

동절기 아파트 골조공사의 적정공기 산정에 관한 연구

-기준층 사이클 공정분석을 중심으로-

Optimization of Estimating Duration of the Structural Frame for the High-rise Apartment Housing during the Winter season

-Focusing on One Cycle Time Scheduling Mechanism of the Typical Floor-

방 종 대* · 한 충 희** · 김 선 국***

Bang, Jong-Dae · Han, Choong-Hee · Kim, Sun-Kuk

요 약

공공 발주기관의 동절기 공사불능기간의 운영은 공사기간을 길게 하고, 건설사업비를 증가시킨다. 또한, 건설인력의 활용을 어렵게 하여 근로소득을 감소시킴으로써 국가 경제에도 나쁜 영향을 미친다. 그러므로 골조공사는 동절기에도 시행되어야 할 것이다. 그러나 동절기 골조공사는 평상계절과 동일한 속도로 진행할 수 없기 때문에 별도의 공기산정 방법이 필요하다. 본 연구에서는 공정메커니즘 분석을 통하여 동절기 골조 기준층 1사이클의 실작업일수를 구하고, 5년간의 달력 및 기상청 자료를 이용하여 동절기 5년 평균 비작업일수를 분석하였다. 분석된 실작업일수와 비작업일수를 통합하여 동절기 골조 기준층 1사이클의 적정 공기를 제안하고, 이를 실적자료와 비교하여 검증하였다. 본 연구결과는 동절기 골조공사의 공기산정에 유용하게 활용될 수 있을 것이다.

키워드 : 동절기, 실작업일, 공기, 비작업일, 공정메커니즘

1. 서론

1.1 연구배경 및 목적

건설공사의 대다수 작업은 옥외에서 이루어지기 때문에 기온, 강우, 강설, 바람 등과 같은 기상조건에 영향을 받는다. 이 중에서 작업에 가장 크게 영향을 미치는 것은 기온이다. 국내외 기준에 의하면 일정온도 이하에서는 콘크리트 공사를 중지하거나 한중콘크리트로 시공해야 한다. 이러한 조건 때문에 국내 공공발주기관인 A사에서는 기온이 저하되는 기간 동안을 공사불능기간(1급지~6급지로 구분, 골조와 마감공사로 구분)으로 설정하여 운영하고 있다. 이러한 공사불능기간의 운영은 공사기간을 길게 하여 건설사업비를 증가시킨다. 또한, 이 기간 동안 건설인력의 활용을 어렵게 만들어 건설노무자들의 수입을 감소시킴으로써 국가 경제에도 나쁜 영향을 미친다. 특히, 주 5일 근무제 시행과 후분양제가 도입될 경우, 공사기간이 건설사업비에 미치는 영향

은 더욱 커질 것이다.

상기와 같은 사항들을 고려할 때, 동절기 골조공사의 필요성은 더욱 증대될 것이다. 그러나 동절기 골조공사를 시행하기 위해서는 두 가지 조건이 전제되어야 한다. 동절기 골조공사 시행 시 소정의 품질을 확보할 수 있으면서, 건설사업비를 절감할 수 있어야 한다. 전자의 경우, 건설산업의 발전으로 다양한 시공법 및 보양방법들이 개발되었고, 품질관리에 대한 기술자들의 의식 수준이 높아졌기 때문에 동절기 공사로 인한 품질저하의 우려는 거의 없다. 그러나 후자는 구체적인 건설사업비 분석을 통해서만 증명될 수 있다. 건설사업비는 동절기 골조공사 시행 시 단축되는 공기단축 일수를 토대로 분석되어야 하고, 공기단축 일수는 동절기 골조공사의 적정공기 산정방법을 토대로 분석되어야 한다. 그러나 동절기 골조공사는 평상계절보다 작업속도가 느리기 때문에 별도의 공기산정방법이 필요하다. 따라서 본 연구는 동절기 골조공사의 실작업일수와 비작업일수를 분석하여 동절기 골조 기준층 1사이클의 적정 공기를 제안하고자 한다.

* 일반회원 경희대학교, 건축공학과 박사과정

** 중신회원 경희대학교, 건축공학과 교수, 공학박사

*** 중신회원 경희대학교, 건축공학과 교수, 공학박사

1.2 연구범위 및 방법

본 연구는 국내에서 가장 많이 건설되고 있는 벽식 철근콘크

리트 아파트의 골조공사를 대상으로 한다. 거푸집공사는 내벽에는 유로폼, 외벽에는 갱폼, 슬래브에는 코팅합판과 장선, 멩에, 지주를 사용하는 공법을 대상으로 한다. 철근공사는 현장에서 가공하여 조립하거나 공장가공하여 현장 조립하는 방법을 대상으로 한다. 또한, 콘크리트는 펌프카 또는 배관 타설하며, 수직·수평 일체타설 방식을 대상으로 한다.

동절기 골조공사의 보온양생방법은 타설 층을 포함하여 2개 층을 천막으로 감싸고, 양생지붕을 설치한 후, 갈탄 또는 석유를 이용하여 가열 양생하는 방법을 대상으로 한다. 동절기 골조공사는 보양조치, 작업효율 저하, 비작업일수의 증가 등으로 인해 평상계절과 동일한 속도로 작업을 진행할 수 없을 것이다. 따라서 동절기 골조 기준층의 층당 공기를 실작업일과 비작업일¹⁾로 구분하여 분석하였다. 실작업기간을 분석하기 위해 동절기 골조공사의 시공방법, 보양방법, 추가 단위작업, 기능인력 운영방법 등을 현장실사한 후, 단위작업을 분류하였다. 단위작업의 작업기간은 작업간의 연관관계와 작업의 연속성 확보를 통해 생산성을 극대화할 수 있도록 설정하였다. 단위작업의 연관관계 및 공정표는 CPM 기법 중 PDM 방법을 사용하였다. 비작업일수를 분석하기 위해 문헌조사와 설문조사를 통하여 동절기 비작업일 설정기준을 정하였다. 이 기준을 토대로 5년간의 달력과 기상청의 기상자료를 이용하여 급지별 주요 지역에 대한 5년 평균 동절기 비작업일수를 산출하였다. 실작업기간과 비작업일수를 통합하여 동절기 골조 기준층의 층당 적정공기와 동절기 골조공기 산정을 위한 반영계수를 제안하고, 이를 동절기 실적자료와 비교·분석함으로써 연구결과의 적정성을 검증하였다.

1.3 기존연구 고찰

기존에도 아파트 골조공사의 공정계획 및 공기산정에 관한 연구들이 많이 진행되어 왔다.

골조 기준층 1사이클의 공기는 거푸집 기능인력의 운영계획과 거푸집준치 기간에 좌우된다고 주장하는 연구들로는 “거푸집 작업조를 중심으로 하는 공동주택 철근 콘크리트 공사의 공정계획 방법(이준호, '96)”과 “주요 공종별 공정 및 생산성 분석(정인환, '95)”에 관한 연구들이 있다. 이들 연구는 골조 기준층 1사이클 단위작업의 분류체계, 단위작업의 일정정보 및 연관관계 등 공정메커니즘에 대한 구체적인 분석이 미흡하고, 슬래브 거푸집 준치기간과 거푸집 기능인력의 운영방법에 대한 분석이 미흡하다. 아파트 건설공사의 공기산정 시 비작업일을 반영해야 한다

고 주장하는 연구들로는 “아파트 공사기간의 산정에 영향을 주는 작업불가능 기준에 관한 연구(진영섭, '98)”와 “공동주택 골조공사의 적정 공사계획 시스템(신종현, '03)”에 관한 연구들이 있다. 이들 연구는 동절기에는 골조공사를 수행하지 않는다는 것을 전제로 하고 있어 동절기 아파트 건설공사의 공기산정에는 적정성을 가지지 못하고 있다.

따라서 본 연구는 기존 연구들에서 미흡했던 골조공사의 공정메커니즘 분석하고, 비작업일이 반영된 동절기 골조공사의 적정공기를 제시했다는 점에서 그 의미를 찾을 수 있다.

2. 동절기 골조 기준층의 실작업기간 분석

동절기 골조공사는 보양조치, 작업효율 저하 등으로 인해 평상계절과 같은 속도로 작업을 진행할 수 없다. 따라서 본 연구에서는 동절기 골조공사에 영향을 미치는 요인을 찾기 위해 동절기 골조공사를 시행한 현장을 대상으로 현장조사를 실시하였다. 현장실사 내용을 토대로 선행연구²⁾의 공정메커니즘 분석에서 사용했던 것과 동일한 방법으로 동절기 골조공사의 공종별 단위작업을 분류하고, 단위작업별 연관관계 및 작업기간을 설정한 후, 기본공정표를 작성하여 동절기 골조 기준층의 실작업기간을 분석하였다.

2.1 작업분류체계

동절기에는 기온이 저하하기 때문에 콘크리트를 보양하기 위한 시설이 필요하다. 동절기 골조공사를 시행하고 있는 현장을 실사한 결과, 동절기 골조공사를 시행하기 위해 추가되는 작업은 벽체 보양시설, 양생지붕 설치 및 해체, 가열양생시설 설치작업으로 조사되었다. 이중에서 공정에 영향을 미치는 작업은 양생지붕 설치와 가열양생시설 설치작업인 것으로 분석되었다. 벽체 보양시설(천막)은 외벽의 갱폼(Gang form)에 부착되어 있고, 외벽거푸집 작업과 동시에 진행되기 때문에 공정에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 조사되었다. 양생지붕 해체작업은 벽 철근작업과 거의 동시에 시작되는 작업으로 작업시간이 1~2시간 정도이기 때문에 별도의 단위작업으로 분류하지 않고, 벽 철근작업에 포함시켰다. 골조공사는 크게 거푸집공사, 철근공사, 콘크리트공사, 기계/전기/통신공사로 분류된다. 현장실사 내용을 토대로 동절기 골조공사의 공종별 단위작업을 수직·수평작업과 시공단계별로 분할하면 표 1과 같이 선행연구의 평상계절과 거의 유사하다. 그러나 콘크리트 공사는 양생지붕 설치작업(콘

1) “비작업일”은 자연적 요인(강우, 강풍, 기온, 강설 등)에 의한 작업불가능일과 사회적 요인(공휴일, 명절 등)에 의해 작업 수행이 곤란한 날짜들 총칭하는 의미로 사용됨.

2) 한충희, 아파트 골조공사의 공기단축 및 효과적 공정운영 방안, 2004.8, 건설관리학회 논문집 제5권 제4호(통권 제 20호), p90

크리트 기능공에 의해 작업수행)과 가열양생시설 설치작업(직영 인부에 의해 작업수행)이 추가된다.

표 1 골조 기준층의 공종별 단위작업

공 종	공종별 작업단위 분류	작업조
거푸집공사	· 먹줄1개조	1개조
	· 벽 거푸집 해체	1개조
	· 벽 거푸집 운반/조립	
	· 슬래브 거푸집 해체/조립	
	· 계단 및 코어 벽 거푸집 해체	1개조
· 계단 및 코어 거푸집 운반/조립		
철근공사	· 벽 철근 운반/조립	1개조
	· 슬래브 철근 운반/조립	
기계/전기/통신 공사	· 벽체 기계/전기/통신각	각 1개조
	· 슬래브 기계/전기/통신	
콘크리트공사	· 콘크리트 타설	1개조
	· 양생지붕설치	
	· 가열양생 시설 작업직영	직영
기타	· 콘크리트 양생 및 슬래브 거푸집 존치	직영
	· 청소/검사/마무리	

2.2 단위작업별 연관관계

표 2의 단위작업들은 상호간에 영향을 미치는데 이들의 연관 관계를 정리하면 표 2와 같이 선행연구의 평상계절과 거의 동일한 연관관계를 갖는다. 표 3에서 보면, 콘크리트 양생 및 슬래브 거푸집 존치와 동시시작관계에 있는 먹줄작업, 내부 벽 거푸집 해체작업, 계단/코어 내부 벽 거푸집 해체작업의 래그(lag)가 약간 다르고, 양생지붕 설치작업과 가열양생 시설작업의 연관관계가 추가되는 것으로 분석되었다.

표 2 동절기 골조공사의 작업단위별 선·후행 관계

선행작업	후행작업	연결 ³⁾	래그(일)
콘크리트 양생 및 슬래브 거푸집 존치	· 먹줄	SS	1~4
	· 벽(내부) 거푸집 해체	SS	1~2
	· 계단/코어 벽(내부) 거푸집 해체	SS	1~2
· 먹줄	· 슬래브 거푸집 해체/조립	FS	0
	· 양생지붕 해체 및 벽 철근 운반/조립	FS	0
· 벽(내부) 거푸집 해체	· 벽체 기계/전기/통신	FS	0
	· 벽 거푸집 운반/조립	FS	0
계단/코어 벽(내부) 거푸집 해체	· 계단/코어 거푸집 운반/조립	FS	0
	· 슬래브 철근 운반/조립	FS	0
슬래브 거푸집 해체/조립	· 슬래브 기계/전기/통신	FS	0
	· 가열양생 시설	FS	0
	· 벽 거푸집 운반/조립	FS	0
양생지붕 해체 및 벽 철근 운반/조립	· 계단/코어 거푸집 운반/조립	FS	0
	· 벽체 기계/전기/통신	SS	0
· 벽체 기계/전기/통신	· 슬래브 거푸집 해체/조립	FS	0
	· 슬래브 거푸집 운반/조립	FS	0
계단/코어 거푸집 운반/조립	· 슬래브 철근 운반/조립	FS	0
	· 슬래브 기계/전기/통신	FS	0

3) SS=Start to start, FS=Finish to start, FF=Finish to finish

선행작업	후행작업	연결	래그(일)
슬래브 철근 운반/조립	· 슬래브 전기/통신/설비	SS	0
	· 청소/검사/마무리	FS	0
	· 양생지붕 설치	FS	0
· 슬래브 기계/전기/통신	· 청소/검사/마무리	FF	0
· 청소/검사/마무리	· 콘크리트 타설	FS	0
· 가열양생시설	· 콘크리트 타설	FS	0
· 양생지붕 설치	· 콘크리트 타설	FS	0
· 콘크리트 타설	· 콘크리트 양생/슬래브거푸집 존치	FS	0

2.3 단위작업별 작업기간

단위작업을 분류하고 단위작업간의 연관관계가 규명되면 단위작업에 대한 작업기간이 설정되어야 한다. 선행연구에 의하면, 골조 공기는 슬래브 거푸집의 존치기간과 거푸집의 작업기간 및 기능인력의 운영방법에 많은 영향을 미치는 것으로 분석되었다. 이를 고려하여 동절기 골조공사의 단위작업별 작업기간을 설정하면, 표 3과 같이 슬래브 거푸집의 존치기간을 제외한 기타 단위작업의 작업기간은 평상계절과 거의 동일하고, 추가된 가열양생 시설 및 양생지붕 설치 기간은 각각 1일 이내에 완료되기 때문에 작업기간은 1일로 설정되었다.

슬래브 거푸집의 존치기간은 물리적 제약을 받는데 이를 고려하여 동절기 슬래브 거푸집의 최소 존치기간을 춘천(1급지, 공사 불가능기간의 평년기온은 약 -1.65℃)을 기준으로 ACI 209 및 적산온도 방식에 의해 산정하면, 약 8.66일이 필요한 것으로 분석되었다⁴⁾. 표 3과 그림 1의 공정표에는 슬래브 거푸집 존치기간이 8일로 표기되고 있지만, 실제의 존치기간은 8.66일이 된다. 선행연구에 의하면, 벽 거푸집작업과 슬래브 거푸집작업은 동일한 작업기간을 가지며, 표 1과 같이 벽 거푸집 운반/조립 작업과 슬래브 거푸집 해체/조립 작업은 동일한 작업조에 의해 수행됨으로 연속작업이다. 거푸집작업의 최적 작업기간은 기능인력의 작업이 중단되지 않도록 설정될 때이다. 거푸집 작업기간을 선행연구의 $y = C - F^x$ 로 구하면 약 5.5일이 된다. 따라서 이것을 거푸집작업의 반복모듈로 동절기 골조 기준층(3개동 기준)의 실작업기간을 산출하면, 표 4와 같이 16.5일이 된다. 그러나 이 기간은 선행연구의 평상계절(12일)보다 큰 폭의 공기증가를 초래하기 때문

4) 일반적으로 동절기 콘크리트 타설 시 타설 5 시간 전부터 내부공간을 가열하여 콘크리트의 온도저하를 방지하며, 콘크리트 타설 계획은 오후 4시를 넘지 않도록 하고 있다. 오후 4시를 기준으로 5.16일까지 콘크리트를 가열양생(평균 20℃ 유지)한 후, 12시간(0.5일) 동안 연료공급을 중단한 상태로 콘크리트의 온도(평균 10℃)를 서서히 저하(약 0℃)시킨 후, 양생지붕을 해체하고, 3일(-1.65℃)간 노출시킬 때 슬래브 거푸집의 최소 존치기간은 8.66일 임.

5) 위 식에서 C는 슬래브 거푸집 존치기간, F는 벽 거푸집 운반/조립 또는 슬래브 거푸집 해체/조립이고, y값과 2F 값이 동일할 때 최적의 거푸집기간이 됨

에 적절한 계획이라고 할 수 없다. 그러므로 거푸집 작업기간의 조정이 필요할 것이다. 즉, 거푸집 기능인력의 작업중단이 최소로 발생하는 수준에서 골조 기준층의 실작업기간을 결정해야 할 것이다. 따라서 본 연구에서는 거푸집 작업기간의 반복모듈을 5일, 4일, 3일, 2일 등으로 분석한 결과, 거푸집 작업기간은 평상 계절과 동일한 4일이 가장 적절한 것으로 분석되었다.

표 3 동절기 골조공사의 단위작업별 작업기간

단위작업(Activity)	작업기간
· 콘크리트 양생 및 슬래브 거푸집 존치	8일
· 막줄	1일
· 양생지붕 해체 및 벽 철근 운반/조립	1일
· 벽(내부) 거푸집 해체	1일
· 계단/코어 벽(내부) 거푸집 해체	1일
· 벽체 기계/전기/통신	1일
· 벽 거푸집 운반/조립	2일
· 슬래브 거푸집 해체/조립	2일
· 계단/코어 거푸집 운반/조립	4일
· 슬래브 철근운반/조립	1일
· 슬래브 기계/전기/통신	1일
· 가열양생 시설	1일
· 양생지붕 설치	1일
· 청소/검사/마무리	1일
· 콘크리트 타설	1일

표 4 거푸집 공사의 반복모듈

구분	골조 층당 실작업기간 : 16.5일		
1동	거푸집이전작업 (5.5일)	거푸집 작업 (5.5일)	거푸집 이후작업 (5.5일)
2동	거푸집 이후작업 (5.5일)	거푸집이전작업 (5.5일)	거푸집 작업 (5.5일)
3동	거푸집 작업 (5.5일)	거푸집 이후작업 (5.5일)	거푸집이전작업 (5.5일)

2.4 기본공정표 작성

앞 절에서 분석된 단위작업별 연관관계 및 작업기간을 토대로 3개동 기준의 동절기 골조공사의 기본공정표를 작성하면, 그림 1과 같이 동절기 골조 기준층의 실작업기간은 13일이 적정한 것으로 분석되었다. 즉, 그림 1을 표 5와 같이 A그룹(거푸집 이전 작업), B그룹(거푸집 작업), C그룹(거푸집 이후 작업)으로 구분하여 보면, 거푸집공사(B그룹)는 1사이클(표 5의 19일째)마다 1일씩 작업중단이 발생하는 것으로 분석되었다.

표 5 거푸집 공사의 반복모듈(동절기 공사)

		단위 : 일																						
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
1동	A그룹(6일)							B그룹(4일)				C그룹(3일)			A그룹(6일)						B그룹(4일)			
2동																								
	A그룹(6일)							B그룹(4일)				C그룹(3일)			A그룹(6일)									
3동																								

3. 동절기 비작업일 및 적정공기 분석

본 장에서는 동절기 공사불능기간의 비작업일수와 실작업일수를 분석한 후, 동절기 공사가 가능한 실작업일수를 앞 장의 동절기 골조 기준층의 실작업기간으로 나누어 비작업일을 포함한 동절기 골조 기준층의 적정공기를 도출하였다. 또한, 이를 평상 계절의 기준층 공기(비작업일을 포함)와 비교함으로써, 동절기 공사불능기간을 공사가능기간으로 산정하기 위한 반영계수를 도출하였다.

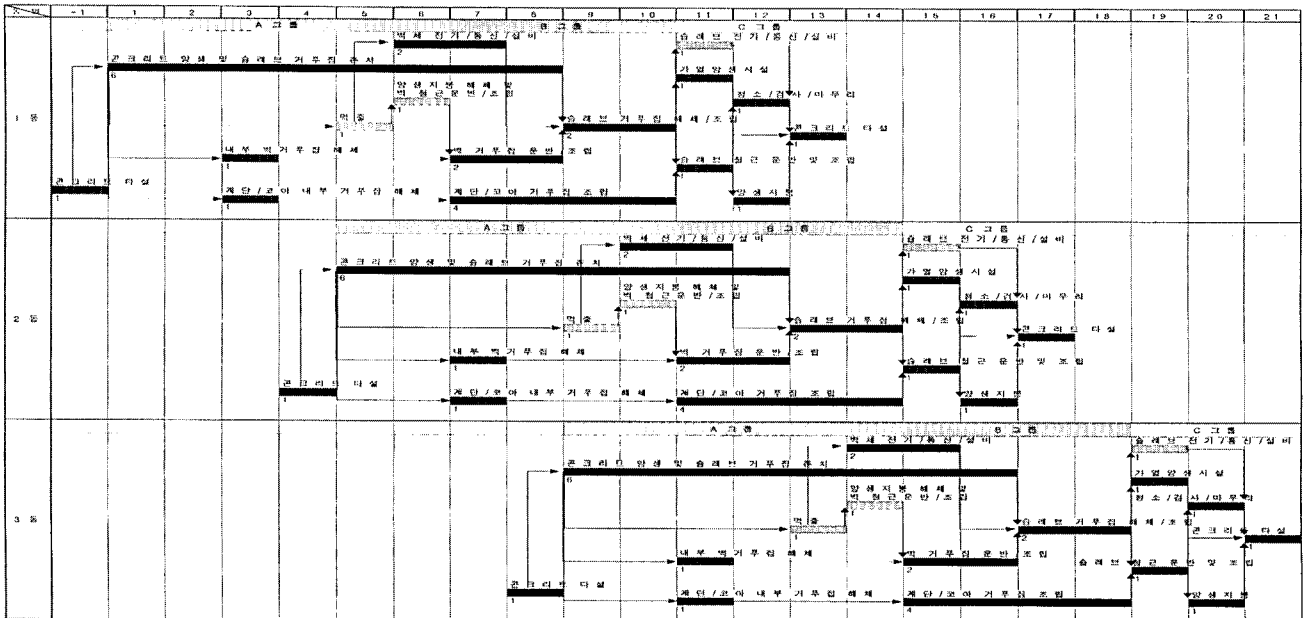


그림 1. 동절기 골조공사의 기본공정(13일)

3.1 동절기 비작업일의 산정기준

동절기는 평상계절과 달리 작업을 곤란하게 하는 기상요인들이 많이 포함되어 있기 때문에 평상계절의 비작업일수를 동절기 공사에 그대로 적용하여 공기를 산정한다면, 해당 공사를 수행하는데 많은 지장을 초래하게 될 것이다. 따라서 동절기 골조공사의 적정공기를 산정하기 위해서는 공정메커니즘에 의한 실작업일수뿐만 아니라 비작업일수도 고려되어야 한다. 비작업일의 주요 요인인 사회적인 요인은 달력에 의해서 정량적으로 산출되기 때문에 별도의 기술이 필요치 않다. 자연적 요인은 기상조건과 연관되는 것으로 문헌조사에 의하면 표 6과 같다. 그러나 이러한 요인 외에도 현장작업을 곤란하게 하는 요인이 있는 지를 찾기 위해 동절기에 골조공사를 경험한 기술자(10인)들을 대상으로 면담조사⁶⁾를 하였다. 면담조사 결과, 현장기술자들은 표 6의 기준들에 대해서는 적절한 것으로 답했으나, 강설량이 5cm 이상일 때는 익일에도 현장작업이 곤란하다는 의견을 제시하였다.

따라서 본 연구에서는 현장기술자들의 의견을 검증하기 위해 설문조사를 실시하였다. 설문조사는 표 7과 같이 건축분야에 종사하는 5년 이상의 현장감독 경력이 있는 47인을 대상으로 하였다.

설문조사는 2004년 1월 26일부터 2004년 2월 14일 사이에 이루어졌다. 익일에도 현장작업이 곤란한 강설량의 기준에 대한 질문에서 응답비율은 표 8과 같이 3cm 이상 44.68%, 4cm 이상 12.77%, 5cm 이상 29.79%, 6cm 이상 2.13%, 7cm 이상 2.13%로 나타났다. 설문결과에 의하면 익일의 현장작업이 곤란한 강설량의 기준은 4cm 이상(53.19%)이 적절한 것으로 분석되었다.

표 6 기상조건에 의한 비작업일 산정기준

구분\기상요인	온도	강우	바람	강설
주택건설전문 시방서	-	일강우량 10mm이상	풍속 10m/sec 이상일 때 양중 및 조립 불가	-
산업안전 기준 에 관한 규칙	-	시간당 1mm 이상 적설중지	풍속이 10m/s 이상 적설중지	시간당 1cm 이상 적설중지
양극영	주간온도 0°C 이하 적설불가	주간 강우량 10mm 이상	주간최대풍속 10m/s이상	주간 적설량 1cm 이상
미육군공병단 계약서	일 최고온도 0°C이하 작업불능	일 강우량 5mm이상	-	-

표 7 설문조사 개요

경 력	응답수(인)	비 율(%)	직 종
20년 이상	6	12.77	건축
15~19년	5	10.64	
10~14년	21	44.68	
5~9년	15	31.91	
총 계	47	100.00	

6) 2002년 4월~2002년 6월 사이에 면담조사를 시행하였으며, 2001년 12월~2002년 2월 사이에 동절기 공사를 경험한 현장기술자들을 대상으로 하였음.

상기와 같이 면담 및 설문 조사결과, 익일의 현장작업이 곤란한 강설량의 기준은 4cm 이상으로 설정하는 것이 적절한 것으로 판단된다. 따라서 본 연구에서는 동절기 비작업일 산정기준을 다음과 같이 설정하였다.

- 일요일, 법정 공휴일 등은 그 일수만큼 비작업일로 산정하였다.
- 표 6과 같이 미육군 건설공사 계약서에 근거하여 일 최고 기온이 0°C 이하인 경우, 그 일수만큼 비작업일로 산정하였다.
- 표 6과 같이 주택건설전문시방서에 근거하여 일 강우량 10mm 이상인 경우, 그 일수만큼 비작업일로 산정하였다.
- 표 6과 같이 산업안전기준에 관한 규칙에 근거하여 시간당 1cm 이상의 강설이 내리는 경우, 그 일수만큼 비작업일로 산정하였다. 또한, 면담 및 설문 조사 결과에 근거하여 1일 강설량이 4cm 이상인 경우, 익일도 비작업일로 산정하였다.
- 표 6과 같이 주택건설전문 시방서 및 산업안전기준에 관한 규칙에 근거하여 풍속 10m/sec 이상일 경우, 그 일수만큼 비작업일로 산정하였다.

표 8 강설 후 익일 작업이 불가능한 강설량

구 분	응답수	비 율
3cm 이상	21	44.68
4cm 이상	6	12.77
5cm 이상	14	29.79
6cm 이상	1	2.13
7cm 이상	1	2.13
기타	3	6.38
무응답	1	2.13
총 계	47	100.00

3.2 동절기 비작업일수 및 실작업일수 분석

비작업일 산정 기준을 토대로 동절기 비작업일수를 분석하였다. 비작업일수 분석은 공공발주기관인 A사에서 운영하고 있는 동절기 공사불능기간의 각 급지별로 대표성을 가질 수 있는 지역(1급지는 춘천, 2급지는 수원, 3급지는 광주, 4급지는 울산, 5급지는 부산, 6급지는 제주)을 대상으로 하였다. 대상지역의 선정기준은 기상자료를 충분히 확보할 수 있는 지역으로 최근 아파트 건설물량이 많은 지역을 대상으로 하였다. 특히, 2급 지역에서 서울 대신 수원을 선정한 것은 최근 몇 년간의 아파트 건설물량이 수원인근의 경기 남부에 집중되고 있기 때문이다. 비작업일수의 분석은 표 9와 같이 최근 5년(1998 ~ 2002)간의 기상자료와 달력을 이용하였다. 세부적인 분석방법은 표 9와 같이 먼저 달력에 연도별 동절기 기간의 법정 공휴일을 표시하고, 그 다음으로 해당연도의 기상청 자료를 이용하여 온도기준, 강우기준, 바람기준, 강설기준에 해당되는 날짜를 시트에 표시했다. 시

트에 표시된 날짜들이 서로 중복되면 하나의 조건만 선택하여 비작업일수를 월별로 산정하고, 각 연도별로 산정된 비작업일수를 평균하였다.

표 9 연도별 비작업일수 분석을 위한 시트

춘천		2000					2001					2002					
월	날짜	기온	강우	바람	강설	휴일	기온	강우	바람	강설	휴일	기온	강우	바람	강설	휴일	
1	1																
	2																
	3																
	4																
	5																
	6																
	7																
	8																
	9																
	10																
	28																
	29																
	30																
	31																
	계		7	2	1	3	6	16	0	1	6	8	10	2	0	6	5
	비작업일		14					25					18				

상기 방법으로 분석된 급지별 공사불능기간의 비작업일수 및 실작업일수는 표 10과 같다. 각각의 내용을 살펴보면 다음과 같다.

- ① 동절기 1급지는 공사불능기간이 115일로 5년 평균 비작업일수와 실작업일수는 41.20일과 73.80일이며, 실작업일의 비율은 64%로 분석되었다.
- ② 동절기 2급지는 공사불능기간이 90일로 5년 평균 비작업일수와 실작업일수는 36일과 56일이며, 실작업일의 비율은 60%로 분석되었다.
- ③ 동절기 3급지는 공사불능기간이 75일로 5년 평균 비작업일수와 실작업일수는 25.8일과 49.2일이며, 실작업일수의 비율은 66%로 분석되었다.
- ④ 동절기 4급지는 공사불능기간이 55일로 5년 평균 비작업일수와 실작업일수는 17.6일과 37.4일이며, 실작업일수의 비율은 68%로 분석되었다.
- ⑤ 동절기 5급지는 공사불능기간이 35일로 5년 평균 비작업일수와 실작업일수는 13.6일과 21.4일이며, 실작업일수의 비율은 62%로 분석되었다.
- ⑥ 동절기 6급지는 공사불능기간이 15일로 5년 평균 비작업일수와 실작업일수는 7.40일과 7.6일이며, 실작업일수의 비율은 51%인 것으로 분석되었다.

표 10 동절기 급지별 비작업일, 실작업일, 총당공기, 반영계수

지역 (급지)	월	동절기 (일수)	A	B	C	D	E	F	G	H
춘천(1)	1	31	17.20	13.80	45	1.94	1.06	0.55	16.98	29.20
	2	28	8.20	19.80	71	1.75	1.52	0.87	24.37	18.38
	3	15	3.80	11.20	75	0.94	0.86	0.92	13.78	17.41
	11	10	1.40	8.60	86	0.63	0.66	1.06	10.58	15.12
	12	31	10.60	20.40	66	1.94	1.57	0.81	25.11	19.75
	계	115	41.20	73.80	64	7.19	5.68	0.79	90.83	20.26
수원(2)	1	31	17.00	14.00	45	1.94	1.08	0.56	17.23	28.79
	2	28	9.20	18.80	67	1.75	1.45	0.83	23.14	19.36
	12	31	9.80	21.20	68	1.94	1.63	0.84	26.09	19.01
계	90	36.00	54.00	60	5.63	4.15	0.74	66.46	21.67	
광주(3)	1	31	12.60	18.40	59	1.94	1.42	0.73	22.65	21.90
	2	22	7.40	14.60	66	1.38	1.12	0.82	17.97	19.59
	12	22	5.80	16.20	74	1.38	1.25	0.91	19.94	17.65
	계	75	25.80	49.20	66	4.69	3.78	0.816	0.55	19.82
울산(4)	1	31	11.20	19.80	64	1.94	1.52	0.79	24.37	20.35
	2	13	3.40	9.60	74	0.81	0.74	0.91	11.82	17.60
	12	11	3.00	8.00	73	0.69	0.62	0.90	9.85	17.88
	계	55	17.60	37.40	68	3.44	2.88	0.84	46.03	19.12
부산(5)	1	31	12.20	18.80	61	1.94	1.45	0.75	23.14	21.44
	2	4	1.40	2.60	65	0.25	0.20	0.80	3.20	20.0
	계	35	13.60	21.40	61	2.19	1.65	0.75	26.34	21.26
제주(6)	1	15	7.40	7.60	51	0.94	0.58	0.62	9.35	25.66
	계	15	7.40	7.60	51	0.94	0.58	0.62	9.35	25.66

● A : 급지별 5년 평균 동절기 비작업일수 ● B : 급지별 5년 평균 동절기 실작업일수 ● C : 급지별 5년 평균 동절기 실작업일수 비율 (B÷동절기 기간)
 ● D : A사 기준(16일/층)의 작업가능 총수 (동절기 기간÷16일) ● E : 동절기 실작업일수(13일/층) 기준의 작업 가능한 총수(B÷13일/층) ● F : 동절기 작업가능 총수를 평상계절의 작업가능 총수로 나눈 값으로 공기반영계수(E ÷ D) ● G : 동절기 기간을 평상계절의 기간으로 환산한 값(동절기 기간 × F) ● H : 동절기 골조 기준층의 총당 공기(동절기 기간 ÷ E)

이상의 분석결과에서는 보는 것과 같이 동절기 비작업일수 및 실작업일수는 급지별로 다르게 나타나고 있기 때문에 동절기 골조공사 시행 시 이에 대한 사항들이 반영되어야 할 것이다.

3.3 동절기 골조 기준층의 총당 공기 및 반영계수

동절기 골조공사 시행 시 기준층의 총당 공기를 실작업일수와 비작업일수로 구분하여 분석한 후, 동절기 골조 기준층의 적정 공기를 산출하였다. 표 10과 같이 동절기 공사불능기간 동안의 월별 실작업일수 및 비작업일수는 다르게 나타나고 있다. 특히, 급지별로 1월에 비작업일수가 가장 큰 것으로 분석되고 있다. 공정표 작성 시 기준층의 공기는 월별로 구분하여 산정된 데이터를 활용하는 것이 바람직하지만, 동절기 전체에 대한 공기 산정 시에는 월별보다는 동절기 공사불능기간 전체에 대한 기준층의 공기를 적용하는 것이 더 효과적일 것이다.

따라서 본 연구에서는 표 10과 같이 각 급지별 월별 기준층 공기 및 전체 기간에 대한 기준층 공기를 산정하였다. 또한, 월별 및 전체 동절기에 대한 기준층 공기는 동절기 공사의 공정표 작성 및 공기산정에는 유리하지만, 평상계절을 포함한 골조공사의

공기산정 시에는 상당히 불편할 것이다.

따라서 본 연구에서는 평상계절의 골조 기준층의 공기(A사 기준, 기준층 공기 16일(실작업일수 12일, 비작업일수 4일))⁷⁾와 본 연구에서 분석된 동절기 기준층 공기를 비교함으로써 동절기 공사불능기간을 평상계절의 공사가능기간으로 환산할 때 반영할 수 있는 반영계수 및 반영일수를 산출하였다.

동절기 골조 기준층의 공기 및 반영계수는 표 10과 같다. 각 급지별 세부내용을 살펴보면 다음과 같다.

- ① 동절기 1급지의 골조 기준층 공기는 약 21일(실작업일 13일, 비작업일 8일)이며, 공사불능기간 동안에 골조공사 가능 최대층수는 약 5.68층으로 분석되었다. 공기 반영계수는 약 0.79로 115일을 평상계절로 환산하면 공기 반영일수는 약 91일인 것으로 분석되었다.
- ② 동절기 2급지의 골조 기준층 공기는 약 22일(실작업일 13일, 비작업일 9일)이며, 공사불능기간 동안에 골조공사 가능 최대층수는 약 4.15층으로 분석되었다. 공기산정 시 반영계수는 약 0.74로 공사불능기간 90일을 평상계절로 환산하면 공기 반영일수는 약 66일인 것으로 분석되었다.
- ③ 동절기 3급지의 골조 기준층 공기는 약 20일(실작업일 13일, 비작업일 7일)이며, 공사불능기간 동안에 골조공사 가능 최대층수는 약 3.78층으로 분석되었다. 공기산정 시 반영계수는 약 0.81로 공사불능기간을 평상계절로 환산하면 공기 반영일수는 약 60일인 것으로 분석되었다.
- ④ 동절기 4급지의 골조 기준층 공기는 약 20일(실작업일 13일, 비작업일 7일)이며, 공사불능기간 동안에 골조공사 가능 최대층수는 약 2.88층으로 분석되었다. 공기산정 시 반영계수는 약 0.84로 공사불능기간을 평상계절로 환산하면 공기 반영일수는 약 46일인 것으로 분석되었다.
- ⑤ 동절기 5급지의 골조 기준층 공기는 약 22일(실작업일 13일, 비작업일 9일)이며, 공사불능기간 동안에 골조공사 가능 최대층수는 약 1.65층으로 분석되었다. 공기 산정 시 반영계수는 약 0.61로 공사불능기간을 평상계절로 환산하면 공기 반영일수는 약 26일인 것으로 분석되었다.
- ⑥ 동절기 6급지의 골조 기준층 공기는 약 26일(실작업일 13일, 비작업일 13일)이며, 골조공사 가능 최대층수는 약 0.6층으로 분석되었다. 공기산정 시 반영계수는 약 0.62로 공사불능기간을 평상계절로 환산하면 공기 반영일수는 약 9일인 것으로 분석되었다.

4. 실적자료를 통한 검증

앞 장에서 분석한 동절기 층당 공사기간과 동절기 공사를 시행한 현장의 실적자료를 비교하여 본 연구의 제안 값에 대한 적정성을 검증하였다. 실적자료의 수집 및 분석은 2급지인 수원 인근지역에서 동절기(2002.12 ~ 2003.2) 골조공사를 시행한 현장들을 대상으로 하였다.

4.1 이론상의 비작업일 및 반영계수 분석치

2002년 12월1일부터 2003년 2월 28일까지 수원지역의 온도, 강우, 바람, 강설, 공휴일 등의 요인들을 대상으로 비작업일수, 공기반영계수, 골조공사 가능 층수 등을 분석한 결과는 표 11과 같이 비작업일수는 40일이며, 층당 공기는 약 24일로 분석되었다. 또한, 공기반영계수는 약 0.68이며, 공기 반영일수는 약 61일이고, 공사 가능 최대 층수는 약 3.81층으로 분석되었다.

표 11 2급지의 동절기 비작업일수 및 공기산정 반영계수

구 분	동절기	비작업 일수	반영 계수	반영 일수	공사 가능 층수	기준층 공기
연구제안 값 (5년 평균)	90일	36일	0.74	66일	4.15	21.67일
당해 동절기 값 (02.12~03.28)	90일	40일	0.68	61일	3.81	23.62일

표 11에서 당해 동절기의 비작업일수는 5년 평균 분석치보다 많은 것으로 분석되었다. 공기 반영계수 및 반영일수, 골조공사 가능 층수는 5년 평균 분석치보다 작은 것으로 분석되었다. 이러한 결과는 이 기간의 기상조건이 다른 해에 비해 열악하여 일 최고기온이 0℃이하인 날이 많았던 것에 기인한다.

4.2 실적자료의 결과치와 이론치의 비교·분석

이론상의 분석치와 실적자료에 의한 결과치를 비교하면 표 12와 같이 이론상으로 분석된 골조공사 가능층수가 3.81층인데 비해 실적자료에 의한 타설 층수는 민간은 5.92층, A사 5.19층으로 이론치보다 1개 층 이상을 초과한 것으로 나타났다. 표 12에 의하면 이론상의 층당 공기가 23.67일인데 비해 실적자료의 층당 공기는 민간 15.84일, A사는 17.93일로 나타나고 있어 실적자료에 의한 층당공기는 예상치보다 무려 5.69일~7.78일이 더 짧은 것으로 분석되었다. 또한, 본 연구의 제안 값 21.67일보다 3.74일 ~ 5.83일이 더 짧은 것으로 나타나고 있다. 특히, 실적자료의 층당공기는 평상계절의 층당공기와 비슷하거나 더 짧은 것으로 나타나고 있다.

7) 대한주택공사, 건설공사의 적정 표준공사기간 산정방법에 관한 연구, 1998, p128

표 12 동절기 골조공사의 기준층 총당 소요공기 비교(2급지)

구 분		평균 총당 공기(일)	평균 타설 총수(층)	비 고
동일기준 적용	5년 평균 분석치	21.67	4.159	예상치
	해당 동절기 분석치	23.62	3.81	예상치
A사	적극시행 현장 평균(3)	17.93	5.19	실적치
	전체 평균(7)	20.52	4.62	실적치
민간	H 건설	16.86	5.67	실적치
	L 건설	14.81	6.17	실적치
	평 균	15.84	5.92	실적치

일반적으로 실제 현장의 골조 총당공기는 공기산정 시의 기준치보다 약간 짧게 나타나는 것이 바람직하다. 즉, 실제 현장에서는 이론상에서 비작업일로 산정하는 휴일 등에도 공사를 진행하는 경우가 많기 때문에 이론상의 총당 공기보다 짧게 나타난다.

그러나 이러한 현장을 특성을 고려하더라도 실적자료에 의한 동절기 골조공사의 총당 공기는 이해하기 곤란점이 다소 있다. 3장의 동절기 골조공사 기본공정을 살펴보면, 슬래브 거푸집을 1벌 사용하는 경우, 보양시설 내의 평균온도를 20℃이상 유지하더라도 슬래브 거푸집의 최소 존치기간은 8일이기 때문에 실 작업일만 13일이 소요된다. 실 작업일수를 고려한다면, 이론치에 의한 해당연도의 골조 총당 비작업일은 약 10일로 설정되는데, 실적자료의 골조 총당 비작업일은 약 3~7일 정도로 설정되고 있어 둘 값 사이에는 상당한 차이가 있다. 이러한 차이가 발생하게 된 원인은 현장작업 시 다음과 같은 사항들이 단독적 또는 복합적으로 발생했기 때문인 것으로 판단된다.

- ① 비작업일의 조건에서도 공사를 수행했을 때
 - ② 거푸집의 존치기간을 단축하기 위해 가열양생 온도를 높게 했을 때
 - ③ 초기동해를 방지할 수 있는 콘크리트 강도만 확보하고 슬래브 거푸집을 해체했을 때
 - ④ 합리적인 기능인력계획을 무시하고, 돌관공사 또는 많은 수의 기능인력을 짧은 기간에 투입하여 작업을 완료했을 때
- 상기와 같이 이론상의 동절기 골조공사의 총당공기와 실적자료에 의한 총당공기를 비켜해 볼 때, 이론상의 총당공기가 실적자료의 값보다 더 큰 값을 가지기 때문에 본 연구에서 제시한 동절기 기준층의 공기 및 반영계수를 동절기 골조공사의 공기산정 기준으로 사용하더라도 큰 무리가 없을 것으로 판단된다.

5. 결론

본 연구에서는 공정메커니즘 분석을 통하여 동절기 골조공사 1 사이클의 실 작업일수를 구하고, 동절기 현장작업이 불가능한 비 작업일 설정기준을 토대로 5년간의 달력 및 기상청 자료를 이용

하여 동절기 비작업일수를 분석하였다. 최종적으로 실 작업일수와 비작업일수를 통합하여 동절기 골조공사의 반영계수 및 기준층 공기를 구하고, 이들을 동절기 실적자료들과 비교·분석하여 검증하였다. 이상의 연구를 통하여 도출된 결과는 다음과 같다.

- ① 동절기 골조공사 기준층 1사이클의 실 작업기간을 분석한 결과, 실 작업기간은 13일로 분석되어 선행연구에서 분석된 평상계절의 실 작업기간보다 1일이 더 추가되는 것으로 나타났다. 이는 동절기 양생기간 및 슬래브 거푸집의 존치기간이 증가하기 때문인 것으로 분석되었다.
- ② 동절기 골조공사의 반영계수 및 기준층 공기는 급지별로 다른 것으로 나타났다. 급지별 골조 기준층의 공기는 20~26일 정도이고, 반영계수는 0.61~0.84인 것으로 분석되었다.

이상의 연구결과에 의하면, 동절기 골조공사의 공기는 평상계절의 공기와 많은 차이를 보이는 것으로 나타나고 있다. 동절기는 평상계절보다 기상조건이 좋지 않아 비작업일수가 증가하고, 골조공사의 보온양생으로 인해 실 작업일수도 증가하는 것으로 나타나고 있다. 특히, 비작업일수는 지역별로 차이가 있는데, 이는 지역별 동절기의 기상차이로 인해 발생한다. 이러한 이유 때문에 동절기 골조공사의 공기를 산정할 때에는 지역별 비작업일수의 차이, 평상계절 대비 실 작업기간의 차이를 고려해야 한다.

따라서 본 연구에서 제시한 동절기 급지별 골조공사의 반영계수나 기준층 공기는 동절기 골조공사의 공기산정 시 유용하게 사용될 수 있을 것이다.

그러나 동절기 골조공사의 반영계수 및 기준층 공기는 동일급지 내에서도 지역별, 고저 차별로 상당한 차이를 보일 것으로 판단되기 때문에 전국의 모든 지역별, 고저차별로 분석되어야 할 것이다.

본 연구에서는 시간제약과 기상자료의 한계 때문에 급지별로 대표성을 갖는 한 지역만을 선정하여 분석하였다. 따라서 향후 이러한 문제점을 해소하기 위해 지역별, 고저 차이별로 동절기 골조공사의 반영계수 및 기준층 공기가 분석되어야 할 것이다.

또한, 본 연구결과는 동절기 골조공사의 공기산정 시에는 유효하지만, 공사착공부터 준공까지의 전체 공기산정 시에는 유효하지 않는 경우도 있다. 일반적으로 아파트 건설공사에서 골조공사는 주공정선에 해당하는데, 동절기에 골조공사만 시행하고, 마감공사를 시행하지 않을 경우, 마감공사의 주공정선이 변경되어 마감공사 주공정선의 작업기간이 증가될 수 있다. 따라서 동절기 골조공사 시행에 따른 전체 공기산정 시에는 골조공사의 공기반영계수와 마감공사의 주공정선의 변경 여부에 따른 요인이 함께 반영되어야 할 것이다.

참고문헌

1. 한충희, 아파트 골조공사의 공기단축 및 효과적 공정운영 방안, 2004.8, 건설관리학회 논문집 제5권 제4호(통권 제 20호)
2. 대한주택공사, 건설공사의 적정 표준공사기간 산정방법에 관한 연구, 1998, 12
3. 진영섭, 아파트 공사기간 산정에 영향을 주는 작업불가능 기준에 관한 연구, 1998.4, 대한건축학회 학술발표논문집 제 18권 제1호
4. 정인환, 아파트 공사의 주요 공종별 공정 및 생산성 분석, 1995.4, 대한건축학회 논문집 11권 4호 통권 78호
5. 이준호, 거푸집 작업조를 중심으로 하는 공동주택 철근 콘크리트 공사의 공정계획방법, 1996.4, 대한건축학회 논문집 12권 4호 통권 90호
6. 신종현, 공동주택 골조공사의 적정 공사계획 시스템, 2003.11, 대한건축학회 논문집 구조계 19권 11호 통권181호.
7. ACI Committee 209, "Prediction of creep, shrinkage, and temperature effects in concrete structures", 1992

Abstract

Public construction companies have strictly followed a rule that they should not work in the wet area such as structural frame for a certain period during the winter season. It is usually known that the non-working period during the winter causes increase of the project duration, and the project cost escalation. Also, it makes negative effects on national economy because it reduces worker's income. Therefore, the site work for the structural frame should be performed even during the winter season. But the site work for the structural frame during that period cannot proceed in the same way as during other periods, and requires a different method for estimating project duration. Through an analysis of time scheduling mechanism, actual working days are obtained for 1 cycle of typical floors in the structural frame during these periods, and non-working days of 5 years average are calculated based on calendar day using data of 5years' weather forecasts for that season. This study proposes an optimized way of estimating project duration for 1 cycle of typical floors in the structural frame during these periods. This estimating method uses the combined actual working days and non-working days of 5 years' average, and the estimated results are confirmed by being compared with field data. This study is expected to be used in estimating the construction duration of the structural frame during the winter season.

Keywords : non-working days, non-working periods, actual working days, winter season, time scheduling mechanism