

대림합성슬래브 복합화 공법 실용화

The Application of the Daelim Composite Slab System



곽 명 식*



김 옥 규**

1. 서 언

우리나라 건설산업 환경은, 세계적 추세인 국제화와 기술우위 확보경쟁을 배경으로 하는 자동화, 정보화, 기술집약화의 물결속에서 21세기를 향한 획기적 전환의 변화를 필요로 하고 있다.

또한 눈앞에 와있는 건설 시장개방은, 이에 대비한 국내 건설업 법제의 대폭개편을 불가피하게 하였을 뿐만이 아니라 고유의 선진기술개발 없이는 살아남을 수 없는 세계적 기술패권주의 추세를 예고하고 있다고 하겠다.

반면에 최근의 국내건설시장에서는 숙련기능인력 부족, 기능수준의 질적저하, 고령화 등의 노무사정 악화로 인한 인건비 부담의 상승과 아울러 건설작업환경 개선과 원가절감의 요구가 증대되고 있으나 재래식 공법에 의한 생산성 증대와 품질개선 노력은 한계에 도달한 것으로 판단된다.

이에 인력절감, 공기단축, 품질 및 안전의 확보 등에 의한 생산성 및 경제성 추구를 목적으로 하는 PC공법 실용화의 필요성이 증대되고 있다. 이에 따라 우리 연구소에서는 '91년초에 PC Plant 설립 타당성을 검토한 결과 경제성 측면과 악화된

교통사정에 따른 운반의 문제, 낮은 생산 가동률 등의 부정적인 결론에 도달하여, 그 대안으로 현장생산방식의 합성슬라브 공법 연구를 추진하게 되었다.

2. 합성슬라브 공법

2.1 개요

합성슬라브 공법은 공기단축, 생력화 등 시공의 합리화를 목적으로 조립식공법의 생력화 효과와 일체식 RC 공법의 구조성능상 장점을 겸비한 것으로 슬라브의 하반 부분을 PC판으로 미리 현장에서 제작하여 설치한 후, 이를 기푸집 겸용으로 이용하면서 상부의 Topping 콘크리트를 타설하여 합성바닥판을 구축 일체화 시키는 공법이다.

합성슬라브는 Half PC라고 일컬어지고 있으며, 현재 많이 사용되고 있는 종류로 OMNIA, KAISER, PICOS 등이 있는데, 우리는 이러한 여러 종류의 합성슬라브를 검토하여, 생산 코스트가 낮고 운반 및 Stock의 문제 등이 가장 적은 Shear Cutter Type의 합성슬라브를 연구하게 되었다.

이와 유사한 공법으로 일본의 PICOS가 있는데, 자국 기술보호 측면에서 기술이전 등에 미은

* 대림산업(주) 기술연구본부 연구개발부 연구원
** 대림산업(주) 기술연구본부 기술기획부 선임연구원, 工博

적이고 거부 반응을 보여, 우리가 상당한 부분 내용을 참조하고 보완 연구해서 DACOS System (Daelim Composite Slab System)을 개발하기에 이르렀다. DACOS System은 기존공법과 외형으로는 상당히 유사하지만, 독립적인 Idea를 보완 적용한 Approach에 의해서 개발된 합성슬라브 공법이다.

2.2 공법 개요

2.2.1 수평부재

1. 현장에서 박판슬라브(PC)를 제작하여 벽체 위에 설치하고 그 상부에 콘크리트를 타설한다. (합성슬라브)→슬라브 거푸집 생략
2. 슬라브 철근 배근을 기존의 현장배근 대신 용접강선망 선조립 공법으로 대체한다.
3. 박판슬라브(PC)용 콘크리트는 고강도 콘크리트(300kg/cm² 이상)를 사용한다.

2.2.2 수직부재

1. 벽체는 기존의 유로폼 대신 대형거푸집을 설치하고 콘크리트를 타설한다.
2. 박판슬라브(PC) 상부를 현장타설 콘크리트로 함으로써 조인트 부위의 문제점을 해결→일체화 구조(기존 RC 구조와 규준이 동일)

2.2.3 기타부재 부품화

1. 개단판과 D/C는 박판슬라브와 같이 현장에서 제작하여 설치한다.(PC 부재)
2. 비내력 내외벽체, 마감부재

2.2.4 적용공법

1. 대형거푸집의 사용과 박판슬라브의 설치를 위하여 벽체와 슬라브를 분리하여 콘크리트를 타설한다.(수직수평 분리타설)
2. 작업요소별로 작업공구를 분할하여 작업원이 매일 동일한 작업내용을 반복함으로써 노무의 표준화와 표준화를 가능하게 하는 Cycle공법을 채택한다.
3. 현장제작 박판슬라브, 자연양생 등

3. 시험시공

3.1 개요

재래식 RC 공법을 개선한 공법 중 합성슬라브 공법은 가장 새로운 공법중 하나라고 할 수 있으나, 국내에서는 적용실례가 별로 없는 실정이므로 본격적인 현장 적용에 앞서 시공성과 구조성능의 평가 및 검증을 위해 실물대 시험을 실시할 필요성이 높다.

또한 현재 국내에는 합성슬라브공법에 적용할 수 있는 설계기준이 정립되어 있지 않으며, 관련 데이터도 거의 전무하여 공법의 본격적인 현장 적용을 위해서는 정밀구조계산과 학술적 조사 연구에 따른 이론적 수치와 상응하는 정확한 근거 데이터의 확보가 선결과제라고 할 수 있다.

이에 RC 벽식구조 아파트의 슬라브 구조체에 적용되는 3가지 Type의 합성슬라브를 시험시공하여 합성슬라브 현장제작시 콘크리트 타설, 양생, 탈형, 운반, 설치상의 문제점과 Topping Concrete 타설시의 품질관리, 시공성, 접합부 보강방법 등에 대한 문제점을 축출, 종합 분석하고, 이에 대한 개선 및 보완 대책을 도출하고자 하였다.

3.2 시험시공 진행방법

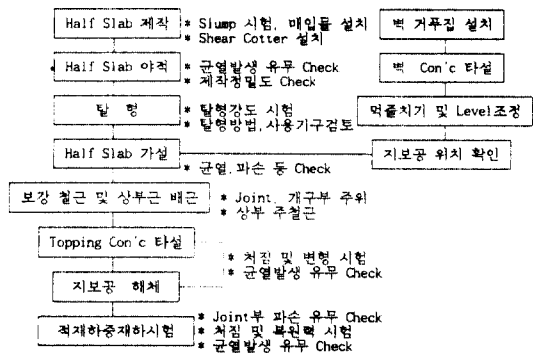


그림 1 시험시공 진행과정 Flow-Chart

3.3 소결

1. Half PC 몰드의 허용오차와 1회 시험제작 결과는 아래와 같다.

허용오차		결과			비고
항목	기준(mm)	HPC-1	HPC-2	HPC-3	
장변방향길이	±3	±2	±1	±1	음니아 슬라브 기준
단변방향길이	±2	±1	0	±1	
대각선길이	5	2.5	1	1.5	
수평레벨	3	3	2	3	

2. 평지에서 거푸집 작업을 하고, 단순한 형태이므로 숙련공이 필요없다.

3. 주분하여 현장반입한 용접강선망을 사용하기 때문에 철근 가공조립에 비하여 숙련공이 불필요하고 작업시간을 상당히 단축시킬 수 있었다.(일산아파트현장 시험시공의 경우 약 60%정도 인건비 절감)

4. 콘크리트 타설시 벽체 양쪽 상단면에 면처리용 각재를 사용하여 평활도 유지

5. 탈형시 강도(17일 강도)는 약 260kg/cm²로 탈형강도 120kg/cm²(기준치)이상의 강도가 되었으며, 본 시험시공에서의 Half PC판은 4일간 평균 7℃로 보온양생을 하였기에 4일만에 탈형할 경우 압축강도는 약 150kg/cm²로 기준 탈형강도를 상회할 것으로 생각된다.

6. 탈형시 균열 등 손상은 없었으며 탈형후 Half PC는 모두 허용오차 범위를 벗어나지 않았다.

허용오차		결과				비고
항목	기준(mm)	HPC-1	HPC-2	HPC-3		
장변방향길이	±5	±4	±2	±3	음니아 슬라브 기준	
단변방향길이	±5	±4	±2	±1		
대각선길이	5	5	2.5	3.5		
수평레벨	3	3	2	3		

7. 설치소요시간은 탈형, 인양, 가설 1사이클에 약 평균 8분 정도로 작업횟수가 반복될 수록 숙련도 증가로 시간은 단축될 것으로 본다.

8. 소요인원은 설치 2명, 보조 1(또는 2)명 정도로 충분한 설치가 가능하였다.

9. 걸침길이는 판넬 하나에 4개소를 측정하여, 총 12개소를 측정하였다. 그 측정치는 20~30mm 범위에 있었으며, 이는 계획상의 허용오차(25±5mm)를 벗어나지 않았다.

10. 동바리 설치갯수는 바닥면적이 44.8m²로서 재래식공법일 경우에는 동바리를 약 56개 설치하여야 하나, 본 시험시공에서는 12개를 설치하여 약 80%의 동바리를 절약할 수 있었으며 또한 이에 따라 하부 작업공간을 넓게 확보할 수 있었다.(동바리를 대체할 수 있는 JOIST BEAM 활용방안은 추후 시험에서 적용 예정)

4. 구조성능 평가 시험

4.1 개요

Half PC판과 Topping 콘크리트를 일반적으로 사용하는 콘크리트 강도 210Kg/cm²로 제작한 경우와 Half PC판을 Topping 콘크리트보다 고강도(300Kg/cm²)로 제작한 합성구조로 거동하는 합성슬라브의 경계면 사이에 발생하는 수평전단력에 저항하기 위하여 설치되는 전단키(Shear Key)의 각종 형태별 휨진단내력을 확인하고자 한다.

4.2 실험 방법

각 형태별 실험체별로 편심하중이 걸리지 않도록 하중점 표면 마무리한 후 평균 치수를 측정하고 실험체를 반력대 위에 설치하여 하중 단계별로

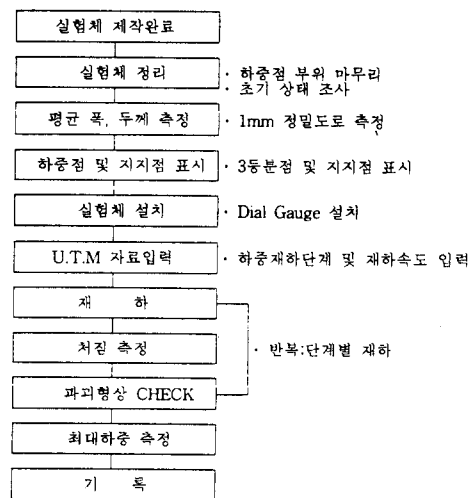


그림 2 실험 흐름도

하중을 재하하여 각 단계별로 처짐 및 균열 발생 상황 및 최대하중을 측정하였다(그림 2).

4.3 소결

Half PC판과 topping concrete와의 타설 이음면에 생기는 휨전단 내력을 확인하기 위하여 일체 타설된 실험체와, 각 형태별로 shear key를 설치한 실험체를 제작하여 3등분 하중법에 의한 휨실험결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 일체식 타설에 비하여 전단키가 설치된 실험체의 경우 휨강도가 1~4% 감소된 것으로 나타났다.
2. 최종파괴시 면내 전단응력의 경우 일체식 타설에 비하여 전단키가 설치된 실험체의 경우 5%~8% 감소된 것으로 나타났다.
3. 전단 파괴 형상은 실험체 모두 초기 휨균열에 의한 휨파괴 형상을 보였으며, 일체식 타설과 거의 비슷한 구조적인 거동을 보였다.

5. 재하시험

5.1 개요

일체식 타설 공법인 재래식 RC 슬라브와 달리 PC박판(두께 7cm, $F_c=300\text{kg/cm}^2$)에 topping 콘크리트를 분리타설(두께 6.5cm, $F_c=210\text{kg/cm}^2$)하는 합성슬라브 공법으로 제작한 시험체에

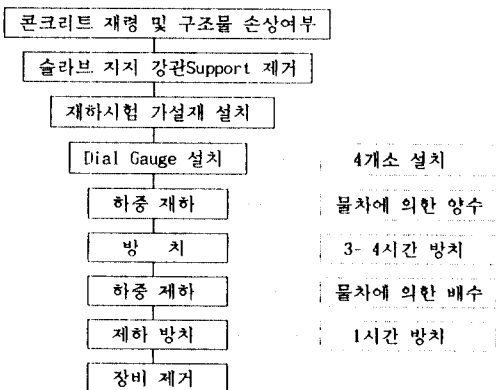


그림 3 재하시험 흐름도

재하시험을 실시하여 합성슬라브의 설계하중 부담내력 및 안전성 등을 검토하고자 한다.(그림 3.)

5.2 소결

합성 슬라브 실물대 모형에 설계하중(unfactored load, factored load) 및 재하가능한 하중(900kg/m^2 : Unfactored Load \times 2.7배, Factored Load \times 1.7배)에 의한 재하시험 결과 아래와 같은 결론을 얻었다.

1. 최대처짐량은 이론적 처짐량 이내로서
2. 재하시험 중이나 재하시험 완료후 슬라브, 벽체, 캔틸레버 보에 유해한 균열이나 파손, 기타 어떠한 결함도 발생되지 않았다.
3. 잔류처짐량은 규정치를 약간 상회하나 이는 시험오차와 판넬 개구부 영향이 복합적으로 작용한 것으로 판단되며, 최대처짐량이 미소하고 설계하중이상의 재하시험에서도 균열, 결함등이 발생되지 않아 구조상 문제는 없을 것으로 판단된다.

6. 현장적용 시공

6.1 개요

시공성과 구조성능 평가를 위한 실물대 시험 결과와 관련 구조해석 데이터를 현장시험적용으로 확인하고, 실제구조물에 적용할 때 발생 가능한 제반 문제점을 파악하여 이에 대한 개선방안을 도출하고자 한다.

6.2 적용장소 및 내용

현장적용 장소는 분당 파크타운 현장으로 23층의 아파트로 평형은 23평과 32평으로 구성되어 있으며, 이중 22층의 23평형 2세대에 합성슬라브 공법을 적용하여 시공하였다.

6.3 현장적용

6.3.1 박판슬라브 제작

1. Panel 크기 및 무게(세대당)

- ①침실 1 : $3.0\text{m} \times 4.7\text{m} \times 0.07\text{m} \times 2.4 \text{ ton} / \text{m}^3 = 2.37 \text{ ton}$
- ②주방 : $3.4\text{m} \times 4.7\text{m} \times 0.07\text{m} \times 2.4 \text{ ton} / \text{m}^3 = 2.68 \text{ ton}$
- ③안방 : $3.9\text{m} \times 3.6\text{m} \times 0.07\text{m} \times 2.4 \text{ ton} / \text{m}^3 = 2.36 \text{ ton}$
- ④거실 : $3.9\text{m} \times 3.6\text{m} \times 0.07\text{m} \times 2.4 \text{ ton} / \text{m}^3 = 2.36 \text{ ton}$

1세대 계 4 매 58.16 m^2 4.07 m^3 9.77 ton

2세대 계 8매 120 m^2 8 m^3

2. 제작소요기간 : 몰드준비 및 청소 / WWF,

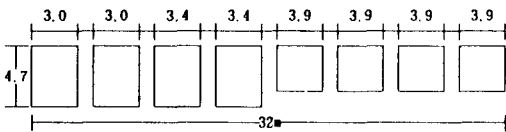
매입물 설치 / 콘크리트 타설 : 1-2일

: 양생(상온 자연양생) -

10-11일

* 실제공사 적층제작시는 1-2일, 양생은 4일
목표(실적자료에 의함)

3. 제작장 면적



$\therefore 32\text{m} \times 4.7\text{m} = 150.4 \text{ m}^2$

4. HPC Mold

• 몰드는 보통합판과 각재를 사용하여 제작하였다.

• Lifting Hook : 일반철근(D-13)

5. 철근 작업 : 일반철근 대신 공장제작 용접강 선망(WWF, D8-200x200mm) 사용

: 개구부 보강은 일반철근 사용

6. 결로방지용 단열재, 설비배관, 전기 Box 설치용 슬라브 등 매입

7. 박판슬라브 콘크리트 타설 및 탈형

(1) 압축강도 $300\text{kg} / \text{cm}^2$ (7일 강도 $200\text{kg} / \text{cm}^2$ 확인)

(2) 경계면 Shear Cotter 성형 작업

(3) 10일 양생후(탈형강도 약 $220\text{kg} / \text{cm}^2$), Lifting Frame을 사용하여 4지점에서 Crane으로 탈형

6.3.2 벽체 제작

1. 벽체 거푸집

1) 내부 독립벽체

• 대형거푸집 : PERI FORM SYSTEM 일부 구입 응용제작

• 수직·수평 분리 콘크리트타설

2) 기타 벽체는 기존 유니트판넬거푸집(유로폼) 사용

2. 철근작업 : 벽체는 일반철근 사용

3. 콘크리트 타설

• 대형거푸집을 사용하는 내부 독립벽체는 수직·수평 분리타설로 벽체만 먼저 타설한다.

→ 콘크리트 Bucket+Hopper 사용하여 타설

• 기타 벽체는 Topping 콘크리트와 일체식슬라브 콘크리트 타설시, 콘크리트펌프 배관을 이용하여 동시에 타설한다.

6.3.3 박판슬라브 설치 및 Topping 콘크리트 타설

1. 박판슬라브 설치

1) 박판슬라브가 콘크리트벽체 위에 걸쳐지는 부분의 수평면은 면처리 각재를 이용하여 평활하도록 정밀하게 시공하고, 벽체유로폼 위에 설치되는 부분은 각재나 합판줄대 등을 넣어 높이를 맞춘다.

2) 이미 시공된 콘크리트벽체와 벽체유로폼 위에 $2.5 \pm 0.5\text{cm}$ 걸치게 하여, Pipe Support 위에 설치한다.

3) 양중 횡수·소요시간 검토

• 1 Panel 양중시간(10분) - Crane 속도 평균 $50\text{m} / \text{min}$

: 준비(1분) → 양중(2분) → 설치(5분) → 하강(2분)

• 8 Panel / 2세대 × 10분 = 80분

4) 설치용 공도구

• Lifting Frame, Hook & Wire, 설치면 수정용 Hammer & Chisel, 지렛대 등

2. Topping 콘크리트 타설

• 슬라브 거푸집 : 33평형과 23평형 복도 및 발코니는 합판거푸집으로 한다.

• 철근 작업 : 상부철근의 배근은 기존 슬라브와 동일하며, Half PC 슬라브와 인접한 33평

형, 23평형 복도 및 발코니가 만나는 부분의 슬라브철근은 벽체 또는 보에 정착한다.

- 수직수평분리시설 이외의 벽체와 33평형 슬라브, 복도, 발코니 및 Topping 콘크리트는 동시에 일체로 현장타설한다.

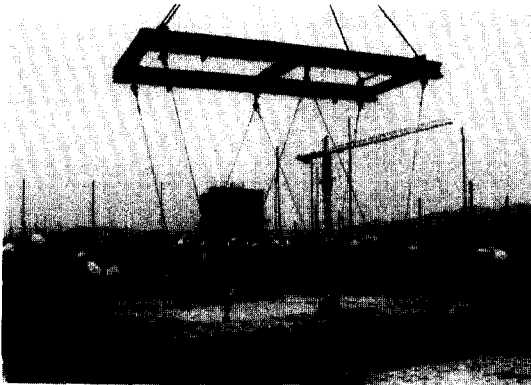


사진 1 Half PC 슬라브 설치 장면

6.4 소 결

시험시공에서 얻은 결론외에 본 현장시험적용으로부터 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. Half PC판내에 설비용 슬리브, 전기 Box 및 Pipe 등의 매입으로 인한 균열 등의 하자가 발생하지 않았다.
2. 내부 독립벽체에 대형거푸집을 사용하여 기존 유로폼거푸집에 비해 공기단축 및 인력절감의 가능성을 예상할 수 있었다.
3. Half PC 판을 22층(높이 57m)에 양중 설치할 때에 8~10분 정도가 소요되었으며 숙련도 증가에 따라 상당히 단축될 것으로 생각된다.
4. 실물대 모형 제작설치 시험시공과 재하시험 및 전단내력 평가시험에서 얻은 구조성능과 시공성에 관한 결론을 현장적용시험을 통해 확인할 수 있었다.

5. 복합화 공법에서 각 요소기술의 조합방식은 공기, 현장 부지조건, 동원가능한 노무량, 공사비, 보유기술 등을 종합적으로 고려해서 최적시스템을 결정하는 것이 중요하다.

7. 결 론

인력절감, 공기단축 등 시공의 합리화를 목적으로 합성슬라브 공법을 연구하여 얻은 결론은 아래와 같다.

1. 실물대시험을 통해 현장 슬라브 거푸집 작업의 절감, 대형거푸집의 사용, 철근의 선조립 등으로 인력절감(숙련공 불필요), 공기단축, 품질향상 및 양중장비 사용효율극대화 등의 가능성 확인할 수 있었다.
2. 구조성능 평가시험과 재하시험을 통해 구조적 안전성에 문제가 없음을 확인할 수 있었다.
3. 시험시공, 구조성능 평가시험 및 재하시험으로 얻은 결론을 부분적으로 현장적용을 통해 재확인할 수 있었다.

건설공사에서 시공기술의 변천은 노무상황과 사회요구의 변화에 따라 주로 재래공법의 합리화나 PC화에 의한 공업화 공법으로 변화했으며, 최근에는 복합화 PC공법으로 진행되고 있음은 이미 기술한 바이다. 그러나 생산공정의 주체가 여전히 인력작업이고 거푸집공사와 같은 노무과소비형 공사들이 엄존하는 현실에 미루어, 이제까지의 합리화 수법은 부분적인 문제해결 수준으로서, 건설공사의 본질적이고 구조적인 과제에 대해서는 관심이 적었으며 해결된 것도 별로 없으며, 이와 같은 문제의 개혁이 앞으로 진정하게 필요할 것으로 사료된다. 