

조수간만의 차이가 약 10m인 영종대교 가설시 적용한 Float mating 공법은 선적보조 시설인 Jetty시설을 개발함으로써 조수간만의 차이에 영향을 받지 않고 선적위치까지 110m 5,500톤 1경간을 Load-Out 완료 후 저조에 Barge가 구조물 아래로 진입하여 Tide가 상승함에 따라 Barge에 교량구조물을 선적하는 자연친화적 선적방법이다. 본 선적 공법은 당사에서 최초로 개발·적용한 선적공법으로 구조물의 중량에 관계없이 적용 가능할 뿐만 아니라 상대적으로 적은 규모의 Barge를 이용할 수 있는 선적공법으로 조수간만의 차이가 큰 지역에서 적용성이 우수하다.

4.2.2 공사기간에 따른 선적공법 선정

전술한 바와 같이 고가의 대형 장비를 임차하여 장기간 공사에 사용하는 경우 상당한 장비임대비용의 발생으로 공사수행에 부담요인으로 작용할 수 있으므로 공사 수행 기간 또한 공법 선정시 중요한 고려 항목이라 할 수 있다.

4.2.3 설치공법의 선정

교량 구조물의 중량, 조석간만의 차이, 유속 등과 같은 현장 조건 및 장비 현황

을 조사 분석하여 최적의 공법을 선정해야할 것이며 설치는 교량 가설시 비중이 가장 큰 공종이다.

1) Float Mating에 의한 일괄설치 공법

본 공법은 대형 Barge를 이용하여 조수간만의 차이가 큰 지역에서 Tide 만을 이용하여 교량을 설치하는 방법과 조수간만의 차이가 작은 지역에서 대형 Barge의 Ballasting System을 이용하는 교량을 설치하는 방법으로 구분할 수 있다. 그러나 조수간만의 차이가 큰 지역에서도 설치시 시간 관계상 Ballasting을 병행하는 경우가 일반적이다. 본 방법을 이용하는 경우 대형 Barge에 설치되는 설치용 가설구조물 만을 이용하므로 경제적인 교량 가설이 가능하다. 그러나 일반적으로 장대교량의 경우 항로 확보와 선형의 조화를 위해 교량 높이가 상당히 높은 경우가 많으므로, Barge 상에 설치되는 가설구조물 높이가 상당히 높게 되어 운송 및 설치시 Barge의 안정성 확보가 어렵게 된다. 따라서 조류 속도가 빠르거나 파도가 높은 현장에서는 적용하기에 물의가 있는 공법이라 할 수 있다.

예로 영종대교 가설 현장과 같이 조수간만의 차이가 큰 지역의 경우 Tide와 Ballasting 시스템을 병행하여 교량가설이 가능하나 설치 위치가 높고 유속이 빠른 현장조건에서는 Barge의 안정성 확보가 불확실하여 본 공법 적용이 어렵다. 또한 통영대교나 단항대교 설치 현장에 본 공법의 적용성을 검토한 결과 교량 가설현장이 유속이 빠른 목(해상 폭이 좁아지는 구간)부분에 위치해 있으므로 조류 속도가 빨라 본 공법 적용이 불가능했다.

2) Floating Crane을 이용한 일괄설치공법

국내에 보유하고 있는 대형 해상크레인은 2,000톤급 설악호와 3,000톤급 삼성호이며 삼성호의 경우 통영대교 가설을 필두로 하여 단항대교, 서해대교, 영종대교 등 국내 대형 교량 가설공사에 핵심장비로 사용되었으며, 본 장비의 설치능력을 고려하여 교량 가설계획시 경간장이나 교량의 설치 높이 계획에도 반영하고 있다. 본 설치방법은 통영대교의 Load-out부분에서 설명한 바와 같이 Load-out, 선적 및 설치공중에 이르기까지 해상크레인을 1회 임차하여 일괄 사용이 가능한 경우 최적의 가설공사 수행이 가능하나, 영종대교 가설과 같이 장기간 여러 Block을 선적 및 설치해야하는 경우 막대한 장비 임차비용으로 인하여 공사비 부담에 커지게 될 것이며, 본 공법은 조류속도가 빠르지 않고 파도가 높지 않은 지역에서의 적용성이 우수하다.

3) Strand Jack을 이용한 일괄설치공법

본 공법은 영종대교 현장에서 적용한 일괄설치공법으로 Barge를 이용하여 해상 운송 후 교각기초에 설치된 지지대(Base Structure)에 교량을 거치한 상태에서 Lifting Post를 설치하여 Strand Jack을 이용하여 설치 높이까지 인양한 후 접합면을 연결하는 방법이다. 본 설치 공법은 해상크레인 또는 Float Mating 공법과 비교하여 해상 및 기상 조건에 거의 관계없이 공사 수행이 가능함으로 신속한 공사 수행이 가능하다. 뿐만 아니라 높은 정밀도를 가지고 자유로운 수직 승강이 가능함으로 접합면 연결작업 수행이 우수하고 교량 중량에 따라 Strand Jack 사용 개수를 증감할 수 있으므로 해상크레인 인양능력 이상의 초대형 교량의 설치에도 적용할 수 있다. 전술한 3종류의 설치공법을 요약 정리하면 [표 4-2]와 같다.

[표 4-2] 설치공법 비교

공법명 구분	Float Mating에 의한 일괄설치 공법	Strand Jack에 의한 Heavy Lifting 공법	해상크레인(F/C)에 의한 일괄설치
현장 조건	1.조수간만의 차이가 큰 지역에서 Tide를 이용하여 설치 2.조수간만의 차이가 작은 지역에서는 주로 Ballasting 시스템을 이용하여 설치 3.상기 1, 2를 동시에 이용하여 가설 4.조류가 빠르지 않고 파고가 낮은 지역에 적용	1.Lifting Post 설치가 적당한 형상의 교각을 가지고 있지 않으면 추가공사 필요	1.해상크레인의 인양 Capa(중량 및 설치높이)이내의 교량이고 조류속도가 빠르지 않은 지역
공사 개요	대형 Ballasting 시스템을 갖춘 초대형 Barge와 조수간만이 차이를 이용하여 교량을 설치	대상 교량의 중량을 고려하여 Jack의 수량을 조절하여 사용할 수 있으며, Lifting Post (Tower)를 설치하여 교량을 Lifting하여 설치	대형해상크레을 이용하여 설치
주요 장비	초대형 Barge (Barge에 선적된 교량의 높이가 높아 Barge 안정성 확보가 필수적이고 대형 Ballasting시스템을 이용하므로 대형 Barge 필요)	1.대형 Strand Jack 장비 일식(Power pack 및 Control System 등) 2.Lifting Post 등의 가설구조물	1.대형 Floating Crane 2.대형 Lifting Lug
장 점	1.가시구조물이 타의 공법에 비해 간단하여 최소의 공사비로 시공가능 2.조석간만의 차이가 큰 지역에 특히 유리 3.초대형 중량교량 설치가능 (F/C인양능력 이상)	1.안전성 측면에서 타공법에 비해 유리 2.기상변화에 크게 영향을 받지 않음 3.S/J의 미세조정이 우수하여 접합면연결 용이 4.장기간 여러차례 설치해야하는 교량의 경우 임차비용은 F/C와 비교하여 저가 5.초대형중량교량 설치가능(F/C인양능력이상)	1.F/C의 인양능력 이내의 설치 Block 수가 작은 경우 유리(장비임대기간 단기간일 경우) 2.선적 및 설치를 동일 장비 이용시 경제성 극대화 가능 3.설치용 가시설물 최소화 작업 가능
단 점	1.정확한 Tide 분석과 설치 계획고를 감안하여 지조립 실시 / 정밀한 설치단계별 준비작업 필요 2.기상조건에 따라 설치시기에 영향을 받음 3.조석간만의 차이가 큰지역에서 Ballasting과 병행하여 설치시 Pump 고장 등의 돌발사태 발생시 위험성 큼 4.Barge에 구조물 선적, 운송 및 설치시 구조물 높이가 높으므로 안정성 확보가 어려워 적용성 낮음	1.Lifting Post와 같은 가설구조물 제작이 많음 2.가설구조물(Lifting Post) 설치 여건이 미비한 경우 별도의 공사 필요	1.F/C인양능력 이상의 교량은 해상 가벤프 조성 필요 2.조류속도가 빠르고 파도가 높은 곳에서는 작업성이 떨어짐 3. 장기간 여러 차례 설치해야하는 교량의 경우 임차비용 고가
비 고	조석간만의 차이가 큰 지역에서 초대형 교량의 설치에 유리	다경간 설치공사에 유리하고 열악한 해상조건에서 초대형 교량 설치시 적절	F/C 인양능력 이내의 단일경간 설치시 적절