

프리캐스트 콘크리트 복합화공법의 경제성 분석에 관한 연구

A Study on the Economical Analysis of the Composite Precast Concrete Method

○유 대 호* 이 한 복** 안 재 철*** 강 병 희****
YOO, Dae-Ho LEE, Han-Bok AHN, Jae-Cheol KANG, Byeung-Hee

요 약

이번 연구는, 실제 공사 현장에서 적용할 수 있는 프리캐스트 복합화 콘크리트 공법을 선정하였다. 현장에서 프리캐스트 복합화 콘크리트 공법의 실제 공사비와 철근콘크리트 공법에 적용되는 추정 공사비를 비교하였다. 고강도 콘크리트와 프리스트레스트 콘크리트의 사용함으로써, 50%이상의 콘크리트 양을 줄일 수 있었지만, 프리캐스트 콘크리트 복합화공법의 주된 비용인 생산비와 운송비를 포함한 재료비는 큰 차이가 없었다. 그러나 철근콘크리트인 경우, 철근과 거푸집 노무비가 30%를 차지하며 추가비용으로 비계, 가설공사가 큰 비중을 차지하는 철근콘크리트 공법이 프리캐스트 콘크리트 복합화 공법과 비교하여 2배정도의 시공비용이 소요된다. 위의 결과를 분석하면 프리캐스트 복합화 공법이 철근콘크리트 공법의 비용보다 11%의 훌륭한 비용절감 효과가 나타났다.

키워드 : PC 복합화공법, 경제성, 공사비, 계약단가

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

콘크리트는 우수한 시공성과 강도 및 내구특성으로 인하여 오늘날 건설 분야에 있어서 가장 주요한 구조재료이나 재료적 특성상 경화기간이 길고 특정 환경조건의 양생과정이 필요하며, 공법적 특성상 가설공사, 거푸집공사, 철근가공 등과 같은 부속 공정으로 많은 공사비와 공기를 필요로 하며, 그 품질관리와 안전관리에 있어서도 어려움이 많다. 또한 현장작업의 대부분이 정규교육 및 보수교육이 부족한 노무자(숙련공)에 의존하는 공사의 특성으로 품질관리 및 고성능화 공법의 적용이 어렵고, 타 재료를 이용한 공법에 비하여 기계화, 공업화의 추세에 있어서도 많이 뒤쳐져있다. 이러한 콘크리트의 단점을 보완하고자 1960년대 프리캐스트 콘크리트 공법(이하, PC 공법)이 국내에 처음으로 도입되었다. 그리고 최근에는 PC공법에 있어서의 가장 근본적인 문제인 접합부의 구조적 일체성을 증진시키기 위하여 부분PC와 접합부에 현장 타설 콘크리트를 이용한 프리캐스트 콘크리트 복합화공법(이하, PC복합화 공법)이 개발되었다. 이러한 PC복합화 공법은 기존 PC공법의 품질적인 문제와 구조적 신뢰도를 해결해주고, 공사비와 공기의 측면에서 건축공사에 많은 절감효과를 가져오는 장래 공업화 기계화 건축을 위한

신공법으로 자리매김하게 되었다. 그러나 다양한 환경조건에서의 실제 시범적 적용사례를 통한 기존 재래식 공법과의 공기 및 공사비 측면에서의 비교 데이터가 부족하여 최적의 공법선정에 있어 어려움이 많은 실정이다.

따라서, 강경인(2000) 등에 의한 연구¹⁾에서는 철근콘크리트 구조물을 대상으로 가상의 PC복합화 공사를 수행할 경우의 경제성을 비교 분석한 연구를 통하여, 실제 현장에서의 공법적용을 위한 참고자료로서 제시하고자 하였다. 그러나, 공사비가 현장의 다양한 특성 및 건축구조물의 구조에 의해 결정되는 특징을 고려한다면, 실제 공사비와는 다소 차이가 있을 것으로 생각된다. 또한, 박덕용(1999)에 의한 연구²⁾에서는 지하주차장 2개층에 대하여 1개층씩 RC공법과 PC복합화 공법을 적용하여 공사비, 공기, 품질의 비교를 종합적으로 분석하였다. 그러나, 실질적인 각 공법의 공사비의 특징을 보여주는 세부 공사비 구성의 특성에 대한 분석이 다소 부족하다.

따라서 본 연구는 실제 PC복합화공법이 적용되고 있는 시공현장을 선정하여 실제 공사비를 산출하고, 이 현장을 재래식 RC공법으로 시공하였을 때의 가상의 공사비를 산출하여 비교, 검토함으로써 향후 PC복합화 공법의 적용 검토에 있어서 원가관리 측면에서의 기초적인 데이터를 제시하는 것을 목적으로 한다.

* 비회원, SK건설(주) 건축사업부문 부장, 동아대학교 대학원
** 비회원, (주)포스코건설
*** 비회원, 東京大學工學系研究科建築學專攻 研究員, 공학박사
**** 일반회원, 동아대학교 건축학부 교수, 공학박사

1.2 연구방법 및 범위

본 연구에서는, 현재 PC복합화 공법을 적용하여 시공 중인 공동주택 현장의 지하 주차장 한 동, 2개층을 대상으로, PC복합화 공법의 공사비와 RC공법을 적용할 경우의 가상의 모델을 구조적 검토와 공사비 분석을 통하여 경제성 비교를 실시하였다. 공사비는 실제 시공현장에서 계약이 이루어진 계약단가를 이용하여 직접공사비를 산출하였다. 여기에서, RC공법의 구조모델에 대해서는, 가장 범용되는 RC구조의 모델로 해석될 수 있도록 하였으며, 공사비의 경우에서도 일반적인 부산지역의 현장 계약단가를 적용하여 최대한 합리적인 경제성 평가가 이루어질 수 있도록 하였다.

2. 경제성 분석

2.1 개요

(1) 현장 개요

본 연구대상의 현장은 PC복합화 공법을 시범적으로 적용하는 부산의 S사 현장으로서, 지하 1, 2층의 주차장에 PC복합화 공법을 적용하였다. 단, PC복합화 공법이 적용된 총 12개동, 연면적 145,978㎡ 중, RC공법으로의 구조 및 공법변경을 고려하여 1개동 연면적 8,655㎡를 비교 분석 대상으로 하였으며, 그 공사의 개요는 표 1과 같다.

표 1. PC복합화 공법과 RC공법의 공사개요

규모	연면적	664,956.6㎡
	전체층수	지하4층, 지상47층
구조	지하	PC복합화구조 + RC구조
	지상	RC구조

(2) 구조 형식의 변경

본 연구에서는 PC복합화 공법과 RC공법의 객관적인 경제성 평가를 위하여, 그림 1과 표 2와 같이 각 공법의 구조적 특성을 고려하여 기존 1방향 슬래브의 PC복합화 공법을 2방향 슬래브 형식의 RC공법으로 설계하였다.

이러한 구조형식 변경결과, 표 3, 그림 3과 같이 콘크리트 물량에 있어서 큰 변화가 나타났다. 이는 공장생산 방식에 의한 콘크리트의 고강도화와 프리스트레스의 도입에 의하여 고강도화 된 수평부재를 사용한 PC공법에 비하여 현장 RC공법은 일반적으로 적용되는 24MPa로 설계하였기 때문이다. 따라서, 기둥, 보, 바닥판이 각각 49%, 48%, 54%의 부재가 감소되었으며, 이로 인한 구조물의 경량화 효과도 크게 기대된다.

표 2. 부재 설계기준강도

	PC	RC
Column	35 MPa	24 MPa
Girder&Beam	35 MPa	
Slab	27 MPa	

표 3. 공법변경에 따른 부재의 증감

	PC복합화공법(1way)			RC공법(2way)	
	물량(㎡)		부재수	물량(㎡)	부재수
	PC	토핑 콘크리트			
기둥	127.45	32.62	87	298.36	112
보	297.68	273.28	194	1,198.67	484
슬래브	418.71	1,597.83	498	3,463.88	-
합계	843.85	1,903.73	-	4,960.92	-

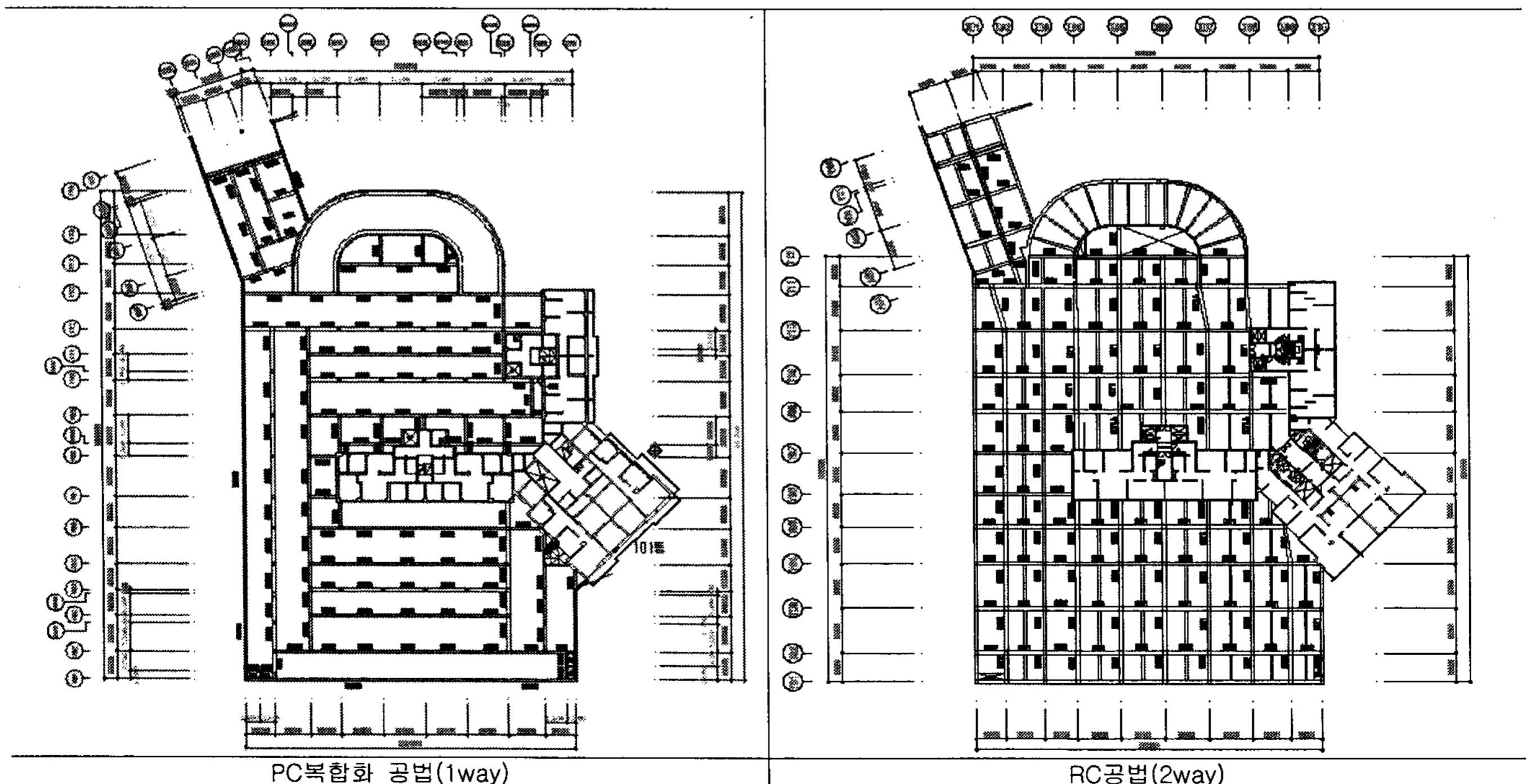


그림 1. 구조형식의 변경

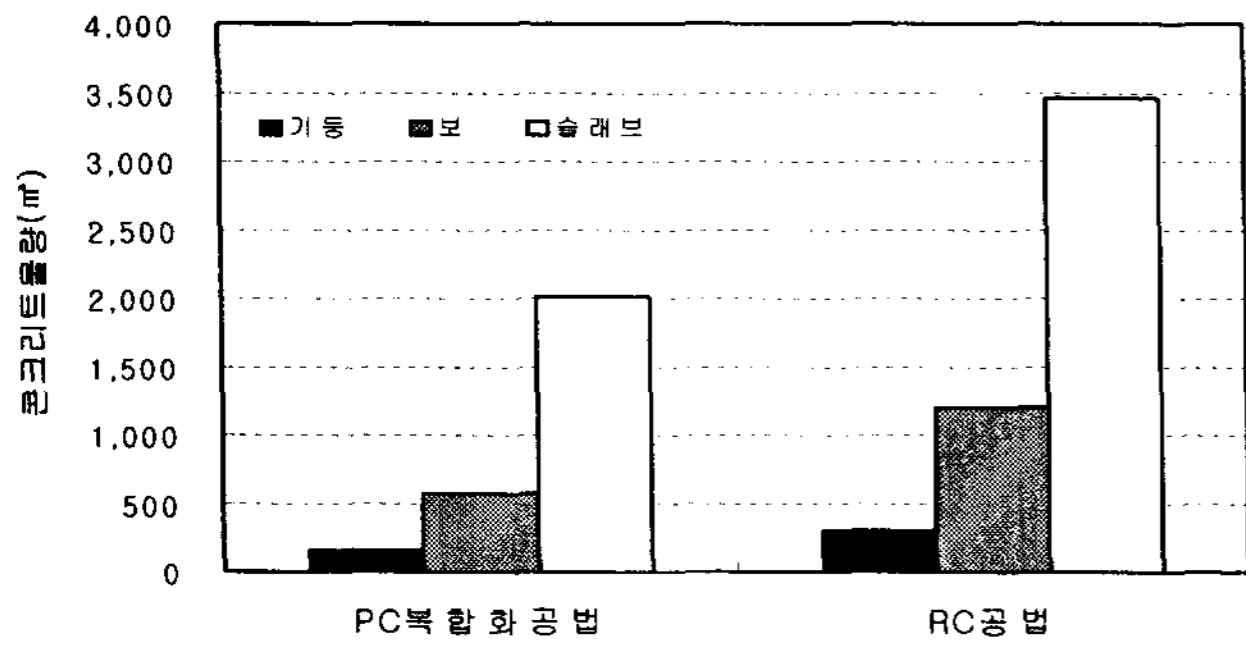


그림 3. 콘크리트 물량비교

2.2 공사비 산출

(1) PC복합화공법

PC복합화 공법의 공사비를 산출하기 위한 기둥, 보, 슬래브의 PC부재의 각 부재별 물량은 실제 계약단가를 적용하여 재료비를 산출하고, PC부재의 설계비와 운송비를 합산하였다. 부수적인 항목들은 현장의 기성청구서에 의한 계약단가를 이용하여 산정하였다. 고소작업차, 별도 장비비는 월별(개월)로 산정하였으며, 현장 작업부분인 슬래브 토폭 콘크리트(PC접합부 포함)와 슬래브 상부철근은 도면을 통하여 물량을 산출하였다. 표 4와 같이 현장의 PC복합화 공법에 의한 총공사비는 790,823,895원으로 산정되었다. 단, 노무비는 실제 현장의 계약에 있어서 계약단가에 포함하기 때문에 이에 준하였다.

(2) RC공법

실제 계약단가를 이용한 PC복합화 공법과의 비교를 위하여 동일현장에서 시공하고 있는 RC공사업체의 계약단가를 이용하여 공사비를 표 5와 같이 산출하였다.

RC공사의 공사비는 공사비 지출이 큰 가설공사, 비계공사, 거푸집공사, 콘크리트공사, 철근공사를 주 대상으로 각 공종별로 산출된 물량과 계약단가를 사용하여 산정하였다. 가설공사와 비계공사의 경우 건축면적당 단가로 가격을 산정하고, 거푸집의 경우 자재비를 포함한 거푸집 설치·해체, 손료가 포함되어 있으며, 콘크리트 공사의 경우 한국레미콘 공업협동조합 연합회 부산조합의 레미콘 단가와 콘크리트 타설 노무비의 합계로 산정하였다. 철근공사의 경우 스페이서, 세퍼레이터와 같은 자재비와 철근의 톤당 단가와 가공비를 합산하여 계산하였다. 이상의 결과, 공사비 합계는 886,929,525원으로 산출되었다.

2.3 공사비를 통한 경제성 분석

본 연구에서는 두 공법의 경제성을 효율적으로 평가하기 위하여, 각각의 공종을 주요공사비, 부속공사비, 부대비용의 3가지로 분류하여 각 항목에 따른 공법별 공사비를 비교·분석 하였다.

PC복합화공법에 있어서 기둥, 보, 슬래브의 PC부재의 재료비(부재설계비 포함)와 토폭 콘크리트, 슬래브 상부철근 등의 현장공사비를 주요 공사비로, 그에 수반되는 케미컬 앵커와 그라우팅 등을 부속공사비로, 각 공사에 필요한 장비와 기타비용을 부대비용으로 분류하였다.

표 4. PC복합화공법 공사비

	수량	단위	물량 (m³)	재료단가 (원)	재료비 (원)	노무비단가 (원)	노무비 (원)	운송제작단가 (원)	운송제작비 (원)	공사비 계 (원)
주요공사비	부재설계비	-	일식	-	16,658,808	0	0	0	0	16,658,808
	기둥	(87)	개	127.45	526,000	85,000	7,395,000	3,503	446,475	74,882,805
	보	(194)	개	297.68	414,000	57,000	11,058,000	5,996	1,784,919	136,084,509
	슬래브	(498)	개	418.71	390,000	22,000	10,956,000	9,587	4,014,192	178,267,872
	토폭 콘크리트	-	m³	1,903,735	55,540	7,200	13,706,895	0	0	119,440,359
	슬래브 상부 철근	-	ton	328.95	540,000	159,000	52,303,050	0	0	229,936,050
주요공사비 계										755,270,403
부속공사비	케미컬앵커	54	개소	-	28,000	18,000	972,000	0	0	2,484,000
	그라우팅	54	개소	-	0	10,000	540,000	0	0	540,000
	BCS 모르터	33	개소	-	20,000	50,000	1,650,000	0	0	2,310,000
	무수축 모르터	82	개소	-	18,000	0	0	0	0	1,476,000
	판넬존 거푸집	87	개소	-	10,000	40,000	3,480,000	0	0	4,350,000
	우레탄코킹	271	개소	-	1,500	3,500	948,500	0	0	1,355,000
	동바리공사	618	개소	-	2,500	3,000	1,854,000	0	0	3,399,000
	jack support	31	개소	-	12,000	14,000	434,000	0	0	806,000
	부재손보기	0.04	일식	-	0	20,000,000	800,000	0	0	800,000
부속공사비 계										17,520,000
부대비용	고소작업차	1.00	개월	-	900,000	0	0	0	0	900,000
	별도장비비	1.00	개월	-	15,000,000	0	0	0	0	15,000,000
	잡자재비	5,766	개	-	370	2,133,492	0	0	0	2,133,492
부대비용 계										18,033,492
총 공사비 계										790,823,895

표 5. RC공법 공사비

		공사명	규격	단위	수량	단가	금액	
주요공사비	콘크리트공사	콘크리트 타설	-	m ³	4,960.92	7,000	34,726,440	
		레미콘(25-240-12)	-		4,960.92	55,540	275,529,497	
			소 계					310,255,937
	철근공사	철근가공조립	-	ton	529.10	164,000	86,772,400	
		철근 ton당 가격	-		529.10	540,000	285,714,000	
			소 계					372,486,385
			지하1층 (B1F)					
			거푸집손료	3 회	m ²	1,293.84	5,200	6,727,968
			거푸집설치해체			1,293.84	12,500	16,173,000
			거푸집손료	슬래브 주위	m ²	30.90	4,500	139,050
			거푸집설치해체			30.90	12,000	370,800
			거푸집손료	4 회	m ²	83.11	4,500	373,995
			거푸집설치해체			83.11	12,000	997,320
			거푸집손료	경사	m ²	284.92	6,000	1,709,520
			거푸집설치해체			284.92	14,800	4,216,816
			거푸집손료	곡면	m ²	385.10	6,000	2,310,600
			거푸집설치해체			385.10	14,800	5,699,480
			거푸집손료	유로폼	m ²	1,619.35	4,400	7,125,140
			거푸집설치해체			1,619.35	12,000	19,432,200
			지하2층 (B2F)					
			거푸집손료	3 회	m ²	1,450.44	5,400	7,832,376
			거푸집설치해체			1,450.44	12,500	18,130,500
			거푸집손료	슬래브 주위	m ²	46.17	4,500	207,765
			거푸집설치해체			46.17	12,000	554,040
			거푸집손료	4 회	m ²	150.29	4,500	676,305
			거푸집설치해체			150.29	12,000	1,803,480
			거푸집손료	경사	m ²	309.12	6,000	1,854,720
		거푸집설치해체	309.12			15,000	4,636,800	
		거푸집손료	곡면	m ²	549.40	6,000	3,296,400	
		거푸집설치해체			549.40	15,000	8,241,000	
		거푸집손료	유로폼	m ²	2,255.36	4,200	9,472,512	
		거푸집설치해체			2,255.36	12,000	27,064,320	
		SPACER	-	EA	9,855	40	394,200	
		SEPERATER	WALL용		1,553	40	62,120	
		소 계					149,502,427	
주요공사비 계							832,244,749	
부속공사비	가설공사	수평보기	건축면적	m ²	5,477.26	500	2,738,630	
		막매김	골조		5,477.26	500	2,738,630	
			소 계				5,477,260	
	비계공사	쌍줄비계손료	지하주차장	m ²	8,607.82	1,600	13,772,512	
		쌍줄비계설치비			8,607.82	2,500	21,519,550	
		소 계				35,292,062		
부속공사비 계							40,769,322	
부대비용	거푸집정리(운반 및 청소)		-	m ²	6,403.00	800	5,122,403	
	보양비		콘크리트 면	m ²	10,954.52	191	2,092,313	
	건출공사*	콘크리트 면처리	내부	m ²	3,185.73	2,100	6,690,030	
			외부		17.70	2,300	40,708	
		소 계				13,945,454		
부대비용 계							13,945,454	
총 공사비 계							886,959,525	

* 지하주차장의 마감공법으로는 모르타 뽐칠공법과 도장방법이 있으나, 본 연구대상의 현장과 같이 도장을 하는 경우는 콘크리트 면 불량부분의 건출공사가 필수적이므로 본 경제성 분석의 대상으로 적용하였다.

RC공법에 있어서는 구조체를 형성하는 콘크리트, 철근, 거푸집공사비를 주요공사비로, 이에 수반되는 가설공사비와 비계공사비를 부속공사비로, 기타 제반비용을 부대비용으로 분류하였다.

그림 4와 같이, 각 항목별의 공사비를 전체적으로 비교해 보면 두 공법 모두 주요 공사비가 가장 높고 부속공사비와 부대비용은 상대적으로 매우 작은 것을 알 수 있다. 그리고 주요공사비의 경우는 PC복합화공법의 공사비

가 RC공법의 공사비보다 다소 낮게 나타났으며, 부속공사비와 부대비용의 경우는 각 공법에 따라 차이가 있었으나 총공사비에 대한 비율이 낮기 때문에 상대적으로 큰 변화는 없는 것으로 나타났다.

(1) 주요공사비

각 공법별 공사비를 주요 항목과 공사비 구성 항목별로 비교해 보면 그림 4에서 그림 8과 같다.

먼저, PC복합화 공법과 RC공법의 주요공사비는 그림 5와 같다. 주요공사비의 경우, 본 연구대상의 현장에서는 PC복합화 공법을 적용함으로써 기존의 RC공법에 비하여 약 7,700만원(RC공법 주요공사비의 약 9.2%)의 원가가 절감되는 것으로 나타났다. 이는 전술한 바와 같이 PC부재가 m³당 평균 450,000원으로 고가인 단점이 있으나, 고강도화와 프리스트레스의 도입에 따른 구조변경에 의해 부재물량이 절반으로 감소되었기 때문이다. 그리고, 그림 6과 같이 RC공법에서 주요공사비의 약 30%를 차지하는 현장 노무비(철근의 가공 및 조립, 거푸집의 설치 및 해체비용)가 대폭 절감되기 때문이다. 따라서, PC공법의 효율적인 적용을 위해서는, PC의 구조적 장점을 이용한 최적의 구조설계가 이루어져야 PC공법의 높은 재료비를 경제적으로 관리할 수 있을 것으로 판단된다.

(2) 부속공사비 및 부대비용

부속공사비는 주요부재를 시공하기 위해 들어가는 공중의 공사비를 말하며, 그림 7과 같이 PC복합화공법과 RC공법이 각각 1,752만원과 4,076만원의 공사비가 들어 RC공법이 2,324만원의 부속공사비가 더 많이 들어가는 것을 알 수 있다. 이는 PC복합화 공법과 달리 많은 현장작업을 수행하는 RC공법의 비계공사비가 부속공사비의 약 85%, 전체 공사비의 약 4%로 크게 차지하기 때문이다.

부대비용은 주요부재의 공사와 이에 부가적인 부속공사를 제외한 제반비용을 의미하며, PC복합화공법의 부대비용과 RC공법의 부대비용은 각각 1,803만원과 1,394만원으로 산정되었다. 이는 PC복합화 공법의 경우는 양중장비비가 많은 부분을 차지하고 있으며, RC공법의 경우 마감면 처리를 위한 견출공사와 보양비가 주를 이룬다. 특히, RC공법의 부재 마감면의 품질을 확보하기 위한 견출공사가 48%를 차지하여, 마감 등의 후속공정에 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있다.

2.4 PC복합화 공법의 공사비 절감 효과

이상의 결과, 그림 9와 같이 PC복합화 공법은 PC부재의 높은 강도로 인한 물량감소와 현장작업의 감소로 인하여 주요공사비는 10%, 부속공사비는 50%의 공사비가 감소하였으며, 양중작업으로 인한 부대비용은 30% 증가하여, 총공사비는 약 11% 절감할 수 있었다.

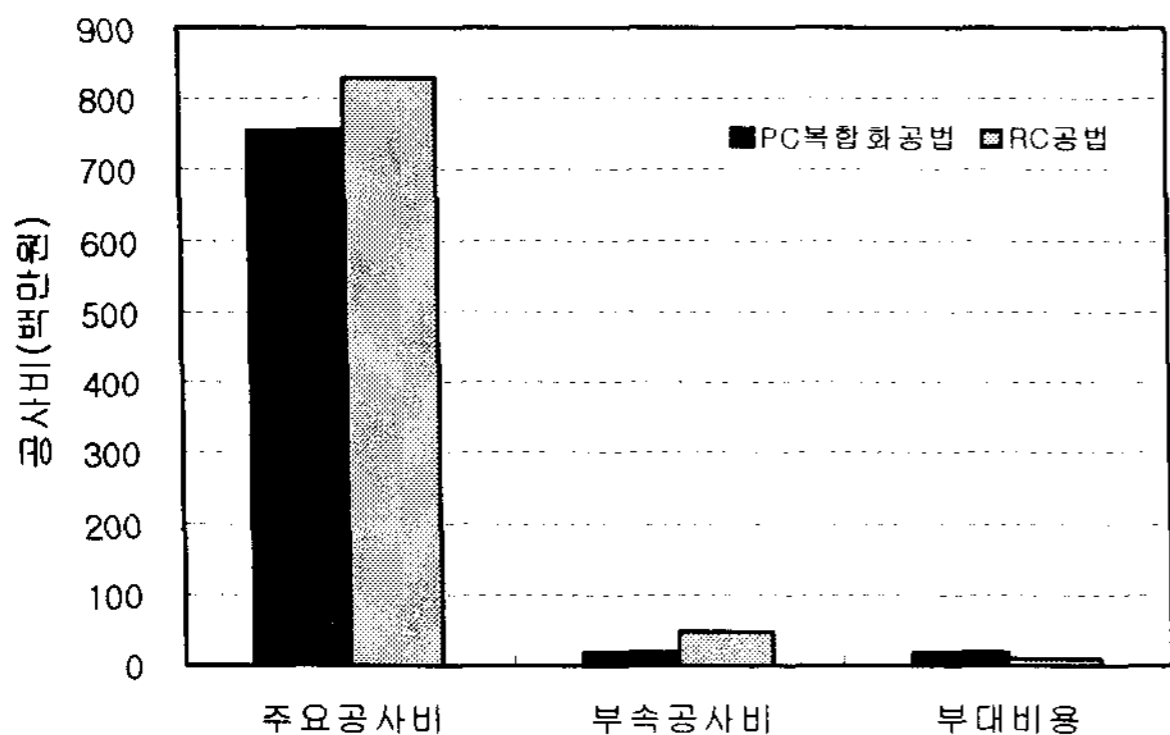


그림 4. 항목별 공사비 비교

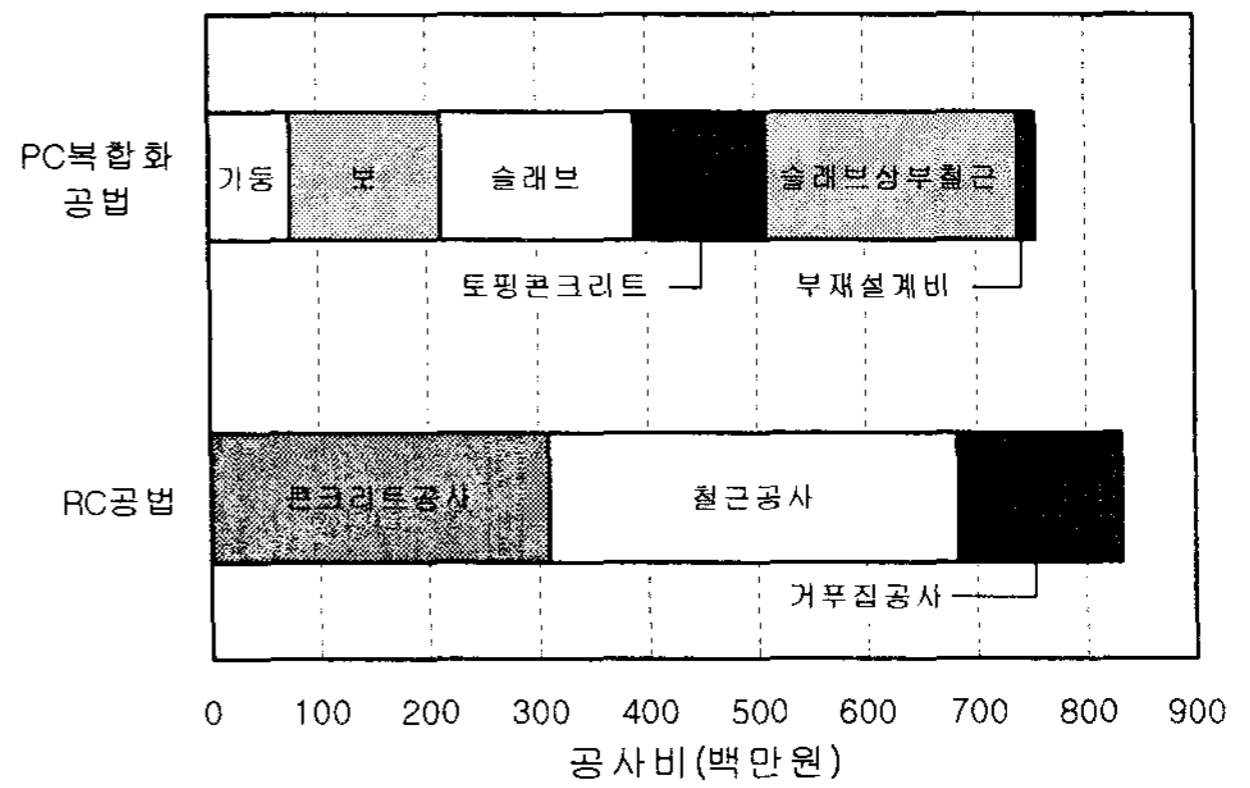


그림 5. 주요공사비 비교

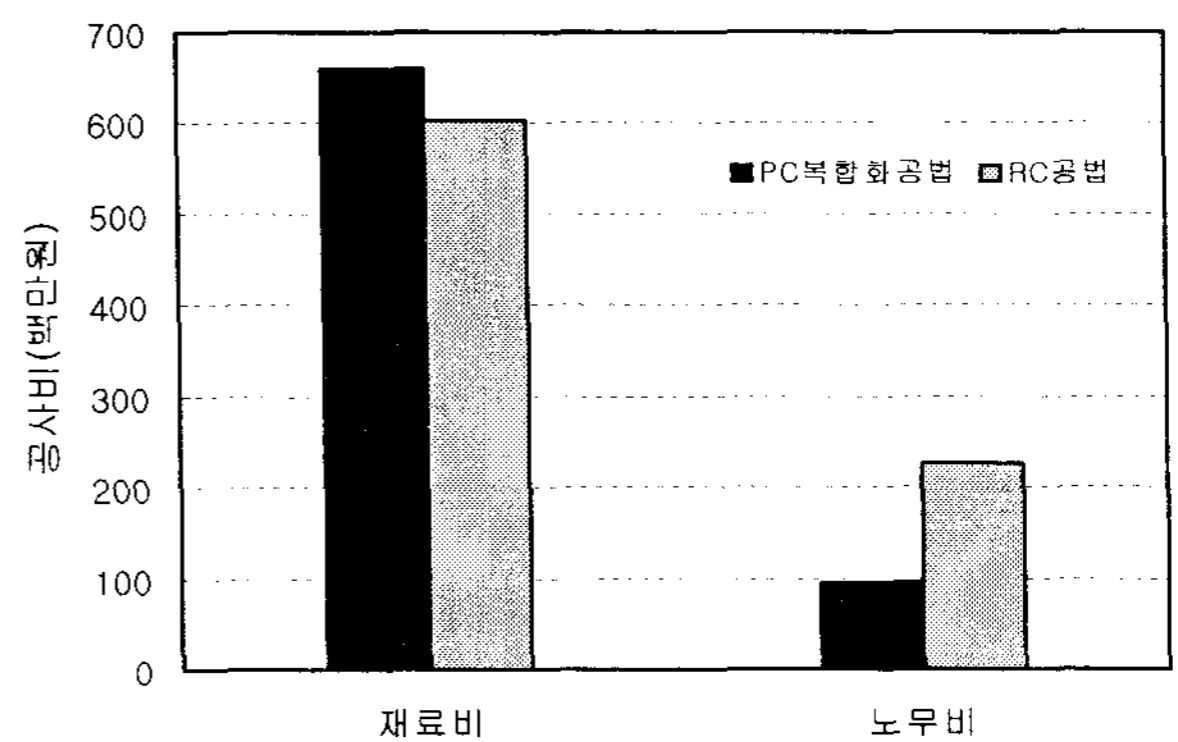


그림 6. 주요공사비의 재료비와 노무비 비교

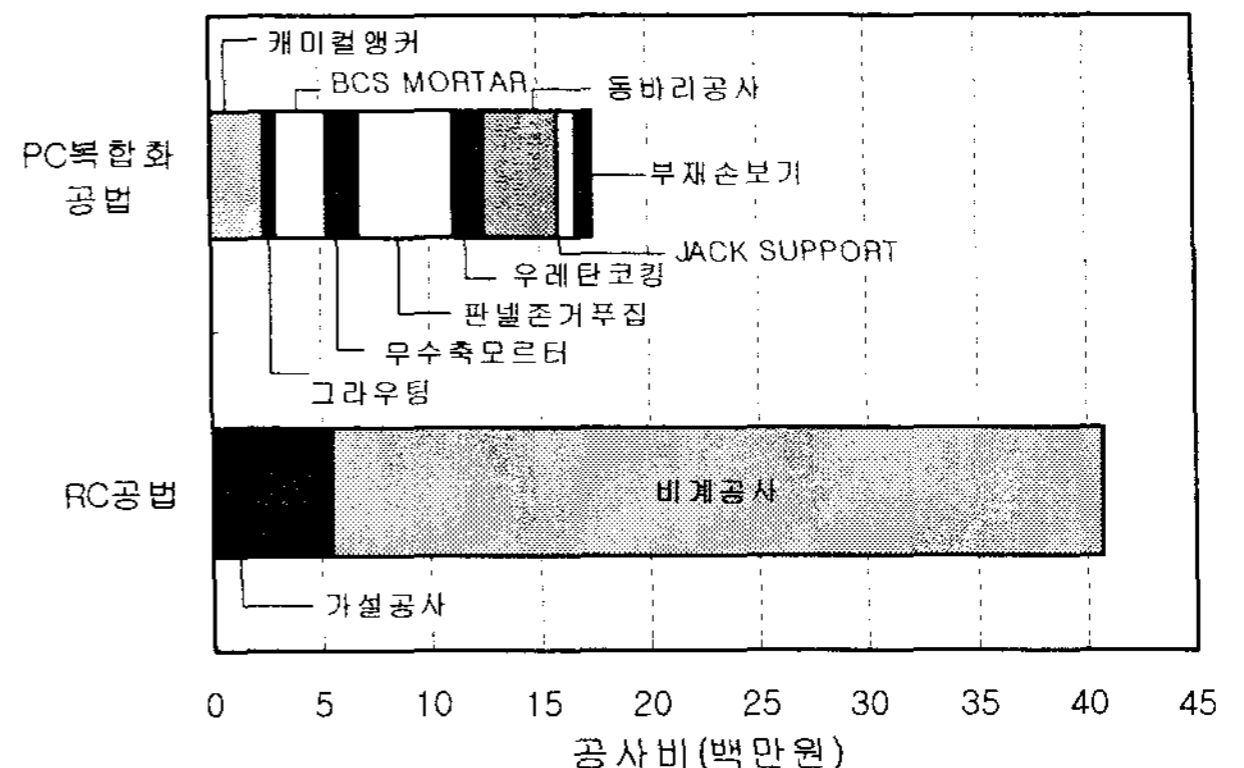


그림 7. 부속공사비 비교

3. 결 론

이상과 같이, PC복합화 공법의 경제성을 평가하기 위하여 RC공법과의 비교연구를 수행한 결과, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) PC복합화 공법과 RC공법의 구조적 검토에 의한 물량 비교를 한 결과, PC부재의 고강도화와 프리스트레스의 적용을 통하여 PC복합화 공법의 콘크리트 부재 물량이 약 50%이상 대폭 감소하였으나, PC부재의 높은 재료비로 인하여 재료비상의 큰 차이는 없었다.

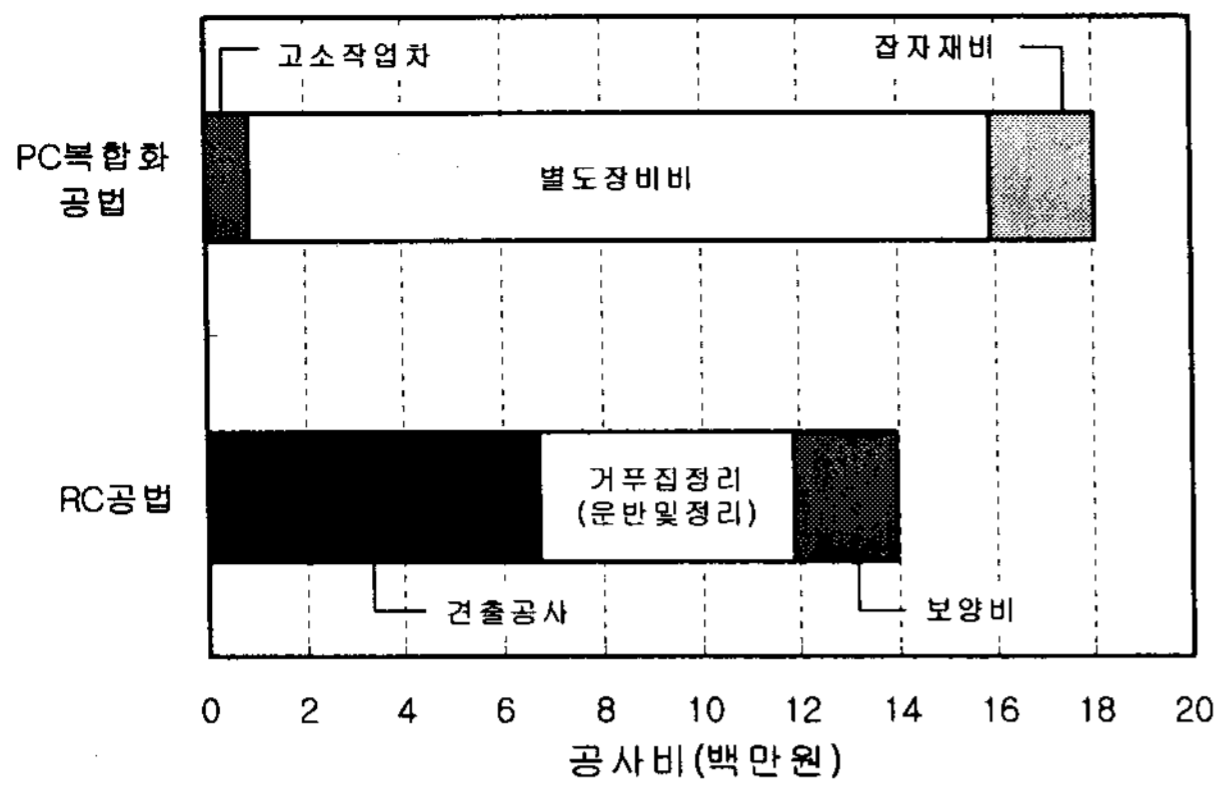


그림 8. 부대비용 비교

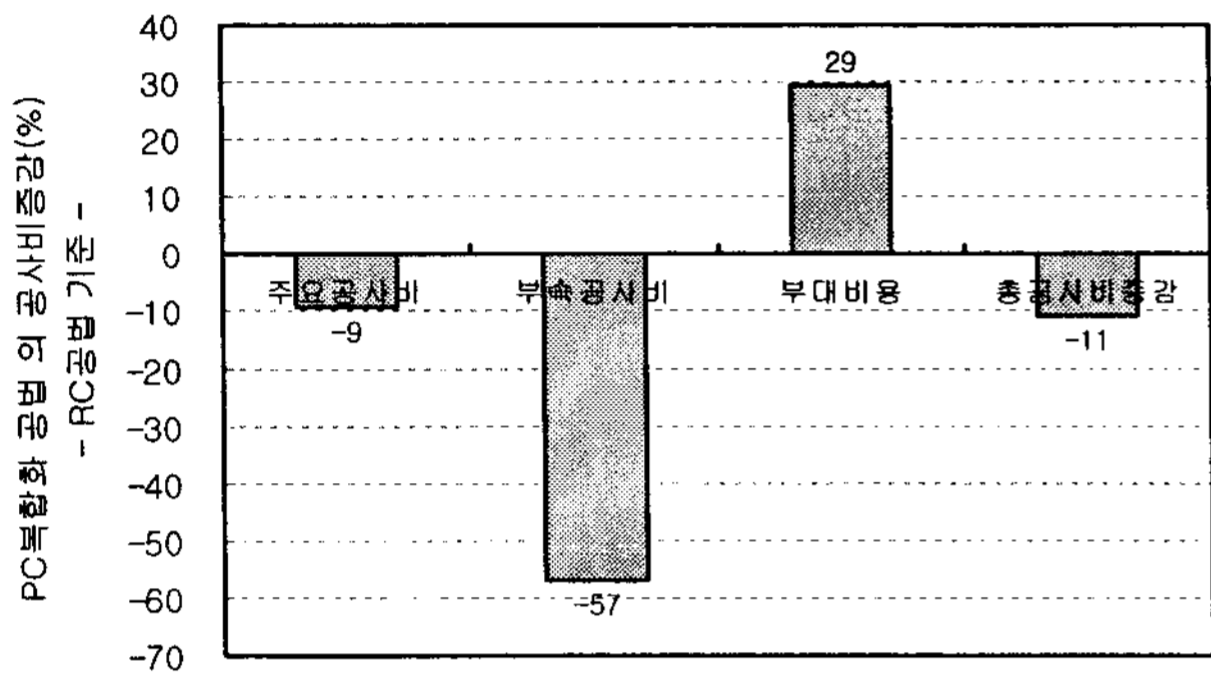


그림 9. RC공사비 기준 PC복합화 공법 공사비 증감

(2) 주요 공사비는, PC복합화 공법의 경우, PC부재 및 현장 접합부의 재료비가 약 90%를 차지하였고, 노무비는 10%를 차지하였다. 반면, 재래식 RC공법의 경우 재료비는 70%를 차지하였고, 철근 및 거푸집 조립에 필요한 현장 노무비가 약 30%를 차지하는 것으로 나타났다.

(3) 부속 공사비는, PC복합화 공법이 현장작업이 주를 이루는 RC공법에 비하여 절반수준으로 낮게 나타났다.

(4) 부대비용은 PC부재의 설치를 위한 양중장비비에 대한 영향으로 PC복합화 공법이 다소 높게 나타났다. 그러나 PC의 재료적 특성상, RC공법의 먼처리 등을 위한 후속 마감공정이 대폭 감소될 수 있어, 원가 및 공정관리 측면에서도 경제적인 것으로 나타났다.

(5) 따라서, 연면적 8,655㎡의 지하 2개층을 대상으로 PC복합화 공법과 가상의 재래식 RC공법의 경제성을 검토한 결과, PC복합화 공법의 총공사비가 RC공사비 대비 11% 감소되어 경제성이 우수한 것으로 나타났으며, 현장공사의 감소 및 성력화가 효율적으로 이루어지는 것으로 나타났다.

그러나, 여러 환경적 조건에 따라 다양한 영향을 받는 건축공사의 특성상 향후 관련된 많은 연구결과와 데이터베이스의 축적이 이루어져야 할 것으로 생각된다.

참고 문헌

1. 강경인 외 4인, 초고층 주상복합 프리캐스트 콘크리트 구조 물의 경제성 분석에 관한 연구, 한국건축시공학회 논문집 제 5권 1호, 2005.03
2. 박덕용, 공동주택 지하주차장의 PC복합화 공법 적용에 관한 연구, 중앙대학교 건설대학원 석사 학위 논문, 1999
3. 방종대, "주택생산의 공업화기술", 태림문화사, 1997
4. 강경인 외 2인, 건설업의 PC 기술 활성화 방안 에 관한 연구, 대한건축학회논문집 제 20권 7호, 2004.07
5. 황석연 외 3인, PC 아파트 공사에서 PC 부재의 최적 관리 방안, 대한건축학회논문집 제 13권 4호, 1997.04

Abstract

In this study, we select a site adopting real composite precast concrete method. Estimating real construction cost and imaginary cost applying reinforced concrete method in the site, we compare the costs. Through using high intensity concrete and prestressed concrete, amount of concrete is reduced more than 50% but there isn't big gap in material cost. In the main construction cost of composite precast concrete method, the material cost with production cost and transportation cost are in that, joints and topping concrete are account for 90%. But in case of reinforced concrete, labor cost spent at concrete steel bar and form is account for 30%. In the cost of attached, compared with composite precast concrete method, the reinforced concrete method taken in big portion by temporary work and scaffolding is twice as much as composite precast concrete method in construction cost. Therefore, economic efficiency is excellent reducing 11% total cost of composite precast concrete method from the reinforced concrete method.

Keywords : precast concrete hybrid-method (composite PC method), economical efficiency, construction cost, unit cost