

목 차

기술 자료	1	매스콘크리트 수화열 제어에 관한 고찰	육일동
	19	소음진동의 하자사례 고찰	김성욱
시공 사례	35	고교각 Slip Form 적용사례	조승기, 이덕재, 정헌배, 육일동
	49	강관말뚝 합성형 두부보강 공법	이종현
	60	무주대공간 Truss 설치 공법	이제창
	74	최신가교공법(TRIAS)	이윤희
기술 단신	88	연구소 소식	
	92	신착자료 현황	

매스콘크리트 수화열 제어에 관한 고찰

건설기술연구소 토목과장 육일동

1. 서 론

대형 콘크리트 구조물이나 고강도 및 고내구성 콘크리트 시공의 필요성이 증가함에 따라 수화열에 의한 온도응력은 제품의 품질 보증에 상당한 영향을 미친다. 수화열에 의한 균열은 일반적으로 그 폭이 크고 구조물을 관통하는 경우가 많으며, 구조물 시공 초기에 발생하여 구조물의 내력, 수밀성 및 장기 내구성능의 저하를 초래하므로 설계 및 시공관리 단계에서 면밀한 주의를 기울여야 한다.

매스콘크리트의 온도상승시에는 단면내 온도차에 의해 발생하는 내부구속응력이 주로 문제가 되지만 최대온도에 도달한 이후 온도하강시에는 외부구속과 내부구속에 의한 두가지 응력이 겹쳐진 복합응력이 발생하여 각 응력성분의 대소에 따라 온도균열의 발생시기 및 발생양상도 달라진다. 또한 온도균열은 상대적으로 부재치수가 큰 구조물에서 발생하지만 외부구속이 강한 벽체구조의 경우 단면폭이 크지 않더라도 구속의 영향으로 인하여 균열가능성이 매우 클 수 있다. 현재 각 국가별로 규정하고 있는 매스콘크리트의 범주는 다소 차이가 있으며 다음의 [표 1-1]과 같다.

[표 1-1] 매스콘크리트의 정의와 범위

국가 기준	정의 및 범위
콘크리트 표준시방서	매스콘크리트 구조물의 치수는 구조형식, 사용재료, 시공조건에 따라 다르지만, 대략 슬래브는 80~100cm이상이고, 하단이 구속된 벽체의 경우 두께 50cm 이상
건축공사표준시방서	구조물의 크기가 100cm이상인 콘크리트 구조
일본토목학회 콘크리트 시방서	부재 또는 구조물의 치수가 커서 수화열에 의한 온도상승을 고려해서 시공해야하는 콘크리트로, 대략 슬래브는 80~100cm 이상이고, 하단이 구속된 벽체는 50cm 이상
일본건축공사 표준시방서	부재의 최소치수가 80cm 이상이고, 수화열에 의한 콘크리트의 내·외기 온도와의 차가 25℃ 이상이 될 것으로 예상되는 콘크리트
ACI 위원회 207 & 301	열의 발생 및 이에 따른 체적변화 때문에 균열대책이 필요한 커다란 크기의 콘크리트로서 최소 치수 2.75ft(76cm) 이상의 콘크리트

온도균열의 제어대책을 적절하게 수립하기 위해서는 온도균열의 발생원인 및 영향인자들의 영향을 충분히 인식한 후에 설계 및 시공상황에 따라 적절한 대책을 수립해야 할 것이다.

본 고에서는 매스콘크리트가 수화열을 발생시키는 원인과 그 대책에 관한 일반적인 방법들을 소개함과 아울러, 최근 수행된 수화열 저감대책에 관한 몇 가지의 연구 내용을 소개하여 이 분야에 대한 이해를 돕고자 하였다.

2. 온도균열 발생기구 및 온도응력에 영향을 미치는 인자

매스콘크리트의 온도 및 온도응력에 가장 큰 영향을 미치는 요인은 온도상승량, 구조물의 구속도, 콘크리트의 역학적 특성 등 크게 3가지로 분류할 수 있다.

2.1 온도상승량이 온도응력에 미치는 영향

시멘트의 종류, 단위시멘트량, 타설온도 등을 들 수 있고, 이중 단위시멘트량은 콘크리트의 온도상승에 가장 큰 영향을 미치므로, 콘크리트 타설계획 수립시 단위시멘트량을 조절하는 것은 균열제어에 매우 효과가 있어 10kg/m^3 의 단위시멘트량으로는 중앙부의 온도상승량을 대량 $0.7\sim 1.1^\circ\text{C}$ 정도 조절할 수가 있고, 내외부의 온도차는 $0.3\sim 0.4^\circ\text{C}$ 정도 조절이 가능하다. 또한 저발열 시멘트나 플라이애시 등의 혼화제를 이용하여 콘크리트의 내부 발열량을 저감시킬 수 있다.

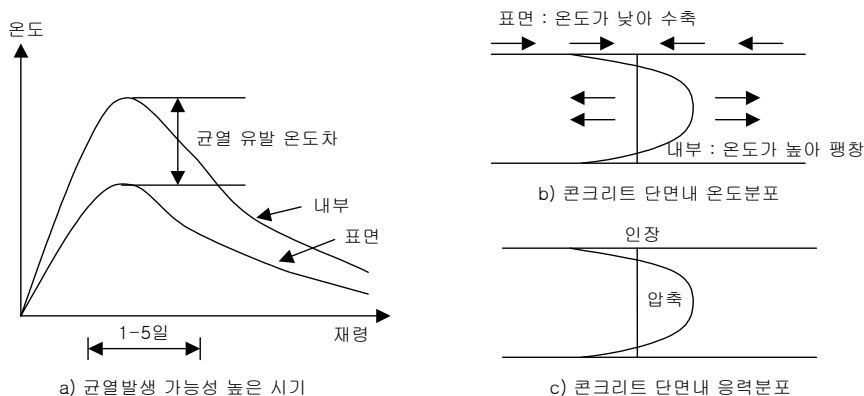
시공조건이나 배합을 조절하여 발열량을 저감시키는 것은 균열제어에 효과적이지만, 시공상 적용이 어려울 경우 사전냉각(Precooling)방법으로 인위적으로 타설시의 콘크리트 온도를 낮추는 방법이 효과적이다. 이 방법은 단위시멘트량을 조절하는 것만큼의 효과를 기대할 수는 없지만 타설온도를 낮출수록 수화반응이 지연되어 온도균열이 발생하는 시기가 늦어지고, 단위시멘트량으로 제어할 수 있는 온도량이 약간씩 커지며, 단위 시멘트량이 적을수록 그리고 타설온도가 저온으로 갈수록 제어효과는 크다. 또한 콘크리트의 발열량을 재료적인 측면에서 조절할 수 없는 경우 사후 냉각방법으로 단면의 온도를 저감시킬 수 있는데 콘크리트 타설 전에 파이프를 적당한 간격으로 미리 배치하고가 콘크리트 타설 후 물을 순환시켜 내부에서 발생하는 수화열을 장기간에 걸쳐 제거하는 사후냉각(파이프쿨링) 방법이 사용되기도 한다. 그러나 파이프의 간격, 물의 순환속도 등이 적절하지 못하여 통수온도가 너무 낮거나 냉각기간이 적절치 않는 등의 시행착오가 발생할 경

우에는 냉각관 근처의 온도경사가 커지거나 온도강하속도가 커져서 심각한 온도 균열이 발생하는 경우도 있으므로 파이프의 간격, 통수량, 통수온도 및 기간 등에 대해서는 사전에 면밀한 검토가 필요하다.

2.2 구속도가 온도응력에 미치는 영향

2.2.1 내부구속에 의한 응력

본 응력에 의한 균열은 콘크리트 내부와 표면과의 온도차에 의해 발생한다. <그림 2-1>에서 볼 수 있는 바와 같이 콘크리트의 수화열에 의한 콘크리트의 내부는 온도가 상승하지만 표면은 공기에 의해 온도가 낮아지므로 온도차에 의해 균열이 발생한다. 즉 상대적으로 온도가 낮은 외부 콘크리트가 수축하려는 것을 온도가 높은 내부의 콘크리트가 구속하여 표면부에 인장응력이 작용하고 이 응력이 동일재령에서의 인장강도를 초과하면 균열이 발생한다. 표면과 내부의 온도차는 재령 1~5일 정도에서 콘크리트 내부온도가 최고점에 도달할 때 최대가 되는 온도가 많으며, 균열은 콘크리트 온도가 최대가 되는 시점 또는 거푸집 탈형 직후에 생기기 쉬우며, 균열은 0.1~0.3mm 정도의 폭을 가지고 그 발생양상은 규칙성이 없으며 단면을 관통하기 않는다. 그러나 내부구속에 의해 표면에 발생한 균열은 건조수축이나 외부구속에 의해 커다란 관통균열로 진전되기도 하므로 주의가 필요하다. 내부구속이 탁월한 경우는 주로 암반 또는 구체속의 탄성계수가 새롭게 타설한 콘크리트에 비해 현저히 낮은 경우나, 길이와 높이의 비가 작은 경우 또는 구속체와의 경계에서 미끄럼이 발생하는 경우 등 외부 구속이 비교적 약한 경우에 나타난다.



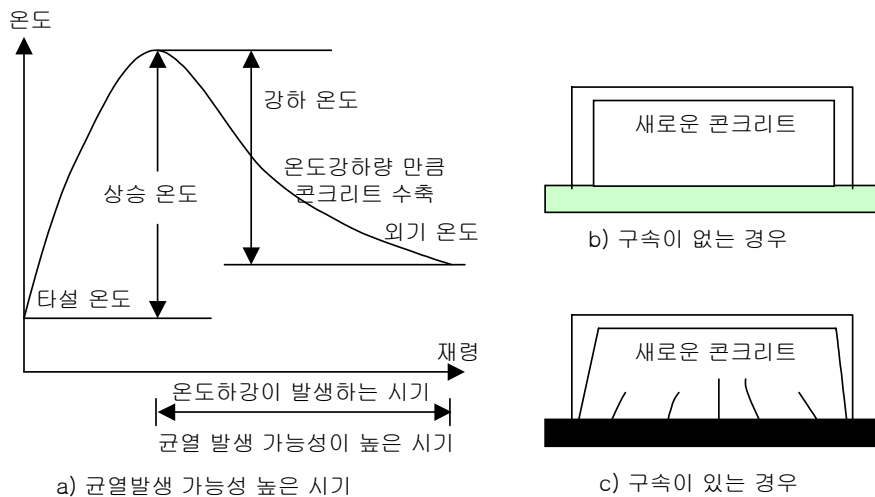
<그림 2-1> 내부 구속응력의 발생기구

2.2.2 외부구속에 의한 응력

이 균열은 타설된 콘크리트의 변형이 지반 또는 기 타설한 콘크리트에 의해 구속되어 발생한다. <그림 2-2>에서 나타난 바와 같이 타설된 콘크리트는 온도가 최고점에 도달한 후에 최종적으로 외기 온도와 같을 때까지 온도가 하강시 콘크리트의 체적은 수축하지만, 이것이 하층의 콘크리트 또는 지반에 의해 구속되어 외부구속 균열이 발생한다.

외부구속에 의한 균열은 균열폭이 0.2~0.5mm 혹은 그 이상이 되는 경우가 많고, 세로로 곧장 뻗는 관통균열 발생 가능성이 높다. 암반 위에 콘크리트를 타설하는 경우나 기 타설한 콘크리트 위에 덧씌워 콘크리트를 타설하는 경우가 이에 해당되는데 구조물의 크거나 하부의 암반상태에 따라 온도응력 발생양상이 크게 달라지기 때문에 온도균열의 발생시기나 위치 등에 대한 추정이 매우 곤란하다.

이 경우는 평균온도 강하량과 구속도의 크기에 영향을 받기 때문에 프리쿨링이나 파이프쿨링 등 주로 내부구속응력을 줄일 수 있는 대책만으로는 온도균열의 발생을 제어하기 어렵고, 최대온도에 도달한 이후 단위 시간당 온도강하량을 줄일 수 있는 방법이나 연속 타설시 양블럭 사이에 커다란 온도차가 생기지 않도록 타설간격을 짧게 하는 등 구속도를 줄이는 시공대책을 수립할 필요가 있다.



<그림 2-2> 외부 구속응력의 발생기구

2.3 콘크리트의 특성이 온도응력에 미치는 영향

[표 2-1] 시멘트종류에 따른 수화열 특성

종 류	일반 사항	특 성	용 도
1종 보통시멘트	시멘트의 대표적 제품으로 일반적인 시멘트		일반적 토목, 건축 공사에 이용
2종 중용열 시멘트	1종시멘트보다 수화열이 낮아서 콘크리트 균열제어 가능	-1, 4종 포틀랜드 시멘트의 중 간 수준의 수화열 -건조수축이 낮고 내구성 우수	매스콘크리트 댐, 터널 및 도로 포장, 활주로 공사
3종 조강시멘트	1종시멘트의 7일 강도가 3 일만에 발현가능하고, 증 기 양생시 고강도 발현	-저온에서 강도발현성 우수 -콘크리트의 수밀성이 높아 내 화학적, 동결융해 저항성 우수	PC Segment 고강도 제품제조 한중공사/공기단축
4종 저열 시멘트	수화열이 2종 시멘트보다 도 낮고, 장기강도가 우수 하기 때문에 고강도콘크리 트 및 고유동콘크리트 제 조에 우수	-수화열이 낮음 -장기강도 우수/조기강도 지연 -건조수축이 낮고 내구성 우수	매스콘크리트공사 용 지하저장 Tank, 지하 Box 구조물
5종 내화산염 시멘트	내화산염에 대한 저항성이 우수, 해양구조물 및 원자 력발전소 공사에 사용	-화산염에 대한 저항성이 큼 -내해수성 우수 -장기강도 우수	항만 및 하천공사 원자로 공사

3. 온도균열의 평가

3.1 온도균열지수

균열발생에 대한 안전성을 정량화하기 위해서 콘크리트 온도균열지수(L_{cr}) 개념을 도입하여 이를 평가할 때는 콘크리트의 인장강도를 온도응력으로 나눈 값으로 나타낸 다음 식에 의하여 구할 수 있게 하였다.

$$L_{cr}(t) = \frac{F_t(t)}{F_x(t)} \dots \dots \dots \text{(식 1)}$$

여기서, $F_x(t)$ =재령 t일에서 수화열에 의해 발생한 부재내부 온도응력 최대값
 $F_t(t)$ =재령 t일에서 콘크리트 인장강도를 재령 및 양생온도를 고려하
 여 구함

온도균열지수는 재령에 따라 변하므로 재령을 변화시켜 제일 작은 값을 구해

야한다. 수밀성, 기밀성이나 내구성이 요구되는 구조물에서는 상기 식을 이용하나 아래와 같은 간이법을 이용하여 온도변화를 실시하고 그 결과를 바탕으로 균열발생에 대한 안정성을 구하여도 좋다. 그러나 이 방법으로 계산된 지수는 일반적으로 작은 값을 나타낸다.

- 1) 연질의 지반 위에 타설된 슬래브 등과 같이 내부 구속응력이 큰 경우

$$L_{cr}(t) = \frac{15}{\Delta T_i} \dots \dots \dots \text{(식 2)}$$

- 2) 암반이나 매시브한 콘크리트 위에 타설된 슬래브 등과 같이 외부 구속응력이 큰 경우

$$L_{cr}(t) = \frac{10}{R \cdot \Delta T_0} \dots \dots \dots \text{(식 3)}$$

여기서, ΔT_i : 내부온도가 최고일 때의 내부와 표면과의 온도차

ΔT_0 : 부재평균최고온도와 외기온도와의 균열시의 온도차이

R : 외부수곡의 정도를 표시(상세 내용은 시방서 참조)

온도균열지수는 그 값이 클수록 균열이 생기기 어려우며, 균열방생확률과 온도균열지수 관계는 시방서에 의해 아래 그림에 의하여 구할 수 있다.

3.2 온도균열지수와 발생확률

온도균열지수는 그 값이 클수록 균열 발생확률이 크고, 값이 작을수록 균열이 생기기 쉽고, 철근이 배근된 구조물에서의 표준적인 온도균열지수의 값은 <그림 3-1>과 같다.

<그림 3-1> 온도균열지수와 발생확률

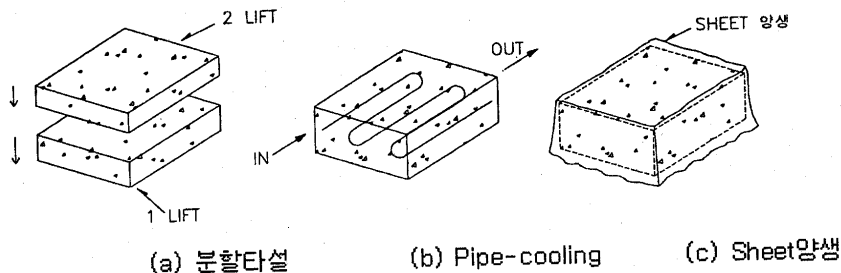
- | | |
|---------------------|---------------|
| 1) 균열을 방지할 경우 | : 1.5 이상 |
| 2) 균열발생을 제한할 경우 | : 1.2이상 1.5미만 |
| 3) 유해한 균열발생을 제한할 경우 | : 0.7이상 1.2미만 |

4. 수화열 저감대책

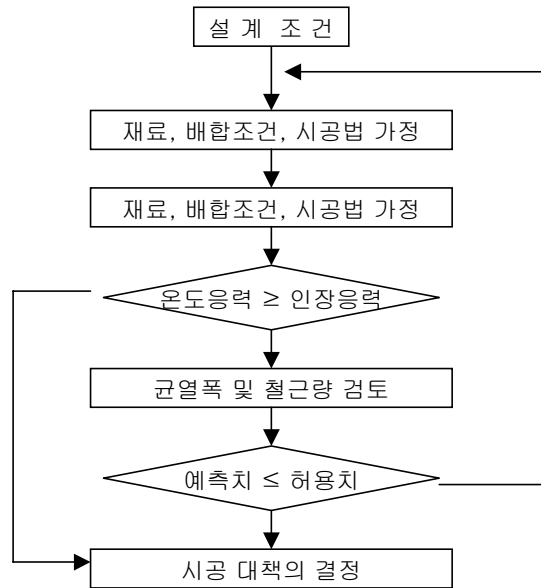
전절에서 살펴본 바와 같이 콘크리트 구조물의 수화열로 인한 온도응력 및 균열 현상에는 구조물의 구조형식, 경계조건, 재료, 배합, 시공, 양생, 기상조건 등의 요인이 복잡하게 영향을 미치며 적절한 이음간격이나 배근으로 온도균열을 제어할 수 있으며 일반적으로 사용되는 균열제어 순서를 <그림 4-1>에 나타내었다. 매스콘크리트의 온도균열은 타설후의 시멘트의 수화열에 의한 온도상승 및 강하에 따라 발생하는 체적변화가 내부 또는 외부적으로 구속을 받아 발생하는 것으로, 온도 균열의 제어대책은 기본적으로 다음과 같은 것들을 예로 들 수 있다.

- 1) 콘크리트의 최대 상승온도를 낮게 한다.
- 2) 온도응력을 낮게 한다.
- 3) 온도응력에 대한 저항력을 증가시킨다.

온도균열을 제어하기 위한 방법은 <그림 4-2>와 같은 방법들이 있으며, 온도균열 발생이 우려되는 구조물에는 구조물 및 주변환경에 따른 적절한 수화열 저감대책을 마련하여야 한다.



<그림 4-2> 수화열 저감방법 개요도



<그림 4-1> 온도균열 제어대책 흐름도

[표 4-1] 수화열 저감방안

저발열 시멘트	-별도의 시설장치 없이 1회 타설하므로 시공속도가 빠름 -품질관리 곤란 -콘크리트의 배합이 변경되므로 별도의 품질시험 및 장기적인 내구성에 대한 검증이 필요
분할타설	-별도의 시설없이 타설만으로 조절이 가능하므로 시공이 간편 -타설온도를 조절하기 위한 배합수의 관리가 어려움 -계측을 통해 타설고를 결정해야 하므로 외부환경의 영향이 큼 -시공이음부의 정밀한 시공관리가 요구되며, 이음부의 하자발생가능성 있음
프리쿨링	-계절에 따라 재료의 온도가 달라지므로 관리가 어려움 -냉각수 및 Flake Ice의 제조설비가 필요하지만 포스트 쿨링에 비해 경제적 -타설콘크리트 배합변경이 없으므로 별도의 품질시험이 불필요함
파이프 쿨링	-파이프 설치, 유압수저장시설, 수온조절장치 등 별도의 시설이 필요함 -타설콘크리트 배합변경이 없으므로 별도의 품질시험이 불필요함 -기시공사례 결과 저감효과가 분명하며, 계측 및 수온 제어장치 등 품질관리가 중요함
Sheet 양생	-별도의 시설 없이 양생시 구조체의 보온설비만으로 가능함 -타설콘크리트 배합변경이 없으므로 별도의 품질시험이 불필요함 -계측을 통해 쉬트 도포시기를 결정해야하므로 계측설비가 불필요함

5. 수화열 저감방법에 관한 연구 소개

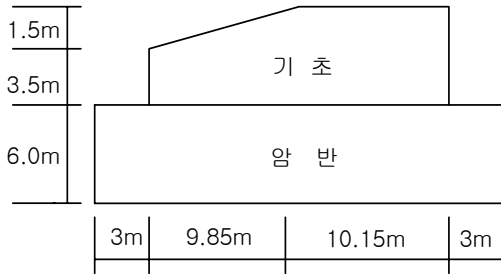
5.1 분할타설 방법을 이용한 수화열 저감 참고문헌 1)

본 연구에서는 대형교각 기초에 대하여 분할 타설 높이의 적정성, 보온양생방법 및 재령, 사용시멘트 등을 변수로 해석을 실시하였다.

5.1.1 구조물의 단면형상 및 해석조건

대상구조물의 형상은 <그림 5-1>에 나타낸바와 같이 길이 20m, 폭 14.4m, 높이 5m를 대상으로 하고, 해석 모델은 1종 시멘트와 1종시멘트의 20%를 플라이애시로 치환한 구조물을 각각 대상으로 하였다. 해석조건은 구조물이 위치하는 지역의 20년간 8월 평균기온인 23.9℃를 사용하였으며, 콘크리트 타설온도는 20℃로 설정하였다. 또한 해석은 [표 5-1]에 제시한 바와 같이 구조물을 일체로 타설하는 경우와 2단 및 3단으로 나누어 분리 타설하는 경우의 3가지 방법을 적용하였으며,

2단 분할 타설하는 경우에는 플라이 애시를 20% 치환하는 경우를 포함하였다. 또한 해석시 보온양생 방법 으로서는 양생시트를 3장 덮는 경우와 스티로폴 50mm 1장을 덮는 경우로 하였다. 이상과 같은 경우를 조합할 경우 14개의 경우의 수가 발생하며 각 경우에 대하여 온도해석 및 온도응력해석을 실시하였으며 그 결과는 [표 5-2]와 같다.



<그림 5-1> 대상 구조물의 형상

[표 5-1] 구조물의 열적 특성

콘크리트 열적 특성		기 초		암 반
		1종	FA 시멘트	
단열온도 상승특성치	Q_{∞}	48.2	46.4	-
	$r(\text{day}^{-1})$	1.21	0.75	-
밀 도	$\rho(\text{kg/m}^3)$	2400		2600
열전도율	$k(\text{kcal/mh}^{\circ}\text{C})$	2.1		1.9
비 열		0.25		0.21
탄성계수	kgf/cm^2	-		18×10^5
타설온도	$^{\circ}\text{C}$	20		-
대기온도	$^{\circ}\text{C}$	23.9		-

5.1.2 연구 결론

- 1) 구조물을 일체로 타설하는 경우에는 스티로폴과 같은 보온성이 뛰어난 재료를 사용하여 보온양생을 실시하더라도 온도균열지수가 0.5정도로 평가되어 유해한 온도균열발생이 우려된다.
- 2) 콘크리트를 2단으로 분할하여 타설하는 경우 1단 콘크리트의 보온양생재료서 양생시트 3장이나 스티로폴을 사용하면 온도균열지수가 1.8이상 확보되어 온도균열 발생가능성은 거의 없는 것으로 판단된다, 특히 플라이애시를 혼합하는 경우에도 동등한 결과를 얻을 수 있었다.
- 3) 1단 콘크리트를 치기 완료 후 14일 경과 시점에서 2단 콘크리트를 타설할 경우, 타설두께를 2.5m로 하여 양생시트 3장으로 보온양생을 실시하면 온도균열지수가 모두 0.6정도를 나타내어 온도균열발생 가능성이 다소 높은 것으로

로 나타났다.

- 4) 그러나, 동일한 타설높이를 가지는 경우라도 보온양생을 스티로폼을 사용하는 경우 온도균열지수는 0.7정도로서 온도균열제어에 효과가 있음을 알 수 있다. 특히, 이 경우 플라이애시를 혼합하면 온도균열지수가 0.9정도를 나타내어 온도균열제어에 효과가 큰 것으로 평가된다.
- 5) 콘크리트 타설두께를 1단 3m, 2단 2m로 변화시킨 경우, 2단 콘크리트의 온도균열지수는 0.9를 나타내어 보온양생시트 3장을 사용하는 것만으로도 균열제어에 큰 효과가 있는 것으로 나타났다.

[표 5-2] 온도해석 및 온도응력 해석 결과

콘크리트 타설방법	사용 시멘트	보온양생방법	온도해석결과		온도응력해석 결과			
			최고 온도	내외부 온도차	인장응력 (kgf/cm ²)	온도 균열지수	응력최대 재령(일)	
일체 타설	1종	5mm시트 3장	68	32	43.2	0.5	18	
2단 분할타설 (1, 2단 각각 2.5m 등분할)	1단	1종	5mm시트 3장	66	14	7.1/7.8	2.4/2.6	10/28
			스티로폴+시트1장	67	10	3.1/7.7	3.1/7.7	14/28
		FA	5mm시트 3장	62	13	2.4/3.7	2.4/3.7	10/28
		시멘트	스티로폴+시트1장	62	10	2.9/15.4	2.9/15.4	14/28
	2단	1종	5mm시트 3장	67	22	0.8/0.6	0.8/0.6	14/18
			스티로폴+시트1장	67	23	2.5/0.8	2.5/0.8	14/20
		FA	5mm시트 3장	64	22	0.9/0.6	0.9/0.6	14/18
		시멘트	스티로폴+시트1장	64	23	4.5/0.9	4.5/0.9	14/20
2단 분할타설 (1단3m, 2단2m)	1단	1종	5mm시트 3장	67	17	1.7/1.4	1.7/1.4	10/14.5
	2단	1종	5mm시트 3장	66	23	1.7/0.9	1.7/0.9	14/18
3단 분할타설 (1단 2.0m, 2, 3단 1.5m)	1단	1종	5mm시트 3장	64	11	12.7/2.6	12.7/2.6	14/28
	2단	1종	5mm시트 3장	62	12	2.2/14.6	2.2/14.6	14/28
	3단	1종	5mm시트 3장	64	16	1.7/0.8	1.7/0.8	14/24

* 스티로폼은 두께 50mm를 사용함.

5.2 인천국제공항 전면고가교 참고문헌 2)

5.2.1 설계기준강도와 배합강도

본 연구는 당사가 시공한 인천공항 전면고가교의 슬래브의 수화열 저감을 위한 연구로 수행된 것으로써 대상 구조체의 개요는 아래 [표 5-3]과 같다.

[표 5-3] 대상 구조물 개요

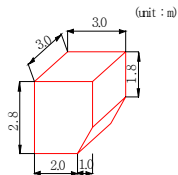
콘크리트 강도	$f_{ck} = 400\text{kgf/cm}^2$, ($f_7 = 320\text{kgf/cm}^2$)	비 고
구조 형상	단면 두께가 0.95~2.8m인 P.S.C교량 슬래브	
검토모델 형상	3m×3m×2.8m의 크기를 가지는 대형 시험체 2체	그림 7참조

5.2.2 시험체의 개요

[표 5-4]와 같이 수화열 저감을 위하여 4가지 방법에 대하여 수치적인 방법으로 온도해석 및 그 응력 수행하고, 시험체 제작은 [1종시멘트+pipe cooling] 및 [5종시멘트]의 2가지 경우로 정리하였다.

[표 5-4] 시험체 제작 계획

수화열 저감방법	온도해석	응력해석	시험체 제작	비 고
1종시멘트	○	○	-	Pipe cooling 효과 검토용
1종시멘트 + pipe cooling	○	○	1체 제작	쿨링파이프 배관 시험체 제작
4종시멘트	○	○	1체 제작	검토 후 1종류 시멘트 선정 시험체 제작
5종시멘트	○	○		



<그림 5-2> 시험체의 형상

<그림 5-3> Pipe-cooling 배관 상태

5.2.3 수화열 해석결과 및 검토

1) 온도해석결과

[표 5-5]는 [표 5-6]의 4경우의 각 모델에 대하여 수화열 해석을 수행한 결과이며, 수화열이 최대가 되는 시점인 재령 1.5일에서의 온도해석 결과 시험체 내부의 최대온도 상승량은 61.5℃로서 non pipe cooling 시험체의 79℃에 비

하여 무려 17.5℃의 온도저감 효과를 얻고 있다. [표 5-6]의 온도해석결과 균열발생확률이 가장 적은 시험체는 [1종+pipe cooling]시험체이며, 최저목표균열지수 0.7을 기준으로 할 경우 적합한 시험체는 [1종+pipe cooling] 및 [4종시멘트]의 경우이다.

[표 5-5] 온도균열지수와 균열발생확률

사용 시멘트	파이프 쿨링조건	최대온 도(℃)	온도차 (℃)	I_{cr}	균열발 생확률 (%)
1종	non pipe cooling	79.0	30.4	0.49	96
	pipe cooling	61.5	18.3	0.82	68
4종	-	59.8	21.4	0.70	84
5종	-	70.7	26.7	0.56	93

[표 5-6] 시험체 응력해석 결과

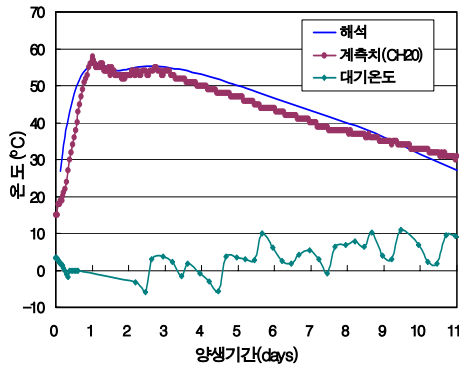
파이프 쿨링조건	인장 강도 (kg/cm^2)	인장 응력 (kg/cm^2)	I_{cr}	균열발 생확률 (%)
1종+파이프 쿨링무	12.1	22.5	0.54	94
1종+파이프 쿨링	13.1	15.3	0.85	63
4종	14.5	18.5	0.78	74
5종	13.1	20.2	0.65	88

2) 응력해석 결과

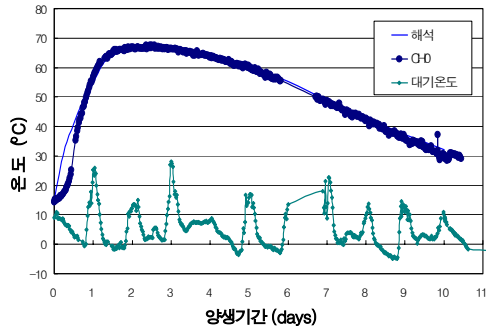
목표온도균열지수 0.7을 초과하는 시험체는 온도해석결과와 동일하게 [1종+pipe cooling] 및 [4종시멘트]를 사용한 시험체였다. 그러나, 4종시멘트를 현장에 적용할 경우 조기강도 발현이 지연되어 공사기간이 길어질 우려가 있어 시험체 제작에 적용하지 않는 것으로 정하였다. 5종시멘트의 경우에는 온도균열지수가 0.65로서 목표치 0.7에 미달하고는 있지만, 강도발현이 1종시멘트와 유사하고 사용실적이 많아 시험체를 제작하여 수화열 제어 효과를 기대할 수 있는 것으로 판단하여 시험체를 제작하여 상호 비교하는 것으로 계획하였다.

3) 시험체의 수화열계측 및 균열조사

<그림 5-4>는 [1종시멘트+pipe cooling] 시험체에서 수화열이 가장 높은 곳에서의 콘크리트 온도이며, <그림 5-5>는 [5종시멘트] 시험체에 대한 수화열이 가장 높은 곳에서의 콘크리트 온도를 나타낸 것이다. [1종+pipe cooling] 시험체는 [5종시멘트] 시험체보다 최대 온도를 10℃이상 저감시켜 pipe cooling에 의한 온도제어 효과가 크게 나타나고 있음을 알 수 있다. 또한, 시험 완료 후 채령 15일 시점에서 균열조사를 실시하였으며, 그 결과 [1종+pipe cooling] 시험체는 균열이 전혀 발생되지 않았으며, 5종시멘트를 사용한 경우에는 벽체 2개소에서 0.1mm 정도의 수직균열이 발생되었다.



<그림 5-4> [1종+pipe cooling] 시험체



<그림 5-5> [5종시멘트] 시험체

5.2.4 파이프쿨링 현장 적용

1) 쿨링파이프 배관

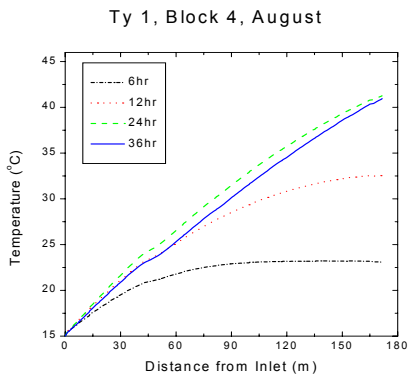
슬래브 두께를 4단으로 구분하여 cooling pipe를 배관하였고, cooling pipe 1 loop의 최대 길이는 150m로 하였다. 또한 각 단의 loop수는 1단 26개, 2단 14개, 3단 및 4단은 각각 6개이며, cooling pipe 총 배관길이는 29개 경간에 대하여 82,913.4m가 된다. Cooling pipe의 배치는 단면 두께가 2.8m인 부위에서는 4단으로 배치하고, 0.95m인 부위는 2단으로 배치하였다. Cooling pipe의 수평간격은 $50\pm 10\text{cm}$, 수직간격은 $60\pm 10\text{cm}$ 로 하고 구조물의 연직평면 연단과의 이격거리는 $50\pm 10\text{cm}$, 파이프 배관 평면에서의 구조물과의 이격연단거리는 $30\pm 5\text{cm}$ 로 하여 pipe cooling에서 사각부분이 발생하지 않도록 하였다.

2) 파이프쿨링

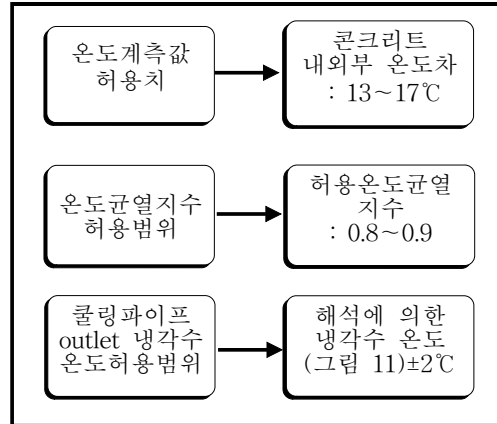
[표 5-7] 파이프쿨링 조건

Stainless steel 주름관의 통수유량	12±1
Cooling pipe inlet에서의 냉각수 온도(°C)	15±2
Pipe cooling 실시시간(hr)	48±2

상기 표는 pipe cooling의 조건을 나타낸 것이며, <그림 5-6>은 수화열 계측 관리치를 나타낸 것이다. 온도계측결과 계측온도가 허용치를 초과하는 경우에는 cooling pipe의 냉각수 온도, 통수 유량 및 콘크리트 표면의 시트양생 방법 등을 조정하여 균열발생을 억제하였다. 수화열에 의한 온도계측은 15일 동안 실시하였으나, 어느 경우라도 계측결과 콘크리트 표면과 내부의 온도차가 15°C 이하로 될 때까지 파이프쿨링을 계속하였다.



<그림 5-6> Cooling pipe 냉각수 온도 계측 관리치



<그림 5-7> 계측 관리치

5.2.5 연구 결론

- 1) [1종+pipe cooling]을 실시할 경우, Type I의 온도응력 해석에 의한 균열지수는 0.91~0.94로서 목표값인 0.9를 모든 경우 초과하여 유해한 균열은 발생하지 않을 것으로 판단된다.
- 2) 따라서, 상부슬래브와 같이 매시브하고 또 사용 시멘트량이 많은 구조물의 경우 pipe cooling을 실시할 경우 수화열에 의한 온도균열 발생을 억제하는데 매우 유효한 방법임이 제시되었다.
- 3) 본 연구결과를 현장에 적용하여 pipe cooling을 실시한 결과 수화열에 의한 온도균열은 발생하지 않았다.

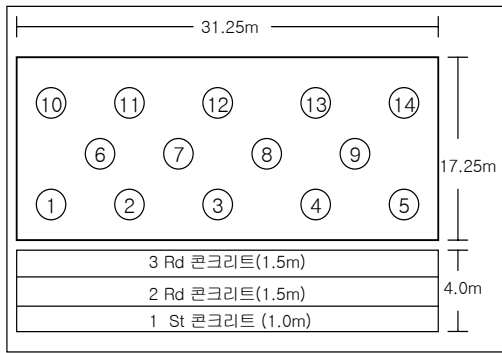
5.3 매스콘크리트의 수화열에 의한 온도응력에 관한 연구 참고문헌 3)

5.3.1 교각기초

본 연구의 대상구조물은 대형 교각기초로 <그림 5-8> 및 [표 5-8]과 같다.

1) 온도해석

[표 5-9]에 의하면 2회에 나누어 분할 타설하는 경우와 3회에 나누어 분할 타설하는 경우의 온도상승량은 큰 차이가 없는 것으로 나타났으며, 타설간격이 3일인 경우와 7일인 경우의 온도상승량도 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 그리고 타설온도가 높아짐에 따라 발생하는 최고온도도 상승하는 것으로 나타났다. 그러므로 타설온도는 가능한 낮게 유지하는 것이 바람직하다.



<그림 5-8> 실험체 형상

[표 5-8] 대상 구조물 개요

구조물 형상	31.25×17.25×4.00 (교각기초)
설계기준강도	270Kgf/cm ²
단위시멘트량	399kgf/m ³
타설온도	10℃, 20℃, 30℃
타설간격	3일, 7일
타설높이	2회타설:1.9m+2.1m 3회타설:1.0m+1.5m+1.5m

[표 5-9] 타설방법에 따른 최대온도 상승량 및 발생응력

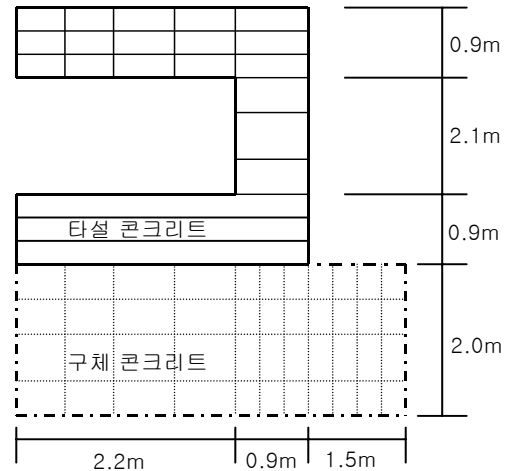
타설 방법			최대 온도상승량	최대온도응력 (kgf/cm ²)
분할타설	타설간격	타설온도		
2회 분할타설	3일	10 ℃	59	21.6
		20 ℃	60	31.4
		30 ℃	60	34.9
	7일	10 ℃	63	27.2
		20 ℃	63	32.8
		30 ℃	63	36.5
3회 분할타설	3일	10 ℃	57	16.9
		20 ℃	57	20.6
		30 ℃	57	23.4
	7일	10 ℃	60	16.6
		20 ℃	60	21.8
		30 ℃	60	22.7

2) 응력해석

2회에 나누어 타설하는 경우에 발생하는 온도응력이 허용인장응력을 초과하는 것으로 나타났다. 따라서 이 경우에는 온도응력의 발생으로 인한 온도균열이 우려되며, 시공할 때에는 피해야할 것으로 나타났다. 그러나, 구조물을 3회에 나누어 타설하는 경우에는 타설온도가 10℃일 때, 온도균열이 허용인장응력을 초과하지 않는 것으로 나타났다. 따라서, 교각 기초구조물은 현장시공여건을 고려해 3일 간격으로 3회에 타설하는 것이 바람직하며, 가능한 한 타설온도를 낮게 유지하는 것이 중요한 것으로 나타났다.

5.3.2 Box 구조물

본 해석에 수행한 해석모델은 기존 구체 콘크리트 위에 타설되는 6.2m×3.9m크기의 콘크리트 Box 구조물로서, 좌우대칭성을 고려하여 구조물의 반만을 모델링하였다. 이미 타설된 높이 2.0m의 구체콘크리트 전체를 한번에 타설하는 경우와 높이 2.0m까지 1차 타설을 한 후 나머지 부분을 타설하는 경우로 나누어 1차 타설과 2차 타설간의 타설간격을 12시간과 24시간의 두가지 경우로 나누어 해석을 수행하였다.



<그림 5-9> 대상 구조물의 형상

1) 온도해석

본 Box 구조물의 경우 타설블록의 높이는 최고온도상승에 거의 영향을 미치지 않는 것으로 나타났으며, 타설온도가 높아짐에 따라 최고온도도 상승하나 최고온도 상승량은 거의 같음을 알 수 있다. 또한 각 타설블록간의 타설간격도 최고온도 상승량에는 거의 영향을 미치지 않음을 알 수 있다. Box 구조물과 같이 벽체를 포함하는 콘크리트구조물은 시공이음에 대해 민감하므로 타설간격은 1차 타설블록의 수화가 완료되기 전에 다음 블록을 타설하는 것이 보다 합리적이다.

[표 5-10] 타설방법에 따른 최대온도 상승량 및 발생응력

타설 방법			최대 온도상승량	최대온도응력 (Kgf/cm ²)
분할타설	타설 간격	타설 온도		
전체타설	-	10 ℃	30	46.3
		20 ℃	30	39.9
		30 ℃	30	33.1
2회 타설	12 시간	10 ℃	30	25.6
		20 ℃	30	23.2
		30 ℃	30	20.4
	24 시간	10 ℃	30	26.0
		20 ℃	30	23.7
		30 ℃	30	21.1

2) 응력해석

[표 5-10]에서 보면 구조물 전체를 한번에 타설하는 경우는 피해야하며, 2회에 나누어 타설하는 경우에는 타설블록간의 타설 시간간격을 먼저 타설한 콘크리트의 수화가 완료되기 전에 다음 타설블록을 타설하여 외부구속응력을 줄이는 것이 바람직한 것으로 나타났다.

5.3.3 연구 결론

본 연구에서는 온도분포 및 온도응력해석 전용프로그램을 이용하여 실제 현장에서 매스콘크리트 구조물 시공시 보다 쉽게 접근할 수 있는 콘크리트의 타설블록, 타설높이, 타설온도 및 분할 타설시의 타설 간격 등을 포함하는 타설계획에 따른 온도 분포 및 온도응력을 평가함으로서 온도균열의 제어가 가능한 타설방부 수립에 대한 연구를 수행하였으며, 주요 결론은 다음과 같다.

- 1) 타설온도는 경화도중의 온도상승속도, 최고온도 및 온도강하속도에 큰 영향을 미치며, 이는 온도균열의 발생여부에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 따라서 콘크리트의 반죽온도는 타설방법과 함께 고려해야 한다.
- 2) 타설블록의 조절에 의해 약 25℃ 정도 온도상승을 감소시키는 것이 가능하며, 타설간격의 조절에 의해서는 약 6℃ 정도 온도상승을 감소시키는 것이 가능한 것으로 나타났다. 이와 같이 경화도중 발생하는 수화발열온도는 인장응력과 직접적으로 관계되기 때문에 사전해석에 의해 시공방법을 수립하여야 한다.
- 3) 전체 구조물을 한번에 타설하는 경우보다 2~3회 나누어 타설하는 경우에 최고 15kg/cm² 정도 인장응력이 감소하는 것으로 나타났다. 따라서 실시공시 온도균열이 발생하지 않는 경우 중 시공이음부가 적은 타설블록을 설정하여 시공하는 것이 합리적이며, 이와 같은 타설블록이 결정되면, 현장에서 쉽게 이용 가능할 것이다.
- 4) 타설간격에 대한 온도응력을 검토한 결과, 구조물의 형태에 따라 내부구속과 외부구속에 따라 차이는 있지만 전체적으로 타설간격을 조절함으로써 약 6kg/cm² 정도의 인장응력이 감소하는 것으로 나타났다. 따라서, 구조물의 형상을 고려한 해석적인 검토를 수행하여 온도균열이 발생하지 않는 타설간격을 설정하는 것이 가능하며, 또한 현장에서도 쉽게 이용 가능할 것으로 판단된다.

6. 결 론

매스콘크리트에서 발생하는 수화열은 콘크리트 품질에 지대한 영향을 미치므로 수화열 발생을 제어할 수 있는 방법들에 관한 많은 연구들이 있어왔다. 그러나 콘크리트에서 발생하는 수화열은 [표 6-1]에 나타낸 바와 같이 구조물의 두께뿐만 아니라 콘크리트의 재료, 현장의 여러 환경 영향인자 등에 영향을 받게되므로 일반적인 시공 규준을 정하기는 곤란한 것이 현실이다. 또한 서론에서 살펴본 각국의 시방조항에서도 알 수 있는 바와 같이 두께에 관한 기준치만을 제시하고 있다.

[표 6-1] 수화열의 영향인자

구 분	영향 인자	비 고
재료적 영향인자	- 단위시멘트량 - 혼화제의 종류 - 물결합재비 - 플라이애시 첨가비율 - 고성능 감수제	타설 1시간 이내 영향
환경적 영향인자	- 외기온도 - 상대습도	
기 타 사 항	- 구조물의 형상과 치수 - 연속타설시 타설 간격 - 거푸집의 종류 - 타설블록 및 타설 방법 - 타설시 온도 - 거푸집의 제거 시기	

본고에서는 매스콘크리트의 수화열 저감방법에 관한 기술적인 내용 환기를 위하여 기존의 몇 가지 연구사례에서 살펴보았다. 이들 연구사례들은 현장 조건 및 공사기간 등을 고려하여 적절한 수화열 저감방법을 적용함으로써 최적의 대안을 도출하는데 기본자료로 활용되길 기대하며, 보다 정확한 정량적 데이터 확보를 위해서는 온도해석, 시험시공 및 온도계측을 통한 대책 마련이 필요할 것으로 판단된다.

<참고문헌>

1. 김동규, “대형기초 콘크리트의 분할타설 방법을 고려한 수화열에 의한 온도균열 제어 대책”, 한국콘크리트학회논문집(2000년), 서울산업대학교, p.p 1169~1174
2. 박종보, “인천국제공항 여객터미널 전면고가 교량공사 시공방법 및 수화열대책”, 한국콘크리트학회논문집(1999년), (주)한진중공업
3. 박선영, “매스콘크리트의 수화열에 의한 온도응력에 관한 연구”, 석사학위논문 (1996년), 명지대학교
4. 차수원, “시공단계를 고려한 매스콘크리트의 수화열해석”, 한경대학교

소음 · 진동의 하자사례 고찰

고객지원팀 건축과장 김성욱

1. 서 론

최근 고층빌딩과 아파트의 거주성 및 효율성 문제는 인간 중심에서 시작되고 있다. 인구의 도시집중과 택지개발의 붐을 타고 국내 공동주택의 보급이 증가되면서 국민 중 절반은 공동주택에서 생활하는 실정이다. 이처럼 공동주택의 생활로 불편에 대한 개선의 요구, 경제적, 생활 수준 향상에 따른 쾌적한 주거환경요구 증대로 소음·진동에 대한 민원이 급속히 증대되고 있으며, 각종 건축물의 품질을 결정하는 중요한 인자로 작용하고 있는 실정이다. 건물의 가치는 신뢰성과 안전성, 급배수 시설의 효율성 및 여러 가지 인간 삶의 질과 업무 수행의 효율성에 관련된 유틸리티 집합체의 최적설계와 합리성에 의하여 결정된다. 이러한 아파트와 건물의 거주에서 발생하는 일상적인 소음/진동과 유틸리티 설비를 가동 유지시키는 시스템들은 건물구조와 유기적인 상관관계를 갖고 있다.

우리나라의 공동주택은 콘크리트 구조물로 벽체 및 바닥이 서로 연결되어 있는 벽식구조가 대부분이다. 이러한 콘크리트 구조물은 재료의 특성상 대화소리, 기계 설비 소음 등 공기를 매체로 전달되는 공기전달음에 대해서는 충분한 차단성능을 갖고 있다. 그러나, 콘크리트면에 충격이 가하여질 때 발생하는 고체전달음의 경우 콘크리트는 자체 진동의 감쇠(damping)능력이 매우 작기 때문에 뛰는 소리, 물건 떨어뜨리는 소리, 망치소리, 급배수관소리, 하수관 소리 등 미소한 충격과 진동원에 의해서도 큰 진동이 발생되며, 오랫동안 진동이 지속되는 현상이 나타날 수 있다. 현재, 초고층 아파트 오피스텔, 사무용 건물의 구조, 설비, 및 유틸리티 설계 엔지니어들에게 있어서 소음·진동에 대한 문제를 어떻게 해결할 것인가? 라는 문제가 중요한 화두로 대두되고 있다.

본고에서는 아파트 정화조실 과 전기실이 세대 구조체와 일체화된 지하1층 및 2층에 위치하고 있어 각종 기계장비의 가동으로 인해 발생하는 공기전달음 및 고체전달음 등의 소음·진동으로 세대에 영향을 끼친 민원의 원인분석 및 보수사례를 통하여 향후 발생할 수 있는 하자 및 민원을 미연에 방지하고, 추후 설계 및 시공시 반영토록 하기 위하여 소개하고자 한다

2. 공동주택 층간소음 관련 기준

현재, 국내법에는 공동주택 층간소음을 규제할 수 있는 기준이 없는 관계로 잦은 분쟁이 발생함에도 불구하고 명확한 책임소재 구분이나, 보상이 어려운 실정이다. 이러한 관계로 피해자가 경범죄 처벌법에 따라 가해자를 처벌 요청하거나 서로 말다툼을 하다 악화되어 법원에 소송을 제기하는 사태로까지 발전하고 있다. 이에 현재 국내외에서 적용되는 일반적인 소음관련기준과 향후 건교부 기준안을 아래와 같이 소개하고자 한다.

2.1 관련 국내법 및 규정

2.1.1 경범죄 처벌법

제 1 조 【경범죄의 종류】

다음 각 호의 1에 해당하는 사람은 10만원 이하의 벌금, 구류 또는 과료의 형으로 벌한다.

(인근소란 등) 악기·라디오·텔레비전·전축·종·확성기·전동기 등의 소리를 지나치게 크게 내거나 큰 소리로 떠들거나 노래를 불러 이웃을 시끄럽게 한사람

경범죄처벌법 시행령

제 2 조 【범칙행위의 범위 및 범칙금액】

법 제5조 제1항 및 제6조 제2항의 규정에 의한 범칙행위의 구체적인 범위와 범칙금액은 별표와 같다.

[별표] 범칙행위 및 범칙금액

제1조 제26호 악기·라디오·텔레비전·전축·종·확성기 (인근소란등) 전동기 등의 소리를 지나치게 크게 내거나 큰소리로 떠들거나 노래를 불러 이웃을 시끄럽게 한 사람은 30,000원

2.1.2 주택건설기준 등에 관한 규정

제14조 【세대간의 경계벽 등】

① 공동주택 각 세대간의 경계벽 및 공동주택과 주택 외의 시설간의 경계벽은 내화구조로서 다음 각호의 1에 해당하는 구조로 하여야 한다.

1. 철근콘크리트조 또는 철골·철근콘크리트조로서 그두께(시멘트모르터·회반죽·석고프라스터 기타 이와 유사한 재료를 바른 후의 두께를 포함한다)가

- 15 센티미터 이상인 것
2. 무근콘크리트조·콘크리트블록조·벽돌조 또는 석조로서 그두께(시멘트 모르타·회반죽·석고프라스터 기타 이와 유사한 재료를 바른 후의 두께를 포함한다)가 20센티미터 이상인 것
 3. 조립식주택 부재인 콘크리트판으로서 그 두께가 12센티미터 이상인 것
 4. 제1호 내지 제3호의 것 외에 건설교통부장관이 정하여 고시하는 기준에 따라 한국건설기술연구원장이 차음성능을 인정하여 지정하는 구조인 것
- ② 제1항의 규정에 의한 경계벽은 이를 지붕 밑 또는 바로 위층 바닥판까지 닿게 하여야 하며, 소리를 차단하는데 장애가 되는 부분이 없도록 설치하여야 한다.
- ③ 공동주택의 바닥은 각 층간의 바닥충격음을 충분히 차단할 수 있는 구조로 하여야 한다.

2.1.3 주택건설기준 등에 관한 규칙

제13조 【공업화주택의 성능 및 생산기준】

법 제45조 제1항 제1호의 규정에 의한 공업화주택의 성능 및 생산기준은 별표 6과 같다.

[별표 6] 공업화주택의 성능 및 생산기준

바. 음환경성능

1) 벽체의 차음성능:

한국산업규격이 정하는 건축물의 현재 위치에 있어서의 음압레벨차의 측정방법(KS F2809)에 의하여 측정하되, 공기전달음에 대한 벽체의 급별 차음성능기준은 다음 표와 같다.

(가) 외벽

급 별	음압레벨차(단위:dB)		
	주파수 125Hz	주파수 500Hz	주파수 2,000Hz
1 급	20이상	35이상	45이상
2 급	20미만 15이상	35미만 30이상	45미만 30이상
3 급	15미만 10이상	30미만 25이상	30미만 25이상

(나) 세대간 경계벽

급 별	음압레벨차(단위:dB)		
	주파수 125Hz	주파수 500Hz	주파수 2,000Hz
1 급	40이상	55이상	65이상
2 급	40미만 35이상	55미만 50이상	65미만 60이상
3 급	35미만 30이상	50미만 45이상	60미만 55이상

2) 바닥충격음의 차단성능:

한국산업규격이 정하는 건축물 현재 위치에 있어서의 바닥충격음 측정방법(KS F2810)에 의하여 측정하되, 바닥(최하층 바닥을 제외한다)의 충격음 차단성능기준은 다음 표와 같다.

(가) 중량충격원에 대한 기준

급 별	바닥충격음레벨(단위:dB)		
	주파수 63Hz	주파수 500Hz	주파수 2,000Hz
1 급	66미만	43미만	39미만
2 급	71미만 66이상	48미만 43이상	44미만 39이상
3 급	76미만 71이상	53미만 48이상	49미만 44이상

(나) 경량충격원에 대한 기준

급 별	바닥충격음레벨(단위 : dB)		
	주파수 63Hz	주파수 500Hz	주파수 2,000Hz
1 급	76미만	63미만	59미만
2 급	86미만 76이상	68미만 63이상	64미만 59이상
3 급	96미만 86이상	73미만 68이상	69미만 64이상

3) 급·배수설비의 소음방지성능:

한국산업규격이 정하는 소음도 측정방법(KS A 0701)에 의하여 측정하되, 급·배수설비의 소음이 주택 각 실에 미치는 소음도가 40dB(A)이하 이어야 한다.

2.4 건교부 층간소음 기준(안)

건교부에서 주택공사에 용역을 실시하여 입법예고 예정이나 환경부와 기준설정 의견 차이로 부처간 협의 중(2002년 12월현재)

구 분		경량 충격음	중량충격음	비고
건교부	최저기준(안)	성능레벨 =58dB	성능레벨=50dB	대체로 만족수준
환경부	최저기준(안)	성능레벨 =53dB	성능레벨=45dB	전반적인 만족수준

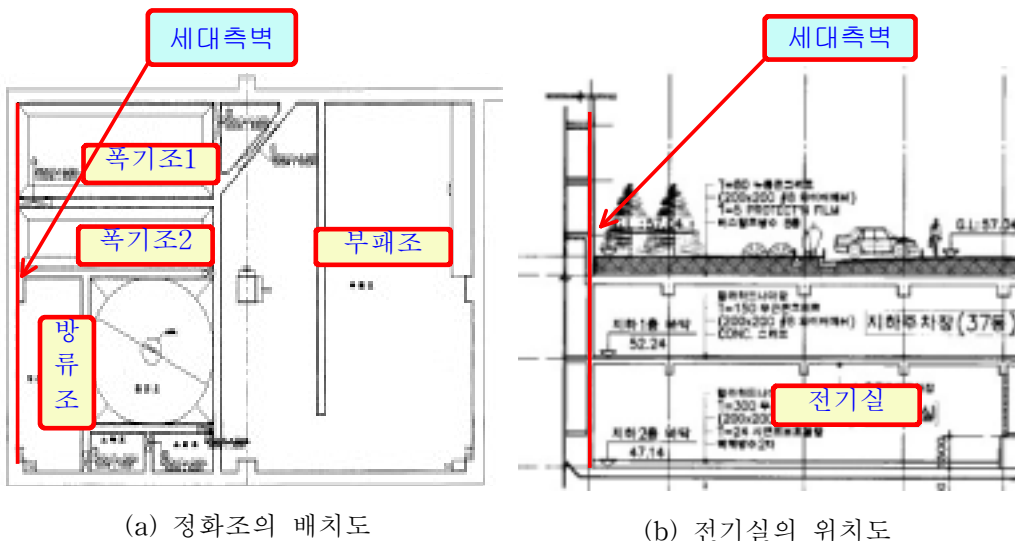
- * 입주시 시험실시후 기준 만족시 입주허용
- * 주택건설기준 등에 관한 규정 2003년 1~3월 사이에 법령 제정 후 2004년 상반기 부터 적용예정.

3. 소음 · 진동의 현황 및 원인 분석

3.1 현황분석

3.1.1 정화조실의 소음 · 진동

00아파트의 정화조실이 지하1층에 위치하고 있었으며, 아파트 세대측벽과 일체로 설계, 시공되어 정화조실내 기계장비의 진동, 소음과 폭기조, 방류펌프실의 소음이 구조체를 통하여 아파트 1층에서 6층 세대까지 전달되는 복합적인 요인으로 작용하고 있었다. 또한, 정화조실의 각종 기계설비 패드(pad)의 방진시설의 미비와 소음 · 진동에 대한 방지처리가 되어있지 않은 상태로 시공되어 있었으며, 특히, 브로워(blower)를 가동할 때 폭기조 내부에서 발생하는 공기방울에 의한 소음 · 진동은 구조체를 통하여 세대에 직접적으로 영향을 미치고 있음을 알 수가 있었다.



<그림 3-1> 소음 · 진동 발생 현황 분석도

3.1.2 전기실의 소음·진동

00 아파트의 전기실이 지하2층에 위치하고 있었으며, 변전실과 세대와의 구조체가 일체화 설계, 시공되어 전기실내의 변압기에서 발생하는 소음·진동이 구조체를 통하여 아파트 1층세대에 전달되고 있음을 알 수 있었으며, 소음·진동이 신경쓰일 정도로 발생하고 있었다.

3.2 소음진동의 원인분석

3.2.1 설계상의 원인

1) 건축구조 설계상의 원인

아파트의 정화조실의 구조체와 세대측벽 구조체가 분리되어 있지 않고 <그림 3-2>와 같이 일체화 설계, 시공되어 있어, 소음 및 진동의 전달음이 세대벽체의 구조체를 통하여 세대내부로 전달되는 가장 큰 원인이다.



<그림 3-2> 소음·진동 전달 경로 현황

2) 정화조 각실의 배치상의 문제점

정화조 각실의 배치에 있어 방류펌프실, 폭기조가 세대 측벽구조체와 접하게 설계되어 있어 진동전달음의 요인이다.

3) 설계도면 작성 미흡

가) 정화조실의 각종 기계설비 즉, 브로워(blower), 급배기팬, 감속기, 배관 파이프지지부분, 방류펌프 등의 방진 PAD, 방진스프링, 방진고무와 같은 방진, 방음시설의 상세도면 미흡으로 인하여 발생

나) 소음원의 원인인 브로워(blower)의 소음을 차단할 수 있는 방음시설의 미흡과 설계도면의 정확한 표기가 되어 있지 않았음.

4) 설계검토 미흡

가) 정화조의 상세도면을 검토시 시공 전문가의 소음·진동 발생방지를 위한 방음·방진시설에 대한 이해 및 도면검토 미흡

나) 설계자의 소음·진동에 대한 관심의 부족

5) 기계설비에 대한 도면사양 명시 부족

소음·진동 방지위한 기계설비 선택을 고려하여 도면에 장비사양에 대한 표기가 되어 있어야 한다.

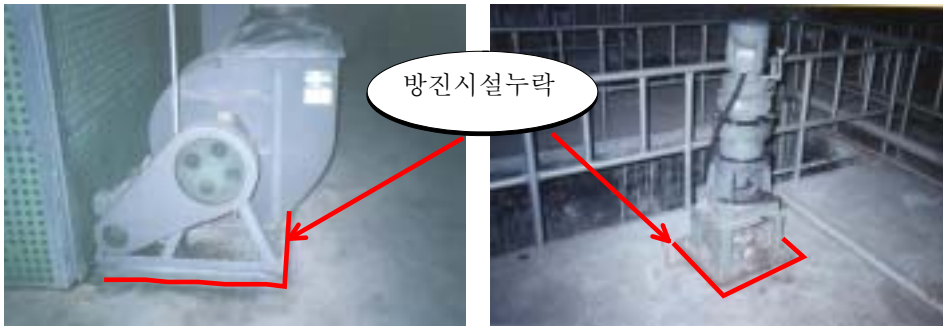
6) 정화조에 대한 시방내용 미흡

정화조실 기계설비에 대한 시방내용의 미비 및 규정 미준수로 인하여 발생

3.2.2 시공상의 원인

1) 방진시설의 미비

가) 정화조실의 기계설비 브로워(blower), 배기팬, 감속기 Pad부분과 바닥슬래브와의 진동전달음을 차단할 수 있는 방진스프링, 방진고무 설치 누락 및 미비로 인한 소음발생.



(a) 급/배기팬

(b) 감속기

<그림 3-3> 기계설비의 방진시설 미비현황

나) 브로워와 연결된 파이프와 바닥슬래브와의 지지부분이 방진시설 미설치로 인하여 가동시 진동전달음 발생(<그림 3-3(a)>)

다) 방류펌프의 배수파이프가 세대측벽에 고정되어 방류펌프 가동시 방류수의 진동·소음이 세대측벽의 구조체로 전달 (<그림 3-3(b)>)

라) 브로워(blower) 파이프의 진동·소음방지용 Flexible 미설치로 인하여 발생됨.



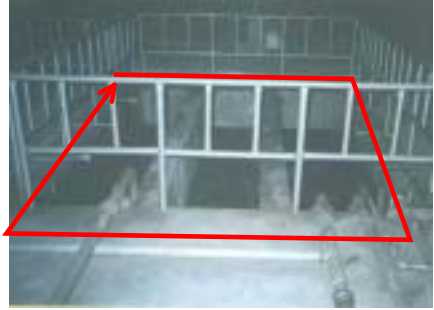
(a) 블로아 파이프 고정부분

(b) 방류펌프 파이프 고정부분

<그림 3-4> 파이프 지지고정부분 방진시설 미비현황

2) 폭기조 내부의 소음·진동의 원인

정화조의 소음발생의 주된 원인으로써 브로워 펌프의 공기주입시 폭기조 내부에서 발생하는 공기방울이 폭기조 벽면에 부딪치는 충격 및 진동이 구조체에 전달되어 세대로 전달되는 것으로 밝혀졌다.



<그림 3-5> 폭기조 현황사진

3) 방류조 내부의 소음·진동의 원인

방류조의 수중펌프 가동시 발생하는 소음 및 수류가 세대 측벽에 부딪치며 발생하는 진동음으로 세대에 전달되는 진동·소음의 원인이다.



<그림 3-6> 방류조 현황사진

4) 브로워 펌프실의 방음시설 미흡

도면에 방음시설에 대한 표기가 없으며, 가설용으로 설치되어 있어 근본적인 기계소음을 차단할 수 있는 역할을 할 수가 없으며, 소음이 노출되어 있어 소음발생 원인중의 하나이다.



<그림 3-7> 블로워실 방음시설현황

3.3 소음·진동민원에 대한 초기진단 및 해결부족

1) 기계설비 가동에 따른 문제점 사전점검 미흡

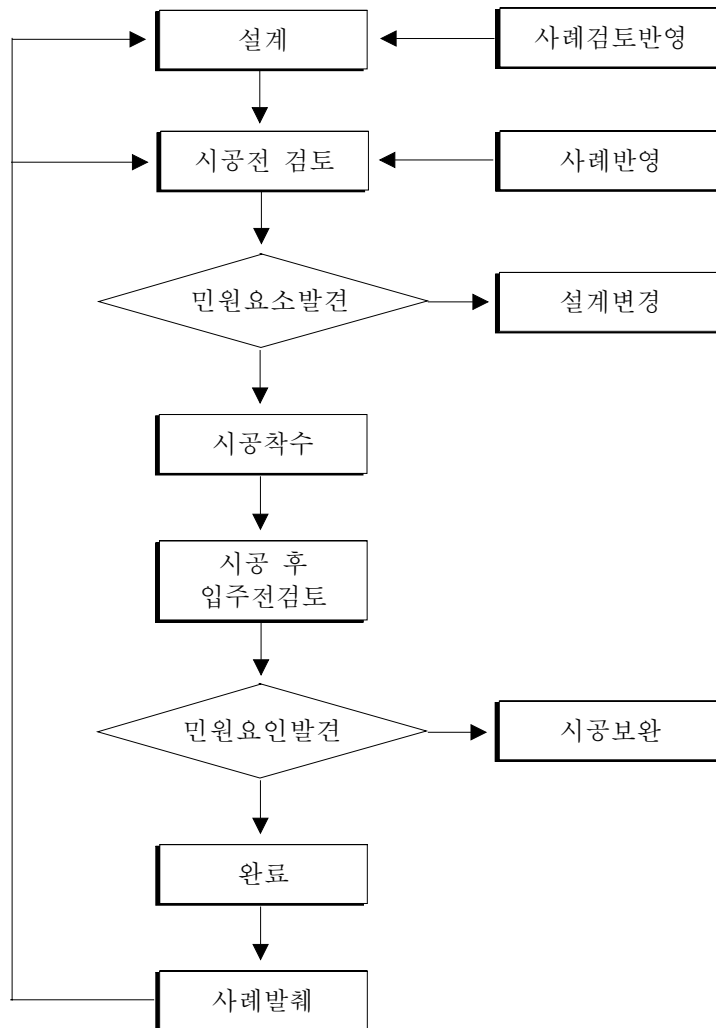
아파트 공사완료후 세대입주전 각종 기계설비 가동 및 점검에 따른 문제점 파악 및 인식부족

2) 인식부족

가) 아파트 입주전 문제점 예측에 대한 미조치 및 직원들의 인식부족 등으로 악성민원으로 발전되는 경향이 크다.

나) 도면에 의한 시공을 하였을지라도 근본적인 문제점이 될 경우에는 시공사의 책임이라는 인식부족에서 기인한다.

3) 민원방지사전점검 흐름도

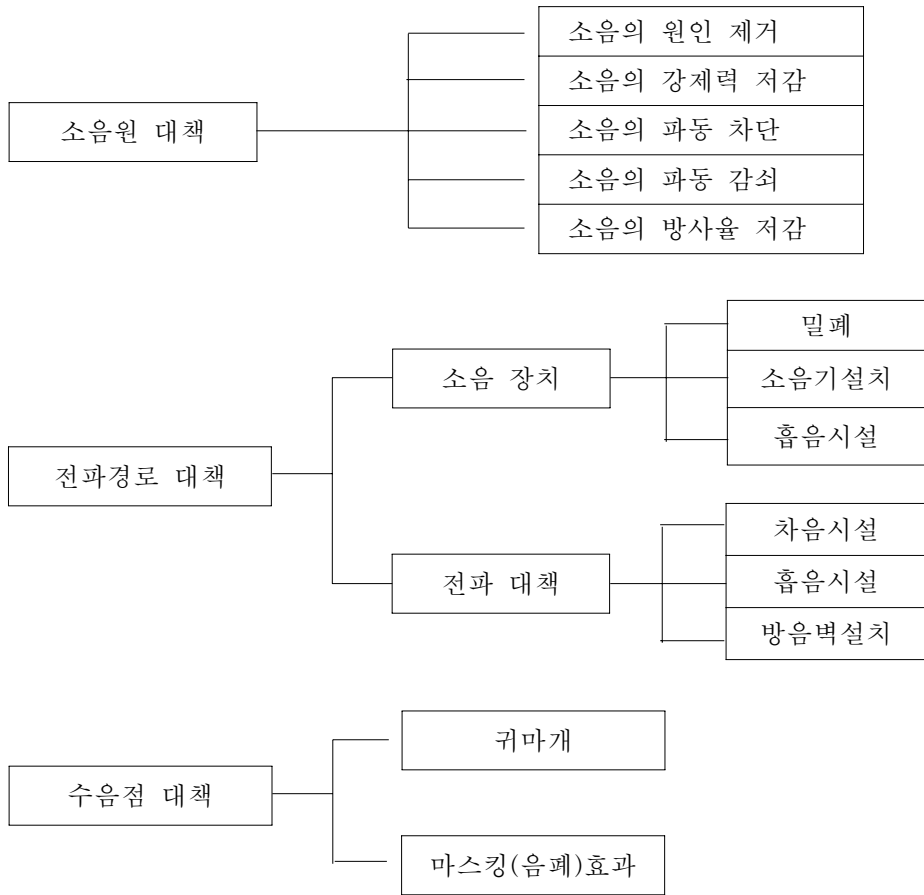


4. 소음 · 진동 방지대책

4.1 이론적 대책

소음방지대책은 크게 다음과 같이 3가지로 대별할 수 있으며, 세부대책은 다음 그림과 같다

- 1) 소음원 대책
- 2) 전파경로 대책
- 3) 수음점 대책



<그림 4-1> 소음방지 대책

4.2 설계상 대책

4.2.1 설계도면 작성 및 검토 철저

- 1) 설계단계에서부터 정화조, 변전실 등 소음·진동의 발생여부를 사전에 예측, 검토가 필요하다.
- 2) 시공전 기계설비에 대한 방음, 방진시설을 전문가에 의하여 검토후 대책을 수립해야 한다.
- 3) 소음·진동을 발생시킬 수 있는 실배치를 고려하여 설계에 반영해야 한다.

4.2.2 세대구조물과 분리설계

- 1) 소음·진동의 발생 원인이 되는 정화조 및 변전실 등의 시설물과 세대 벽체와의 분리 및 별도의 구조물을 설계하여야 한다.

- 2) 소음과 진동의 구조체 전달음을 차단할 수 있는 2중벽체를 고려하여 설계하여야 한다.

4.2.3 설계 기준 확립

- 1) 소음·진동의 원인이 되는 각종 기계설비에 관하여 방진, 방음시설에 대한 상세도면작성 및 기준시방을 수립하여 시공시 반영해야 한다.
예) 브로워(blower), 급배기팬, 감속기, 파이프지지부분, 변압기 등
- 2) 정화조실의 각종기계설비에 대한 사양을 도면에 명시하여야 한다.

4.2.4 각종 기계설비 선정시 고려사항

저소음, 저진동 기계설비를 고려하여 선정하여야 한다.

4.3 민원방지 대책

4.3.1 소음·진동에 대한 인식필요

- 1) 설계자 및 시공기술자의 소음·진동에 대한 민원의 급증과 사회적 문제로 대두되고 있음을 인지하여 설계시, 시공시 고려하여야 한다.
- 2) 입주전 소음·진동에 대한 문제점을 사전에 발췌 및 예측하여 민원으로 발전되는 경향을 방지하여야 한다.
- 3) 소음·진동으로 인한 손해배상 청구 및 원가상승의 요인, 회사의 불이익이 될 수 있다는 것을 인식해야 한다.

4.3.2 민원발생 방지

소음·진동에 대한 민원 발생시 정확한 원인분석에 따라 악성민원으로 발전하는 것을 방지하기 위하여 조속한 조치와 대책이 필요하다.

4.4 정화조실 방음·방진 보수사례

4.4.1 정화조 각종기계설비 방진시설

1) 브로워(blower) 펌프 방진

브로워는 중량에 비해 진동발생량이 크므로 부가하중 베이스를 사용하여 방진처리하며, 스프링의 씨정현상으로 진동이 전달되는 것을 막기 위하여 방진패드를 스프링 하부에 설치한다. 스



<그림 4-2> 블로워 펌프 방진

프링은 최소 50mm 이상의 처짐을 가질 수 있는 스프링을 선정하여 설치하여 진동에 대한 전달을 감소했다.

2) 급/배기팬, 감속기 방진

급/배기팬은 가동시 모터의 진동음이 슬래브에 전달되므로 급/배기팬 패드에 <그림 4-3(a)>와 같이 방진스프링 및 방진패드를 설치하여 진동을 저감할 수 있었다. 감속기의 방진은 감속기의 상부에 위치한 모터의 진동이 구조체로 전달되므로 감속기 고정베이스에 <그림 4-3(b)>와 같이 방진패드를 설치하여 감속기의 회전에 의한 회전모멘트를 막을 수 있는 별도의 장치를 설치하여 방진처리 하였다.



(a) 급/배기팬



(b) 감속기

<그림 4-3> 기계설비 패드부분 방진 현황

3) 파이프와 구조물과의 지지 부분 방진

브로어펌프에서 공기를 공급하는 파이프 진동 및 방류펌프의 방류시 수류에 의한 파이프의 진동이 구조체(슬래브, 벽체)를 통하여 세대에 전달되고 있어 각종 파이프 고정부분에 대하여 방진패드를 설치하여 진동전달음을 방지할 수 있었다.



(a) 파이프 슬래브 지지부분



(b) 파이프 벽체 지지부분

<그림 4-4> 파이프 지지부분 방진시설 현황

4.4.2 브로워(Blower)의 방음 대책

- 1) 브로워실은 소음원의 주된 원인이 되므로 별도의 방음실을 설치하여 소음전달 매개체의 역할을 완전히 차단한다.

(조적벽 + 내부 방음시설
(Glass Closs) 적용)

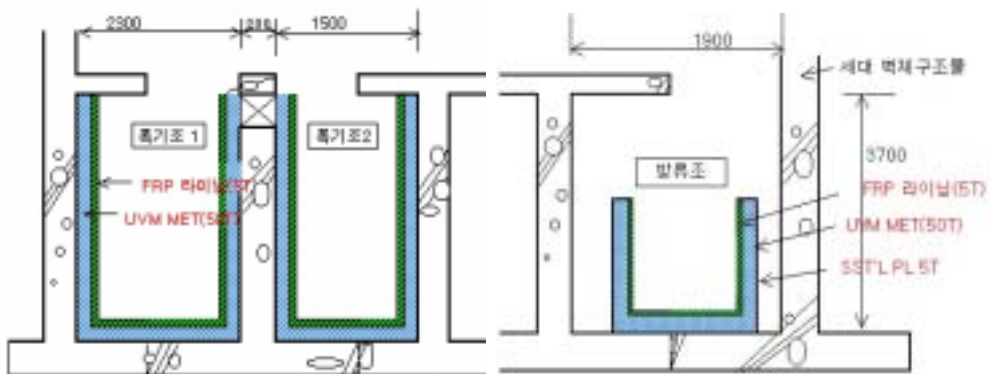


- 2) 브로워펌프의 소음이 구조체를 통과하여 세대에 영향을 미치지 않도록 별도의 브로워 펌프실을 구성하며, 브로워의 구동에 의한 열과 AIR를 공급하기 위해 급배기구를 구성 및 소음기를 설치하였다. 또한, 장비실 내부에는 흡음재를 사용하여 브로워 펌프의 소음이 장비실 내에서 공명하는 것을 방지하였다.

<그림 4-5> 블로워실 방음시설 현황

4.4.3 폭기조 소음·진동 방지대책

- 1) 정화조실의 폭기조는 소음·진동원의 가장 큰 원인으로 작용하고 있었다. 폭기조에서 발생하는 공기방울에 의한 진동 소음을 차단하기 위해서는 폭기조 내 바닥 및 벽체에 방진패드(50mm이상의 두께를 갖는 발포수지 계통의 고무)를 설치후 FRP(두께 5mm)로 마감한 2중 소음차단막을 설치하여 진동소음의 전달을 차단할 수 있었다.



(a) 폭기조 방진

(b) 방류조 방진

<그림 4-6> 폭기조, 방류조 방진시설 단면도

2) 조적벽체를 이용한 방진시설

입주전 정화조 사용을 하지 않을 경우, 즉 시공시 진동소음을 방지하기 위한 시설로는 바닥 및 벽체에 방진패드를 설치후 바닥은 콘크리트 타설, 벽체는 조적을 하여 2중벽체를 형성하고 진동소음의 전달을 차단하는 방법중의 하나이다.



<그림 4-7> 폭기조 내부 방진현황

4.4.4 방류펌프실 내부 소음·진동 방지대책

폭기조와 같이 동일한 방법으로 시공해야 완전한 진동소음을 차단할 수 있으나, 입주후 사용하는 정화조에서 보수공사의 어려움과 공사비의 증대로 인하여 수중펌프에서 발생하는 수류에 의한 진동음이 세대에 전달하는 것을 차단하기 위하여 방류조내에 별도의 수중펌프실 즉, 방진패드 및 방음 Box를 시공하여 벽 및 바닥에 전달되는 진동을 차단할 수 있는 차단막을 설치하여 진동음을 감소시킬 수가 있었다.

4.5 변전기실 방음, 방진 보수사례

4.5.1 소음·진동의 원인분석

전기실의 변압기에서 발생하는 진동음이 세대의 구조체를 통하여 세대에 전달되고 있었다. 당시 소음에 대한 방지시설로서 변전실 내부에 흡음시설(Glass Closs)을 하였으나, 진동음이 줄지 않았으며, 최초 소음측정치시 40dB(A)이상이 측정되었으며, 흡음시설후 소음측정치 39dB(A)로 측정되었다. 변전실 내부에서 발생하는 공명음은 어느 정도 감소시킬 수 있었으나 변압기 패드부분에서 전달되는 구조체 전달음이 계속 전달되어 세대에 영향을 미치고 있었다.

4.5.2 소음·진동의 방지대책

전기실의 내부소음은 감소시킬 수 있었으나, 진동음의 전달을 차단할 수 있는 방안으로는 변압기 패드부분에 진동음의 전달을 감소시킬 수 있는 방진패드를 <그림 4-8>과 같이 추가로 설치하여 35dB(A)이하로 저감할 수 있었으며, 실내소음 기준치 이내의 범위까지 줄일 수 있었다.



<그림 4-8> 변압기패드 방진현황

5. 맺음말

5.1 소음·진동측정 결과 비교분석

[표 5-1] 정화조실의 보수공사 전·후 소음측정결과

측정위치	측정조건	측정소음 (시공전)	발생소음 (시공후)
1층 세대안방	모든장비 가동	41.69	35.34
1층 세대안방	블로워만 가동	37.61	미측정
1층 세대안방	블로워가동, 밸브잠금	35.83	미측정
1층 세대안방	배수펌프만 가동	36.39	35.02
1층 세대안방	감속기만 가동	35.08	미측정
1층 세대안방	급배기팬만 가동	35.09	미측정
1층 세대안방	암소음	34.62	34.68

정화조실의 각종기계 설비에 대한 방진, 방음 및 폭기조, 방류펌프의 방진시설 후 측정한 결과 모든장비의 가동시 35.343dB(A)로 측정되었고, 배수펌프만 가동시 35.02dB(A)로 측정되었다. 배수펌프를 제외한 모든장비의 가동시 세대민원인이 기계설비의 가동을 인지하지 못하였으며, 배수펌프의 발생소음도 암소음과 0.34dB(A)로 차이가 없었음을 발견하였으며, 세대 입주민들을 대상으로 확인한 결과 시공전과는 진동/소음발생이 현저히 감소하였음을 알았으며, 생활하는데 전혀 불편이 없음을 알았다.

5.2 개선방향 및 고려사항

건물을 기획·설계 또는 시공, 유지관리에 이르기까지 소음·진동에 대한 철저한 대안 수립으로 입주후 발생할 수 있는 민원을 최소화 해야하며 민원을 해결하기 위한 공사비 증대 및 소송 등으로 인한 건설회사의 이미지 실추 등 여러가지 악영향을 사전에 방지하지 않으면 안된다. 이러한 의미에서 소음·진동에 대한 추후 개선방향 및 현장 시공시 고려사항을 다음과 같이 제안하고자 한다.

- 1) 설계도서 및 시방표준 및 기준 설정(각 업체별 표준안 마련)
- 2) 각종 기계설비에 대한 방진처리 도면 기준 확립
- 3) 소음·진동을 저감할 수 있는 공법 및 기술개발 필요

- 4) 기존 공동주택(아파트)에 대한 소음·진동 방지대책의 연구 및 공법개발
- 5) 신축건축물 시공시 소비자와 시공, 설계자의 소음기준에 대한 이해도모와 등급에 의한 기준설정으로 구매유형에 따른 만족도 차별화 실시
- 6) 시공시 부실시공 여지가 발생치 않도록 세심한 관찰과 인식이 필요
- 7) 시공자의 철저한 도면검토를 통하여 사후 발생할 수 있는 민원에 대한 방안 수립 및 보완대책이 필요
- 8) 각종 배관 및 전기배선기구, 기계설비, 화장실 환기구 등의 소음·진동을 저감할 수 있는 제품개발 및 개선이 요구
- 9) 공동주택의 현관출입문 및 각종 창호의 소음차폐성 증대
- 10) 공동주택 시공시 옥실벽체 등의 틈, 배관 슬리브 주위 밀실화로 소음전달을 차단
- 11) 발코니 확장시 세대 경계벽(비상탈출구) 및 발코니 바닥판 부위의 소음차단에 대한 고려 (층간소음 취약)

이와 같이 기획, 설계 및 시공, 유지관리상 개선할 점은 지속적으로 노력해야 하나, 공동생활 규범 마련과 공동체 생활문화 정착이 우선시 되어야 궁극적인 문제해결이 될 수 있을 것이라 판단된다. 또한, 소음·진동부분의 문제점 사전파악 및 예측을 통한 정밀시공과 엔지니어들의 인식전환, 설계 및 구조변경에 의한 사전 예방과 공법개발적용이 시급한 실정임을 인식해야 하며, 이러한 사항들을 고려할 경우 공동주택의 세대민원을 방지할 수 있고, 쾌적한 주거환경을 추구할 수 있을 것이다.

고교각 Slip Form 적용사례

익산-장수간 고속도로 9공구 현장소장 조승기

토목과장 이덕재, 토목대리 정헌배

건설기술연구소 토목과장 육일동

1. 서 론

1.1 공사 개요

본 공사 노선은 정부가 추진하고 있는 제3차 국토종합개발계획의 일환으로 국토의 균형발전을 위한 교통수단간 수송효율성을 향상시키기 위한 국가 고속간선 교통망 구축 사업인 7×9의 격자형 간선교통축에서 동서 7축에 해당되는 노선으로 전주-함양간 고속도로 4차선을 신설하는 공사이다. 본 노선은 총연장 61km에 이르며 10개 공구로 분할하여 공사를 수행하고 있다. 당사가 수행하는 9공구의 총연장은 6.26km로 춘송교를 포함한 교량 4개소(1.83km), 터널 1개소(930m), 토공구간(3.5km)로 구성되어 있다.

본 현장의 교량중 춘송교는 최대 교각 높이가 73m이며 최대 경간은 70m에 달하는 장대교량으로 교각시공공법은 당초 Climbing Form공법으로 계획되었으나, 공사기간과 안전관리 측면을 고려하여 최근 장대교량의 고교각에 많이 적용되고 있는Slip Form 공법으로 변경하여 공사를 수행하고 있다. 본 고에서는 당 현장 춘송교에 현재 적용하고 있는 Slip Form 공법에 관한 일반사항과 공사 수행 중 경험한 기술 내용을 소개하고자 한다.

1.1.1 공사 현황

- 공 사 명 : 익산-장수간 고속도로 건설공사 9공구
- 위 치 : 전라북도 진안군 진안읍 죽산리(익산기점 47+640km~53+900km)
- 연 장 : 6.26 km
- 공사금액 : 112,083 백만원
- 공사기간 : 2001. 11. 22 ~ 2006. 12. 31
- 발 주 처 : 한국도로공사

1.1.2 춘송교 제원

- 교량형식 : Steel Box Girder
- 교각형식 : T형중공식 사각기둥
- 교량연장 : $6@60 + 60 + 5@70 + 60 + 2@60 + 55 + 45 = 1,050\text{m}$
- 교량폭원 : 12.6m(2차로) 상·하행선 분리
- 상부공가설 공법 : I.L.M(연속압축공법)
- 교각가설 공법 : Climbing Form에서 Slip Form으로 변경시공

<그림 1-1> 종단면도

<그림 1-2> 횡단면도

2. 슬립폼(Slip Form) 공법

2.1 슬립폼 공법의 연혁

슬립폼 공법은 콘크리트 타설의 진행과 더불어 거푸집을 연속적으로 이동시키고, 그 동작을 반복하여 균일한 형상으로 시공이음 없이 일체 구조물을 시공하는 거푸집공법이다. 본 거푸집 공법의 최초 사용 년대는 확실하지 않으나 1910년을 전후하여 겨울이 길고 여름이 짧은 북유럽(스웨덴)에서 처음 시작되었으며 당시에는 Sliding을 위해 인력 조작의 Screw Jack을 사용하였으나, 1940년 중반 이후 유압 Jack이 도입됨으로서 본 공법이 활성화되기 시작하였다.

유럽에서 활용되던 슬립폼은 미국에서 사회간접자본시설의 대대적인 발주에 따라 다시 미국시장을 공략하게 되었으며 이를 계기로 미국, 유럽, 일본 등지에서 상당한 기술축적이 이루어졌으며, 국내에 처음 도입된 시기는 1960년 중반 Cement Silo 건설에 일본 기술진으로부터 처음 도입된 이래 1971년에는 정부종합청사 건설에 적용한 바 있다. 최근 들어 장대 현수교 및 사장교 시공, 대형 사일로 등의 시공이 많아짐에 따라 슬립폼 공법 적용이 활발해졌으며 상당한 기술의 축적이 이루어졌다.

2.2 슬립폼 공법의 적용범위

- 1) 교량 : 초고소화 Pier, 현수교 및 사장교 주탑 등
- 2) 사일로, 굴뚝, 탑 및 건축공사의 코아부
- 3) 기초 : 케이슨
- 4) 불규칙 단면 : 최근 기술력의 발달로 가능해짐.



<그림 2-1> 교량 부분



<그림 2-2> 굴뚝 부분



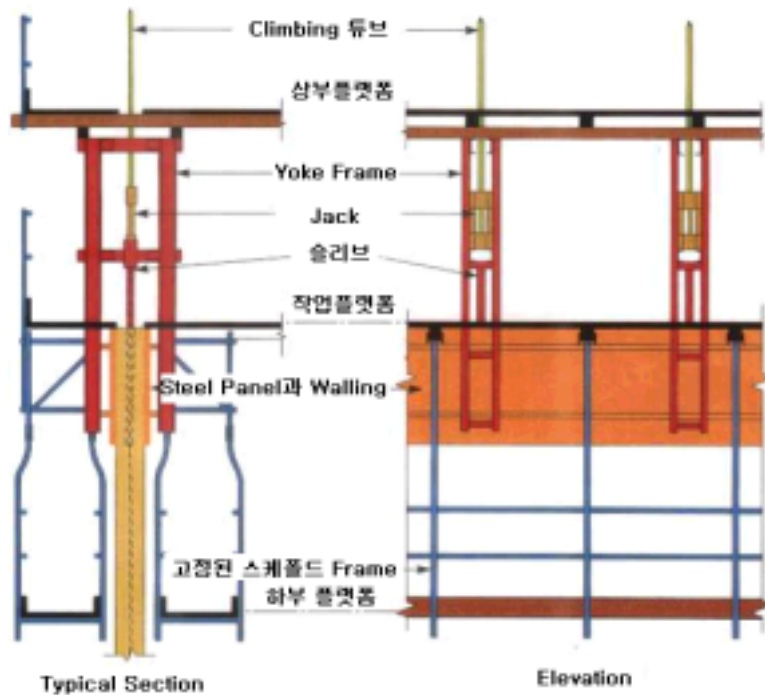
<그림 2-3> 사일로 부분



<그림 2-4> 사교장 주탑 부분

2.3 슬립폼의 구성

슬립폼은 크게 작업대 부분 및 폼 상승장치로 크게 나눌 수 있으며 각 부분의 용도 및 장치를 설명하면 다음과 같다.



<그림 2-5> 슬립폼 구성도

2.3.1 작업대(Deck)

작업대는 다음과 같은 상부 작업대, 중간 작업대, 하부 작업대로 구성된다.

1) 상부 작업대

(Top Deck)

슬립폼 작업대는 2층 또는 3층으로 이루어지게 되는데 통상적으로 교각용

은 3층으로 이루어진다. 이때 최고 높이에 있는 작업발판을 상부 작업대라고 하며 수직철근 작업 및 콘크리트 공급을 위한 공간으로 용도는 다음과 같다.

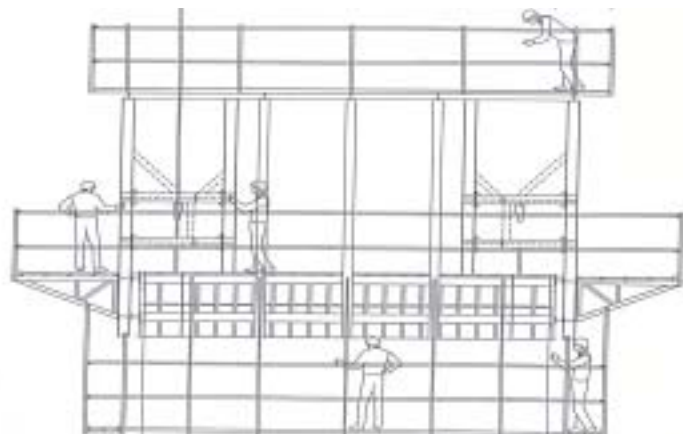
가) 수직 주철근 조립

철근, 매입물 등의 자재 야적

나) 버킷에 의한 콘크리트 타설

기상여건에 대비한 천막 설치

다) Form Work Tube 및 프레임 설치



<그림 2-6> 슬립폼 작업대 작업 개요도



<그림 2-7> 콘크리트 사일로



<그림 2-8> 콘크리트 분배기

- ① 콘크리트 사일로 : 상부작업대에 최상부에 설치되어 콘크리트 운반 버킷에서 콘크리트를 제공받아 분배기로 보내주는 역할을 한다.
- ② 분배기 : 콘크리트 사일로에 공급된 콘크리트를 작업대에 설치된 호퍼에 분배 공급해 주는 시설로 콘크리트 사일로 하단에 설치되어있다.

2) 중간 작업대(Working Deck)

콘크리트 타설과 양생 체크, 철근 작업, 잭킹 작업 등 실질적인 작업이 일어나는 작업발판으로 데크의 높이는 폼판넬의 상부와 동일하며, 작업대에서 이루어지는 작업내용은 다음과 같다.

- 가) 콘크리트 타설 및 다짐 철근 조립
- 나) 각종 매입물 매설 단면 변화 조정용 스펀들(Spindle) 조정
- 다) 콘크리트 경화 정도 확인 및 폼 상승 속도 조정



<그림 2-9> 중간작업대 전경



<그림 2-10> 철근 Guide

3) 하부 작업대(Hanging Deck)

하부 작업대는 폼패널로부터 양생되어 탈형 된 콘크리트 면을 미장하고 폼 상승 상태 등을 관찰하기 위해 와이어로프 또는 사각파이프를 이용하여 중

간 작업대 하부에 설치된다. 폼 상승이 진행됨에 따라 노출되는 콘크리트의 표면 마감처리가 주 작업내용으로 교각 외부 주위 전체와 내부 중공부 전체에 와이어로프로 매달아 설치되며 하부 작업대에서 이루어지는 작업내용은 다음과 같다.

가) 노출면 마감처리

나) 매입물 노출 확인

다) 단면 변화 조정용 스피들(Spindle) 조정 및 운영

2.3.2 유압잭(Hydraulic Jack)

슬립폼을 상승시키기 위한 장치로서 잭 용량은 크게 6톤, 12톤을 사용하고 있으며, 슬립폼의 자중과 작업하중 등을 고려하여 적절한 수량 및 위치를 설정한다. 잭 설치 시에는 잭 상호간의 수평을 유지할 수 있도록 설치해야하고, 잭의 1회 상승 스트로크는 일반적으로 25mm이다.



<그림 2-11> 철근 배근



<그림 2-12> 유압잭

2.3.3 클라임 로드(Climb Rod)

클라임 로드는 일반적으로 유압잭 용량에 맞춰 6톤용과 12톤용이 사용된다. 클라임 로드에는 콘크리트가 부착되지 않도록 조치하여 시공완료 후 클라임 로드를 인발하여 재사용 및 매립하는 방법이 있다. 그리고 클라임 로드는 1개의 길이가 3~4m이며, 나사식으로 연결하여 사용한다.

2.4 슬립폼 공법의 특징

2.4.1 일반적인 특징

1) 슬립폼은 기존의 슬라이딩 폼의 일종으로 시공성, 안전성이 크게 개선된 공

법이다.

- 2) 초기 설치작업에 대한 투입시간이 많이 필요하다.
- 3) 폼은 일체식이며 유압잭에 의해 자주식으로 이동된다.
- 4) 24시간 연속작업이 가능하다.
- 5) 높거나 반복되는 대형구조물에 적용성이 우수하다.
- 6) 현대적인 슬립폼은 형상이 복잡한 구조물에도 적용 가능하다.

2.4.2 슬립폼 공법의 장단점

	장점	단점
시공성	- 시공속도가 빠름 (1일 상승높이 : 1.5~3.0m) - 24시간 연속작업이 가능하여 공기단축 효과 우수 - 대형공사 및 고소작업시 유리 - 연속시공으로 양생기간이 필요치 않음. - 균일 단면구조물일 경우 완료시까지 폼이 추가 투입되지 않아 공기단축, 경제성이 극대화됨. - 공정별 투입인원이 고정되어 과투자 손실이 감소 - 폼 및 콘크리트 타설장비 외의 별도 장비가 필요하지 않음. - 폼타이 볼트 등의 매입물이 필요 없음.	- 계절변화에 따른 온도변화, 기상조건에 민감 - 규칙, 변화 단면일 경우 공기 추가가 불가피 - 잭 관리, 유압 관리 등에 대한 숙련공이 필요 - 초기 폼 제작 및 조립비용이 고가 - 폼 해체작업시 고소작업이 불가피하며 해체장비, 해체작업방법 등에 대한 세심한 주의가 필요
품질관리	- 연속 타설 작업으로 시공조인트가 없어 내구성이 우수 - 주철근 간격, 수량 및 피복관리 등에 대한 정밀시공이 가능 - 건조 수축에 따른 큰 균열이 발생하지 않음	- 연속작업에 의한 노출표면이 불량해질 수 있음 - 기온변화에 따른 폼 상승(Slip up) 속도를 제어해야 함 - 상승속도의 불균일로 인한 콘크리트면의 색깔차이, 무늬가 발생할 수 있음 - 철근에 다짐 진동이 전달되어 기타설된 콘크리트의 부착력이 감소 - 강우시 콘크리트 품질관리가 어려우며 손실이 많다. - 구조물 중간부분이 비어 있는 경우 내부 콘크리트면 관리가 필요

안전성	- 경사 및 단면 처리가 상승 중 동시에 이루어지므로 작업의 안전성이 우수 - 모든 작업이 고정된 작업대에서 이루어지므로 안전성이 향상되고 현장에서 부산물이 줄어 안전사고 및 환경 오염 방지 - 초기투자만으로 고소작업에 대한 안전성 확보 및 안전시설비 절약이 가능	- 구조물 단면변화(교량 Coping 등의 단면치수 확대)시 브라켓 고정 등의 고소 작업상황이 발생 - 폼 해체작업시 고소작업에 의한 추락 위험에 작업자가 노출
-----	---	--

2.4.3 거푸집 공법과의 비교

구분	공법	단계적 시공			연속적 시공
		일반거푸집 공법	대형패널공법	이동식 거푸집공법 (Climbing Form)	활동식 거푸집 공법 (Slip Form)
시 공 방 법	비계는 지상에 조립 설치 거푸집은 단위거푸집(높이3~5m)을 조립해 채하면서 구조물을 상방향으로 축조해 나가는 공법	단위거푸집을 대형화(높이 3~4m)하고 블록화된 조립거푸집을 크레인으로 들어올려 설치하는 공법, 발판과 일체로 되어 독자적인 상승구조를 가진 이동식거푸집	거푸집(높이2~4m)과 발판이 일체로 가설된 Center Tower를 이용해서 이동 상승해 나가는 방법으로 지상의 비계설치가 불필요	거푸집(높이1.0~2.5m) 탈착을 하지 않고 콘크리트를 타설하면서 연속적으로 활동 상승해 나가는 공법	
장 점	- 일반적으로 사용하는 방법으로 시공경험이 풍부 - 특별한 기술자 불필요하고, 콘크리트 양생관리 용이		- 연직도 확보 및 수정이 가능 - 장비 및 작업인원이 공종별 필요에 따라 투입가능, 소요작업 인원이 적다. - P/T 적용 교각의 Sheath선형 유지 및 고정가능	- Joint처리가 불필요 - 대량공사시공에 유리 - 야간작업가능, 연속시공, 양생기간 불필요로 공기단축 - 시공속도 빠르므로 Form 투입을 적게 할 수 있다.	
단 점	- 공기가 장기간 소요(소요강도 후 거푸집 해체) - 대량의 발판 지보공 필요 - 안전사고 위험성이 크다 - 교각 높이에 제한 - 미관불량(시공이음 과다) - 시공성 불량(교각이 높을수록 비계 및 거푸집설치)		- 야간작업 곤란 - 시공Joint처리 필요 - Lot별 시공, 양생기간 필요 - Form설치가능 높이까지 조정 - Lot 선시공 - 슬립폼에 비해 많은 크라이밍폼이 필요	- 연직도 확보 및 수정곤란 - 장비 및 작업인원의 고정적 배치, 숙련된 작업인원 필요 - P/T적용 교각의 Sheath 선형 유지 및 고정 곤란 - 불규칙단면시공 불리	
시공 실적고	40~50m	60m	200m	200m	
시공 실적	일반적으로 사용	서울외곽순환도로 (안양동교)	올림픽, 팔당대교 주탑	중부내륙5공구 (중원대교 외)	

2.5 시공 방법

2.5.1 시공 관리

1) 콘크리트 타설

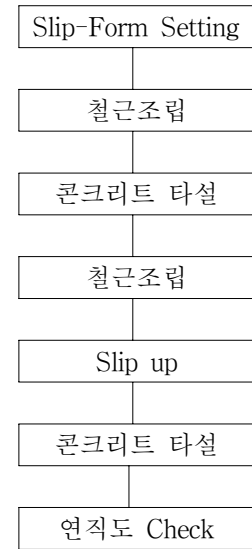
가) 콘크리트 타설은 균일하게 15~20cm(통상적으로 20cm) 두께로 한다. 콘크리트 타설은 1시간 이내 이어야 하고 형틀에는 콘크리트가 항상 일정 높이에 있도록 유지해야 한다.

나) 콘크리트 타설에서 다짐은 매우 중요하다. 하지만 진동기를 지나치게 깊게 관통시키면 폼 밑에 있는 콘크리트와 철근의 부착강도를 떨어뜨리게 되는 결과를 초래할 수 있으므로 주의해야 한다.

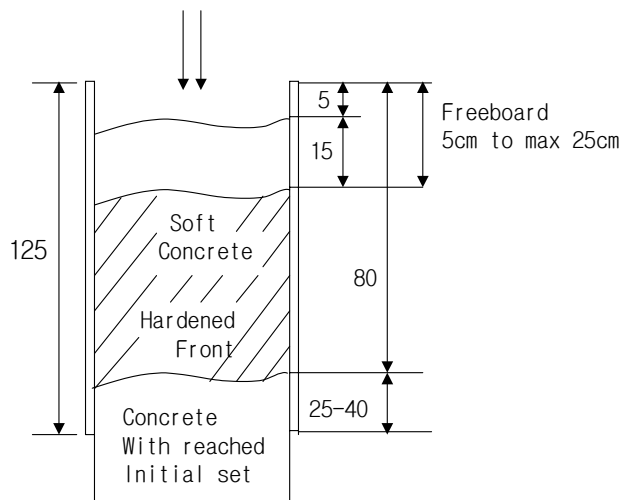
다) 작업대 위에 남겨진 콘크리트는 굳어져 타설해야 하는 형틀속으로 밀려들어가는 경우도 있으므로 테크와 분배기를 항상 청결한 상태로 유지해야 한다.

라) 폼에서 경화 콘크리트의 양은 전체 1.2m에서 25~40cm 이상이 되어야 한다. 굳은 콘크리트의 높이가 25~40cm를 미달하면 상승속도를 감소시켜야 하고, 25~40cm를 초과하면 상승속도를 증가시켜야 한다. 상승속도를 증가시키는 것이 불가능하다면 타설층의 두께를 감소시켜야 한다.

마) 콘크리트 타설시 콘크리트 분배용 슈트를 사용하여 슬립폼 내에 균일하게 타설될 수 있게 하고, 콘크리트가 작업장내에 튀지 않도록 주의하여 주입한다.



<시공 순서도>



<그림 2-13> 콘크리트의 일반적인 타설 형태

2) 콘크리트 양생

콘크리트 타설 후 5~6시간이면 타설 된 콘크리트는 폼에서 탈형되기 때문에 양생은 매우 중요하다. 그러므로 하절기에는 직사광선은 피하기 위해 시트를 치고 살수, 양생하여야 하며 동절기에는 동결을 막기 위해 단열재를 사용하여 양생한다.

3) 콘크리트 먼처리

가) 잭의 1 스트로크 25mm이며 약 10회의 스트로크 후 콘크리트를 타설하며 1회 콘크리트 타설높이는 약 200~250mm 정도이다.

나) 콘크리트의 경화속도에 따라 상승시간(Slip up time)을 결정하며 일반적으로 1일 기준 2.5~3m의 시공이 가능하다.

다) 폼 상승 후 생성된 콘크리트 표면이 매끄럽지 못한 부분은 미장공을 배치하여 미장처리용 하부 작업대에서 주걱, 붓, 시멘트, 양생제 등으로 미장처리한다.

4) 연직도 측정 관리

가) 시공하고자 하는 교량 및 교각의 높이가 높을 경우 연직도 관리에 세심한 주의를 기울여야 한다.

나) 슬립폼에 연직도 측정용 타겟을 설치하고 교각하부에 연직용 레이저를 설치하여 교각의 연직도를 측정한다.

다) 교각의 뒤틀림이나 기울어짐을 방지하기 위하여 슬립폼 계측장치와 연직 레이저를 설치하여 시공시 실시간 측정을 가능하게 하고 1일 2회 정도 측정 데이터와 비교하여 슬립폼 운영상 발생할 수 있는 교량 및 교각의 변형예방에 만전을 기한다.

5) 우천시 콘크리트 타설

우천시 콘크리트 타설 작업 때는 슬립 폼 기둥부에 빗물받이용 철판을 설치하여 빗물의 유입을 방지하고 콘크리트 공급용 사일로에는 빗물 침투방지용 덮개를 설치한다.

6) 폼 상승(Slip up) 속도 결정

폼은 타설된 콘크리트가 탈형되어도 붕괴되지 않을 만큼 경화되었을 때 상승시킨다. 그러므로 상승속도는 경화속도에 의해 결정된다. 대체로 타설 후 30~60분이 지나면 상승시키게 되며, 조강제나 지연제를 사용하여 필요에 따라 상승속도를 조절할 수도 있다. 또 콘크리트는 날씨의 영향에 따라 경화시간이 변하게 되므로 하절기나 동절기 등 계절에 따라서도 상승속도는 차이가 난다. 하절기에는 경화속도가 빠르므로 탈형된 콘크리트에 살수 및 직사

광선 차단막을 사용하여 수분의 증발을 막아 적절한 상승속도를 유지하도록 한다. 동절기에는 콘크리트가 하절기에 비해 경화속도가 늦으므로 조강재와 보온재를 사용하여 일정한 상승속도를 유지하도록 한다.

가) 상승(Slip up) 속도

폼의 상승속도는 시간당 10~12.5cm를 기준으로 하되 기온과 콘크리트 경화속도에 따라 조절한다. 작업계획 수립 시 상승속도는 레미콘 수급, 철근 반입 및 설치시간 등 현장의 제반 여건을 고려하여 계획하여야 한다.

나) 상승 속도 기준

상승 속도는 구조물의 강도와 형상에 따라 차이가 있지만 일반적인 속도는 [표 2-1]과 같다.

[표 2-1] 슬립폼 공사진행 속도

대기 온도	형틀 높이	1일 상승량	1시간 상승량
30℃	1,250mm	4m	17cm
20℃	1,250mm	3m	12.5cm
10℃	1,250mm	2.5~3m	10~12.5cm

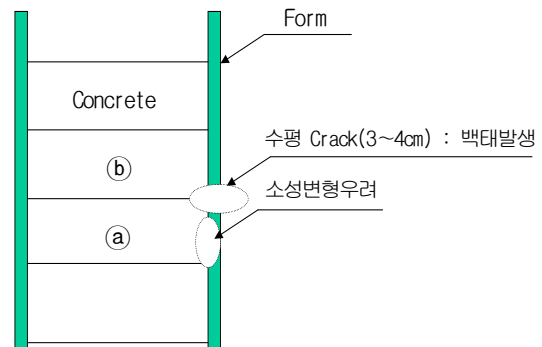
2.5.2 시공 단계별 품질관리

1) 철근조립

주철근은 설치되었을 때 바람이나 외부의 충격에 영향을 받지 않도록 상부 작업대에 <그림 2-10>과 같은 Guide Frame을 설치하고 주철근 위치에 철판으로 형판구멍을 제작하여 주철근의 간격 및 피복두께를 유지한다.

2) 콘크리트 타설

동일한 시공여건 하에서도 Slump치에 따라 콘크리트의 응결시간이 달라지므로 균일한 Slump치를 유지하는 것이 수평 Crack이나 표면의 거칠기를 최소화시키는 방법이다. Slump치가 불규칙할 경우, 예를 들어 <그림 2-14>와 같이 콘크리트 타설완료 후 Slump치에 의해



<그림 2-14> 콘크리트 타설 관리

응결시간이 ①보다 ②가 빠른 경우 ①의 응결시간이 지연되어 Slip up이 늦

어지면 Slip Form에 부착력이 증가하여 수평 crack이 발생할 수 있으며, 경도계로 콘크리트 타설면에서 약 90±10cm정도 위치의 응결상태를 확인 후 Slip-up하기 때문에 ㉠에서 소성변형(배부름 현상)이 발생한다. 따라서 Slump치 관리는 Slip Form의 품질관리에 가장 커다란 영향을 미치므로, 당 현장에서는 슬럼프 관리에 최선을 다하고 있다.

3) Slip up

거푸집 하부의 콘크리트가 내부에 설치된 콘크리트의 자중과 기타 외력을 지지할 수 있는 최소강도에 도달되었을 때 실시하며, 상승속도는 대기온도, 습도, 바람 등 기상조건과 콘크리트 타설온도, Slump 등 콘크리트의 성질에 따라 변화한다. 일반적으로 Form내부의 타설된 콘크리트가 약 1/4정도 초결된 상태라야 하며 굳지 않은 콘크리트가 90±10cm로서 60cm이하에서는 Slip up하면 안된다. Slip-up이 완성된 후 수평, 수직을 주기적으로 검사하여 이상유무를 확인 후 작업을 진행해야하며, 폼 상승시 콘크리트 초기 강도에 의한 시공면 분석자료는 다음의 [표 2-2]와 같다.

[표 2-2] 콘크리트강도와 시공면의 상태

콘크리트 강도	분 석 결 과
1.75 kgf/cm ² 이하	콘크리트 폼판넬 아래로 흘러내린다.
1.75kg/cm ² ~10kg/cm ²	최적조건으로 상승이나 표면마감처리 양호
10.0kg/cm ² ~35.0kg/cm ²	다소 문제 발생(충지 못한 표면 마감처리)
35.0kg/cm ² 이상	벽체가 얇을 경우 슬립폼이 일체로 움직이거나 균열 발생

4) 마감 및 양생

마무리면의 재손질에 따라 콘크리트 표면의 내구성이 저하될 우려가 있다. 따라서 마감을 위한 달비계를 설치하고 피막 양생제(Curing Compound)를 사용하였다. 동결기나 혹은 갑작스런 기온 급강하가 예상되면 보온대책을 강구하여 대기온도차 및 수화열에 의한 콘크리트 Crack을 방지한다.

3. 현장 적용 및 결과

콘크리트의 경화도는 Slip Form 공법 적용에 가장 큰 영향을 주는 인자이며, 일반적으로 타설 후 9시간 경과 후 콘크리트가 탈형됨에 따라서 약 9시간 동안의

양생강도가 중요한 의미를 가지므로 콘크리트의 응결시간을 정확히 파악하여야 한다. 또한 콘크리트 타설 후 Bleeding 현상에 따른 Laitance를 제거해야 하므로 Bleeding을 최소화할 수 있는 최적의 Slump치를 설정해야 한다.

3.1 현장 계측 관리 및 Slip Form 상승

전술한 콘크리트의 응결시간은 거푸집을 안전하게 탈형할 수 있는 일정량의 경화도를 갖게 되는 콘크리트의 경화시간으로 Slip Form 공법적용에서 시공속도 및 품질을 결정하는 중요 요소이며, 콘크리트의 응결시간은 동일배합 콘크리트 사용시 대기온도 및 습도에 영향을 받게되며 대기 온도의 영향이 가장 크게 작용한다. 그러므로 당 현장에서는 보다 정확한 상승시간 결정을 위하여 일반적으로 사용하는 관입저항봉(경도계)시험방법 뿐만 아니라 콘크리트의 응결시간에 영향을 주는 대기 온도를 계측하여 대기온도와 콘크리트 경화도 관계를 계측하여 Slip up 시기를 판단하는 자료로 활용하였다. 다음 표는 현장의 대기온도와 경도계시험에서 얻은 계측결과와 Slip up 시간의 관계를 나타낸 것이다.

[표 3-1] 현장계측에 의한 Slip Form의 상승 속도 (Slip Form height : 1.2m)

구분 교각No.	측정기간	대기온도 (℃)	1회 평균 상승높이(cm)	1회 평균 상승속도(hr)	평균 탈형 시간(hr)	경 도 계 (kg/cm)
P2	02. 09. 05 ~ 02. 09. 14	15~20	31	2시간13분	8.88시간	29.3/66.8
		20~25	30	2시간10분	8.67시간	30.1/55.9
		25~30	31	2시간01분	8.00시간	29.9/52.6
P6	02. 10. 01 ~ 02. 10. 12	15~20	30	2시간16분	9.08시간	29.5/66.6
		20~25	34	2시간11분	8.76시간	30.2/55.7
		25~30	33	2시간05분	8.36시간	29.7/52.7
P3	02. 10. 15 ~ 02. 10. 25	5~10	31	2시간26분	9.72시간	29.1/71.3
		10~15	30	2시간15분	9.00시간	29.5/69.8
		15~20	33	2시간10분	8.68시간	29.3/67.6
평 균			31.4	2시간11분	8.79시간	29.6/62.1

- 1) 상기 계측 결과 온도별로 다소의 차이는 있지만 평균 Slip Form 탈형 시간은 8시간~9시간 40분 정도로 나타났는데 이 결과치는 콘크리트 타설 후 탈형까지의 재령에 관한 도로공사에서 제시하고 있는 평균 등가재령 기준과도

근접한 것으로 판단된다.

- 2) 콘크리트의 Slump는 콘크리트의 양생시간의 결정 및 내구성 등에 상당한 영향을 끼치므로 콘크리트 시방범위 안에서 최대한 작게 10cm 이하로 유지하였다.

3.2 적용결과

당 현장에서 Slip Form 공법을 적용하여 60m 교각 1기를 공사기간 15일만에 완공하였다. 본 결과는 전절에서 서술한바와 같이 Slip Form 공법의 적용이 공사기간 측면에서 Climbing Form의 여타의 거푸집 공법과 비교하여 공기단축효과가 우수함을 나타낸 것이라 할 수 있다.

최근 발주되는 주요 대형 도로공사는 상대적으로 고교각의 가설이 필요한 산악지역을 관통하는 경우가 많으므로 고교각의 시공이 불가피하여 교각 공사기간의 단축, 안정성·품질의 확보가 교량가설공사 전반에서 중요한 부분을 차지하고 있다. 본 Slip Form 공법은 이러한 시공 난이도가 높은 고교각의 시공에 적합한 공법이므로 향후 많은 적용이 있을 것으로 예상된다.

또한 본 공법 적용시 핵심 기술 사항인 Slip Form의 상승시기의 결정에 관하여 당 현장에서 시도한 대기온도 계측자료를 이용하는 방법은 정확한 공사기간의 계획/산출 및 고품질 확보에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

※ 참고문헌

1. 최영태, “고교각 Slip Form공법 및 상부거더의 I.L.M 가설공법 적용” 대한토목학회지(2002년 4월), SK건설, p.p 84~86
2. 정규준, “Slip Form 공법의 현장적용에 관한 고찰”, 대우엔지니어링 기술지(1997년), 대우엔지니어링, p.p 23~44
3. “슬립폼 작업안전 지침서(2000년)“, 진성토건주식회사
4. “한국도로공사 전문시방-토목편(1998년)”, 한국도로공사

강관말뚝 합성형 두부보강공법

진동우회도로 건설공사 현장소장 이종현

1. 공사개요

본 공법이 적용된 현장은 국도 2호선(목포-부산) 구간 중 경남 마산시 진동면 소재지 구간의 기존국도 우회도로를 건설함으로써 경남 서부지역의 균형발전과 원활한 교통소통을 위해 부산지방국토관리청이 발주하여 경남 마산시 진북면 예곡리~진동면 전곡리 구간을 시공중인 연장 L=7.0km, 폭 20m(왕복4차선) 규모의 국도 신설공사이다. 본 현장공정중 교대 2개소의 하부기초공법이 강관말뚝으로 적용되었다.

[표 1-1] 공사현황

공 사 명	진동우회도로 건설공사
발 주 처	부산지방국토관리청
시 공 자	(주)한진중공업, 진우종합건설(주), 만덕종합건설(주)
공사기간	2000. 03. 02.~2006. 03. 01.(2,160일)
공사현황	○ 총 연 장 : L = 7.0km(B = 20m) ○ 토 공 : 깎기 1,593,434m³, 사토 979,105m³ ○ 배 수 공 : 배수관 3,570m ○ 구조물공 : 교량 1,135m/12개소(강교 6,308ton/7개소) ○ 포 장 공 : 표층 1,609a 기층 1,262a ○ 터 널 공 : 마산행 864m, 진주행 850m(1개소) ○ 부 대 공 : 1식

2. 강관말뚝 합성형 두부보강공법

2.1 공법개요

본 공법은 강관말뚝 두부보강방법의 기존공법으로 오랫동안 사용되어온 강관

내부 속채움 콘크리트공법의 시공성 부족과 1973년 일본에서 최초로 개발되어 1997년 한국도로공사 등에서 개선하여 채용하고 있는 볼트식 두부보강공법의 단점인 허용내력 한계를 동시에 개선하고 양 공법의 장점을 모두 살림으로써 기초 공사의 안정성, 시공성, 경제성을 개선한 강관말뚝 두부보강 분야의 신공법이다. 원형 테형의 상부, 바닥판, 상부와 바닥판을 연결하는 지지철근 등으로 이루어진 강재 결합구를 강관말뚝의 두부에 위치시키고, 강관말뚝과 강재 결합구를 용접하거나 볼트로 연결하고, 내부를 콘크리트로 충전하는 공법으로 2001년 국내 기술진에 의해 개발된 신기술(건교부 신기술지정 제307호)로서 당 현장 교대 기초로 사용된 강관말뚝 두부보강에 적용한 시공사례를 소개하고자 한다.



<그림 2-1> 강관말뚝 합성형 두부보강공법 개요도

2.2 합성형 두부보강공법의 구조 및 특징

2.2.1 공법의 구조

본 공법은 콘크리트 속채움 방식의 새로운 유형으로서, [표 2-1]과 같은 4가지 기술적 구성으로 이루어져 있다.

[표 2-1] 본 기술의 구성 및 역할

기술적 구성		역할
강재결합구		확대기초와 강관말뚝을 상하 결합하고 말뚝머리에 작용하는 하중을 말뚝으로 전달
보강철근		띠철근과 함께 확대기초 매입부에 RC 기둥을 형성하여 축력과 휨모멘트를 강재결합구에 전달
연결구조	강재결합구와 말뚝	결합구에 전달되는 축력과 휨모멘트를 말뚝에 전달 연결 방식 : 용접 또는 볼트로 연결 (당 현장 볼트식 적용)
	강재결합구와 철근	철근에 작용하는 축력과 휨모멘트를 결합구에 전달 연결 방식 : 나사 또는 너트 결합
속채움 콘크리트		강관 내부보강, 말뚝머리 강관의 국부 변형에 저항 부착 및 합성 효과에 따른 보강 효과 발휘

강재결합구는 본 공법의 기술적 근간을 이루는 것으로서 콘크리트 속채움 방식을 실현하면서도 손쉽게 시공할 수 있고 역학적으로 충분한 내력을 발휘할 수 있도록 개발된 것이다.



(a) T형 거치식



(b) 클랭크형 거치식

<그림 2-2> 강재 결합구의 형상

2.2.2 공법의 특징

1) 주요특징

강재결합구는 공장 제작 기성품으로서 품질관리가 용이하며 시공속도를 단축할 수 있고 타입된 강관말뚝을 자동절단기를 이용하여 절단하고 보강철근을 강재결합구에 나사결합한 뒤 강관에 볼트 또는 용접으로 연결하고 기초구체 콘크리트 타설시 결합구 내부와 동시에 타설하여 일체화시킴으로써 허용내력을 최대화한다.

2) 탁월한 안정성 확보

볼트내력과 함께 속채움 콘크리트의 부착력까지 활용한 합성효과에 따른 뛰어난 내진성능을 발휘하며 볼트량과 속채움 깊이의 조절을 통해 외력에 탄력적으로 대응할 수 있어 강관말뚝과 동등한 강도를 얻을 수 있다.

3) 뛰어난 시공성 확보

용접을 하지 않고도 볼트식으로 콘크리트 속채움이 가능하여 현장 작업이 단순해지고 작업속도가 대단히 빠르다. 또 가볍고 취급하기 좋은 공장제작 기성품을 이용한 빠른 시공과 용이한 품질관리가 가능하고 강관말뚝 자동 절단, 공장가공된 보강철근의 현장 나사 결합 공정이 쉽게 이루어진다.

4) 최상의 경제성 확보

기존 신공법으로 소개되어 일부 시공하고 있는 볼트식 공법은 속채움 콘크리트 공법보다 공사비가 약간 저렴하나 공법의 주요 특징인 십자보강판 구조가 복잡하여 제작 비용이 낮아지지 않는 반면 합성형 공법은 비교적 단순한 강재결합구조로 인하여 가장 유리한 단가의 공사비 투입이 가능하다

[표 2-2] 강관말뚝 두부보강 공법별 비교

구분	합성형 공법	볼트식 공법	속채움 콘크리트식 공법 (현행 도로교시방서)
개 념 도			
주 요 특 징	· 공장제작 기성품 이용 · 강관말뚝 자동절단 · 보강철근 나사결합 · 콘크리트 속채움+볼트 연결(용접 연결도 가능)	· 공장제작 기성품 이용 · 강관말뚝 자동절단 · 보강철근 나사결합 · 강관과 십자보강판 볼트 연결 · 속채움 콘크리트 타설불가	· 현장제작/가공방식 · 강관말뚝 수동절단 · 보강철근 콘크리트 매입 · 콘크리트 속채움 (강관내부에 걸립턱 2개 용접)
시 공 개 요	· 말뚝두부 자동절단기로 절단 · 강재결합구 조립 · 볼트용 천공 및 볼트체결 · 보강철근 나사결합 · 확대기초 주철근 및 띠철근 배근 · 확대기초 콘크리트와 속채움 콘크리트 동시타설	· 말뚝두부 자동절단기로 절단 · 볼트공 천공 · 십자보강판 거치 및 볼트 체결 · 보강철근 나사결합 · 확대기초 주철근 및 띠철근 배근 · 확대기초 콘크리트 타설	· 강관말뚝 절단 · 강관내부에 걸립턱 2개 용접시공 · 보강철근망 및 하부띠철근 조립 · 확대기초 주철근과 상부 띠철근 배근 · 확대기초 콘크리트와 속채움 콘크리트 동시타설

역학적성질	· 허용내력이 크다 (볼트내력+속채움 콘크리트 부착력) · 말뚝머리 강성이 크고 탄성 상태의 변위가 적다 · 극한변형능력이 크고 연성이 좋아 내진성능이 뛰어나다 · 보강깊이가 깊다(직경) · 강성이 커서 국부변형에 강하다 · 말뚝머리 결합부 내력이 보강철근 허용내력에 의해 지배된다(볼트랑 및 속채움 깊이 증가 가능) · 부식의 우려가 없다	· 허용내력이 작다 (볼트만으로 외력(휨인장)에 저항) · 말뚝머리의 강성이 작고 탄성 상태의 변위가 크다 · 극한변형능력이 작고 연성이 부족해 내진성능이 떨어진다 · 보강깊이가 얕다(19cm) · 강성이 작아 국부변형에 약하다 · 말뚝머리 결합부의 내력이 연결부의 허용내력에 의해 지배된다. · 부식의 우려가 있다	· 콘크리트 부착력과 강관내부 걸림턱(원형링 2개)으로 외력에 저항 · 보강철근 최대인장력(허용인장력)에 대응하는 매입 길이를 확보하므로 보강철근의 허용내력에 의해 지배된다. · 보강깊이가 깊다(강관직경 이상) · 합성형 방법과 마찬가지로 콘크리트 속채움 방식이기 때문에 역학적 성능이 우수하다 (강성 및 내진성능 등 콘크리트 속채움에 따른 장점을 보유)
시공성	· 결합구가 가볍다 · 볼트공 위치가 알기 때문에 볼트공 천공 및 체결작업이 쉽다. · 현장여건에 따라 볼트식과 용접식 신축적 적용 · 시공이 빠르고 간편하다	· 덮개판과 십자보강판이 무겁다 · 하부볼트의 위치가 깊어 천공 및 체결작업시 번거롭다 · 현장 용접에 따른 문제는 없다 · 시공이 빠르고 간편하다	· 강관내부에 걸림턱 2개를 용접해야 하므로 작업이 어렵다 · 현장제작 방식이므로 시공속도가 느리고 품질관리가 어렵다

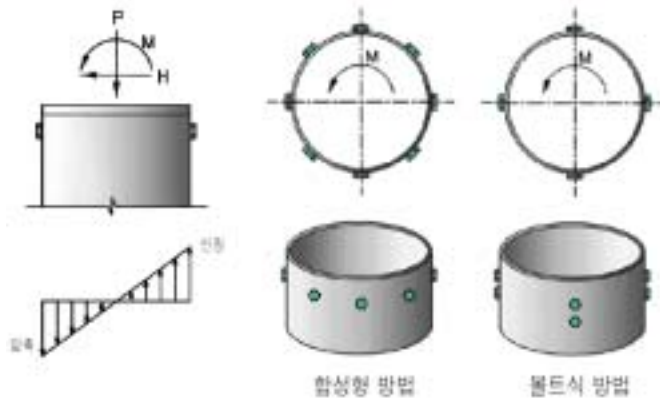
[표 2-3] 공법별 경제성 비교

(단위 : 원/본)

강관말뚝 규격	합성형 공법	볼트식 공법	속채움 콘크리트식 공법 (현행 도로교시방서)
D406	110,000	114,000	113,000
D508	136,000	140,000	141,000
D609	166,000	171,000	181,000

5) 볼트식 공법과의 상세 비교

기존에 개발된 신기술인 볼트식 두부보강공법과 본 기술과의 비교 모식도는 <그림 2-3>과 같다.



<그림 2-3> 합성형 방법과 볼트식 방법 공법 비교 모식도

가) 볼트 위치

볼트식 방법에서는 하부 볼트가 확대기초 밑에 위치하므로 부식 가능성이 있으나 합성형 방법은 볼트가 확대기초 매입부 안에 위치하므로 부식의 우려가 전혀 없다. 또한 볼트의 위치는 합성형이 얇아 상대적으로 볼트공 천공 및 체결시 작업이 편리하며 <그림 2-3>에서 보듯이 볼트의 배치형태가 합성형 방법은 원형이고 볼트식 방법은 십자형이므로 볼트를 추가 배치되어 허용내력이 증가되고 볼트의 개수가 많은 합성형 방법이 응력집중이 작다.

나) 콘크리트 속채움에 따른 합성효과

볼트 연결부의 허용내력과 지지철근의 허용내력을 함께 활용할 수 있기 때문에 허용내력이 증가하며 [표 2-4]와 같이 콘크리트 합성효과로 인해 연성과 극한변형능력이 증가하기 때문에 뛰어난 내진성능을 발휘한다.

[표 2-4] 합성형과 볼트식 방법의 인장실험 결과 (직경406.4, t=9mm 강관)

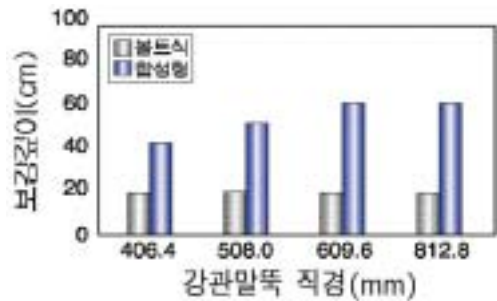
말뚝두부 보강공법	합성형 공법	볼트식 공법
극 한 내 하 력(tonf)	189.70	79.94
탄성영역의 변위(mm/10tonf)	0.09	0.43
극 한 변 위(mm)	21.04	3.58

※ 탄성영역의 변위는 작을수록, 극한변위는 클수록 구조적 성능이 우수하다.

다) 말뚝두부의 보강깊이

<그림 2-4>와 같이 합성형 공법에서는 강관 직경만큼 콘크리트 속채움을 하는 반면 볼트식 공법에서는 강관 직경에 관계없이 보강 깊이가 19cm로 일정하기 때문에 강관 직경이 커질수록 말뚝두부의 강성이 큰 차이를 보인다.

구분 말뚝직경	합성형	볼트식
406.4mm	40.6cm	19.0cm
508.0mm	50.8cm	
609.6mm	60.0cm	
812.8mm	60.0cm	

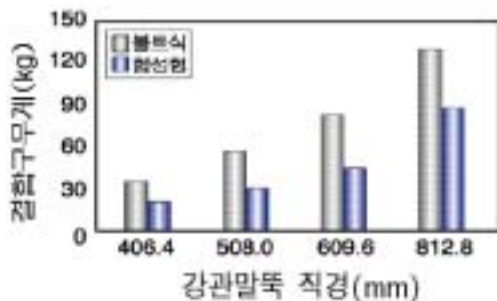


<그림 2-4> 공법별 보강깊이 비교

라) 시공성

합성형 공법은 볼트식방법에 비해 결합구가 가벼워 운반 및 취급성이 유리하며 볼트식 방법에서는 볼트의 위치가 깊은 반면 합성형 방법에서는 볼트 위치가 얇기 때문에 볼트공 천공 및 체결시 작업이 수월하다.

구분 말뚝직경	합성형	볼트식
406.4mm	22.2kg	39.7kg
508.0mm	31.7kg	57.9kg
609.6mm	44.0kg	82.8kg
812.8mm	87.2kg	132.9kg



<그림 2-5> 공법별 결합구 무게 비교

2.3 합성형 두부보강공법 현장시공

2.3.1 현장 적용 검토배경

본 현장의 강관말뚝 두부보강 공법의 설계는 속채움 콘크리트방법이 적용되어 있었으나 공사낙찰시 저가로 수주한 현장으로서 원설계안인 속채움식 공법으로는 경제성을 확보하기 곤란하였고 시공성도 떨어져 공정진행에 차질이 예상되어 대체공법을 검토하게 되었다. 이에 볼트식 두부보강공법과 합성형 두부보강공법이 대두되어 비교 검토한 바에 따르면 볼트식 두부보강공법은 경제성 측면에서는 설

계안인 속채움식 공법에 비해 다소 개선되는 효과를 거둘 수는 있으나 현장실행에 맞춰 공사를 수행하기는 어려웠고 기술적 측면에서는 강관내력 부족, 볼트부식에 따른 내력저하의 우려 등이 문제점으로 지적되었다. 볼트식공법의 경우, 현장실행에 맞춘 공사진행이 가능할 뿐만 아니라 안정성, 시공성 또한 개선될 수 있다는 사전조사결과를 얻어 합성형 두부보강공법(볼트식)을 채택하여 시공하게 되었다.

2.3.2 시공순서

1) 자재반입 및 검수

- 가) 강제결합구 : 원형 테형의 상부(클랭크형/T형), 바닥판, 상부와 바닥판을 연결하는 지지 철근, 지지철근 고정용 너트
- 나) 보강부 철근 : 보강철근, 나선형 띠철근, 볼트(볼트체결식의 경우로서 휨모멘트 계산에 의해 결정된 수량(8~16개))

2) 결합구 조립

- 3) 강관말뚝 두부절단 및 두부정리 : 자동 가스절단기를 이용 절단 후 해머로 두부정리
- 4) 볼트공 천공 : 볼트체결식의 경우로 구멍개수는 휨모멘트 계산에 의해 산정
- 5) 결합구 거치 : 강제 결합구를 너트를 이용, 조립한 후 강관 위에 거치
- 6) 볼트체결(볼트체결식) : 소형 임팩터 이용
- 7) 용접연결(용접식 체결일 경우)
- 8) 강관상부에 보강철근 및 주철근 배근 : 보강철근 배근 후 주철근 배근(나선철근의 경우, 주철근과의 시공관계를 철저히 검토할 것)
- 9) 기초철근 배근
- 10) 말뚝두부 및 기초부 콘크리트 동시 타설



1. 결합구 반입



2. 결합구 조립



3. 강관말뚝 두부정리



4. 볼트공 천공(합성형볼트식)



5. 결합구 거치



6. 볼트체결(합성형 볼트식)



7. 용접연결(합성형용접식)



8. 버림콘크리트 타설



9. 강관상부 주철근 및 보강철근 배근



10. 기초철근 배근:갈고리철근 사용시

3. 시공 개선사항 및 향후 공법 적용방향

3.1 현장시공 개선사항

3.1.1 안전성 확보

- 1) 당초 설계안이었던 속채움 콘크리트식 공법이나 대안으로 검토하던 볼트식

두부보강공법에서의 내력검토 문제를 해결

- 2) 구조계산서에서 요구하는 강성 이상의 두부보강 유도할 수 있었음

3.1.2 경제성 확보

- 1) 당초 설계 또는 볼트식 공법으로는 어려운 목표원가 달성
- 2) 철근 자재 절감 : 보강철근 및 띠철근이 합성형 공법 단가산출에 포함되어 가공반입이 가능하였음

3.1.3 시공성 향상

- 1) 3인 1조로 구성된 작업조가 1일 40개의 강관말뚝 두부보강 작업 완료
- 2) 84개 2개소 규모의 당 현장 시공소요기간 2.5일로 당초 설계인 속채움 콘크리트식 공법에 비해 2~3배 시공속도 향상

3.2 공법 적용방향

최근 강관말뚝 두부보강의 기술 흐름에 비추어 보거나 안정성 측면에서 볼 때 우수한 속채움 콘크리트공법이 시공성 및 경제성 부족으로 재래식 공법으로 불리우며 사양화되고 있다. 본 공법은 현행 지방서상의 표준방법인 속채움 콘크리트 공법의 장점을 살리면서 시공성과 품질관리를 개선하고 원가를 절감함으로써 구조적으로 매우 중요한 말뚝두부 보강의 품질과 안정성을 높일 수 있는 새로운 유형의 공법이다. 업계의 추세 또한 2001년 3월 이후 발주된 턴키 및 대안입찰 공사에서 합성형 두부보강공법이 기존의 볼트식 공법을 대신하여 적용되고 있는 실정이다.

4. 결 론

급변하는 건설환경 속에서 새로운 공법의 개발 및 적용을 주저하지 않고 적극 도입함으로 시공성, 경제성, 구조적 안정성을 모두 확보하는 좋은 계기가 되었음을 밝혀둔다. 그러나 신공법의 적용시 실무적이고 전문가적인 검토가 선행되어야 함은 물론이다. 당 현장은 급변 강관말뚝 합성형 두부보강공법을 도입하여 시행함으로써 원가절감, 구조적 안정성, 시공성을 얻음과 동시에 자재의 공장 기성제품을 사용함으로써 위해 환경요소를 사전 차단하여 환경친화현장으로 이끌 수 있었고

신기술 적용의지와 수용능력을 발주처 또는 업계에 알림으로써 한진의 기술력을 다시 한번 입증하는 계기로 삼았다. 현재 당사 부산지하철 312공구에서도 본 공법을 적용 중(물량 : 약 5,000본)에 있으며 아쉬웠던 점은 당 현장의 강관말뚝 시공 물량이 많지 않아 절대적인 측면에서 커다란 효과는 얻지 못했다는 점이나 향후 많은 강관말뚝 물량이 시공되는 당사 현장에 본 공법이 투입될 경우 큰 효과를 기대하는 바이다.

무주대공간 TRUSS 설치공법

항공기정비시설현장 건축차장 이제창

1. 개 요

1.1 사업내용

국민생활의 수준향상에 따른 문화활동변화 및 경제활동이 점차 국제화됨에 따라 항공여건이 급격히 증가되고 있는 현실에 맞춰 국제관문이 김포에서 영종도로 변경되었으며 그에 부합되는 항공기의 정비시설이 필요하게 되었다. 이에 대한항공에서 항공기 정비시설의 신축을 결정하게 되었으며 이는 인천신공항에서 이착륙하는 항공기의 점검 및 정비를 완벽히 실시하여 동북아 중심의 중추공항을 실현하고 나아가 국제 제일의 안전한 항공사로 발돋움하기 위한 토대를 마련하기 위함이다.

1.2 공사개요

부지위치	인천광역시 중구 운서동 일원	건축면적	28,110.9m ²
발 주 처	대한항공	연 면 적	39,696.07m ²
용 도	항공기 정비시설	규 모	격납고동 외 8개동 Hangar : 180m × 95m
대지면적	70,368.2m ²	공사기간	2000. 2~2002. 6(29개월)

2. 무주 대공간 철틀설치공법

2.1 공법선정배경

Hangar동은 철틀트러스 구조로서 하부철틀이 지상 26m이고 상부철틀이 약 40m인 Double Layer트러스구조이며 또한 가로 180m, 세로 95m의 무지주공간을 형성하는 대형구조물이다. 무지주란 내부에 기둥이 없음을 뜻하는 것으로 매우 특수한 구조물로서 시공의 정밀도가 필요할 뿐아니라 높은 구조물임으로 인해 안전

사고가 발생할 경우에는 중대사고가 될 수 있는 속성을 갖은 철골구조물이다. 따라서 안전하며 좋은 품질을 확보할 수 있는 공법이 필요하게 되었으며 이를 다방면으로 검토한 결과 우수한 품질 및 안전성을 확보하기 위한 방법으로는 지상에서 Hangar Truss를 조립하고 트러스를 요구높이까지 인양하는 공법이 가장 적절한 것으로 판단되었다.

2.2 철골설치의 주요공법

2.2.1 Lift-up 공법

Lift-up공법은 지상에서 조립된 구조물을 본기둥 또는 가설기둥을 지지점으로 하여 소정의 높이까지 인양하는 작업으로 주로 고공작업 등으로 인해 가설구대설치나 장비로의 구조물설치가 어려울 경우 사용되고 있으며 당사에서는 김포정비기지 및 인천공항청사의 지붕설치시 사용하였다.

2.2.2 Lowering 공법

고공에 있는 구조물을 소요높이까지 내리는 작업으로서 지지점에 설치된 Jack을 이용한다. 당 현장의 Hangar동은 철골트러스와 기둥이 결합된 구조물로서 트러스는 지상에서 조립이 가능하나 기둥설치는 불가능한 바 Lift-up완료후 기둥을 설치하게 되었다. 그러나 기둥설치시에는 작업을 위한 최소공간이 약 30cm정도가 필요한 바 기둥의 설치완료후에는 이 높이를 낮추는 작업이 필요하였으며 이때 Lowering작업이 사용되었다.

2.2.3 Presetting공법

구조물을 설치하는 기둥이 Base Block에 용접이 완료되어야 하는데 Lifting 및 Lowering작업으로 기둥의 위치가 설계위치와 다소간의 편차가 발생이 예상되는데 이 편차를 미세조정하는 작업을 Presetting이라 한다. 이를 위해서는 정확한 구조 해석 및 계측관리가 필요하며 구조적으로 안전한 상태의 판단기준이 마련되어야 한다.

2.3 공법적용의 효과

1) 시공성향상

지상에서 본구조물이 설치 및 조립이 이루어지기 때문에 작업여건이 양호하여 작업능률 및 시공성을 향상시킬 수 있다.

2) 품질확보

부재의 검사업무가 원활하여 원하는 품질확보가 용이하다.

3) 안전성

고소작업을 최소화함으로써 안전상태의 유지 및 중대사고의 불안정한 상태를 줄임으로써 안전상태를 확보할 수 있다.

4) 공사비절감

가설비계, 중장비 사용의 절감 및 공기단축 등으로 전체적인 공사비절감효과를 얻을 수 있다.

5) 공기단축

가설작업의 최소화, 시공성향상 및 경장비의 사용으로 작업효율을 높여 공기단축이 가능하다.

2.4 공법적용시 주요사안

1) 기본설계도면의 미비

기본설계를 실시한 구조설계사가 Lift-up공법에 대한 경험부족 및 이해부족으로 인해 설계도면상에 부적합한 도면이 많음

2) 기술개발

당사의 대표적인 기술이라고 할 수 있는 Lift-up공법에 대해서는 김포정비기지, 인천공항청사 및 연육교등 경험이 여러 차례 있었으나 Lift-up에 대한 Engineering기술축적내용이 적다.

3) 공기부족

작업구간이 부대건물측과 격납고동으로 구분되어 1차 준공(2001. 3), 2차 준공(2002. 6)이 되어야하는 공정에 따를 경우 격납고동의 시공에 공기부족이 예상되고 공사착공시까지 Hangar Truss설치에 대한 설계가 완료되지 않아 Truss설치를 위한 사전검토부터 실시도면의 작성까지의 절대시간을 단축할 필요가 있으며 또한 설치동안 발생하는 문제들을 조속히 결정할 수 있는 방안 필요

2.5 사안 해결안

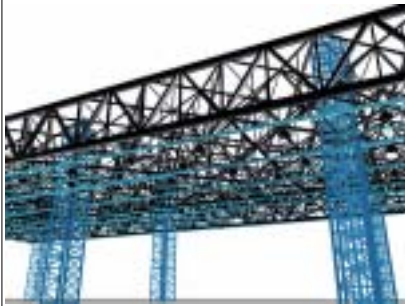
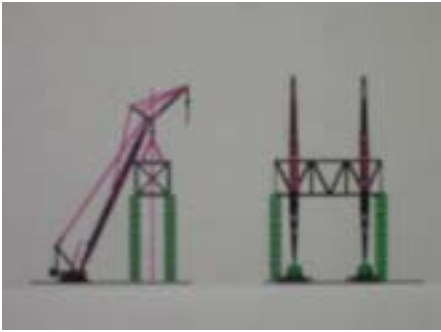
기본설계의 부족은 당사의 Hangar Truss설치안에 대한 것을 원설계자 및 발주자에게 설명함과 더불어 원설계안의 오류를 지적하여 공법개선을 유도하였고 또한 당사의 기술누적을 위해 Engineering작업 및 Consulting작업을 외국사(TGP)와 구조팀(상원구조)과 연계토록하여 Lift-up에 대한 기술을 향상시킬 수 있도록 하였으며 또한 현장의 문제발생시 구조팀에서 직접 Consulting을 제공함으로써 외

국사로부터 해결안을 제공받는 시간보다 상당한 공기절감의 효과를 이루었고 일괄적인 외국사의 의존에 의한 비용보다 비용절감의 효과도 얻을 수 있었다.

◎ 설계금액 대비표(Engineering+Consulting)

외국사 일괄의뢰시	외국사+상원구조 연계시	절 감 액
460,000,000	343,000,000	117,000,000(25%)

2.6 설치공법의 비교

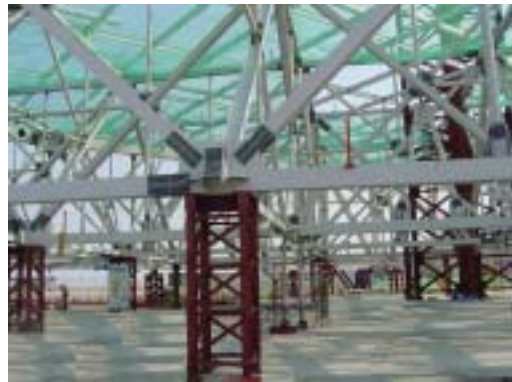
구 분	Lift-up공법	가설구대 공법
그 립		
공 법 특 성	지상조립후 요구높이까지 양중하여 구조물 설치	요구높이까지 가설구대를 설치하고 그 위에서 Crane등을 사용하여 구조물을 설치
안 전 관 리	지상조립으로 작업상태가 양호하여 안전관리에 유리	고소작업으로 별도의 안전시설이 필요할 뿐만 아니라 사고발생시 중대사고
품 질 관 리	작업성이 유리하며 검사작업이 양호함으로 인해 품질관리에 유리	unit truss상태로 중장비를 사용하여 bent와 같은 가설재 위에서 조립함으로 인해 품질확보에 어려움
공 기	경장비의 접근이 용이함으로 시공능률이 높아 공기절감가능 (예상공기 6개월)	장비와 인력의 혼용작업이 되어야 할뿐만 아니라 중장비의 사용으로 능률이 저하되어 공기가 길어짐 (예상공기 9개월)
설치시 문제점	○ 응력의 변화로 철골구조보강 필요 ○ 가설재와의 간섭이 없음	○ 응력을 원설계의 내용에 부합되게 설치가능하여 보강 불필요 ○ 가설재와 설치공정간의 간섭발생 ○ 중장비로 바닥보강작업 검토필요 ○ camber관리용 계측기 필요

비 용	내용	○ lifting장비 ○ engineering/consulting 비용 발생 ○ 가설재설치 및 해체비용발생	○ bent등 가설재 설치 및 해체비용 발생 ○ 중장비 사용으로 설치비용증가 ○ 바닥보강작업
	금액	투입액 : 20억	투입예상액 : 25억

2.7 가설물 및 장비

2.7.1 Stillage

철골부재의 지상조립을 위한 조립구대로서 적재되는 Unit부재의 하중과 위치별 Camber값을 고려하여 설계 및 배치 작업을 실시하였다. Stillage의 주요 목적은 Camber값의 확보 및 설치시 사용되는 장비의 통행을 위한 공간을 확보하기 위함이다. 그의 높이는 조금씩 차이는 있으나 3.3m정도로 제작되었으며 상부에 적재되는 구조물에 가해지는 풍하중 및 온도하중에 저항할 수 있도록 설계되었다. Truss외곽으로 38개, 내부에 48개가 배치되도록 하였으며 수직하중은 각 80톤과 95톤을 지탱할 수 있도록 설계하였다.



<그림 2-1> Stillage

2.7.2 Anchorage

Stillage 위에서 조립된 철골부재가 온도변화에 따라 수축팽창을 하게 되는데 그로 인한 부재의 위치변화의 공정점을 확보하기 위하여 설치된 부재이다.



<그림 2-2> Anchorage

2.7.3 Camber

Camber는 Hangar Truss가 설치 완료되었을 경우 고정하중 및 적재하중에 의하여 발생하는 처짐을 미리 계산하여 제작에 반영한 것으로 설치시에는 그 값만큼의 높이차를 고려하여 설치하였다. 기둥지점이 0이고 전면트러스의 중앙부가 375mm로 최대였다.

2.7.4 Lifting Tower

조립이 완료된 Hangar Roof Truss를 인양하기 위한 가설기둥으로서 높이가 46m이고 삼각형트러스 2조로 구성되었다. 1,200톤의 수직하중과 태풍과 같은 횡하중에도 견딜 수 있도록 설계하였다. 기초부분에는 인양시 가해지는 수직력 및 횡력을 지탱할 수 있도록 PHC파일(D500-25본)을 시공하였다.



<그림 2-3> Lifting Tower

2.7.5 Lifting Jack

Lifting 및 Lowering작업을 수행하는 장비로써 대당 600ton의 양중능력을 갖고 있으며 한번의 Stroke에 인양할 수 있는 높이는 40mm이다. 인양 및 하강작업은 상부 및 하부양카가 Strand를 잡아 올리고 내림을 반복함에 의해 진행되는 것이다.



<그림 2-4> Lifting Jack

2.7.6 Jack Supporting Block(JSB)

Hangar Truss에 기둥을 부착후 Lowering이 완료되면 기둥의 정확한 위치에 용접을 실시하여야 되는데 그 작업은 미세한 조정작업이 필요하게 된다. 그 때 사용되는 것이 JSB로서 기둥의 Base Block에 용접후 소형Jack을 이용하여 미세조정을 실시하였다.

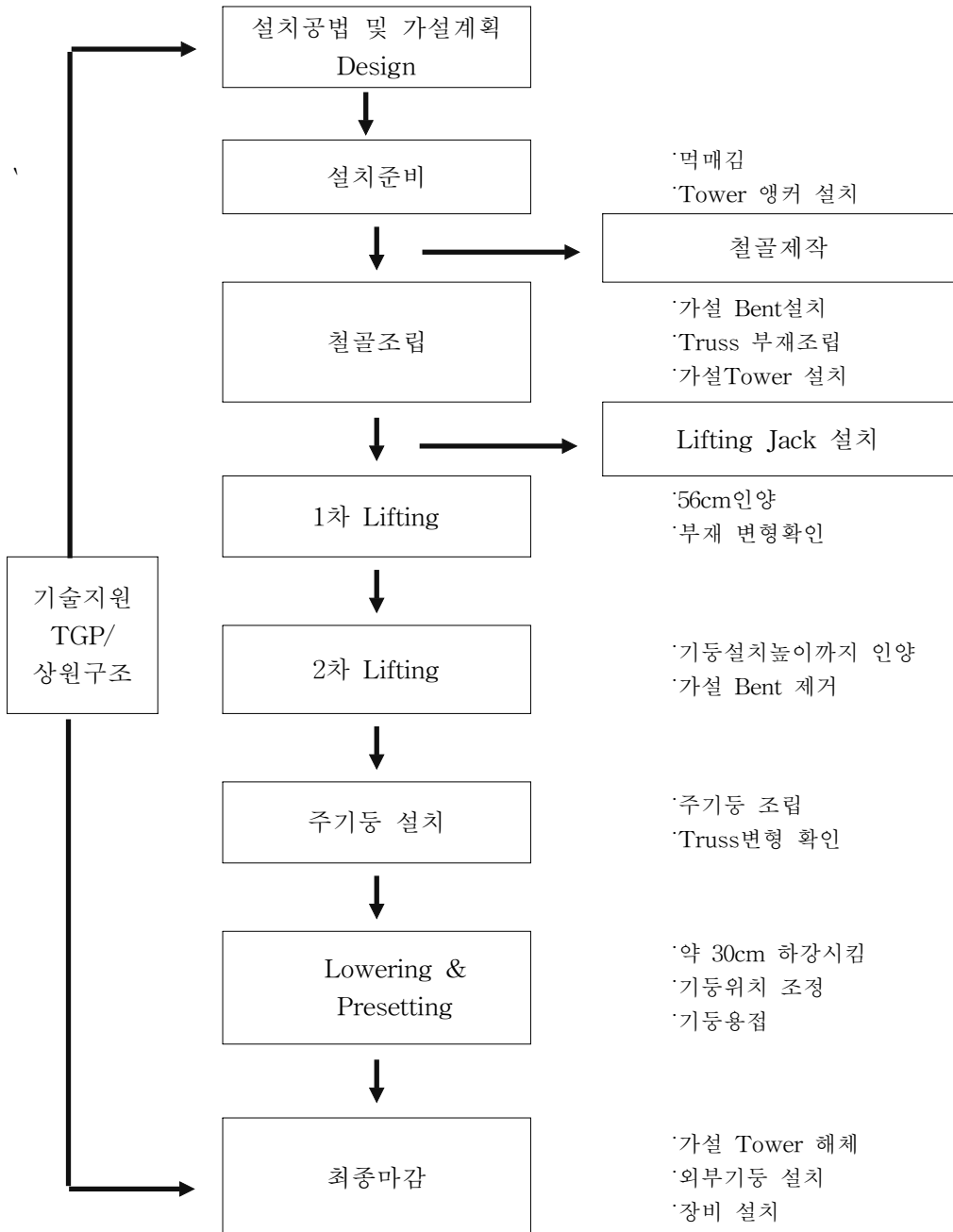
2.8 설치작업

2.8.1 조립작업

바닥에 매설된 양카 및 주각부의 Block 등을 실측하고 설치를 위한 먹매김을 실시하고 Edge Truss 및 Grid Truss부분의 Stillage 설치를 완료 후 후면의 코너 부분부터 조립을 실시하였다. Edge Truss를 조립할 때에는 180m인 장스팬부재임을 고려하여 낮과 밤의 기온차에 의해 발생하는 부재의 길이변화를 고정시키기 위해 Anchorage를 부착하였다. 부재를 조립하기 위해서 부재의 제작일정을 설치

공정에 부합되도록 조정하였으며 철골공사시 발생할 수 있는 누락부재로 인한 공정의 중단을 방지하기 위해 제작단계, 제작완료단계, 도장단계 및 입고단계와 같은 여러단계에서 검토 되도록 실시하였다. 조립시에는 100ton 및 50ton장비를 주로 사용하였으며 Stillage와 Stillage간의 부재를 Unit으로 하여 바닥에서 조립후

[표 2-1] 시공순서



Crane으로 인양하여 설치하는 공정으로 진행되었다. Unit Truss로 설치하는 동안 Lifting Tower 설치도 병행되도록 실시하였으며 Lifting Tower의 수직편차는 20mm이내가 되도록 하였다.

2.8.2 1차 Lifting

Lifting 작업전에 각 Lifting Tower마다에 줄자 및 CCTV 카메라를 설치하여 양중에 따른 인양높이가 계측될 수 있도록 준비하였으며 인양관리를 Control Room를 설치하여 6개소의 Lifting Tower를 총괄하여 계측관리하였다.인양시 총중량은 4,500ton이었으며 1차 Lifting의 인양높이는 56cm을 실시하였고 24시간 동안 부재의 변형발생 유무를 확인·관측하였다. 인양시에는 부재의 변형 및 Jack의 이상유무를 확인하기 위해 각Jack에 가해질 것으로 예상되는 하중의 25%, 50%,75, 100%의 단계별로 나누어 인양높이 및 Jack의 하중값을 계측하였다.

2.8.3 2차 Lifting

1차 Lifting후 부재의 변형이 없음을 확인 후 2차 Lifting을 실시하였는데 양중높이는 23.6m를 양중하여 1차와 2차 Lifting을 합쳐 약 24m정도를 양중하게 되었다. 이는 기둥을 설치할 수 있는 공간을 30cm정도를 확보한 높이이며 이를 양중하는 동안에는 Lifting Tower간의 Level편차가 35mm이내가 되도록 하였으며 매 2m마다 Level조정작업을 실시하였다. Lifting이 완료후에는 바람등의 횡력에 의한 흔들림을 가설Tower와 Truss가 일체가 되도록 하기 위해 Tower와 Truss사이에 목재췌기를 삽입하여 고정하였다.

2.8.4 기둥조립

기둥설치를 위한 방안으로 당초에는 기둥설치 인접지역에서 한쪽기둥 전체를조립 완료후 Travelling시키는 방법을 고려하였으나 Truss와의 연결 및 설치작업구간의 기초공사등 추가적인 요인이 발생하여 단부재로 상부부터 부착하는 방법으로 설치작업을 실시하였다. 설치 위하여 가조립연결용 Lug를 제작시에 부착하였고, 또한 공장에서 기둥의 전체를 가조립을 실시하여 현장에서 조립시에 발생할 수 있는 문제점을 사전에 점검하는 공정을 실시하여



<그림 2-5> 가조립 전경

우수한 정밀도를 확보함으로 인해 궁극적으로 설치공기절감 및 품질확보 효과를 얻을 수 있었다.

2.8.5 Lowering

Lowering작업은 기둥이 Truss에 조립이 완전히 완료된후 기둥을 양카Block에 용접작업을 실시하기 위해 Truss를 하강시키는 작업으로서 약 300mm정도를 실시하였다. 용접작업을 위하여 Block의 표면과 기둥의 하면과의 틈이 5mm정도 유지되도록 하였다. Lowering작업시에는 Tower간의 Level편차를 25mm 이내로 작업하여 하중의 쏠림을 방지하였으며 최종level에 도달하였을 때 기둥설치를 위해 안쏠림된 형상을 벌리는 작업으로 중앙부의 tower하중을 270ton정도로 조정하였다. 이 작업을 간단히 설명하면 양끝쪽의 처진상태를 가운데부분을 낮춤으로써 높이는 것이라 하겠다.

2.8.6 Presetting

Presetting작업은 인천 Hangar의 독특한 작업이라고 할 수 있는데 그 것은 Lowering상태의 기둥 안쏠림형상을 구조계산상의 기둥형상과 일치시키기 위한 미세조정 작업인 것이다. 김포 Hangar에서는 본기둥에서 Lifting작업이 수행되어 기둥위치에 대한 조정작업이 불필요하였으나 인천 Hangar는 본기둥과 Lifting기둥이 분리되어 있을뿐만아니라 기둥의 자중으로 인해 Truss의 끝단부가 안쪽으로 쏠리는 형상이 되는데 그 값이 약 20~40mm정도가 되었으며 그 값을 조정하는 작업을 Jack Supporting Block 및 유압잭을 사용하여 실시하였다. 이 작업이 필요한 이유는 기둥의 안쏠림형상 대로 용접시에는 Truss 구조물에 부가적인 응력이 발생하여 구조물에 나쁜 영향을 미치기 때문인 것이다. 미세조정완료후 Base Pl위에서의 기둥의 위치는 도면상의 위치와 아래와 같이 편차가 있었으나 허용오차이내(후면 : 35mm, 전면 : 70mm)였다.

구 분	좌 측 기 둥		우 측 기 둥	
	X	Y	X	Y
후 면 기 둥	-8	-16	+15	0
전 면 기 둥	-30	+11	-12	+28



<그림 2-6> 철골조립



<그림 2-7> 1차 Lifting



<그림 2-8> 2차 Lifting



<그림 2-9> 기둥 설치



<그림 2-10> Presetting 장면



<그림 2-11> 최종전경

2.9 시공 개선 및 공법적용효과

미래의 교통수단은 항공기가 점점 확산되고 있으며 또한 그에 따라 안전에 대한 인식이 더욱 깊어지고 있는 실정으로 그에 따라 항공기의 정비시설은 더욱 증가할 것으로 예상되고 있다. 특히 인천공항에서는 동북아 중심의 공항으로 발돋움

함에 따라 세계적인 공항이 되어 국제대형기의 이착륙의 증가가 불가피할 것으로 판단된다. 더불어 본 Hangar는 대한항공의 2005년에 보유가 예상되는 항공기의 수요에 맞춰 계획한 건물이다. 따라서 2005년 이후에는 새로운 정비시설의 신축에 대한 계획이 예상될 뿐만 아니라 인천공항에서는 항공기 정비시설의 신축을 위해 8개 부지를 할애하고 있고 있는 것으로 볼 때 장기적으로는 그 부지에 항공기 정비시설이 신축될 것으로 예상된다. 따라서 당사의 무주대공간 Truss설치공법을 이용하여 항공기 정비시설이 완벽하게 시공됨에 따라 타사와는 구별될 수 있는 당사만의 수준 높은 기술이 입증되었는 바 이 공법을 활용한 추후의 항공기정비시설의 수주에 적극적인 활용도 가능할 것으로 판단된다. 또한 미래의 건축흐름은 대형화, 철골화 및 국제화되어 가고 있음에 따라 보다 안전하고 보다 우수한 품질을 확보할 수 있는 기술을 보유하고 보다 경제적인 기술이 바탕이 되어야 대형화 및 국제화되어 가는 건설의 흐름에서 경쟁력을 갖춘 기업으로 생존할 수 있을 것으로 판단되며 그 기술로서 무주대공간Truss공법은 매우 좋은 적용가능한 우수한 기술이라 하겠다.

3. 장스팬 지붕패널

3.1 사용배경

Hangar Roof는 가로 180m에 세로가 95m인 무지주의 대형공간으로 누수의 우려 및 태풍과 같은 외력에 영향을 많이 받을 수 있는 시설물로서 그 기능이 항공기를 정비하는 공간인 것이다. 따라서 튼튼하며 누수방지에 우수한 시공되어 고가인 항공기의 보호 및 누수등으로 인한 항공기의 정비지장이 발생하지 않도록 하여야 한다.

3.2 자재선정 기준

지붕공사에 있어서 중요한 문제가 누수방지 및 구조적인 문제의 처리방법이었다.

3.2.1 누수관련 고려사항

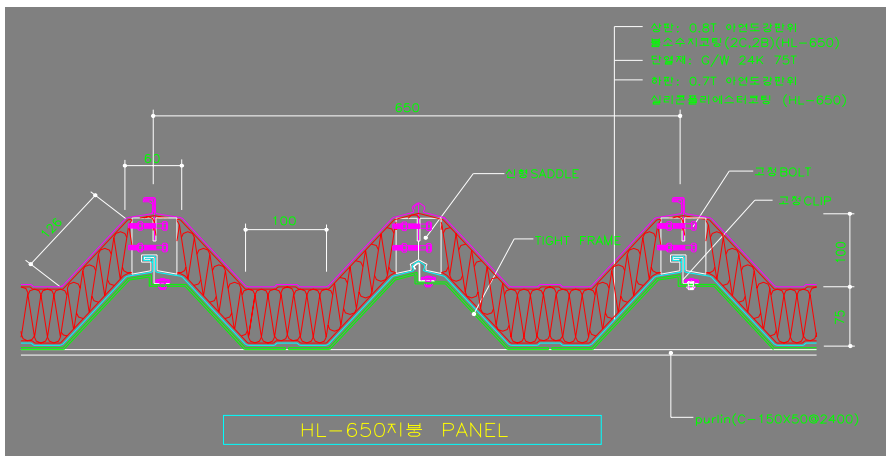
- 1) 가로 방향의 용마루를 중심으로 한쪽의 길이가 90m임
- 2) 구배가 적은(1/75) 상태임

3.2.2 구조관련 사항

- 1) 강풍에 대한 강성확보
- 2) 온도변화에 의한 구조물의 신축팽창을 흡수할 수 있는 기능보유

3.2.3 자재결정

기존의 다양한 자재를 분석하여 한림정공의 HL650을 결정하였는데 그 자재의 특성은 골이 높고(100mm) 판재간의 연결을 Seaming방법을 사용하고 있으며 또한 자재의 길이에 구애받지 않아 90m를 단판으로 시공이 가능하여 누수방지에 유리할 뿐만 아니라 상판 및 하판이 고정철물과 분리되어 Sliding이 됨으로 온도변화에 의한 신축팽창의 변형을 흡수할 수 있는 특성을 갖고 있다.



<그림 3-1> 선정자재 단면도

3.3 시공특성

지붕의 한번길이가 90m나 되는 자재를 손상시키지 않고 어떻게 지붕까지 인양하며 그 인양된 자재가 구조물에 영향을 주지 않고 설치를 용이하도록 어떻게 할 것인가를 해결하는 것이 장스팬지붕재의 설치에 있어서 핵심사항이라 하겠다. 이 문제를 해결하는 방법으로는 성형완료후 인양하는 방법과 성형받침대를 설치후 지붕까지 밀어올리면서 성형을 실시하는 방법이 있으나 후자의 경우에는 구조물의 안전성 검토 및 성형재의 변형이 예상되어 전자의 방법을 사용하였다 그 방법은 90m정도의 인양철골 Truss Bar에 성형된 판재를 매달아 인양하는 방법을 사용하였고 인양장비는 550ton Crane를 사용하였는데 판재의 자중보다는 Purlin의 내력을 고려하여 지붕판재를 고르게 배분하코저 함이다.

3.4 시공순서



<그림 3-2> 인양장비



<그림 3-3> 성형작업



<그림 3-4> 프레임 설치



<그림 3-5> 인양작업



<그림 3-6> 하부판넬 설치



<그림 3-7> 패널최종마감

3.5 공법적용효과

90m의 지붕단판을 사용하여 시공함으로서 누수방지에 효과적인 기능을 발휘하였으며 또한 지붕판이 Sliding이 되도록 설치함으로써 온도변화에 의한 수축팽창에 대처할 수 있어 부재의 변형이나 손상을 방지 할 수 있었다.

4. 맺음말

항공기 정비시설은 일반적인 건축물이 아닌 반면 당사는 여러번의 공사수행으로 국내에서는 타사와 현격한 기술적 우위를 보유한 시공분야라고 할 수 있다. 특히 Hangar시공은 무주대공간을 형성하는 특수한 대형구조물로서 당사만이 시공실적인 있는 구조물이며 특히 Lift-up공법은 김포정비기지에서 도입하고 인천공항청사에서 적용하였으며 인천 항공기정비시설에서는 당사의 기술로 완성하였다고 볼 수 있다. 따라서 Hangar와 같은 대형구조물의 시공시에는 당사만의 기술로도 Lift-up공법 적용이 가능할 정도로 기술축적이 되었다고 생각된다. 180m × 95m의 무지주 대공간 구조물을 시공함에 있어 우수한 품질 및 무사고로 공사가 완료되었으며 90m까지 단판으로 지붕판넬 시공을 시공함에 있어 태풍 및 집중우기를 거치면서 누수가 없었던 사실들은 회사차원의 좋은 경험 및 기술축적이 되어 추후 발주될 수 있는 대형구조물의 설계 반영 및 시공에 활용할 수 있는 우수한 밑거름이라 생각되며 특히 당현장의 철골구조물 설치사례를 발표한 국내외의 논문은 당사의 기술력을 홍보한 좋은 계기였다고 판단된다.

최신가교 공법(TRIAS)

고속국도 제12호선 옥포~성산간 확장공사 제1공구 현장소장 이윤희

1. 개 요

1.1 공사 개요

본 공사는 88고속도로의 교통수요 증가에 효과적으로 대처하고 영남 서부 및 호남 동부 지역의 연도개발 촉진 및 물류지원 체제의 효율성 제고를 목적으로 수행중이다. 전체 사업구간은 대구광역시 달성군 옥포면 간경리부터 경상북도 고령군 성산면 기죽리에 이르는 총연장 13.2km(6차로 폭원 : 30.6m)구간을 2001년 11월부터 2005년 12월까지 총 48개월 동안 사업비 1,640억원을 투입하여 공사를 수행하고 있다. 당사는 성산~옥포간 확장공사 제 1공구인 대구광역시 달성군 옥포면 간경리~강림리까지의 5.67km구간의 확장공사를 수행하고 있다. 공사는 기존 구마고속도로 화원 IC~옥포 JCT 구간 및 88고속도로 옥포 JCT~성산 JCT 구간 중 간경~강림 4.46km를 확장하는 사업으로 기존 도로의 종단 선형을 개량하고 횡단 폭원을 좌·우 확장하며 옥포 JCT 연결 방식을 트럼펫에서 직결 Y형으로 변경하는 공사이며 주요공사 내용은 다음과 같다.

[표 1-1] 공사 현황

공 사 명	성산~옥포간 확장공사 제 1공구
발 주 처	한국도로공사
시공기간	2001. 11. ~ 2005. 12 (48개월)
총공사비	52,588백만원(VAT 포함)
공사 현황	○ 총 연 장 : 5.67km(포면 간경리~강림리 : 4.46 + 1.21) ○ 토 공 : 각기 315,996m³ ○ 쌓 기 : 1,392,417m³ ○ 배 수 공 : 배수관 33개소/1,352m ○ 압 거 : 11개소/564m ○ 구조물공 : 소교량 5개소/245m, 장대교량 1개소/135m ○ 포 장 공 : 콘크리트 포장 22,763m³, 아스콘포장 1,080a

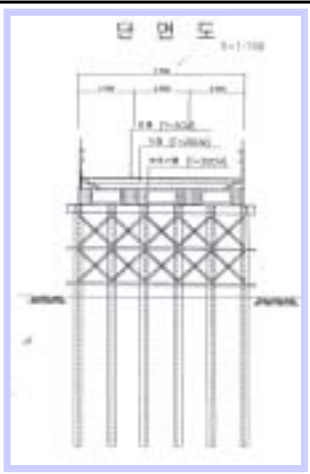
2. 현장 공사조건

당 현장은 기존 JCT의 차량을 통행시키면서 6단계에 걸친 대규모 교통전환을 통해 기존 통행 차선을 확보하면서 공사를 수행하도록 설계되었다.

2.1 원안 설계 가교 공법

본 공법에 원안인 이동식 조립 H-Beam 가교는 [표 2-1]과 같은 문제점을 내포하고 있었다.

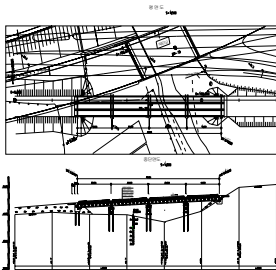
[표 2-1] 원안설계 공법 및 문제점

구분	원안 설계공법	
적용 공법	이동식 조립 H-Beam 가교	
공법 개요	- H-Beam 다발로 구성된 단순보 구조로 바닥 지지 판은 ㄷ형강을 횡빔으로 지지한 형태 - 기본 설계가 20m 단경간 형태임	
문제점	- 가교 No. 2 : 20m 단경간으로 가교각이 기존 고속도로 중간에 위치하여 안전사고 위험 내포 - 가교No. 3 : 가교가 위치에 지하 지장물이 있어 25m 이상의 경간장이 요구됨	

2.2 이동식 조립 H-Beam 가교 현황

2.2.1 가교 No. 1

인접하여 냉동창고가 위치하고 있어 장비투입 및 작업반경확보가 어려웠다.



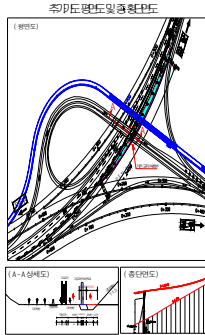
<그림 2-1> 가교 No. 1 종평면도



<그림 2-2> 가교 No.1 현장현황 사진

2.2.2 가교 No. 2

가교 설계 경간이 20m 단경간으로 가교 교각이 기존도로 중앙부에 설치되어 사고 위험성이 있고 고속주행중인 고속도로 내측에서 작업을 시행할 경우 작업장 확보 및 자재 장비 입출입시 안전사고 위험이 많다.



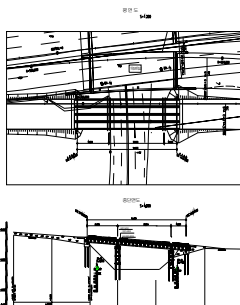
<그림 2-3> 가교 No. 3 종평면도



<그림 2-4> 가교 No. 4 현장현황 사진

2.2.3 가교 No. 3

국도 5호선 횡단교량인 옥포교와 평행하게 설치되는 가교로 국도 5호선 노선에 도시가스를 비롯한 다수의 지장물이 산재하여 있으며, 시공중 국도 5호선 통행 차량의 안전사고 위험을 내포하고 있다.



<그림 2-5> 가교 No. 3 종평면도



<그림 2-6> 가교 No. 3 현장현황 사진

2.3 가교공법 검토

[표 2-2] 가설공법 선정을 위한 3개안 비교

구 분	당초설계	제 1 안	제 2 안
적용공법	이동식조립 H-Beam 가교	장지간 조립식 가교 (TRIAS 가교)	Prestress H-Beam가교 (ATOM 가교)
공법개요	일반 H-Beam 다발로 구성된 단순보 구조로 바닥지판은 연속의 ㄷ형강을 횡빔에 지지한 형태	Span 단위의 Truss형 가교로서 제품을 공장제작 후 현장 조립하여 경간조정이 자유롭고 장경간 시공에 유리함	거더하부에 강봉을 설치하여 외부 프리스트레싱으로 인장력을 향상시키고 장지간을 가능케한 강재보
장 점	-기본설계가 단경간으로 되어 있어 소형 횡단가교에 적합 -상부복공판이 없어 중량이 작아 타공법에 비해 공사비가 저렴	-장지간 가교에 적합하도록 설계된 트러스형 강교 구조물로서 장지간 횡단구간에 유리 -Bolt 및 Pin조립으로 현장에서 설치가 용이하고 공기단축 가능 -공사비 저렴	-장지간 가교 설계 및 공장제작으로 공기단축이 가능 -상부구조체와 하부가 일체 강결식 라멘구조로 되어 있어 단순보 형식의 H-Beam 가교에 비해 처량이 적음
단 점	-기존고속도로 차로부 중앙에 가교각을 설치토록 설계되어 교통사고 발생 위험 -가교설치시 기존고속도로 폐쇄	-상부 복공판 등 중량이 다소 증가되어 장비비 증가 요인이 있음	-장지간 설치시 프리스트레스 감소에 따라 구조적으로 취약함 -프리스트레스 강봉설치시 정밀시공이 요구됨 -공사비가 고가임
공사비 (백만원)	1,961	1,750	2,102
단면도			

3. TRIAS 공법 소개

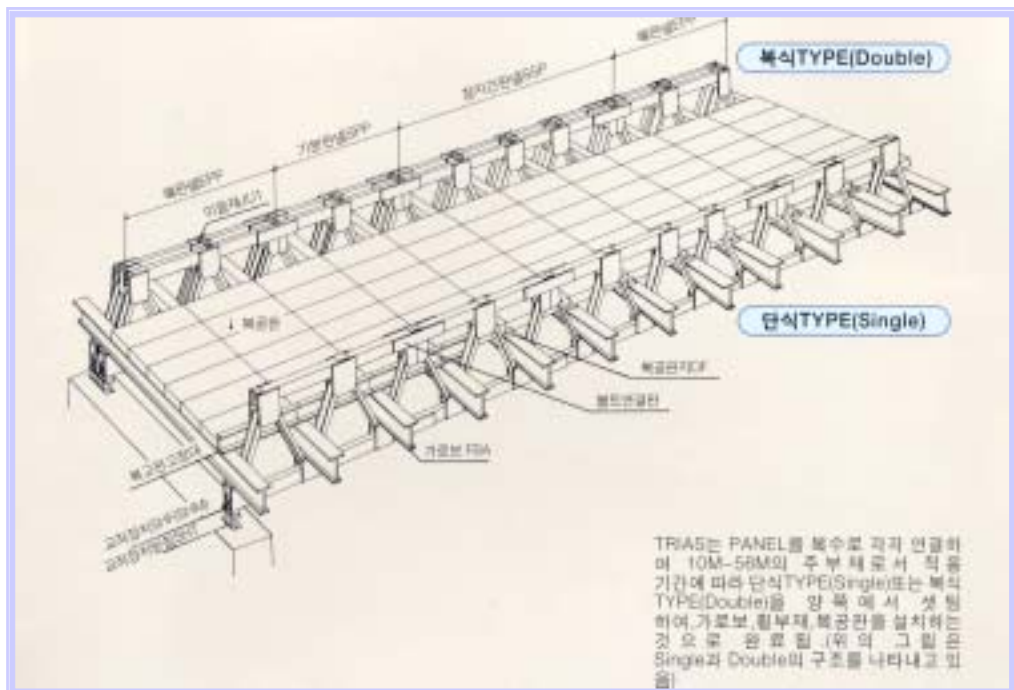
3.1 공법 개요

TRIAS 가교는 기존 교량의 개축, 우회도로 및 긴급 복구에 적합한 가설교량으로 주형(Main Girder)의 구조형식을 Truss로 한 가교형식이다.

Truss의 구조적 특성상 장지간 시공이 가능하고 횡빔(Cross Beam), 브레이싱(Bracing)을 설치하여 교량폭을 다양하게 시공할 수 있다.

3.2 TRIAS 공법의 특징

- 1) 상부 하중조건에 따른 적응성 → 주부재 Single, Double 사용
- 2) 폭원 조정의 다양성 → 지간, 폭조정 용이
- 3) 현장 운반 및 시공의 신속성 → 운반, 설치용이, 기존 공기 50% 단축
- 4) 교량하부조건에 영향을 받지 않음 → 장지간화로 교각 감소
- 5) 교좌 장치 설치 → 회전, 신축변위 대응



<그림 3-1> TRIAS 가교 표준도

3.3 TRIAS 가교 시공순서

3.3.1 Main Truss 지상조립

- 1) 조립식 가교 조립시 전도 방지를 위하여 <그림 3-2>와 같이 단관 Pipe로 연결 지지한 후 H-T Bolt(M22)로 부재를 <그림 3-3>과 같이 체결한다.



<그림 3-2> 트러스 가조립



<그림 3-3> 고장력 볼트 체결

- 2) 연결 Pin은 기본 Panel과 기타 조립식 가교와 연결시 사용하고 단부 Panel 연결은 Pin으로 연결한다.
- 3) 연결 Pin은 머리부분이 차량 진행부인 안쪽으로 설치한다.



<그림 3-4> 연결핀 설치



<그림 3-5> 설치장소 이동

3.3.2 조립식 가교 이동

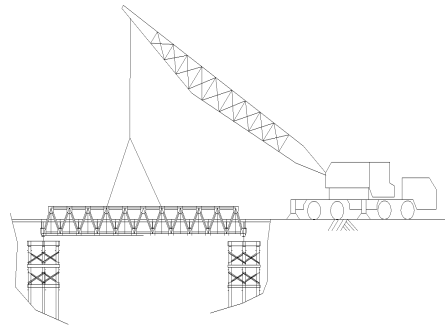
- 1) 조립된 가교는 부재의 휨 및 비틀림 현상을 방지하기 위하여 20M이하 단위로 이동함을 원칙으로 하되 20M이상인 경우는 2조로 분리, 이동하여 현장에서 조립한다. <그림 3-5>
- 2) 이동시 부재의 휨 및 비틀림 현상 방지를 위하여 서행 설치작업을 실시한다.

3.3.3 하부공 Shoe 설치

- 1) 하부 Shoe 위치는 정확히 측량한 후 설치하여야 하고, 특히 대칭 치수 및 좌우 수평이 되도록 설치한다. 그리고 Shoe 위치 하부 구조물 볼트구멍은 <그림 3-6>과 같이 교축 장방향으로 천공한다.
- 2) Shoe 위치가 하부 구조물의 주부재 설계범위를 벗어날 경우는 충분한 보강(Bracket)등을 해야한다.



<그림 3-6> Shoe 설치



<그림 3-7> 가교 인양 및 이동

3.3.4 상부 Shoe 설치

- 1) 상부 Shoe는 고정단, 가동단을 구분하여 설치해야 한다.
- 2) 가동단은 현장 설치온도에 따라 위치 조정한다.

3.3.5 조립식 가교 가설

- 1) 조립된 가교를 거치시 유압 Crane 50tonf 2대를 사용한다.
- 2) Crane으로 조립식 가교 거치시 조립식 가교의 변형, 휨을 방지하기 위하여 <그림 3-7>과 같이 수평, 평행 이동한다.
- 3) 조립식 가교와 H-Beam에 설치 되어있는 상, 하부 Shoe를 정확히 맞추어 앵커 Bolt 조임을 한다.
- 4) 이때 조립식 가교의 전도 및 이동을 방지하기 위하여 <그림 3-8>과 같은 전도 방지장치를 하여야 한다.

3.3.6 가로보 및 Bracing 설치

- 1) 가로보는 조립식 부재와 조립식 부재를 연결해 주는 강재이다.
- 2) Bracing은 가로보와 가로보를 고정 시켜 부재의 비틀림과 미동을 방지하기 위한 부재이다.



<그림 3-8> 전도 및 이동방지 장치



<그림 3-9> 가로보 연결

3.3.7 복공판 및 Stopper 설치

- 1) 복공판은 가로보와 가로보 사이에 설치한다.
- 2) Stopper는 복공판의 유동을 방지하기 위한 ㄷ형 강재로써 복공판 설치전에 가설치 후 다음 복공판을 완전히 설치시키고 Stopper와 복공판 사이에 간극이 없도록 밀착 고정시킨다.

3.3.8 특수 복공판 설치

- 1) 특수 복공판이란 직선인 조립식 가교와 조립식 가교 연결시 굴곡부에 설치되는 직사각형이 아닌 사다리꼴의 복공판을 지칭한다.
- 2) 특수 복공판은 일반 복공판 설치 완료 후 현장 실측 후 제작 시공토록 한다.

3.3.9 조립식 가교 연결재 설치

조립식 가교의 연결재는 조립식 가교 끝부위와 시작부위에 설치하는 낙교방지 시설로써 조립식 가교와 Bolt로 조임한다. 특히, 가동단에서의 Bolt는 Double Nut를 조임한다.

3.3.10 도장, 보수

조립식 가교의 이동, 설치시 훼손된 도장부위는 하도(광명단) 1회, 상도(10G 6.5/6) 1회로 도장하고, 기타 비틀림 등 손상부위는 원상복구 한다.

3.3.11 안전성 검토

차도 부분에는 DB하중(43.2tonf)을 재하한다. DB하중은 한개 교량에 대하여 종방향으로는 차선당 1대를 원칙으로 하고, 횡방향으로는 재하 가능한 대수를 재하

한다. 이때 허용 최대처짐값은 다음의 [표 3-1]에 의하여 산출한다.(조립식 부재 경우 $L/600$)

[표 3-1] 교량의 허용 처짐값

교 량 형 식			최 대 처 짐	
판 형 형 식	종 류	지 간	단순지지보 및 연 속 보	게르버보의 캔틸레버부
	철근콘크리트 슬래브가있는 판형	$L \leq 10m$	$L/2,000$	$L/2,000$
		$10 < L \leq 40m$	$\frac{L}{20,000}$	$\frac{L}{12,000}$
		$L > 40m$	$L/500$	$L/300$
	기타의 슬래브가 있는 판형		$L/500$	$L/300$
현 수 교 형 식			$L/350$	
사 장 교 형 식			$L/400$	
기 타 형 식			$L/600$	$L/400$

4. 설계 검토 및 활용방안

4.1 설계 조건

- 1) 트러스 형식 : Warren Truss(상로)
- 2) 주트러스 형식: Double Type(2단 배치)
- 3) 주트러스 연결형식: Bolt Type

[표 4-1] 가교 제원

트러스 지간	40m	복공판 1개폭	0.75m
주트러스 간격	2m	유효폭	7.5m
주트러스 높이	2m		

4.1.1 설계하중

- 1) 고정하중
 - 가) 트러스 부재 하중 : 218tonf

- 주부재 : 단판넬, 기본 판넬, 조정 판넬, 가로보, 가로보 지지재 등
- 주부재 단위 중량 : 7.85tonf/m³
- 주부재 총중량 : 218tonf (주부재외 추가 사하중 포함)

나) 복공판 : 56tonf

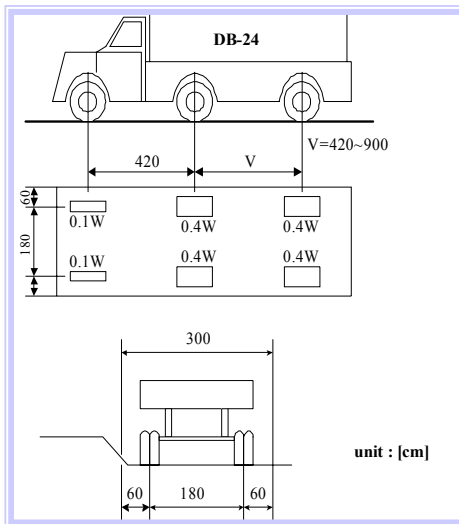
- 제 원 : 750×2,000×200
- 총중량 : 0.28tonf/EA×200 = 56 tonf

다) 아스콘포장 및 보조기층 : 262.5tonf

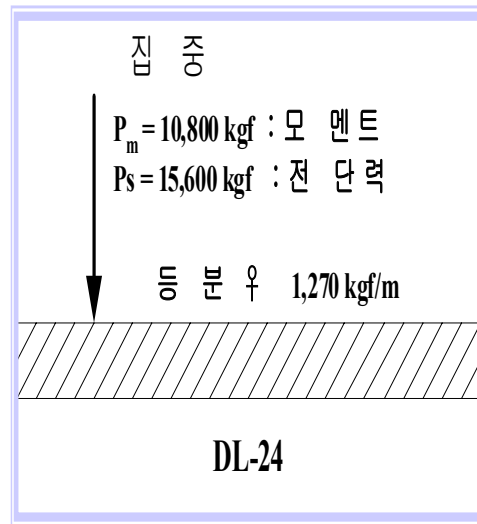
- 아스콘 단위 중량 : 2.3tonf/m³
- 두 께 : 5cm
- 아스콘 총중량 : 2.3×0.05×7.5×40 = 34.5tonf
- 기층,보조기층의 단위중량 : 1.9tonf/m³
- 두 께 : 40cm
- 기층, 보조기층 총중량 : 1.9×0.4×7.5×40 = 228 tonf

2) 활하중 : DB-24 하중

DB하중은 종방향으로 <그림 4-1>과 같이 차선당 1대를 원칙으로 재하하였고, 횡방향으로는 재하 가능한 대수를 재하 하되 설계부재에 최대응력이 일어나도록 재하하였다.



<그림 4-1> 표준트럭하중(DB-24)



<그림 4-2> 차선하중(DL-24)

3) 충격하중

$$I = 15 / (40 + L) = 15 / (40 + 40) = 0.19 \leq 0.3$$

4.1.2 재료의 성질 및 허용응력

- 1) 사용 강재 : SM490
- 2) 기준 항복점 : 3,200kgf/cm²
- 3) 허용 축방향인장응력 및 허용 휨인장응력 : 1,900kgf/cm²
- 4) 허용 전단응력 : 1,100 kgf/cm²
- 5) 허용 지압응력 : 2,800 kgf/cm²

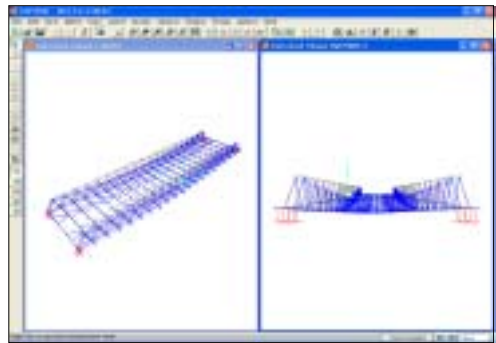
4.1.3 활하중에 의한 허용 처짐량

허용 처짐량 : $\delta \leq L/400 = 40/400 = 0.1\text{m}$

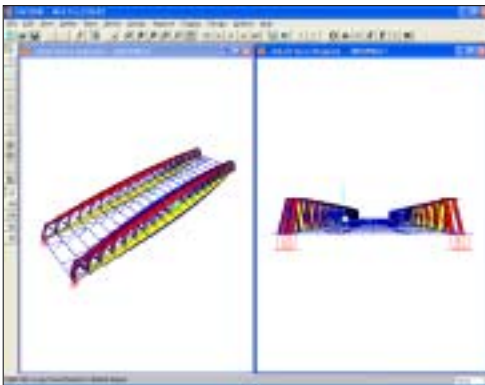
4.1.4 유한요소 모델링



<그림 4-3> 트리스 부재형상



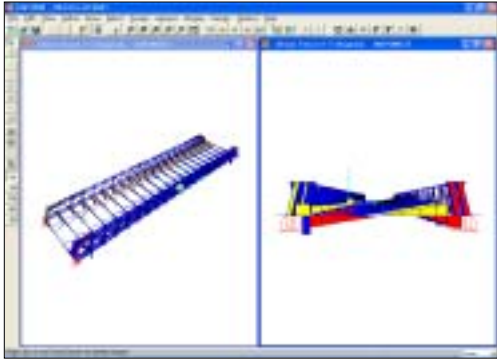
<그림 4-4> 변형형상



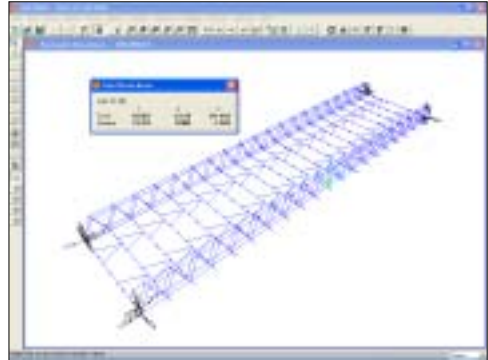
<그림 4-5> 축방향력



<그림 4-6> 휨모멘트



<그림 4-7> 전단력



<그림 4-8> 지점반력

4.1.5 활하중에 의한 처짐

충격을 고려한 활하중에 의한 처짐 = 21mm ≤ 100mm(限) ∴ O.K

4.1.6 안정성 Test

[표 4-1] 안정성 시험 시행 기준표

번호	차량주행속도	처짐량	차간거리	비 고
1	28km/h	3.2cm	10m	장지간(38m)인 p2~p3에서 실시
2	5km/h	2.5cm	5m	
3	37km/h	2.2cm	15m	
4	1대 Break	2.0cm	10m	
5	40km/h	3.5cm	10m	
6	정지	4.0cm	1m	
7	35km/h	2.4cm	10m	

- 1) Test 장소 : 서울시 당인가교
- 2) Test 조건 : 35Tons Dump Truck 2대 동시주행
- 3) Test 기준치 및 결과 : 처짐 기준치 $L/400 = 38000\text{cm} / 400 = 9.5\text{cm}$
결과 최대 4cm

∴ 기준치 9.5Cm > 결과치 4cm ----- O.K

4.2 향후 활용방안



5. 결 론

5.1 공사비 절감 및 공기 단축

공사비 증가는 당초 가교가 1식으로 설계되어 공사비 증액 설계변경이 어려웠으나 기존 가교공법 적용시 지하 및 지상 지장물 이설이 불가피하여 지장물 이설비 한도내에서 적용된 사례로, 원안 설계를 본 TRIAS 공법으로 변경 시행함으로써 도급액 대비 약 93%에서 78%로 15% 절감하여 공사를 수행할 수 있었으며, 공사기간 또한 전체 공사기간의 약 25%를 절감할 수 있었다.

5.2 안전성 및 품질 우수

본 TRIAS 가교는 장지간 가교 공법 중 Truss 구조물의 하중저항 성능이 우수하고 처짐이 적은 장점을 이용하여 고안된 공법이므로 장대지간 가교에 적용성이 우수할 뿐만 아니라 안정성이 높고 공장제작으로 인한 품질확보가 용이하다, 또한 하부 공사 조건에 영향을 받지 않고 가교를 가설할 수 있는 공법으로 타 가교 공

법에 비해 현장 적용성이 우수하다.

5.3 대외 신인도 제고

당 현장에서는 TRIAS 가교 공법을 도입하여 성공적으로 공사를 수행하였으며, 발주처에서 개최한 공법발표회에 우수 시공사례 발표를 통하여 당사의 대외 신인도를 제고하였다.

5.4 지속적인 개선활동 수행

당 현장에서는 향후에도 현장의 공사여건을 고려하여 우수한 신기술의 적극 도입함으로써 지속적으로 대외 신인도 향상 및 원가절감을 이루어 나가겠습니다.

연구소 소식

1. 2002 대한토목학회 학술발표회 및 Civil Expo 참가

지난 11월 8일~9일, 부산 BEXCO에서 개최된 대한토목학회 학술발표회 및 Civil Expo 행사에는 토목분야 약 1,700여명의 회원이 참석을 하였다. 국내 건설분야에서 오래된 전통을 가지고 있는 대한토목학회는 이제 명실상부한 건설분야의 최대행사로 자리매김하였다.

건설기술연구소에서는 당사의 가장 큰 자랑거리인 공항공사를 테마로 잡아 인천국제공항 전면전경을 앞세워 대한토목학회 Civil Expo에 참가하였으며, 학계에서는 국내 전체 공항공사의 대부분을 당사가 수행하였다는 사실에 놀라는 눈치였다. 21세기는 정보화 사회이며, 정보란 양질의 내용을 정확하고 신속하게 파악하여야 한다. 그러나 정보화 사회에서 더욱 중요한 것은 정보의 생성 및 전달이며 당사의 국내외 수많은 건설실적 및 위상을 알리는 일환으로 학술단체의 홍보전시회 참여는 뜻깊은 의미를 가지고 있다고 판단된다.



<Civil Expo 당사 홍보관>

2. 2002년도 공법발표회 개최

건설부문 임직원들의 기술개발 의욕고취를 통한 대외경쟁력 강화 및 현장 적용 우수공법의 사내 전파를 위한 ‘2002년도 한진중공업 건설부문 공법발표회’가 12월 14일 구의동 3층 교육장에서 임직원이 참석한 가운데 성황리에 개최되었다.



이날 개최된 공법발표회에서 는 국내에서 처음 도입되는 공법으로 강재결합구와 속채움콘크리트를 이용한 강관말뚝 합성형 두부보강공법(진동 우회도로 현장), 무주대공간 Truss 설치공법(인천국제공항 항공기 정비시설 현장), 최신가교공법 TRIAS(옥포-성산간 확장공사 제1공구), 공항 관제탑 체진장치(양양 국제공항) 등이 소개되었다.

당사 각 현장에서 새롭게 적용되고 있는 우수공법의 소개 및 발표를 통해 신기술 신공법의 Data화를 이루어내고 이를 체계적으로 운용 발전시킴으로써 회사의 특화기술로 뿌리내릴 수 있도록 다각적인 노력을 기울이고 있으며 그 일환으로 한진중공업 건설부문 공법발표회를 매년 시행하고 있다.

3. 현장공법개선담당제 시행 안내

■ 제도 시행의 목적

과거 건설분야는 노동집약적·비생산적·환경오염분야로 인식되어 왔으나 현재에는 기술 집약적이며 환경 친화적인 동시에 고부가가치 창출이 가능한 산업분야로 인식이 전환되고 있는 과도기에 있다.

현재 국내 건설산업은 선진 외국에 비교하여 기술기반의 취약함이 사실이지만 최근 국내에서 이루어진 대형 공사의 경험을 바탕으로 단시간에 비약적인 기술발전을 이룩하였다. 그러나 선진 여러 나라가 보유하고 있는 중요 요소기술이나 첨단 고급기술에 대해서는 아직도 극복해야할 많은 과제를 안고 있다. 또한 국내에

서도 업체간 기술수준의 격차가 큰 것이 사실이며, 이러한 격차는 기술개발에 관한 지속적인 노력과 기술자료의 관리 및 활용 노력 여부에 따라 많은 영향을 받은 것으로 판단된다.

당사에서도 기술개발에 관하여 상당한 열의를 가지고 건설신기술, 특허 등의 지적재산권 확보를 위해 노력해왔으나 아직 현장실무와의 접목이 미흡한 실정이다. 그러므로 기술개발활동에 관한 새로운 전기를 마련하기 위해 본 제도를 신설 운영하게 되었다. 본 제도는 당사 현장에서 수행하고 있는 우수 기술을 파악하여 기술 데이터베이스를 구축함으로써 기술기반을 확대함과 아울러 미흡한 현장직원의 공법개선·개발의 여건을 고양하여 당사의 대외기술경쟁력 제고에 이바지하는데 그 목적이 있다.

■ 업무 진행 현황

급변하는 기업환경과 치열한 “기술경쟁력이 요구되는 건설시장에서 기술만이 진정한 승부”라는 최고경영층의 자각·지시에 의거 “1현장 1공법 창출”의 기치 아래 당사 건설현장에 기술개발을 위해 본 제도를 시행하게 되었다.

2002년 2월부터 당사 개설 현장의 시행 기술현황을 파악하기 위하여 토목·건축사업팀 및 기타 관련 부서의 협조를 구하고 연구소직원의 현장출장을 통해 향후 기술자료의 관리가 필요한 것으로 판단한 30여개 현장을 2002년도 현장공법개선담당제 대상현장으로 선정하였다. 현재 현장 및 연구소 담당자를 선정하고 운영 계획을 수립하여 업무를 수행하고 있으며, 연구소 담당자는 현장의 담당자와 대상공종에 관한 기술내용 협의, 지적재산권(신기술, 특허) 발굴/출원 및 대내·외 기술홍보(기술정보지, 공법발표회, 학회지소개 및 학회 홍보전시 참가)의 업무를 수행하고 있다. 참고로 현재의 대상 현장은 아래표와 같다.

[현장공법개선담당제 대상 현장 및 공종(2002년 12월 현재)]

대상 현장명	주요 대상 공종
1.익산-장수간 도로	-Slip Form 및 Steel Box ILM 가설공법 외 2공종
2.가조연육교	-우물통거치 2,400Tons 및 널센아치 330m설치
3.남향대교	-강관 Pile 및 RCD -강상판 및 강합성 외 1공종
4.오전동조합아파트	-토공(미진동 발파공법) -골조공사(Power Deck)
5.항공기 정비시설	-Lift-up공법 적용
6.부산-울산간 2공구	-Lunching Girder에 의한 상부공 가설 공법)
7.경원선 3공구	-SAIP 및 상부공 Form Vibrator 외 1공종

8.하서-부안간 도로	-IPC거더 시공 및 PSC Beam Sole Plt 가공 최소화
9.강원대학교병원신축	-고운다듬마감 석공사
10.지하철 905	-토공흙막이 공사 및 지반개량공사 외 2공종
11.수원민자역사	-Travelling 공법
12.광주도시철도 1-8	-하저터널
13.대전도시철 1-15	-흙막이공
14.장항선복선전철	-PHC 말뚝공 및 시트파일공
15.경부고속철도	-Turning 방법에 의한 상부교량 가설
16.영광-해보간도로	-강관말뚝볼트보강 및 터널 Supex-Cut공법 외 2공종
17.마석-답내간도로	-터널공 Supex-Cut 공법 외 2공종
18.의정부 금오APT	-본패널공법 sample시공
19.대전지하철종합사령실	-철근 선조립 공법
20.부산 한진공동 사옥	-건물 외벽 장식물 설치
21.사능-호평간 도로	-Soil nailing 시공
22.옥포-성산간도로	-SMA 포장공법
23.전라선7공구	-PF Beam
24.봉동-화산간 도로	-RPF 교량 가설 공법
25.객실안전훈련센터	-Space Frame
26.정석학술정보관	-건식벽체차움 공법
27.진주-통영간고속국도	-턴키 도로공사 관리 기법
28.김제부안도로	-EPS 성토공법
29.동해고속도로	-EPS 판넬공법

■ 맺음말

2003년에는 제도운영에 참여의식 부족 등 미흡한 부분을 개선하고 일층 심화된 공법개선 활동을 실시하기 위하여 포상규정을 강화하고 한진공법발표회, 기술정보지 등 관련 업무와 적극 연계하여 본 업무를 추진하겠습니다.

당사 건설기술연구소에 지속적으로 관심과 격려를 보내주시는 당사 임직원 여러분께 감사의 말씀을 드리며, 앞으로 더 새로운 모습으로 여러분과 가까운 자리에서 도움이 될 수 있는 연구소가 되기 위해 노력하겠습니다.

또한 현장소장 및 담당자 여러분께서도 본 제도 실시의 취지를 이해하고 적극적인 업무협조와 지도편달을 당부합니다.

신착 자료 현황

2002년 하반기 신착자료 현황을 공사기록자료, 신규 구입도서, 정기간행물 등으로 나누어 소개합니다.

1. 공사기록자료

No	현 장 명	자료종류	접수일
1	남해고속도로 내서~냉정간 8차로확장공사 4공구	CD	2002-06-29
2	장성문화센터건립공사	CD	2002-06-29
3	항공우주연구소 엔진시험동 건설공사	CD	2002-07-08
4	항공우주연구소 종합연구동 및 발사체조립시험동	CD	2002-07-08
5	인천문학경기장 건립공사 (건축)	CD	2002-07-15
6	서해안고속도로 군산-무안간 제15공구	CD	2002-08-07
7	부산아시아드 주경기장 조경보완공사	CD	2002-08-12
8	인천국제공항 여객터미널 전면도로 (A-08공구)	CD	2002-08-17
9	인천국제공항 항공기정비시설-A 신축공사	CD	2002-09-12
10	항공대 창업보육센터 및 도서관 신축공사	CD	2002-09-16
11	월계시영아파트 재건축공사	CD	2002-11-11

2. 신규 구입도서

No	자 료 명	발행처
1	2002년 8월 낙동강 유역 홍수	한국건설기술연구원
2	2002년 건설공사표준품셈 (토목·건축·기계설비)	대한건설협회
3	2002년 건축공사 표준일위대가	도서출판 효성
4	2002년 건축공사 표준품셈	한국적산연구소
5	2002년 견적실무	한국적산연구센터
6	2002년 전기·신호·통신 표준품셈	대한전기협회
7	2002년 종합적산자료	한국물가협회
8	2002년 종합적산정보	한국물가정보

9	2002년 최신개정판 표준 일위대가표	한국건설적산
10	2002년 태풍 루사에 의한 강원도 지역 대홍수	한국건설기술연구원
11	2002년 토목공사 표준일위대가	도서출판 효성
12	2002년 토목공사 표준품셈	(주)건설연구사
13	2002년 표준 기계설비공사품셈	(주)도서출판 기다리
14	2002년 표준 전기·신호·통신공사 품셈	(주)도서출판 기다리
15	2002년도 건설표준품셈	건설연구사
16	4D CAD를 기반으로 한 건설사업관리 시스템 개발	한국건설기술연구원
17	강구조한계상태 설계규준(안)및해설작성에 관한 연구	대한건축학회
18	강남지역 주택시장 분석	한국건설산업연구원
19	개정판 도시계획론	보성각
20	개정판 품질경영론	박영사
21	객체지향 방법론을 적용한 철근 모듈 설계시스템	한양대학교대학원
22	건설 CALS개론 및 시험구현 사례	한국건설기술연구원
23	건설공사관리 -이론과 실제-	구미서관
24	메타데이터 APPLICATION PROFILE 개발연구	건설교통부
25	건설관리인의 CM 이론과 실무	구미서관
26	건설사업관리(CM) 제도 현황과 발전방향	한국건설산업연구원
27	건설신기술 일위대가표	한국건설신기술협회
28	건설신기술품셈	한국건설신기술협회
29	건설업체의 기업경영 개선사례분석	한국건설산업연구원
30	건설프로젝트의 운영실무	구미서관
31	건축물 화재안전시스템 구축	한국건설기술연구원
32	건축물의 내진구조 및 방재기준에 관한 연구	건설부
33	건축물의 자가안전진단 요령	한국건설기술연구원
34	건축물의 최적유지관리 모형개발	한국건설기술연구원
35	건축자재의 환경친화성 평가기법 제도화방안 연구	한국건설기술연구원
36	고강도 콘크리트 개발 및 실용화 연구보고서	두산건설(주)
37	고장력(SM570)강재의 구조설계요령	포항산업과학연구원

38	공동주택의 내진성능 향상을 위한 구조계획 기법연구	대한주택공사
39	공동주택의장수명화및재생을위한 IHCS표준모델 개발	한국건설기술연구원
40	주거생활향상을위한 설계및공급체계 개선방안 연구	한국건설기술연구원
41	광섬유 센서를 이용한 산사태 예측기법 개발	한국건설기술연구원
42	교각내진성능평가및교량비선형 내진해석프로그램개발	한국건설기술연구원
43	구조계특성 추정기법에 의한 교량 내화성능 평가기술	한국건설기술연구원
44	구조형식 다양화를 위한 조적조 공법의 설계기준연구	대한주택공사
45	국내건설환경하에서프리캐스트공법의 타당성분석연구	주택연구소
46	국내실정에 맞는 고강도 콘크리트의 개발 및 실용화	삼성물산건설부문
47	국내최초 중저층 철골조아파트 준공발표회	(주)POS-A.C
48	기계설비 성능진단 및 리노베이션 방안 연구	한국건설기술연구원
49	기업과 소비자를 위한 제조물책임법 모든것	청림출판
50	대공간구조물의 구조해석및설계에 관한 국제심포지엄	한양대학교
51	도로교 시방서.동해설	일본도로협회
52	도로설계요령	한국도로공사
53	도로설계편람	건설교통부
54	도심지옹벽의 안정성조사와피해경감을 위한 기초연구	행정자치부
55	동절기 지반의 동결심도 장기조사	한국건설기술연구원
56	물리화학적처리에의한오염부지의 현장복원기술개발	한국건설기술연구원
57	방화관련 KS규격의 선진화 연구	산업자원부
58	복개 터널구조물의 거동해석 및 설계요소기술개발	한국건설기술연구원
59	복합구조의 설계	탐구문화사
60	사실상의 표준과 R&D 전략	산업기술진흥협회
61	사회과학 조사분석론	아시아미디어리서치
62	산업 환기 - 이론과 실제 -	도서출판 동화기술
63	산업설비공사 일반표준시방서	한국건설기술연구원
64	수자원의 염소내성 병원성미생물 처리기술 개발	한국건설기술연구원
65	시설물 보수보강 및 진단기술	한국시설안전공단
66	시험유역의 운영 및 수문특성 조사.연구	한국건설기술연구원

67	실무에서 본 기초구조설계	탐구문화사
68	알기쉬운 영상조명기술	아르케아이팅아트
69	우수 및 부실시공사례	대한주택공사
70	유료 노인주거시설 시장 전망과 진입 전략	한국건설산업연구원
71	전기관계 법규집 (2002년 3월 25일 까지 완전 개정판)	도서출판기다리
72	제조물책임(PL)법과 기업대응전략	성안당
73	조립식주택의 성능평가 및 설계표준화에 관한 연구	건설교통부
74	조명 설비 및 설계	성안당
75	주택부품시스템에 관한 연구	한국건설기술연구원
76	주택정책이 부동산 시장에 미치는 효과 분석	한국건설산업연구원
77	중국 건설시장의 환경 변화와 진출 전략	한국건설산업연구원
78	지방자치단체별지역개발사업의추진현황과지원방안	한국건설산업연구원
79	지중강관 구조물 실용화 연구보고서	한국도로공사
80	지중매설구조물의 하중저감 대책에 관한 연구	한국건설기술연구원
81	천해설계과 산정 수치모형 개발	한국건설기술연구원
82	철골조 아파트용 데크플레이트 공법의 개발	한국건설기술연구원
83	철골조 초고층아파트 시스템개발 연구	대한주택공사
84	철골조아파트 국제 기술 세미나	포항산업과학연구원
85	철골조초고층아파트 건축설계에 관한 연구	대한건축학회
86	철근선조립 자동화를 위한 BAR-MESH 모듈화 설계 전문가시스템 개발	한양대학교대학원
87	철근선조립공법 자동화를 위한 지원시스템 개발	한양대학교대학원
88	최신 항만공사 시공 실무편람	신기술
89	충고 절감형 합성내화데크공법 기술 세미나	강구조연구소
90	콘크리트 교량의 염해 내구성 평가 기술 개발	한국건설기술연구원
91	콘크리트 구조물의 균열	한국콘크리트학회
92	콘크리트 구조물의 내구성 인자 중장기 조사 연구	한국건설기술연구원
93	콘크리트충전 강관구조 설계 및 시공지침	포항산업과학연구원
94	콘크리트충전강관(CFT)구조 초청기술세미나	한국강구조학회
95	터널공학시리즈① 터널의 이론과 실무	한국터널공학회

96	토목공사 하자관리 실무	홍문관
97	페로테크를 사용한 건축물의 구조설계.시공 실무편람	대한주택공사
98	폴리모 합성 개질 아스팔트 포장의 신재료 기술 개발 및 성능 평가	한국건설기술연구원
99	한강하저터널 공사보고서	삼부토건주식회사
100	한강하저터널의 시공	삼부토건주식회사
101	한국 건설산업의 21세기 비전	대한토목학회
102	항공등화 기술기준	건설교통부
103	해설 조선지식입문	동명사
104	핵심분야 연차보고서	Brain Korea21
105	환경분야건설 시장의 전망과 활성화 방안	한국건설산업연구원
106	ALC 구조 기술 세미나	대한건축학회
107	CFT기술 자료집	강구조연구소
108	Composite Metal Deck Slab System연구	대한건축학회
109	Elementary Structural Analysis	탐출판사
110	KS 핸드북 - 조명	KSA한국표준협회

3. 정기간행물 구독 현황

No	간기	자 료 명	발행처
1	월간	거래가격	대한건설협회
2	월간	건설감리	한국건설감리협회
3	계간	건설경제	국토개발연구원
4	월간	건설교통 JOURNAL	대한건설진흥회
5	월간	건설기술정보	한국건설기술연구원
6	월간	건설저널	한국건설기술연구원
7	월간	건축기술	주식회사 건축기술
8	월간	경영과 컴퓨터	경컴
9	월간	대한건축학회 논문집 계획계	대한건축학회
10	월간	대한건축학회 논문집 구조계	대한건축학회
11	월간	대한건축학회 건축	대한건축학회

12	격월	대한토목학회 논문집(구조공학,원자력공학)	대한토목학회
13	격월	대한토목학회논문집(수공학,항만,해안,환경)	대한토목학회
14	월간	대한토목학회지 토목	대한토목학회
15	월간	도로교통	한국도로교통협회
16	월간	마이크로소프트웨어	정보시대
17	월간	물가자료	한국물가협회
18	월간	부동산뱅크	(주)부동산뱅크
19	월간	설비 공조.냉동.위생	한국설비기술협회
20	월간	설비기술	도서출판 한미
21	월간	월간 건축문화	건축문화
22	월간	월간 국토	국토연구원
23	월간	월간 설비기술	도서출판 한미
24	월간	월간 전기저널	대한전기협회
25	월간	월간 창호	창호공사협회
26	월간	월간 첨단 환경기술	환경관리연구소
27	월간	월간 전기	전우문화사
28	월간	전설공업	(주)의제
29	격월	조명.전기설비학회지	한국조명전기설비학회
30	월간	종합물가정보	한국물가정보
31	격월	철구조 공사기술정보	철물공사협회
32	계간	한국건축시공학회지	한국건축시공학회
33	계간	Architectural Research	대한건축학회
34	월간	INTERIORS (인테리어)	가인다지인그룹
35	격월	Journal of Structural Engineering	대한토목학회
36	월간	PC LINE	한경PC라인