

非脫型 영구거푸집 시스템 공법

Permanent Cement Mortar Form Systems

김 우 재*

양 극 영**

정 상 진***

Kim, Woo-Jae

Yang, Kook-Young

Jung, Sang-Jin

1. 서 론

최근 환경문제에 대한 일반인의 관심고조와 함께 3D 기피 현상에 따른 철근공, 거푸집공 등의 기능노동자의 부족, 고령화, 외국인노동자 고용 현상과 낮은 노동생산성은 건설업계의 심각한 현안이다. 과거에는 재료비의 비중이 높았으므로 재료의 낭비를 줄이기 위한 합리화가 추진되었다. 그러나 현재는 노무비 비율의 급격한 증대로 인하여 공기단축이나 합리화, 시스템화를 통해서 경쟁에서 생존해 나가고있다. 건축공사 중 특히 철근콘크리트공사는 기술의 발전이 느리고, 시공 방법도 과거의 공법을 그대로 유지하고 있는 실정이다. 건축공사비 중 구체공사의 비율은 30% 정도이고, 그 비용 중 인건비가 50% 정도를 차지하고 있기 때문에 철근콘크리트 공사는 아직도 기술 집약적인 산업이 아닌 노동 집약적 산업으로 간주되는 결과를 초래하고 있다.

이에 본고에서는 철근콘크리트 구조체 공사에서 향후 건설업의 문제점인 기술인력 절감, 부실시공방지와, 정밀시공을 위한 해결 방안의 하나인 자동화와 합리화 공법 개발의 핵심이 될 “비탈형 영구거푸집” (이후 영구거푸집 이라 함)에 대하여 살펴보기로 한다.

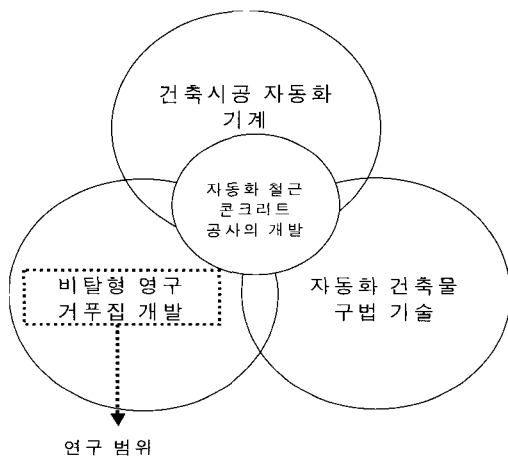


그림 1. 철근콘크리트 자동화합리화 공법 개발

건축공사 중 철근콘크리트 공사용 거푸집은 콘크리트를 타설하기 위한 가설재로서 기존에 사용해 온 거푸집의 대부분은 콘크리트를 타설한 후에 경화되면 거푸집을 해체하게 된다. 거푸집을 재료별로 분류하면 목재, 강재, 합판, 플라스틱, 섬유 등이 있으며, 최근에는 특수소재를 사용한 거푸집도 개발되어 사용되고 있다. 특히 가장 널리 사용되는 목재거푸집의 주재료인 나왕은 사용량의 증가로 산림자원의 고갈이 유발되고 있으며, 기존 목재거푸집은 전용횿수가 적을 때나 거푸집의 형상이 복잡할 경우에는 경제적이거나 강도와 내구성이 약하고, 거푸집을 설치한 후에 해체작업이 필요하며, 건축폐자재를 다량으로 발생시키고, 거푸집 공사시 소음과 진동을 발생시키는 단점이 있다.

강재거푸집은 근래에 많이 사용되는 거푸집으로서 콘크리트의 완성면이 깨끗하고, 강성과 열전도성이 높지만 초기투자비가 과다하고, 부재의 조립과 해체, 운반을 인력에 의존하므로 시공속도가 느리고, 인력수급상황에 민감하며, 현장에서 가공이 어렵고, 해체작업이 반드시 필요하다는 단점이 있다. 합판거푸집은 콘크리트의 완성면이 깨끗하고, 목재에 비해 설치속도가 빠르며, 가공성과 전용성이 좋지만, 내수성이 불충분하며, 합판의 표면이 취약하여 쉽게 손상되며, 해체작업을 필요로 하는 단점이 있다. 플라스틱 거푸집은 경량이므로 다루기 쉬워 비교적 많은 횿수의 전용이 가능하지만 충격이나 열에 약하며, 고가이므로 사용에 제약이 따르는 단점이 있다. 상기의 재래식 거푸집의 단점을 개선하여 최근에 개발한 라스거푸집은 합판 대신에 리브라스라는 특수재료를 사용하며, 동재와 목재를 조합하여 부속철물로 고정된 후 콘크리트를 타설하는 것으로서 재래식 거푸집과 비교하면 해체 작업이 불필요한 장점이 있는 반면에 한중과 서중시에 초기 콘크리트 양생에 있어서 온도관리에 각별한 주의가 필요하고, 녹발생이 우려되는 장소에서는 시공이 불가능한 단점이 있다. 따라서 기존 거푸집의 장단점을 고려하여 공기단축, 인력절감, 코스트절감, 소음 및 진동저감, 그리고 자연보호가 가능한 영구거푸집 공법은 어려움에 처한 국내 건축시장의 활성화를 위한 유효한 대책이 될 것으로 판단되며, 본고에서는 비탈형 영구거푸집의 일반적인 사항에 대하여 고찰하기로 한다.

◎ 비탈형 영구거푸집이란, 콘크리트 타설시 사용되는 일반거푸집의 단점을 개선하고자 무기질 재료를 이용한 Precast 거푸집을 공장에서 제작하여 현장에서는 조립만 실시하고, 콘크리트를 타설 후 탈형을 하지 않는 거푸집을 말한다.

* 정희원, 시립인천전문대학 겸임교수
 ** 정희원, 원광대학교 건축공학과 교수
 *** 정희원, 단국대학교 건축공학과 교수

2. 비탈형 영구거푸집의 제작

2.1 일반 사항

영구거푸집의 제작공장은 고정형과, 현장형의 두가지 형태가 있다. 일부 현장에서는 현장에 가설형 공장을 설치하여 부재를 생산, 가공하지만 대부분의 경우는 별도의 고정형 공장에서 제품을 생산하고, 차량으로 현장까지 운반하여 조립하는 방법을 채용한다.

2.2 사용재료

영구거푸집용 재료로는 시멘트 모르타나 콘크리트 모두가 사용되며, 영구거푸집의 형상, 종류 및 제작방법에 따라 요구되는 강도 및 유동성도 각각 다르다. 제작방법을 크게 분류하면, 1. 거푸집에 흘려 넣는 방법(자중법) 2. 원심성형법 3. 압축성형법 4. 절곡법 등으로 나눌 수 있다. 국내의 연구 결과에 의하면, 모르타를 사용하는 자중법의 경우 시멘트 모르타의 압축강도는 300kgf/cm², 휨강도는 80kgf/cm² 이상, 슬럼프 플로우는 45cm 이상, 깔대기 유하시험은 1.5 이하가 요구되며, 콘크리트의 경우 압축강도 300kgf/cm² 이상, 슬럼프는 20cm 이상이 요구되고 있다. 한편 국외의 연구 결과에서는 시멘트 모르타의 압축강도는 900kgf/cm² 이상, 휨강도는 150kgf/cm² 이상을 발현하는 재료로 영구거푸집을 제작하여 실용화한 기록이 있다.

2.3 비탈형 영구거푸집의 종류 및 형태

영구거푸집 중 기둥·보 부재의 형태는 일체형과 분할형으로 나눌 수 있으며, 분할형은 2면 분할과 다면 분할 방법이 있다. 일체형은 주로 원심성형에 의해 제조되지만 분할형은 자중법, 프레스법, 절곡법 등에 의해서도 제조가 가능하며, 부재의 두께는 20~80mm 까지 가능하다. 영구거푸집의 두께가 얇고 부재의 길이가 길어지면, 시공시 자체 변형이 발생하므로 주의하여야 한다. 영구거푸집은 두께 40mm 이하를 마감용, 40mm 이상을 구조용 영구거푸집으로 구분하여 사용한다. 마감용은 제작시 메쉬만을 삽입하지만 구조용은 주근 및 대근을 삽입한다. 일체형은 현장에서 시공성이 가장 좋고, 가설재의 사용량도 경미한 수준이다. 분할형은 시공성에서 일체형보다 다소 떨어지는 경향을 보이므로 경제성을 확보하기 위해서는 영구거푸집용 형틀을 모듈화하여 활용하는 것이 중요하다. 또한 많은 가설재가 필요하며, 접합부가 다량 발생하므로 구조상의 문제가 발생하지 않도록 시공전에 충분한 구조검토가 필요하다. (표 1. 그림 2. 참고)

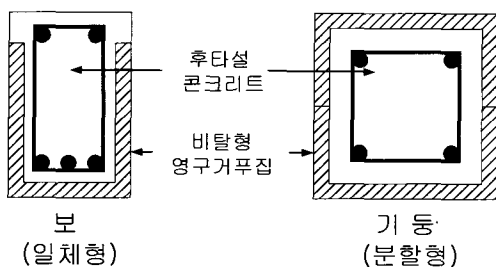


그림 2. 비탈형 영구거푸집의 개념도 (마감용)

2.4 비탈형 영구거푸집의 접합부 계획

영구거푸집의 기둥 및 보 부재 접합부의 처리를 위하여 다음의 3가지 조건에 대하여 검토하였다. 첫째는 기둥 폭이 보의 너비보다 큰 경우, 두 번째는 기둥의 폭과 보의 너비가 같은 경우, 셋째는 기둥의 폭보다 보의 너비가 큰 경우이다. 기둥 폭이 보 너비 보다 클 경우는 그림 3.과 같은 형태로 접합이 가능하다. 본 실험체의 경우는 접합부를 처리하기 위해 추가 가설재는 필요가 없고, 기둥과 보가 접하는 부분에 백업재를 시공하면 후타설 콘크리트의 페이스트 누출을 방지할 수 있다. 기둥의 폭과 보의 너비가 같은 경우는 그림 4.와 같은 형태로 접합이 가능하다. 본 실험체의 경우는 기둥과 보가 인접하는 곳이 발생하므로 인접하는 곳에 별도의 영구거푸집 접합부용 거푸집을 설치하여야 한다. 또한 영구거푸집 제작시 거푸집 내부에 영구거푸집 접합부용 거푸집을 고정시키는 철물을 삽입하여 제작하면, 시공성이 향상될 것으로 판단된다. 기둥의 폭보다 보의 너비가 큰 경우는 그림 5.와 같은 형태로 접합이 가능하다. 본 실험체의 경우는 기둥과 보가 인접하는 보 하부에 □형태의 공간이 발생된다. 따라서 이 공간을 채울 별도의 영구거푸집 접합부용 거푸집을 설치하여야 한다. 이 거푸집을 설치하기 위해 영구거푸집 제작시 기둥 거푸집 내부에 영구거푸집 접합부용 거푸집을 고정시키는 철물을 삽입하여 제작한다면, 시공성이 향상될 것으로 판단된다.

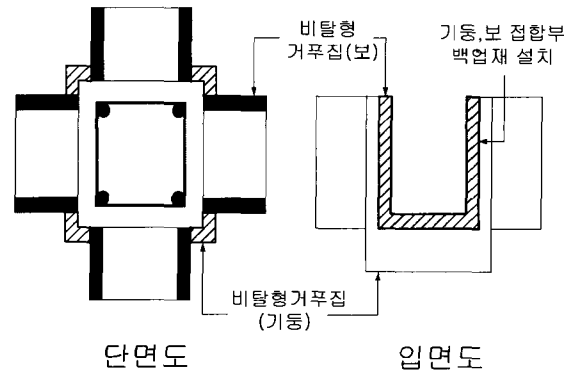


그림 3. 비탈형 영구거푸집의 접합부 상세 (기둥폭 > 보너비)

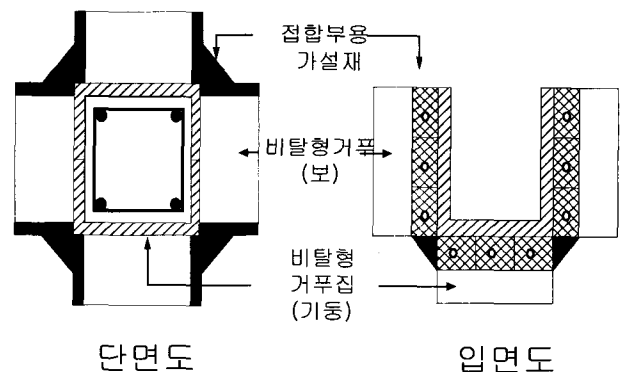
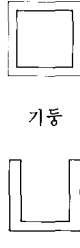
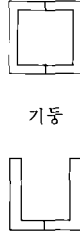
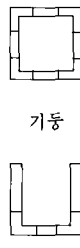


그림 4. 비탈형 영구거푸집의 접합부 상세 (기둥폭 = 보너비)

표 2. 비탈형 영구 거푸집의 종류 및 형태에 따른 검토사항

항 목 종류 및 형태	제조 방법	판두께 (mm)	휨강도 및 재료 (kgf/cm ²)	생산성의 검토				시공성의 검토				시공 순서	구조 성능
				공장 생산성	시공시 사전작업	조립시 접합면수	모듈화	현장에 서의 시공성	줄눈 처리	가설재	마무리 정도		
 기둥 보	1. 자중법 2. 원심성형 3. 프레스 4. 절곡	20~80	36~70 (콘크리트) 또는 100~200 (섬유 모르터)	1. PC화 가능 2. 원심성형이 좋음	1. 기둥은 높이 방향으로 분할, 조립 2. 보는 길이 방향으로 분할	1면 또는 0면 절곡은 4면	1. 모듈화가 힘들 2. 길이방향은 자유롭다.	작업 적음	거의 없음	1. 최소한 가설재 필요 (분할) 2. 세퍼레이터 필요	타일매설 가능 (중량증가 검토) 직접마무리 가능	거푸집→철근 (철근→거푸집) 거푸집, 철근→철근 철근→거푸집	가장 우수함
 기둥 보	1. 자중법 2. 원심성형 3. 절곡	20~	36~50 (콘크리트) 또는 100~200 (섬유 모르터) 180이상 (압출)	1. 자중법이 가능 2. 압출생산 가능 3. PC화 가능	1. 기둥, 보 모두 클램프에 의한 사전 조립후 시공, 가설재가 필요.	2면 1면	1. 모듈화가 힘들 2. 길이방향은 자유롭다.	작업 다소 많음	필요	1. 가설재 필요 2. 세퍼레이터 필요	타일매설 가능 직접 마무리 가능	철근→거푸집 거푸집→철근 철근→거푸집	우수함
 기둥 보	1. 프레스	20~	180이상 (압출)	1. 압출성형 가능 2. 특성의 대규모 설비필요 3. 다품종 생산함	1. 기둥, 보 모두 클램프에 의한 사전 조립이 반드시 필요, 자설재의 양이 많이 필요함.	8면 이상	1. 모듈화가 가능 2. 길이방향도 자유로움.	작업 많음	필요 (다수 필요)	1. 많은 가설재가 필요 2. 세퍼레이터 필요	타일매설 불가 마무리 필요	거푸집→철근 철근→거푸집	응력의 전달 및 구속효과 없음
공통적문제점	1. 경량화 2. 비탈형 영구거푸집의 자중이 500kg 이하가 되도록 분할요		1. 영구거푸집은 사용전에 응력 체크가 필요함 2. 박판으로 부재의 길이가 길어지면 변형에 유의	영구거푸집용 가설재의 연구 및 개발이 반드시 필요.	접합면의 시공성 및 오차 등을 검토요함. 또한 줄눈의 배업재 접합부의 처리문제를 고려함		어느정도 제한 필요	재료의 선정 구조성능에의 영향	1. 경사 시포트 필요 (안전상) 2. 클램프가 필요.	치수정밀도 줄눈과의 관계	분할에 의해서 결정함	내화, 내구성 일체성	

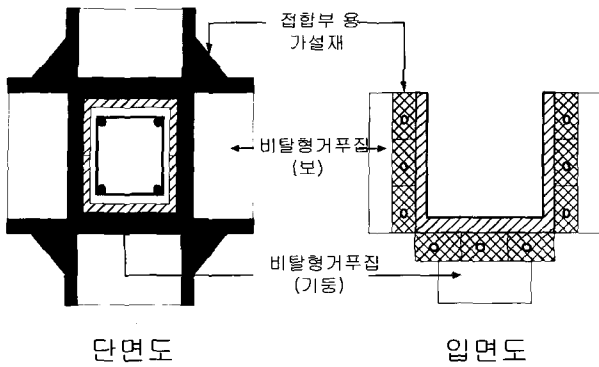


그림 5. 비탈형 영구거푸집의 접합부 상세
(기둥폭 < 보너비)

2.5 제조 방법

고정형 공장에서의 영구거푸집의 제작 공정은 그림 7.과 같다. 영구거푸집의 대량생산 및 제작기간을 단축하여 생산성을 향상시키기 위해서는 표준양생보다는 상압 증기양생법을 채용한다. 양생은 Saul의 실험결과에 준하여 시멘트 수화에 영향을 미치는 전 양생의 영향을 고려하여 그림 6.의 순서로 제작과정을 정하여 PC 공장에서 전치시간(4시간), 온도 상승 시간(2시간), 65℃의 항온양습 양생(4시간), 온도강하(4시간), 대기양생의 순으로 진행하였다.

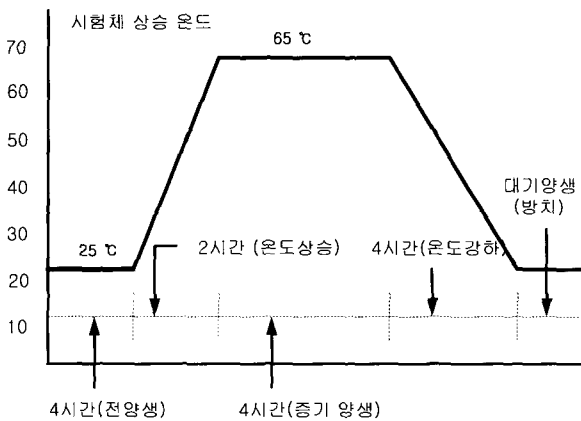


그림 6. 증기양생온도 및 시간조건

2.6 비탈형 영구거푸집 제작용 형틀의 품질기준

영구거푸집은 제작시 품질기준을 만족하여야 정확한 영구거푸집을 제작할 수 있다. 만약 측정결과 영구거푸집 제작용 형틀이 길이, 휨, 굽음에 문제가 발생되면 즉시 보완하여 모르타르 및 콘크리트의 타설시 문제가 발생되지 않도록 하여야 한다. 형틀은 재료의 타설전 일괄적인 측정을 통하여 품질상의 문제가 발생되지 않도록 조사하여 소요의 품질을 확보하여야한다.

2.7 비탈형 영구거푸집의 시공

철근콘크리트 공사의 자동화 및 합리화 공법 개발의 핵심이 되는 “비탈형 영구거푸집”은 90%이상의 기계화 시공을

필요로 한다. 따라서 기둥 및 보의 철근은 미리 선조립하여 현장에서는 설치만 하도록 한다. 또한 기둥 거푸집의 시공도 그림 10~18과 같은 방법으로 기계를 사용하여 시공하고, 거푸집의 형태별로 가설재를 설치할 때는 인력으로 시공한다. 이후 내부에 후타설 콘크리트를 타설하고, 보 거푸집은 양중기계를 사용하여 설치한다. 이후 보 가설재를 인력으로 설치하고 하프 슬라브나 기타 공법을 사용하여 바닥판을 시공한다. 이처럼 영구거푸집은 기존의 재래식 철근콘크리트 공법과는 차별화된 공법으로 시공시 현장에서 작업자의 성력화에 기여하며, 공사기간 및 공사안전, 품질관리 면에서 많은 장점을 보이고 있는 자동화 및 합리화 된 공법 기술이라고 할 수 있다.

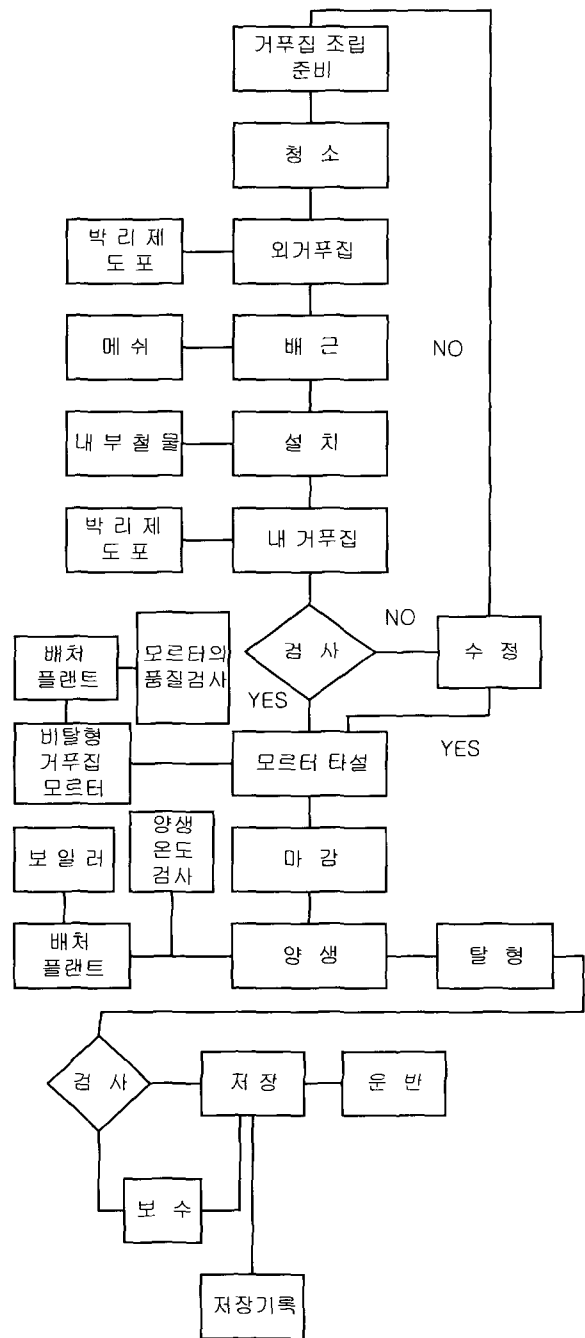


그림 7. 영구거푸집의 제조방법

표 3. 비탈형 영구거푸집 제작용 형틀의 품질기준

기준의 내용	기 준 값
형틀 표면	표면에 흙, 균열, 오염이 없을 것.
형틀의 휨	부재 최대휨의 허용오차는 단변길이의 1/50미만
형틀의 굽음	부재의 요철과 굽음의 허용오차는 굽음이 일어난 방향 부재 길이의 1/60미만 또는 최대 5mm미만
형틀의 직각	1m에 대하여 3mm가 기준치임 최대 5mm 미만

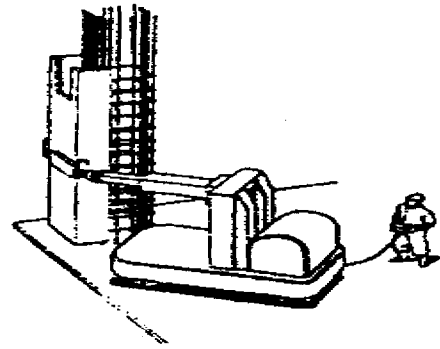


그림 11. 이동거푸집설치

표 4. 비탈형 영구거푸집 치수의 허용오차

구 분	기 등	보
길이 (높이)	±5 mm	±8 mm
폭	±5 mm	±5 mm
두께	±3 mm	±5 mm

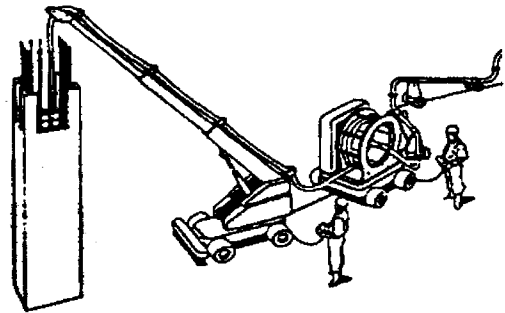


그림 12. 콘크리트 타설

1) 비탈형 영구거푸집의 공장 출하전 부재검사

- (1) 부재의 공장검수는 전 수량에 대하여 행하며, 검수원이 필요하다고 인정할 때는 비파괴 시험검사 등의 각종 시험을 실시할 수 있다.
- (2) 부재는 구조 및 마감상 유해한 손상의 유무, 접합부의 형상치수 등에 대하여 정확히 검사하여 현장조립에 지장이 없도록 한다.
- (3) 마감은 구조, 방수, 미관상 결함이 없도록 하며 특히 표면의 공극이 과다하게 발생한 부재는 먼치리를 시행한 후 현장에 반입해야 한다.
- (4) 특별한 경우 이외의 품질관리에는 시료채취, 슬럼프 및 공기량 시험, 양생온도 관리기록, 표준양생 공시체 및 부재생산 조건과 동일한 상태의 공시체 압축강도 시험 결과, 염화물시험 측정결과 등이 배합 뱃치 단위, 양생 단위 및 적치단위 등에 따라 시행한 결과가 포함되어야 한다.

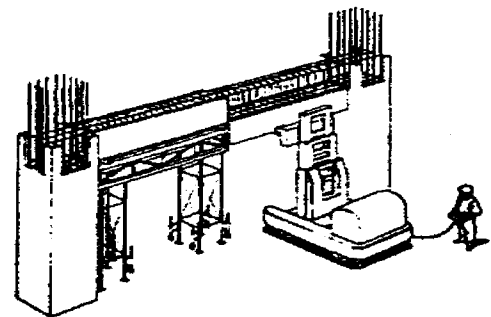


그림 13. 보거푸집설치

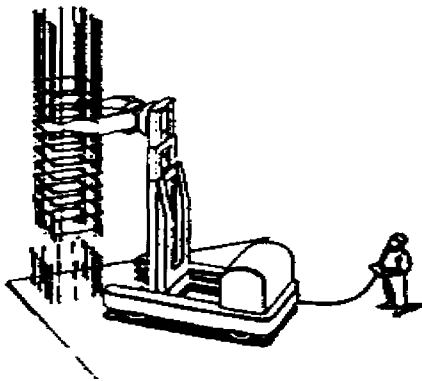


그림 10. 주철근 조립

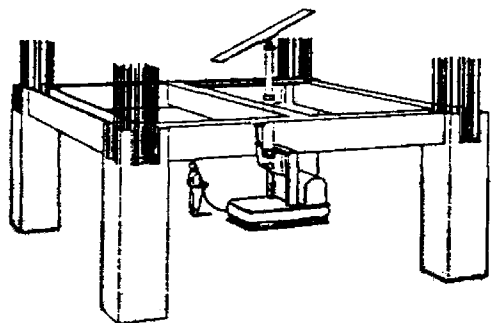


그림 14. 하프 슬라브 준비작업

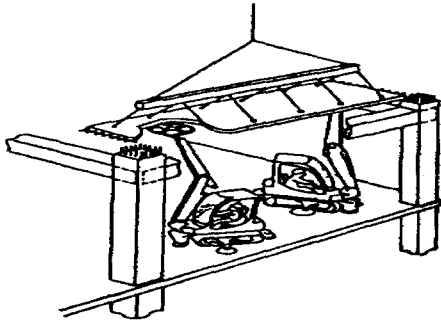


그림 15. 하프슬라브 설치

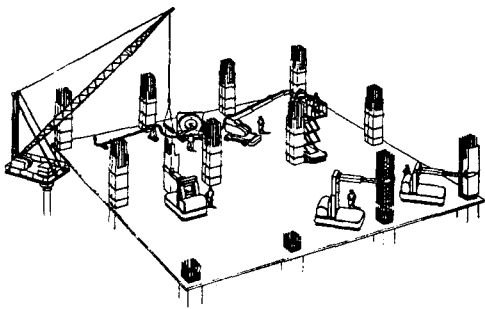


그림 16. 수직부재 시공

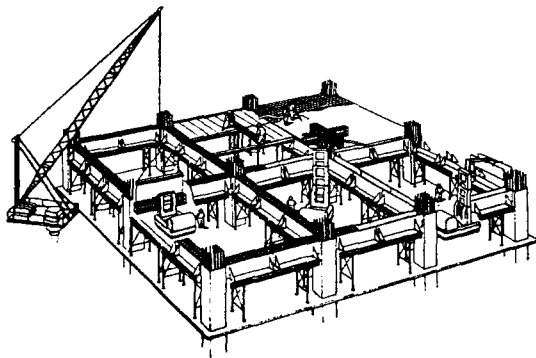


그림 17. 수평부재 시공

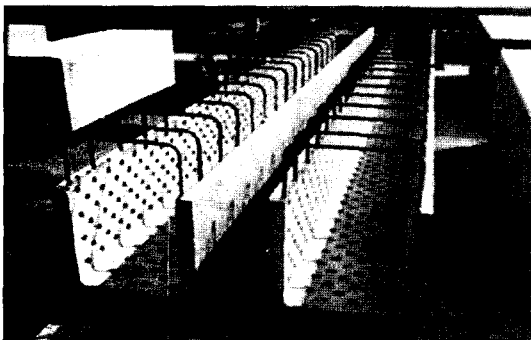


그림 8. 비탈형 영구거푸집 (보)

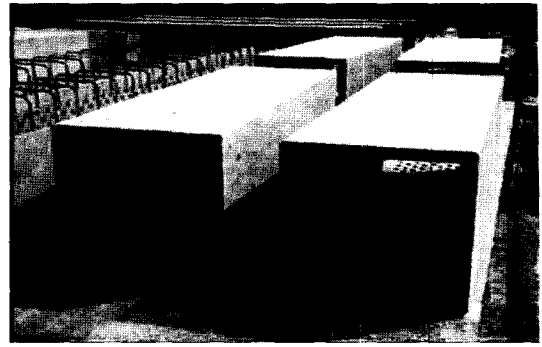


그림 9. 비탈형 영구거푸집 (기둥)

2.8 가설재 시공

영구거푸집의 최종 목표는 가설재의 사용 없이 거푸집을 시공하는 것이다. 그러나 본 연구 팀에서는 가설재를 사용하는 마감용 영구거푸집을 개발하였으므로 다음의 사항을 준수하여 시공해야 한다. 영구거푸집 가설재의 시공은 거푸집 조립시 영구거푸집의 하중+후 타설 콘크리트+배근철근(자중)과 시공시 발생하는 충격 하중+ 작업하중(작업하중), 콘크리트 타설시 발생하는 축압의 문제를 고려하여야 하므로 가설재를 설치하기 전의 구조 검토가 반드시 필수적이다. 또한 가설재는 상부의 모든 하중을 지지할 수 있도록 설치하여야 하며, 영구 거푸집의 형상 및 종류에 따라서 기둥 및 보에 설치하는 가설재의 간격이 정하여 진다.

2.9 가설재 시공 확인

- 1) 영구거푸집의 가설재 설치간격은 거푸집의 크기가 변화하면, 별도의 구조계산을 행하여 간격을 검토하여 시공한다.
- 2) 영구거푸집의 조립이 완료되면, 거푸집의 변형을 조사하고, 접합부에 백업재로 접합부를 충전하여 밀실히 만든다.
- 3) 영구거푸집의 주근의 허용오차는 $\pm 5\text{mm}$ 이내로 규정한다. 또한 영구거푸집의 허용오차는 $\pm 5\text{mm}$ 이내로 규정한다.

2.10 타설 콘크리트의 기준 및 가설재 존치기간

영구거푸집 내부에 충전할 후타설 콘크리트는 영구거푸집과의 부착상 문제점이 발생할 수 있으므로 충전성 및 시공성을 고려하여 유동성이 양호한 콘크리트를 타설하여야 한다. 따라서 일반적으로 가장 보편화된 정량적인 방법인 콘크리트 슬럼프테스트 방법을 이용하면, 후타설 콘크리트의 품질을 관리 할 수 있다. 영구거푸집에 사용될 후타설 콘크리트는 콘크리트 슬럼프 기준으로 18cm 이상인 콘크리트를 사용하여야 한다. 18cm 이상의 유동성을 가진 콘크리트는 비탈형 영구 거푸집 내부를 충전시키는데 문제가 없는 것이 실험에서 입증 되었다. 또한 설치한 가설재의 존치기간은 아래의 다음 사항에 준하여 시공한다.

- 1) 기둥과 보는 콘크리트의 압축강도가 50kgf/cm^2 이상에 도달될 때까지 존치한다. 단 가설재 존치 기간 중 평균기온이 10°C 이상이면 아래 표5.에 나타난 일수가 경과하면 압축강도 시험없이 제거할 수 있다.

- 2) 보 받침 가설재의 존치 기간은 슬래브와 보 밑 모두 설계기 준강도의 2/3 이상 확보된 것이 확인될 때까지로 한다.
- 3) 보 받침 해체후 해당 부재에 가해지는 하중이 구조계산서에 있는 그 부재의 설계하중을 상회하는 경우에는 전술한 존치 기간에 관계없이 계산에 의하여 충분히 안전한 것을 확인한 후에 해체한다.
- 4) 위 2)항보다 먼저 보 받침을 해체할 경우는 대상으로 하는 부재가 해체직후, 그 부재에 가해지는 하중을 안전하게 지지할 수 있는 강도를 적절한 계산방법에 의하여 구하고, 그 압축강도가 실제의 콘크리트 압축강도보다 상회하는지 확인하여야 한다. 다만, 해체 가능한 압축강도는 이 계산결과에 관계없이 최저 140kgf/cm² 이상이어야 한다.

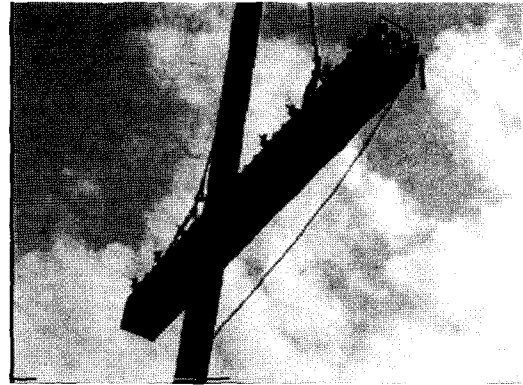


그림 22. 보 영구거푸집 양중

3. 비탈형 영구거푸집의 현장 시공 자료

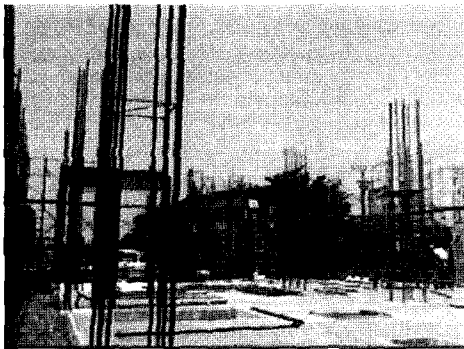


그림 19. 기둥 철근조립

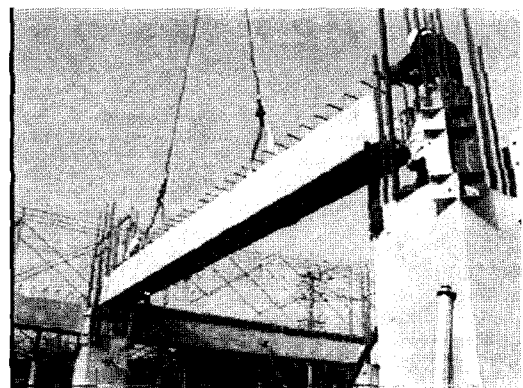


그림 23. 보 영구거푸집 설치

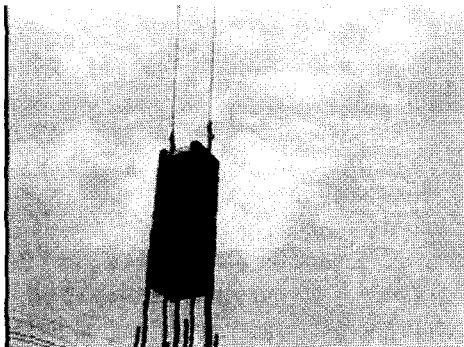


그림 20. 기둥 영구거푸집 설치

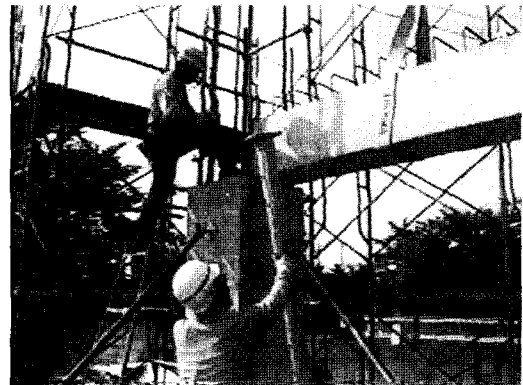


그림 24. 기둥 및 보 접합부 조립시공



그림 21. 기둥 거푸집 설치후 가설재 설치

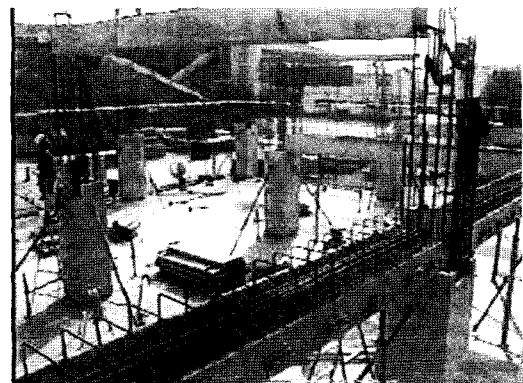


그림 25. 거푸집 설치 전경

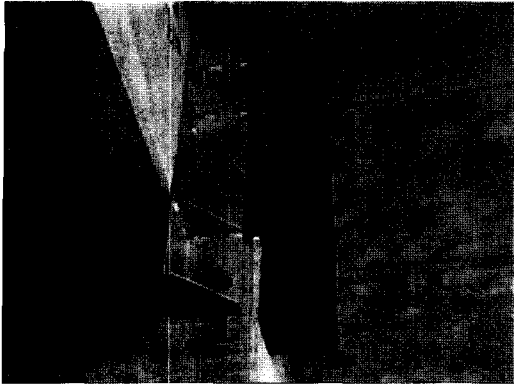


그림 26. 기둥 및 보 접합부용 가설재



그림 30. 구조체용 콘크리트 타설

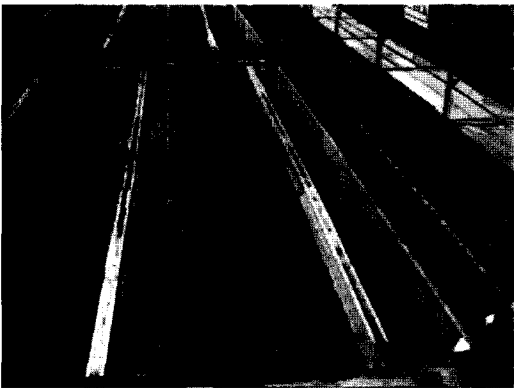


그림 27. 하프PC 슬라브 지지용 가설재 설치



그림 28. 하프PC 슬라브 설치



그림 29. 슬라브 철근 설치

4. 맺음말

본고에서는 철근콘크리트 구조의 자동화·합리화 공법 개발의 기본이 되는 비탈형 영구거푸집에 대하여 조사·정리하였다. 따라서 추후 건축시공 자동화 기계에 대한 연구 및 자동화 건축물 구법에 관한 연구와 기술개발이 진행되어야 진정한 자동화와 합리화 공법이 가능하리라 판단된다. 이에 관한 국내 연구 및 현장 시공 규준이 거의 전무한 실정이므로 산·학·연의 적극적 협력을 통한 거푸집에 관한 연구의 활성화를 기대한다.

참고 문헌

1. 馬場明生, 自動化適合化 콘크리트構法 の 開發(構法システムの提案), 日本建築學會大會學術講演梗概集, 1992.8
2. 河野清外2人, 各種の砂を用いた永久型用纖維補強ポリマ-セメントモルタルの性狀, 콘크리트工學年次論文報告集 No.17, 1995
3. 김우재, 비탈형 거푸집개발에 관한 연구, 단국대학교 박사학위논문, 2002
4. 김형남, 플라이애쉬 모르터를 이용한 비탈형 영구거푸집에 관한 살현적 연구, 단국대학교 석사학위논문, 1999.