

박판 프리캐스트 콘크리트 영구거푸집 시스템 연구(I)

A Study of Permanent Form System by Thin Precast Concrete Panel

정문영* 남기룡** 서치호** 김윤일****
Jeong, Moon Young Nam, Ki Ryung Seo, Chi Ho Kim, Yun Il

Abstract

Current domestic building market is in the face of a rise in construction cost as a result of labor cost and materials problems, so improvements for productivity are doing their best for finding a way out of the difficulties. But the most of technical improvement of form work is just considered the basic role and shape. As for environment protection, the utilization of waste concrete is important. But many of studies were interesting on the resource recycling for structural concrete.

The purpose of this study is the development of thin precast concrete form using recycled aggregate and the assembling systems for the permanent form by cast-in-place.

1. 서 론

현대건축에 있어서 철근콘크리트구조는 철골구조와 더불어 가장 대표적인 건축구조 방식이 되었으며, 대형화, 고층화되어 가는 오늘날의 국내 추세에 비추어 볼 때, 그 중요성은 더욱 증대되어 가고 있다.

이에 따른 각종의 첨단공법 및 타 공종기술의 기술적 진보가 이루어지는 것과 비교하여 거푸집공사는 '조립 및 해체에 의한 전용'의 일반적 수준을 벗어나지 못하고 있다. 거푸집공사가 다종다양한 공법의 개선과 개발의 노력에도 불구하고 거푸집의 기본역할과 틀을 벗어나지 못하고 있는 것은 구조체

* 한라건설(주) 기술연구소 연구원

** 정회원, 한라건설(주) 기술연구소 소장

*** 정회원, 건국대학교 건축공학과 교수

**** 관동대학교 건축공학과 교수

가 아닌 가설재로서 시방을 비롯한 각종 기술지침에 그 중요성이 간과되어 왔으며, 그에 따른 기술개발과 실질적인 현장적용의 기회가 부족하였기 때문으로 사료된다.

최근 국내 건설시장은 급속히 심화되는 건설인력난과 자재난에 따른 공사원가의 상승, 그에 따른 생산성의 상대적 저하, 건설시장의 개방에 직면하여 어려움을 타개하기 위한 다각적인 노력을 추구하고 있으며 그 가운데 설계와 시공의 과학화를 통한 생산성 향상이 가능한 공사로서, 거푸집공사의 관련기술 개발 필요성이 점차 증대되고 있다.

한편 국내의 재생골재의 활용은 아직 미비한 상태이고 특히 분쇄 후 남는 미분말은 그 적용이 전무한 상태라 이를 적용할 수 있는 기술의 개발이 시급하다. 이러한 측면에서 볼 때 폐콘크리트를 분쇄한 재생골재의 미분말을 거푸집의 생산재료로 활용하므로써 사실상 가장 필요한 재생골재의 활용기술을 실용화할 수 있다고 생각된다.

이와같이 이 두 가지의 기술분야는 비단 국내의 문제뿐만 아니라 각국의 건설산업에서 공통적으로 당면한 문제이기도 하지만 특히 우리의 경우는 선진외국에 비하여 상당히 낙후되어 있는 시스템 거푸집공사의 기술분야라는 점과 환경보전 및 자원재활용 기술의 적용화 단계라는 점에서 세부적이고 단계적인 요소기술의 개발과 확립이 시급한 실정이다.

2. 연구의 목적과 범위

현재 벽식구조(아파트 공사)에서 가장 많이 쓰이고 있는 거푸집 공법으로는 조립식 거푸집인 유로폼이며 이것을 사용하기 곤란한 계단 부위 등은 부분적으로 재래식 합판 거푸집을 현장에서 제작하여 사용하고 있다.

현재 국내의 건설현장에서 적용되고 있는 거푸집 공법은 대부분이 선진 외국에서 수입된 거푸집 재료와 기술을 그대로 적용하므로써 예상치 못한 문제를 발생시키고 있으며 그 중 일부는 현장 활용이 이루어지지 못하고 있다. 이러한 현상은 국내에서 건설 현장의 여건에 맞는 거푸집 재료 및 공법의 개발이 확보되지 못한 것에 기인한 것이다.

따라서 본 연구에서는 조립식 거푸집에 적합한 박판형태의 콘크리트 거푸집을 재생골재 미분말을 사용하여 개발함으로써 목재거푸집 대체와 천연골재를 보호하는데 기여하는 환경친화형 제품으로 개발하고자 했으며 이에 필요한 시공 시스템을 개발함으로써 본 거푸집의 실제 적용에 따른 거푸집공사의 공기단축과 노무비절감 측면에서 성력화를 도모하고자 했다.

3. 연구내용

3.1 재생골재 배합시험

3.1.1 실험배합

일반적으로 압출성형 패널의 기본배합에서 사용되는 규석분을 재생골재로 대체하여 실험하였으며 사용한 재생골재는 2.38mm(No.8체)를 통과한 것만을 채취하여 실험하였다. 본 실험에서 공시체는 소형압출기를 이용하여 성형하고 5*5*5cm의 크기로 절단한 후 시험인자별로 자연양생, 스팀양생, 오토클레이브를 거쳐 물성시험을 측정했다.

표 1 재생골재 실험배합

	1 : 0	1 : 1	0 : 1	현장배합	비 고
시멘트	50			60	1. 배합비율은 원재료의 dry base의 wt.% 임 2. 배합수는 전체 batch량 대비 중량비로 압출성형성에 따라 다소의 가감조정을 했음.(27±1%)
규석분	44.1	22.05	0	12	
재생골재	0	22.05	44.1	22.1	
석면	5				
중점제	0.6				
PP 섬유	0.3				

3.1.2 실험결과

본 실험은 압축강도를 중심으로 각각의 재령변화를 관찰했으며 결과는 다음과 같다.

표 2 압축강도 시험결과

(단위 kgf/cm²)

재생골재 혼입비	오토클레이브	스팀 후 기건(재령)				기건(재령)			
		3일	7일	10일	14일	3일	7일	10일	14일
1 : 0	744	426	447	484	479	375	449	472	476
1 : 1	548	424	429	429	430	353	454	456	459
0 : 1	504	446	497	511	515	439	494	505	539
현장배합	647	523	603	616	619	427	465	480	516

본 실험에서의 압축강도는 오토클레이브 양생시 504~744kgf/cm²의 강도를 보이고 있으며, 스팀 양생 후 기건양생시 424~616kgf/cm², 기건양생시 353~539kgf/cm²의 값을 보이고 있어서, 일반적인 시멘트 압출성형 제품의 압축강도인 500kgf/cm²에 근접한 압축강도특성을 보였다.

배합비에 따른 압축강도의 추이를 살펴보면 오토클레이브 양생시 재생골재의 혼입율이 커짐에 따라 압축강도는 큰 폭으로 감소함을 볼 수 있으나, 스팀 및 기건양생의 경우는 재생골재의 혼입비율이 커짐에 따라 오히려 다소의 강도 증가를 확인할 수 있다. 이는 오토클레이브시 혼입된 규석분이 토버모라이트를 생성시켜 뛰어난 강도특성을 보이는 것과는 대조적으로, 기건 및 스팀양생에서는 규석분보다 우수한 골재성능을 지닌 재생골재가 자체의 강성으로 높은 강도특성을 발현한 것으로 사료된다.

이번결과에서 재생골재를 혼입한 압출성형재료의 경우 약 7일 경과 후에는 오토클레이브를 거치지 않아도 소요의 강도를 얻는데 이상이 없음을 알 수 있으며, 향후에 배합비의 개선과 투입재료의 개발로 촉진양생이 필요없는 우수한 성능의 제품생산이 가능할 것으로 판단된다.

3.2 거푸집의 생산 및 성능평가

3.2.1 박판거푸집의 형태

프리캐스트 영구거푸집의 합리적인 적용을 위해서 유니트화된 기본 생산모듈을 고려하고 새로운 방식의 시스템을 연구 개발하여야 한다. 따라서 영구거푸집 시스템의 현장적용을 고려한 실질적인 거푸집용 패널형태별 장단점 분석과 압출성형방식의 제조공정과 관련되는 범위에서 매립형 박판 프리캐스트 영구거푸집의 기본제작 모듈을 검토했다.

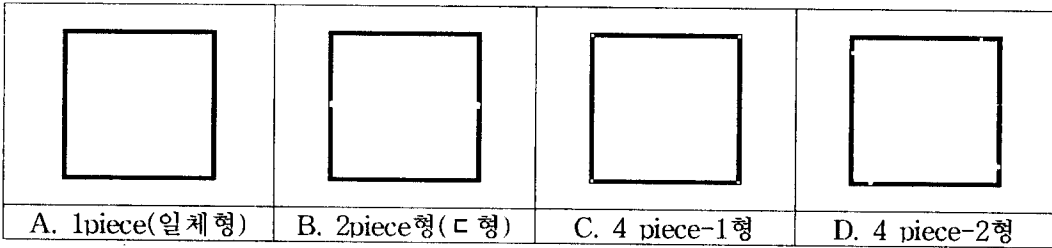


그림 1 박판거푸집의 형태비교

위의 그림 1에서와 같이 거푸집의 기본형태를 4가지로 나누어 생산방식, 조립성, 가변성, 운반성 등을 검토한 결과, A형과 B형은 제작상의 문제로 인한 접근의 어려움이 있는 반면 C형은 생산이 비교적 쉽고 기둥과 보에 모두 적용이 가능하며 조립, 취급, 운송이 용이하여 본 연구에서는 이 형태를 기본으로 하여 개발했다. A 타입외에는 거푸집끼리의 접합부분이 필연적으로 생기므로 조립시의 용이성과 줄눈처리방법을 고려했다.

코너부분의 접합방법에 대해 몇 가지 형태를 시험한 결과 형태별 특징은 다음과 같다. A와 같은 빗면형의 경우는 조립이 용이한 반면 조립부의 줄눈처리가 어렵고 이음부위의 차이로 기둥, 보에서 외형이 변형된 상태로 조립될 가능성이 있다. 이에 비해 B와 같은 단부형은 조립이 다소 까다로우나 코너

부분에 의한 줄눈위치의 확실성 확보가 용이하고 코너 부에서 거푸집끼리 힘을 분담하므로 비교적 견고한 조립을 행할 수 있어 거푸집을 B의 형태로 결정했다.

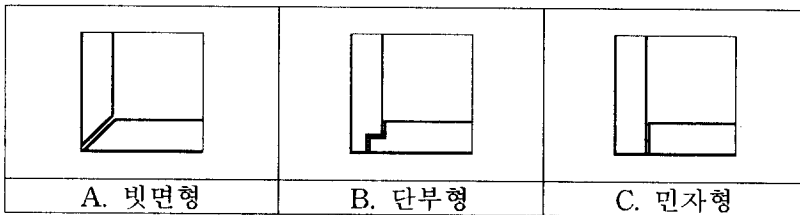


그림 2 박판 거푸집 접합부(코너)의 형태 및 특성

3.2.2 박판거푸집의 생산

거푸집의 생산은 시멘트압출패널용 제조라인을 이용하고 배합비는 기초시험배합 결과를 토대로 하여 생산했다. 생산공정상태는 전반적으로 양호한 상태였으나 거푸집 제조에 대한 충분한 작업숙지가 안된 상태였으므로 배합수 조정 및 성형조정에 다소의 어려움이 있었다. 양생은 기초시험배합 결과를 토대로 스팀양생만을 거쳐 제품을 생산했다. 이와 같이 생산한 거푸집의 성능은 다음과 같다.

소재압축강도에서 pilot 실험결과는 재령기간별로 430~600kgf/cm² 정도였는데 비해 생산된 거푸집의 소재휨강도는 300kgf/cm²로 낮은 수치를 보였다. 이는 배합수량의 증가와 압출성형시 금형의 최적 설계가 이루어지지 못한 것에 기인하는 것으로서 배합자체의 문제보다는 공정상의 안정성이 아직 확보되지 못했기 때문인 것으로 판단된다.

거푸집에 있어서 탄성계수는 외압에 대한 시공변형을 예측하는 중요한 항목인데 pilot 시편의 측정치가 1,650~1,750kgf/mm²으로 생산거푸집의 물성은 1,550kgf/mm² 약간 낮게 나왔다. 이 두 값은 일반 콘크리트의 탄성계수에 비해 작은 수치인데 이유는 재생골재를 사용하고 폴리프로필렌 섬유를 사용한 것이 탄성계수 값을 더 적어지게 한 요인이라고 생각된다.

표 3 생산 시작품 물성 측정 결과

		거푸집 생산품				비 고
사 양	규격 (mm)	20×500×3,000				d×w×l
	중량 (kg/m)	16.9				기건상태
성 능	소재밀도 (g/cm ³)	1.64				
	휨하중 (kgf)	200cm	69 [27]		span 200, 100cm [] 최대하중시 휨(mm)	
		100cm	144 [8.5]			
	거푸집휨강도(kgf/cm ²)	123				span 100mm 기준
	탄성계수(kgf/mm ²)	1,547				
	소재휨강도(kgf/cm ²)	154 (88)				()은 휨방향
	압축강도(kgf/cm ²)	300				
	함수율(%)	9.6				기건상태(실내 7일)
	흡수율(%)	14.9				포수 → 절건
	표면흡수율(g/m ²)	1 hr	4 hr	12 hr	24 hr	일정시간 후 단위면적당 흡수된 물의 양(JIS A 1414)
437		688	1,462	2,062		
선변화율(%)	0.110 ~ 0.137				포수 → 절건	

3.3 거푸집의 구조 성능 검토

콘크리트 타설시 기둥의 하부에 집중되는 축압을 계산하고 거푸집의 휨특성과 변형값을 계산했다. 이는 기둥조립시 띠장 간격을 정하는데 필요하고 최소량의 가설재를 사용함으로써 본 시공 시스템의 용이성과 경제성에 중요한 변수를 갖게 되기 때문이다.

3.3.1 재료의 역학적 성질과 구조검토기준

재생골재를 사용한 박판 프리캐스트 콘크리트의 역학적 성질을 보다 명확히 규명하기 위한 시험이 더 검토되어야겠으나 우선 1차 시험품의 성능을 근거로 하고 일반콘크리트에 준하여 다음과 같이 규정한다.

표 4 시험용 거푸집의 성능기준 및 구조검토기준

거푸집 성능기준		구조검토기준
*압축강도	$F_c = 300 \text{ kgf/cm}^2$	* 하중은 콘크리트 축압만을 고려
*휨강도	$F_b = 120 \text{ kgf/cm}^2$	* 허용변형량은 최대 3mm 이하
*탄성계수	$E = 1.55 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$	* 변형구배는 양호한 표면상태 또는 노출콘크리트에 적용되는 1/430
*포아송비	$\mu = 0.167$	* 단순보 지지조건과 연속보 지지조건 의 중간적 상태
*단위용적중량	$W = 1.7 \text{ t/m}^3$	
*길이변화율	$k = 1.3 \times 10^{-3}$	

3.3.2 축압산정

가정사항 : 콘크리트 타설은 묽은비빔 콘크리트를 펌프공법으로 급속하게 시공함.

표 5 콘크리트 타설조건과 축압의 산출

콘크리트 타설 조건	축압의 산출
* 기둥 단면 크기(거푸집 포함) : 500 x 500 * 콘크리트 타설 높이(H) : 3.0 m * 콘크리트 타설 속도(V) : 15 m/h * 콘크리트 단위 용적 중량(W ₀) : 2.3 t/m ³	* 타설높이 3.0 m ; P = 2W ₀ + 0.8W ₀ (H-2) = 6.44 t/m ²
	* 타설높이 2.0 m ; P = W ₀ h = 4.6 t/m ²

3.3.3 거푸집 패널의 구조 검토

1) 휨 응력 검토

그림 1 C, 그림 2와 같이 기둥거푸집이 4개의 패널로 구성되어 있으므로 패널로 휨에 대한 검토는 단 순보 또는 연속보의 응력으로 검토될 수 있다.

- 최대 휨모멘트 M_{max} = w l² / 10, (w = 0.644 kg/cm²)
- 허용 휨응력도 f_b 를 휨강도의 1/2로 가정, f_r = 120/2 = 60 kgf/cm²
- 거푸집 패널의 두께(t) 20mm일 때, I = 0.67 cm⁴, Z = 0.67 cm³
 25mm일 때, I = 1.302 cm⁴, Z = 1.04 cm³
 30mm일 때, I = 2.25 cm⁴, Z = 1.5 cm³

수평띠장 간격 l 은 다음과 같다.

$$\cdot t=20 \text{ mm}, \quad l \leq \sqrt{\frac{(10 \cdot f_b \cdot Z)}{w}} = \sqrt{\frac{10 \times 60 \times 0.67}{0.644}} = 25 \text{ cm}$$

$$\cdot t=25 \text{ mm}, \quad l \leq \sqrt{\frac{(10 \cdot f_b \cdot Z)}{w}} = \sqrt{\frac{10 \times 60 \times 1.04}{0.644}} = 31.1 \text{ cm}$$

$$\cdot t=30 \text{ mm}, \quad l \leq \sqrt{\frac{(10 \cdot f_b \cdot Z)}{w}} = \sqrt{\frac{10 \times 60 \times 1.5}{0.644}} = 37.4 \text{ cm}$$

$$2) \text{ 처짐 검토 } \delta = w l^2 / 288 EI = \frac{0.644 \times 30^4}{128 \times 1.55 \times 10^5 \times 0.67} = 0.0392 \text{ cm} < 0.3 \text{ cm}$$

거푸집의 구조해석은 거푸집패널간의 접합상태와 조립방법에 따라 달라진다. 쉘요소를 사용한 전산 해석 결과, 그림 1의 A, B와 같이 일체형 또는 C형의 패널이 조립된 거푸집에서는 4개의 패널로 구성된 거푸집과 비교할 때, 동일한 수평띠장 간격에서 패널두께를 줄일 수 있음이 밝혀졌다.

$$\delta / l = 0.0392 / 30 = 1 / 764 < 1 / 430 \quad \text{O.K}$$

3.3.4 거푸집 구조성능에 대한 분석

거푸집의 구조성능에 있어 우선적으로 콘크리트 측압에 대한 안전성 확보와 요구되는 변형 한계치를 만족시켜야 할 것이다. 이에 대해 일반적인 건축물의 기둥을 예로 하여 검토한 결과, 본 연구에서 개발된 거푸집 패널은 휨강도가 다소 낮아 수평 띠장의 간격을 좁히든지 또는 거푸집 패널의 두께를 두텁게 하거나 리브를 두어 강성을 높여야 한다. 시공성의 이유로 수평띠장의 간격을 넓히고자 하거나 리브를 두지 못할 때, 이에 상응하게 거푸집 패널이 두터워져 외관상의 기둥 치수에 비하여 실제의 구조적 치수가 작아 기둥 단면적이 상당히 감소된다. 따라서 거푸집 패널의 휨강도가 150kgf/cm^2 이상 발휘되도록 거푸집의 품질개선이 필요할 것으로 판단된다.

3.4 시공시스템 연구

3.4.1 프리캐스트 거푸집의 시공 개념

박판거푸집은 비교적 경량인 패널이다. 따라서 시공시에는 큰 중기 등은 필요치 않으며 일반적으로 원치 등의 소형 기중기를 이용하여 시공한다. 표준적으로 기둥 보 등에 미리 시공되기 전에 설계 모듈에 따라 조립을 하고 거푸집과 거푸집 사이의 이음부에는 실링재를 삽입하거나 코킹으로 처리한다. 이와 같이 마감을 실시한 후 달아 올려서 PCa판과 같은 공법으로 시공한다.

3.4.2 기둥의 조립

콘크리트 거푸집은 목재와 달리 탄성이 없으므로 기존의 재래식 체결용 부재로는 조립하는데 문제가 있어 별도의 조립용 부재를 개발했다. 이번에 고안한 각형 clamp는 다른 체결용 가설재에 비해 조립하는데 가장 양호한 효율성을 나타냈다.

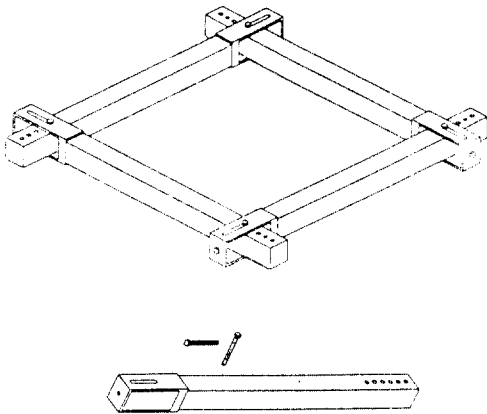


그림 3 각형 column clamp

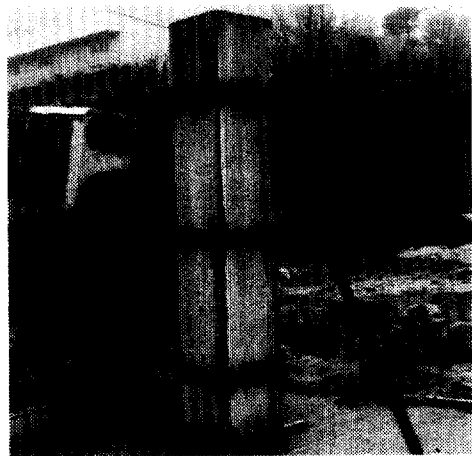


그림 4 기둥조립형태

3.4.3 콘크리트의 타설 시험

박판거푸집으로 기둥을 3개를 조립한 후 콘크리트 타설시험(조건 : 슬럼프 18cm, 펴핑높이 3m, 바이브레이터 사용)을 실시하여 조립방법 및 띠장 간격에 따른 거푸집의 변형을 관찰한 결과 띠장의 간격이 20mm 이상이거나 조립부재의 결합상태가 견고하지 않은 경우 거푸집의 이완으로 인한 거푸집의 변형을 육안으로 관찰할 수 있었다. 일본에서 타설후 콘크리트의 충전도를 콘크리트 내부탐사기를 이

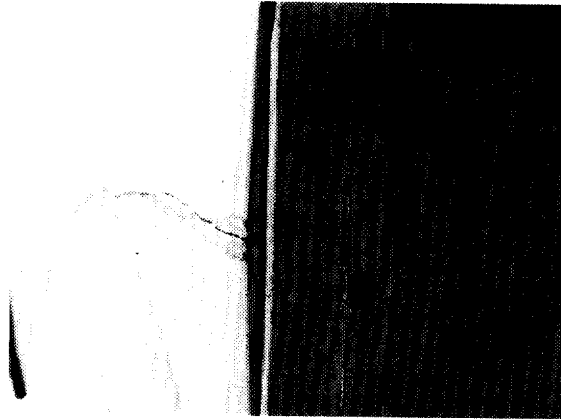


그림 5 부재의 이완으로 생긴 거푸집의 변형

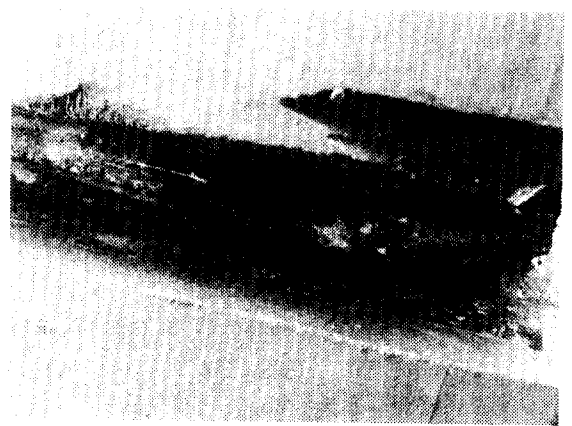


그림 6 콘크리트의 내부충진상태

용하고 있으나 본 시험에서는 기둥의 일부분을 잘라내어 충전상태를 확인한 결과 내부의 충전상태와 부착상태가 양호함을 확인할 수 있었다.

4. 연구결과

압출성형기를 이용하여 배합시험을 실시한 결과 재생골재 미분말 20wt.%를 혼합하여 압축강도 400kgf/cm²을 상회하는 물성을 얻었다. 이는 압출성형방식이 진공탈기공정을 거치고 미분말의 원료의 적용에 유리하므로 일반 콘크리트에 재생골재를 사용한 결과에 비해 양호한 결과를 얻을 수 있었던 것으로 판단된다. 오토클레이브등 촉진양생을 거치지 않아도 소요의 강도를 얻을 수 있음을 확인했고 배합비의 개선과 생산에 적합한 투입재료의 개발로 더욱 우수한 제품생산이 가능할 것으로 사료된다.

1차로 생산한 거푸집 시험체를 기둥에 적용한 결과 휨응력과 수평띠장의 간격, 변형량에서 외국에서 개발된 거푸집과 유사한 성능을 보유하고 있음이 확인되었다. 그러나 콘크리트 타설시 측압을 가장 많이 받는 하단부의 띠장의 간격은 20cm로 비교적 조밀한 간격이었다. 이의 개선을 위해선 지속적인 제조공정 개선을 통한 거푸집 성능의 향상과 거푸집 패널의 조립 시공성, 휨 강성 증대를 위한 리브 설치 여부, 구조체의 구조성능 향상 등을 목적으로한 패널설계와 성능 검토 및 이에 적합한 조립부재 개발 및 조립방법의 검토가 필요하다.

본 거푸집의 형태는 패널형태의 거푸집으로 해당되는 부재에 맞게 조립하고 시공될 슬라브에 양중하여 콘크리트를 타설하는 방법을 적용하였으므로 다른 프리캐스트 부재에 비해 경량이고 가변성이 양호한 거푸집 시스템으로 개발하였다. 이 방법은 다른 형태의 거푸집에 비해 생산방식(거푸집의 표면 마감), 시공방법, 운송 및 취급면에서 가장 효율적인 것으로 판단된다.

5. 향후 연구 방향

박판 프리캐스트 거푸집은 콘크리트 소재로서 목재거푸집과 비교할 때 탄성이 크지 않고 가공성이 떨어지므로 이에 적합한 조립용 부재의 개발이 필요하며 이에 따라 기둥용 클램프, 보용 클램프, 직립용 서포트를 개발하여 각 기둥, 보등 각 파트별 조립방법을 결정한 후 전체시스템에 대해 연구를 진행

하여야 할 것으로 보며 각 세부별 검토할 사항은 다음과 같다.

- 1) 기초 실험으로써 소재의 물리적 성질에 대한 보완 시험.
- 2) 거푸집 단면의 다양한 검토(단면특성-중공부의 성형 유무, 요홈의 형상)에 대응하기 위한 제반 생산 라인의 양산 체계 구축 및 작업 기준 완성.
- 3) 재생골재의 품위(입도, 표면함수율, 불순물 혼합 여부) 관리 방법 및 기준 관리.
- 4) 구조적인 측면에서
 - ① 거푸집 거친 마감면의 부착성능 실험
 - ② 거푸집의 휨, 압축내력 증대 효과와 연성능력에 대한 실험.(기둥, 보 실험)
 - ③ 콘크리트 충전성 조사 및 거푸집 변형측정 실험.(실물크기 실험)
 - ④ 수평력에 대한 부재 접합부 및 거푸집 시스템의 변형과 안전성.

참고문헌

1. 김성남, “거푸집이란?”, 콘크리트학회지, 1995. 8. pp. 7 - 16
2. 김기동, “거푸집의 설계개념”, 콘크리트학회지, 1995. 8. pp. 17 - 25
3. (주)대우 기술연구팀, 거푸집공사의 이해와 시공, 기문당, 1993.
4. 대림조, Pre Column(형틀겸용 Half Precast Concrete구조용 기둥) 소개자료
5. 건축기술정보(편), 압축성형에 의한 시멘트계 건축재료의 제조와 이용, 건축기술정보, 1995, 2.
6. 이봉학 외 “재생 폐콘크리트의 성능향상에 관한 연구” 콘크리트학회지 1995. 4 (제7권2호) pp.136-145