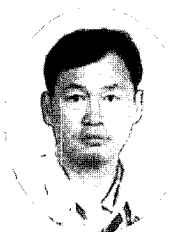


고교각 타설을 위한 슬립폼 공법 시공

- An Application of Slip Form System on High Pier Casting -



이상열*
Lee, Sang Youl



박희섭**
Park, Hee Sub



이주호***
Lee, Joo Ho



우승민****
Woo, Seung Min

1. 서 언

최근 들어 각종 산업이 선진화되어감에 따라 사회 기간산업 확충의 일환으로 신설 도로의 증가가 두드러지고 있다. 이에 따라 산악지형의 계곡부를 가로지르는 고교각을 포함하는 장대 교량의 시공이 불가피한 실정이다. 그러나 고교각의 타설은 일반적인 레미콘이나, 펌프를 이용한 방법으로는 수행할 수 없으며, 특수한 시공 방법이 필요하다. 당사 현장에서 시공 중인 "익산~포항간 고속도로(익산~장수간) 건설공사"의 민목3교도 이러한 고교각을 포함한 현장으로 합리적인 교각 타설 방법의 선택이 요구되었다. 이에 고교각의 타설을

위해 슬립폼(silp form) 공법을 채택하여 수행하게 되었다. 본고에서는 고교각 구조물 타설의 한 방법으로 성공적인 시공 사례를 기록한 슬립폼 공법에 대한 시공 사례를 소개하고자 한다.

2. 슬립폼 공법

슬립폼 공법이란 수평적 또는 수직적으로 반복된 구조물을 시공 이음이 없이 균일한 형상으로 시공하기 위하여 거푸집을 유압 잭(jack)에 연결하여 연속적으로 이동시키면서 콘크리트를 타설하여 구조물을 시공하는 거푸집 공법이다. 이 공법은 사일로(silo), 곡물창고, 전단벽 건물, 유틸

리티 코어, 굴뚝, 교각 등과 같이 수직적으로 연속된 구조물과, 원자력 발전소의 원자로 격납용기와 같이 시공 이음이 없이 시공되어야 하는 구조물에 사용이 되며, 고속도로 포장, 도로 중앙 분리대 등 수평적으로 연속된 구조물에도 적용이 된다. 현재 시공된 대표적인 슬립폼 공법의 시공 사례로는 서해안 고속도로의 일부인 서해대교의 주탑(높이 182m)과 강원도 횡성군에 위치한 횡성대교 교각(높이 92m) 등을 들 수 있다.

3. 고교각 시공 사례

민목3교 교각에 적용되는 슬립폼 공법은 높이 1.2m 정도의 거푸집(inner & outer form)을 띠장(yoke) 연결재로 강결시키고, 띠장 연결재에 봉(rod, 32m/m)을 관통시켜 설치하며 이 봉에 잭(5~10톤)을 부착시켜 거푸집을 지지하는 구조이다. 잭은 유압 펌프와 연결하여 거푸집을 상승시키며 봉 주위에 슬리브 파이프(sleeve pipe, L=1.2m, casing이라고도 함)가 있어 콘크리트의 초기양생이 진행된 깊이까지 봉 홀(rod hole)이 형성되어 시공 완료 후, 봉을 손상 없이 회수한다.

거푸집의 슬립업(slip-up)은 1 stroke

표 1. 공사 개요

· 공사명 :	익산~포항간 고속도로 익산~장수간 건설공사
· 구조물명 :	민목3교 교량의 하부공(교각), Sta. 23 + 549.84 ~ Sta.24 + 360.16
· 교량연장 :	L = 810.0m(47.5 + 11@65.0 + 47.5)
· 선형조건 :	① 종곡선장 : I = 0(종곡선 미설치) ② 평면 곡선반경 : R = 1,250 ③ 종단구배 : S = (+)1.9439%
· 교각제원 :	① 최대 교각높이(P4) : 83.232 m ② 최소 교각높이(P6) : 21.341 m ③ 교각 폭 : B×H = 전주방향 6.0m×5.0m, T = 1m. 합양방향 8.0m×5.0m, T = 1m

* 롯데건설(주) 익산-장수 현장 현장소장
** 롯데건설(주) 익산-장수 현장 공사과장
*** 정희원, 롯데건설(주) 기술연구소 수석연구원
**** 정희원, 롯데건설(주) 기술연구소 연구원

표 2. 교각각 시공법 비교

구분	Climbing Form 공법	Slip Form 공법
개요	거푸집(3~4m)과 발판이 일체로 블록화된 조립 거푸집을 콘크리트 1Lot 타설 후 약 2일 정도 양생시킨 다음 크레인 등으로 상방향 이동 설치하면서 교각 전체를 구축하는 이동식 거푸집 공법	거푸집을 탈착하지 않고 철근조립 및 콘크리트를 타설하면서 연속적으로 상향 방향으로 이동, 거푸집을 상승시키는 방법으로 1회 타설높이 200~250mm, 1일 2.5m 연속 상방향으로 이동 설치하면서 교각 전체를 구축하는 활동식 거푸집 공법
장점	- 장비 및 작업인원이 공종별로 필요에 따라 투입가능하며 작업인원 소요가 적음 - Form 전용이 용이함	- 대형 공사 및 고공 작업시 시공 유리 - 시공 이음이 없어 내구성 우수 - 24시간 연속작업으로 별도 양생 기간 불필요 - 안정된 작업대에서 각 단계별 시공, 안전관리상 유리
단점	- 투입인원 및 장비의 효율적 운영 필요 - 공사기간 길어짐 - 시공 이음 발생 - 수직균열 발생 가능 - Lot마다 거푸집 설치 및 해체 작업으로 안전사고 우려	- 잭 유압관리 등 숙련된 기능공이 필요 - 거푸집 제작에 시간이 많이 소요 - 공사 초기에 거푸집의 제작 및 조립비가 고가 - 연속작업에 의한 노출 표면의 불량 우려

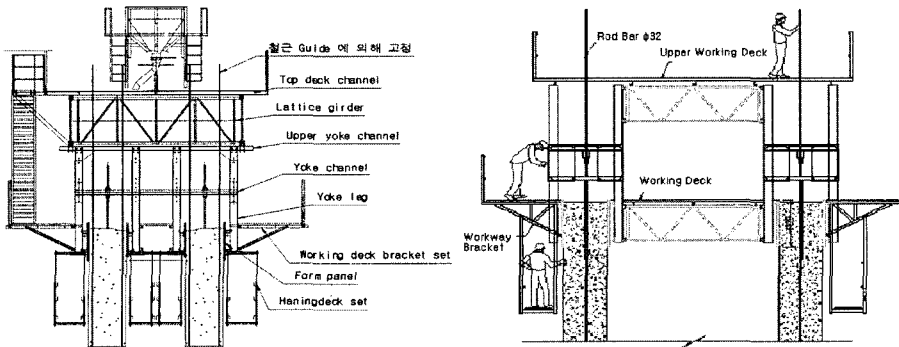


그림 1. 슬립폼 시스템의 구조 개요

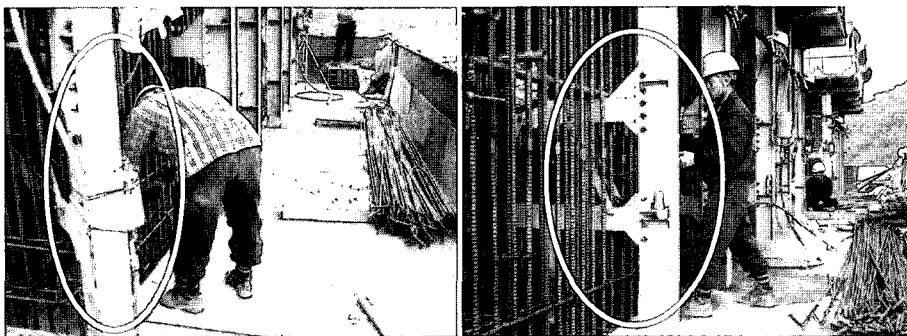


그림 2. 띠장 수직재(leg)와 수평재(channel)

(약 25mm/8~10분)씩 콘크리트의 초결 시간에 따라 연속적으로 슬립업을 실시하여, 시공이음을 방지하고 콘크리트의 소성변형을 방지할 수 있으며, 기상여건에 따른 거푸집의 안정을 도모할 수 있다.

3.1 슬립폼의 구조

슬립폼은 크게 거푸집 부분과 설비 부분으로 나눌 수 있으며, 거푸집 부분은 거푸집, 띠장(yoke), 잭(jack), 깡, 작업대로, 설비 부분은 자재 및 콘크리트 운반용 장비, 승강기로 나눌 수 있다.

3.2 주요 부분의 기능

3.2.1 띠장(Yoke)

2개의 수직재(leg)와 수평재(channel)로 구성되어 있으며, 슬라이딩시의 모든 하중이 유압 잭을 통하여 봉을 상승시키는 역할을 한다. 그러므로 띠장은 수평, 수직이 정확하고 봉에 중심을 고정시켜야 하며, 띠장에 처짐이 생기지 않도록 띠장간의 간격을 1.2~2.0m 정도로 하는 것이 보통이다. 재질은 철재 등으로 제작되며 모양도 여러 가지가 있다.

3.2.2 봉(Rod)

봉으로는 지름 32mm의 원형 철근(round bar)를 사용하였다.

3.2.3 거푸집

콘크리트 측압에 견딜 수 있어야 하며 완성된 표면이 양호하게 마무리될 수 있는 재질(철재 판넬)이어야 하며, 구조물 모서리 부위의 균열을 방지하기 위하여 철재로 모서리부를 가공 설치하여 콘크리트 모르타르 유입에 따른 모서리면의 파손이 발생되지 않도록 한다.

3.2.4 작업대(Working deck)

주 작업대는 좁은 공간에서 콘크리트 타설, 철근조립 등의 작업이 이루어져야 하므로 충분한 지지력을 확보하여야 하며 크게 상단 작업대와 하단 작업대로 나뉘는데 상단 작업대는 주철근 배근, 버킷(bucket) 타설시 콘크리트 운반, 기상여건에 대비한 천막설치 등을 위해 설치하며, 하단 작업대(hanging-scaffolding)는 일반적으로 노출된 콘크리트 표면 마감처리, 단면 변화 구간에서의 슬립폼 조정 및 콘크리트면 보수를 위해 주 작업대에 와이어로 매달아 교각 주위 전체에 설치한다.

3.2.5 상승 장치

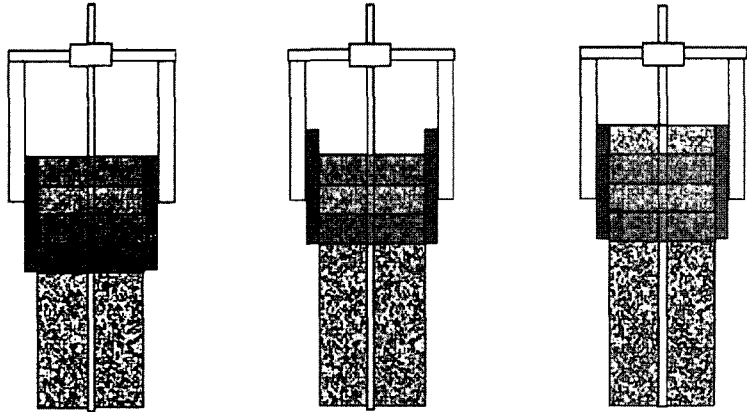
슬립폼 상승장치는 여러 개의 유압 잭, 유압 펌프 등으로 구성되어 있다.

(1) 유압 펌프

유압 잭에 고압의 유압을 공급하기 위



그림 3. 유압 펌프와 유압 잭



a. 콘크리트 타설

b. 거푸집 상승

c. 콘크리트 타설

그림 4. 슬립폼 시공 원리

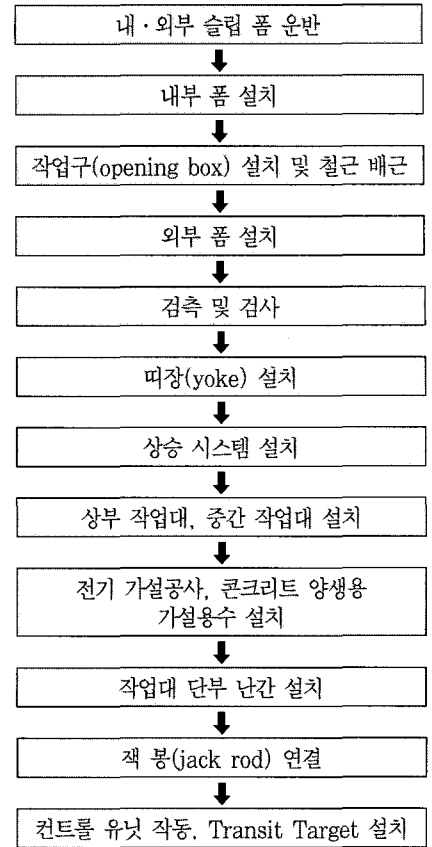


그림 5. 슬립폼 조립 흐름도

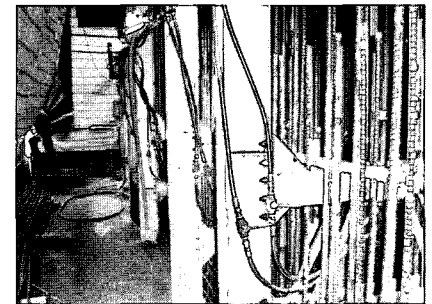


그림 6. 설치 완료된 띠장

한 펌프를 말하며, 최대 토출압은 약 25 MPa 정도이며, 통상적으로 14 MPa 정도의 압력을 사용한다. 이 펌프는 전기로 구동되며, 정전에 대비해 수동 펌프도 포함 되어 있다.

(2) 유압 잭

슬립폼을 상승시키기 위한 장치로서 잭의 외부는 띠장 수평재의 잭 서포터와 연결되어 있고, 잭 내부는 2조의 잭 톱니(jack teeth)와 피스톤으로 구성된다. 슬립폼에 설치될 잭 용량은 크게 6톤, 10톤을 사용하고 있으며, 슬립폼의 지중과 작업하중 등을 고려하여 적절한 수량 및 위치를 설정한다. 슬립폼 설치 시에는 잭 상호간의 수평을 유지할 수 있도록 설치한다. 잭의 1회 상승 스토크스(stokes)는 일반적으로 25mm를 사용한다.

(3) Climb rod

Climb rod는 일반적으로 유압 잭 용량에 맞춰 6톤 또는 10톤용이 사용된다.

Climb rod에는 콘크리트가 부착되지 않도록 조치하여 시공 완료 후 Climb rod를 인발하여 재사용 및 매립하는 방법이 있다. 그리고 Climb rod는 1개의 길이가 3~4m이며, 나사식으로 연결하여 사용한다.

3.3 시공 원리

슬립폼 공법의 시공 원리 <그림 4>와 같으며, 모든 작업이 특정 순서 없이 분업화하여 동시에 이루어지며, 24시간 주, 야 연속 작업으로 진행된다.

3.4 슬립폼 조립과 거푸집 및 작업대 공사

슬립폼 조립 흐름도는 <그림 5>와 같다. 아래의 흐름에서 철근 배근 작업은 거푸집 작업 진행과 동시에 지속적으로 이루어지며, 각 작업대 설치 후 작업대 단부 난간(deck hand rail) 상, 하 이동 계단이 설치된다.

3.4.1 띠장 및 띠장 연결

2개의 수직재(leg)와 수평재(channel)로 구성되어 있으며, 슬립업시의 모든 하중이 유압 잭을 통하여 봉에 전달되면서 거푸집을 상승시키는 역할을 한다. 그러므로 띠장은 수평, 수직이 정확하여야 하고 봉에 중심을 고정시켜야 하며 띠장에 처짐이 생기지 않도록 띠장과 띠장을 연결, 고정시켜야 하며, 연결재를 띠장연결재(yoke connection)이라 한다.

연결재는 상, 하 2줄로 배치한다. 띠장과 띠장 간격은 1.2~2.0m 정도로 하는 것이 보통이다. 재질은 철재로 제작되며

구조계산에 의한 부재선정을 하여야 한다.

3.4.2 작업대(Working deck)

(1) 상부 작업대

수직철근의 간격에 따라 기 설치된 구멍(hole)을 통하여 수직철근을 조립하며 안전에 만전을 기하기 위해 난간대 및 안전대를 설치한다.

(2) 하부 작업대

수평철근 조립 및 콘크리트 타설, 진동 다짐 작업을 하며 안전을 위하여 난간대 및 안전망을 설치한다.

(3) 하단 작업대(Hanging scaffolds)

하단 작업대에 재질은 체인(chain)을 사용하여 U형 철물을 사용하여 설치하며, 발판재로는 미송 각재 및 판재를 사용한다. 하단 작업대의 경우도 콘크리트 면처리가 필요하므로 전등 설치가 필요하며, 슬립 업 노출되는 콘크리트 면의 급격한 수분증발을 막기 위해 양생막을 설치하거나 수분을 공급하도록 한다.

4.3.3 잭과 붓 설치

붓은 지름 32mm의 원형 철근을 사용한다. 과하중이 되면 붓에 좌굴이 일어나며, 좌굴을 방지하기 위하여 붓 유도 파이프의 강성을 키우는 것이 유리하다.

붓의 이음부위는 동일부위가 아닌 1/2씩 틀리게 이음부위를 설정하기 위하여 최초 붓의 1/2은 길이가 1/2인 붓을 사용한다. 한편, 잭은 붓의 반력을 취하여 거푸집, 작업대, 콘크리트 타설 설비 하중 외에 콘크리트와 거푸집의 마찰력을 감당하는 역할을 한다.

3.5 슬립업(slip-up) 작업

3.5.1 슬립업 상승속도

거푸집이 탈형 되어도 타설된 콘크리트가 붕괴되지 않을 만큼 경화되었을 때 상승시킨다. 그러므로 상승속도는 경화속도에 의해 결정된다. 대체로 타설 후 30 ~

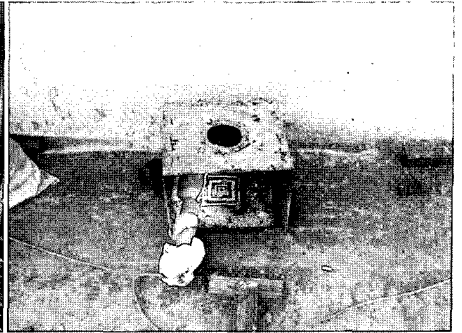


그림 7. Transit Target 설치 전경

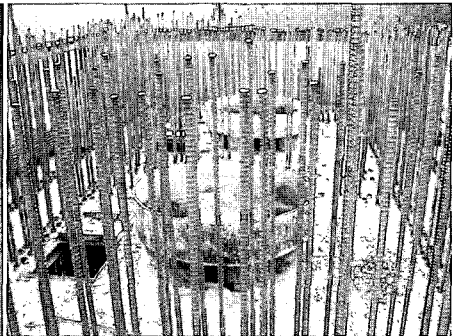


그림 8. 작업구 설치 전경

그림 9. 철근 배근 전경

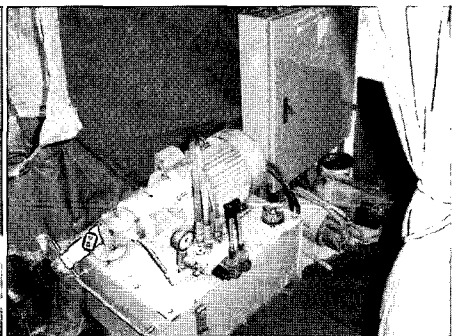
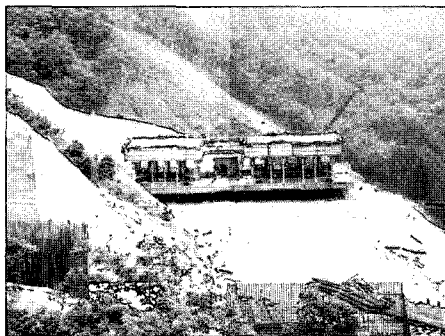


그림 10. 컨트롤 유닛 설치 전경

그림 11. 거푸집 설치 완료 후 전경

60분이 지나면 슬립 업을 하며, 자연재를 사용하여 필요에 따라 상승속도를 조절할 수 있다. 또 콘크리트는 날씨에 영향을 받아 경화되므로 하절기나 동절기 등 계절에 따라 상승속도는 차이가 난다. 하절기 공사는 경화속도가 빠르므로 탈형된 콘크리트에 살수 및 일광 차단막을 사용하여 수분의 증발을 막아 적절한 상승속도를 유지한다. 동절기 공사는 하절기에 비해 경화속도가 느므로 조강재와 보온재를 사용하여 일정한 상승속도를 유지한다.

3.5.2 슬립폼 탈형시 콘크리트 강도
슬립폼을 탈형할 때의 콘크리트 강도는 0.05 ~ 0.10 MPa가 최적이며 콘크리트

의 조기강도를 측정하는 방법으로는 자동 및 수동으로 동시에 체크한다.

3.5.3 슬립 업 작업

슬립 업은 각각의 잭이 균등한 행동을 하도록 주의하여 상승시킨다. 또한, 각각의 잭 용량과 하중과의 비율의 불균형으로 상승높이에 차이가 발생하는 일이 없도록 주의하며 상승 중에는 항상 잭이 제대로 작동하는가를 세밀히 관찰하여 무리가 없도록 한다. 상승 중에는 수시로 다음 작업을 위한 관리와 세밀한 측정을 하여 상승시키도록 한다.

3.5.4 슬립 업 작업시 주의사항

표 1. 기온에 따른 슬립 업 1회 상승 경과 시간

기온	타설높이	최초 타설시부터 1회 상승개시까지의 경과 시간
30°C	1.2 m	4시간
20°C	1.2 m	6시간

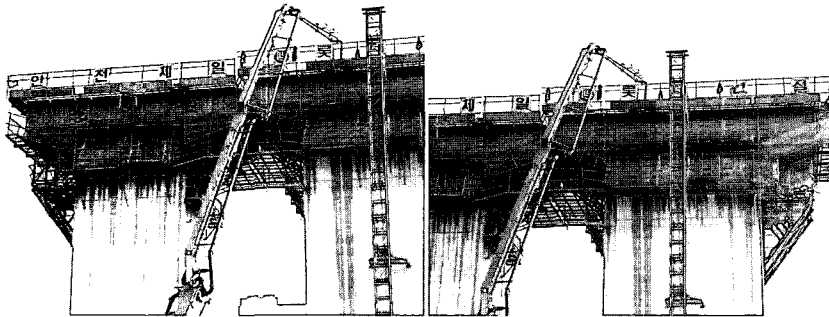
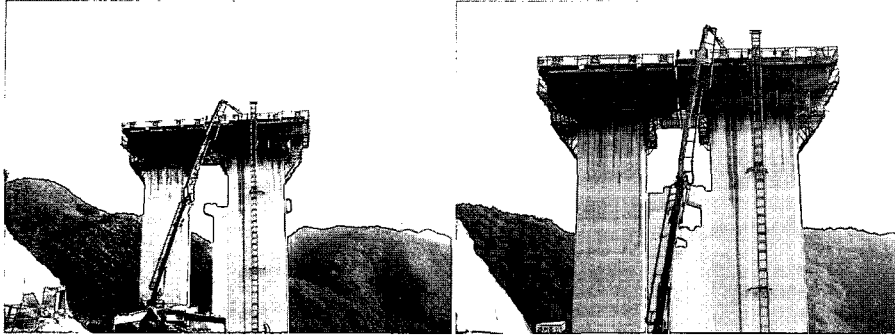


그림 12. 슬립폼 공법에 의한 고교각 콘크리트 타설 전경

거푸집의 조립 및 청소가 끝나면 먼저 살수를 하고 콘크리트를 타설한다. 콘크리트의 타설은 수평을 유지하며 1회 타설량을 300 mm 정도로 계속 타설한다. 기온에 따른 슬립 업 1회 상승시간은 <표 1>에 따라 행한다.

6. 결 언

현재 롯데건설에서 시공 중인 “익산-포항간 고속도로(익산-장수간) 건설공사” 중 민목3교 교량 공사의 고교각에 적용되는 슬립폼 공법은 높은 안정성, 시공성 및 경제성을 나타내었다. 향후 산악지형의 계곡 등을 가로지르는 도로의 확충이 불가피함에 따라 도로에서 교량이 차지하는 비중이 점차 증가할 것으로 판단된다. 이에 따라 고교각의 시공이 점차 증가추세를 보이고 있으며 슬립폼 공법의 적용은 점차 널리 보급될 것으로 판단된다. 본고를 통해 향후 이와 같은 고교각 구조물을 공사하고자 하는 설계자, 시공자들에게 좋은 시공사례가 되어 좋은 품질을 달성할 수 있도록 참고가 되었으면 한다. □

국제회의 개최 안내

The First International Conference of Asian Concrete Federation (ACF)

1. Date : October 28 ~ 29, 2004
2. Place : Chiang Mai, Thailand
3. Organized : Thailand Concrete Institute, Sirindhorn International Institute of Technology Chiang Mai University
4. Conference Theme

- Raw materials for concrete production, cement, aggregate and admixture
- Mix proportion, fresh concrete properties
- Durability of Concrete
- Concrete at early ages
- Inspection, repair, maintenance and strengthening of concrete
- Non-destructive testing
- Recycling of concrete and aggregate
- Behavior, analysis and design of concrete, RC and PC structures
- Technology of concrete construction
- Situation of concrete industry
- Constitutive modeling and finite element analysis of concrete
- Codes and specifications

5. Important Dates

- Submission of abstract : March 31, 2004
- Acceptance of abstract : April 20, 2004
- Submission of full paper : May 31, 2004
- Acceptance of full paper : August 15, 2004

Conference Secretariat

All enquiries and mailing correspondence should be addressed to:

Secretariat, The first ACF conference
Dr. Amorn Pimanmas
Sirindhorn International Institute of Technology,
Thammasat University

P.O. Box 22, Thammasat Rangsit P.O.
Pathumthani 12121, Thailand

Phone: +66-2-986-9009 ext. 2403

Fax: +66-2-986-9009 ext. 1905

Email: amorn@siit.tu.ac.th

Web: <http://www.acfconf.com>