

아파트 골조공사의 공기단축 및 효과적 공정운영 방안

-기준층 사이클 공정분석을 중심으로-

Development of an Effective Time Scheduling Mechanism of the Structural Framework for the High-rise Apartment Housing - Focusing on One Cycle Time Scheduling Mechanism of Typical Floor -

한 충 희* · 방 종 대**

Han, Choong-Hee · Bang, Jong-Dae

요 약

건설공사에서 공기는 매우 중요한 요소로 건설사업비에 미치는 영향이 크다. 선진국들은 공기단축을 통한 건설사업비 절감을 위해 노력하고 있다. 국내에서도 공기단축의 필요성을 절감함으로써 공기단축을 위해 많은 노력을 기울여 왔지만, 그 효과는 아직 미미한 것으로 나타나고 있다. 향후 주 5일 근무제가 시행되고, 후분양제가 도입될 경우, 건설사업비 절감이나 리스크 관리 측면에서 공기단축은 필수불가결한 요인이 될 것이다. 공기를 효과적으로 단축하기 위해서는 공기에 영향을 미치는 중요요인과 공정 메커니즘을 명확하게 분석해야 한다. 이러한 사항들이 규명될 때 효과적인 공기단축이 가능해져 건설사업비를 줄일 수 있게 될 것이다. 이에 본 연구에서는 아파트 건설공사에서 공기의 40~50%를 차지하는 골조공사의 기준층에 대한 공정메커니즘을 분석하여 골조공사의 공기에 영향을 미치는 요인들을 규명하고자 한다. 또한, 도출된 요인들을 효과적으로 활용할 수 있는 방법들을 사례 분석함으로써 합리적인 공기단축방안을 제시하고자 한다.

키워드 : 거푸집공사, 기본공정, 공기단축, 공정메커니즘

1. 서론

1.1 연구배경 및 목적

건설공사에서 공기는 매우 중요한 요소로 건설사업비에 미치는 영향이 크다. 선진국들은 공기단축을 통해 건설사업비를 줄이려고 노력하고 있다. 국내에서도 공기단축의 필요성을 절감함으로써 공기단축을 위해 많은 노력을 기울여 왔지만, 그 효과는 아직 미미한 것으로 나타나고 있다. 향후 주 5일 근무제가 시행되고, 후분양제가 도입될 경우, 건설사업비 절감이나 리스크 관리 측면에서 공기단축은 필수불가결한 요인이 될 것이다. 공기를 효과적으로 단축하기 위해서는 공기에 영향을 미치는 중요요인과 공정 메커니즘을 명확하게 분석해야 한다. 이러한 사항들이 규명될 때 효과적인 공기단축이 가능해져 건설사업비를 줄일 수 있게 될 것이다. 따라서 본 연구는 아파트 건설공사에서 공기의

40~50%¹⁾를 차지하는 골조공사의 기준층에 대한 공정메커니즘을 분석하여 골조공사의 공기에 영향을 미치는 요인들을 규명하고자 한다. 또한, 도출된 요인들을 효과적으로 활용할 수 있는 방법들을 사례 분석함으로써 합리적인 공기단축방안을 제시하고자 한다.

1.2 연구범위 및 방법

본 연구는 국내에서 가장 많이 건설되고 있는 벽식 철근콘크리트 아파트를 대상으로 하였다. 골조공사의 거푸집은 내벽에는 유로폼, 외벽에는 갱폼, 슬래브에는 코팅합판과 멩에, 장선, 지주를 사용하는 공법을 대상으로 하였다. 철근공사는 현장에서 가공하여 조립하거나 공장가공하여 현장 조립하는 방법을 대상으로 하였다. 또한, 콘크리트는 펌프가 또는 배관 타설하며, 수직·수평 일체타설 방식을 대상으로 하였다. 본 연구는 골조공사의 공기결정에 미치는 요인을 분석하기 위해 국내 시방서의

* 경희대학교, 건축공학과 교수, 공학박사

** 경희대학교, 건축공학과 박사과정

이 연구는 2003년도 경희대학교 지원에 의한 연구결과임.

1) 대한주택공사, 동절기 공사불능기간의 효율적 운영방안에 관한 연구, 2003.6. p19

규정사항들은 분석하고, 건설현장의 작업수행 형태, 작업조 구성, 자원의 운영방법, 공구의 크기, 작업 사이클, 노동생산 등과 연관된 기능인력의 운영방법은 현장 경험이 풍부한 건설기술자들을 대상으로 설문조사를 실시하였다. 또한, 골조공사 기준층(이하 "기준층"이라 함)의 작업분류체계는 공종별, 수직·수평 작업별, 시공단계별로 분류하였으며, 단위작업의 기간은 작업간의 연관관계와 작업의 연속성 확보를 통해 생산성을 극대화 할 수 있도록 설정하였다. 작업의 연관관계 분석과 공정표작성은 CPM 기법의 PDM 방법을 사용하였다.

1.3 기존연구 고찰

기존의 아파트 골조공사의 기준층 1사이클 공정에 대한 주요 연구로는 "주요 공종별 공정 및 생산성 분석(정인환, 1995)"이나 "거푸집 작업조를 중심으로 한 공동주택 철근콘크리트 공사의 공정계획방법(이준호, 1996)" 등이 있으며, 이들 논문에서도 기준층 1사이클의 공기 결정요인은 거푸집 기능인력의 운영계획과 거푸집의 존치기간인 것으로 분석하고 있다. 그러나 이들 연구에서는 기준층 1사이클의 단위작업의 분류체계, 단위작업의 일정정보, 연관관계 등 공정 메커니즘에 대한 구체적인 분석이 미흡하고, 슬래브 거푸집 존치기간과 거푸집 기능인력의 운영방법과의 상관관계에 대한 분석이 미흡하다. 따라서 본 연구에서는 기존 연구들에서 미흡했던 공정 메커니즘을 구체적으로 분석하여 기준층의 공기 결정요인을 규명하고, 이를 토대로 효과적인 공기단축 방안을 제시했다는 점에서 그 의미를 찾을 수 있다.

2. 골조공사의 공기 결정에 미치는 영향요인

골조공사의 공기를 결정하는데 있어서 일반적으로 기술자들이 생각하는 영향요인은 크게 두 가지로 구분된다. 첫 번째 요인은 콘크리트의 양생조건, 거푸집 해체 및 존치기간, 동바리의 해체 및 존치기간을 규정하고 있는 시방서 조건이다. 두 번째 요인은 주요 자원인 기능공의 운영계획이다. 기능공 운영계획은 작업량, 노동생산성 및 작업속도, 공구별 이동 동선 등을 고려하여 체계적이고 과학적으로 수립되어야 하며, 최적의 인력운영 계획을 통하여 인력낭비가 최소화되도록 해야 할 것이다. 따라서 본 장에서는 골조공사와 관련된 국내 시방서를 분석하고, 골조공사의 기능공 운영방법을 규명하기 위해 설문조사를 실시하였다.

2.1 시방조건이 골조공사의 공기에 미치는 영향

시방조건이 골조공사의 공기에 미치는 영향을 규명하기 위해 콘크리트의 양생조건, 거푸집 해체 및 존치기간에 관한 국내 시방서를 다음과 같이 분석하였다.

(1) 콘크리트의 양생조건

콘크리트의 양생에 관한 시방조건은 주택건설전문시방서, 콘크리트표준시방서, 건축공사표준시방서 등 각종 콘크리트 관련 시방서에 상세히 기술되어 있는데 그 내용은 표 1과 같다. 그 중에서 "주택건설전문시방서"에는 거의 모든 작업들의 시행이 콘크리트 타설 후 24시간 동안 허용되지 않는 것으로 명시되어 있다.

(2) 거푸집 해체 및 존치기간

거푸집 해체 및 존치기간에 관한 시방조건은 콘크리트압축강도 시험(이하 "압축강도"라 함)을 하는 경우와 그렇지 않은 경우로 구분된다. 본 연구에서는 압축강도 시험을 하는 경우를 대상으로 하고 있으며, 이 경우 거푸집 해체 및 존치기간을 시방서별로 요약하면 다음 표 2와 같다. 표 2에서 시방조건이 거푸집공사에 영향을 미치는 사항은 두 가지이다. 벽, 기둥, 보(하부 거푸집 제외) 등의 거푸집은 10℃ 이상의 온도에서 24시간 이상 존치하면서 압축강도가 50kgf/cm² 이상 될 때까지 해체하지 못하도록 모든 시방서에서 규정하고 있다.

따라서 벽, 기둥, 보 옆 거푸집의 해체작업은 최소 1일 동안은 작업이 불가하다. 슬래브 및 보 하부 거푸집은 압축강도가 설계 기준강도의 2/3이상이면서 140kgf/cm² 이상이 될 때까지 존치하도록 규정하고 있다. 슬래브 거푸집의 존치기간을 ACI 209²⁾의 재령별 압축강도 추정식을 이용하여 구하면, 아파트 골조공사에서 가장 흔히 사용하는 콘크리트 설계기준 강도 210kgf/cm², 240,kgf/cm², 270kgf/cm²은 약 6.15일로 산정된다³⁾. 따라서 슬래브 및 보 밑 거푸집의 해체작업은 콘크리트 타설 후 6.15일(약 148시간) 동안은 불가능하다.

표 1. 양생조건에 관한 각 시방서의 기준

구 분	콘크리트 양생기준(보통 포틀랜드 시멘트)
주택건설 전문시방서	· 부어넣기 종료 후 24시간 동안은 그 위를 걷거나 공사기구, 철근, 거푸집자재 등의 중량물을 올려놓아서는 안 된다. 다만, 불가피하게 보행이나 작업을 하여야 하는 경우에는 감독자의 승인을 받아야하며, 경화중인 콘크리트에 유해한 충격이나 진동 및 과도한 하중이 가해지지 않도록 해야 한다. 또한, 콘크리트가 경화된 경우에도 철근, 거푸집자재 등의 중량물을 슬래브에 올려놓을 때는 집중하중으로 인한 슬래브 균열이 발생하지 않도록 한다.
콘크리트 표준시방서	· 타설 후 5일 이상 양생 · 콘크리트 면 살수 또는 양생매트, 가마니를 이용하여 습윤상태 유지
건축공사 표준시방서	· 타설 후 7일 이상 거적 또는 시트 등으로 살수하여 수분 보존

2) ACI Committee 209, "Prediction of creep, shrinkage, and temperature effects in concrete structures", 1992
3) 콘크리트 압축강도 2/3이상 및 140kgf/cm² 이상의 강도 도달까지의 재령은 20℃의 기온조건을 대상으로 하였음.

표 2. 거푸집해체 및 존치기간(압축강도 시험 시)

부 재	콘크리트 압축강도(보통 포틀랜드 시멘트)		
	주택건설 전문 시방서	콘크리트 표준 시방서	건축공사 표준 시방서
확대기초, 기둥, 보, 연벽 등의 축벽	· 50kgf/cm ² · 24시간 이상 양생 후	· 10°C 이상의 온도에서 24시간 이상 양생 후 · 50kgf/cm ²	· 50kgf/cm ²
슬래브 및 보 하부	· 설계기준강도×2/3 이상, 다만, 140kgf/cm ² 이상	· 설계기준강도×2/3(1ck) 이상, 다만, 140kgf/cm ² 이상	· 설계기준강도의 100%. 다만, 먼저 해체 시 구조계산, 최저강도 120 kgf/cm ² 이상

(3) 시방서 기준이 골조공기에 미치는 영향

시방서 기준이 아파트 골조공사의 공정계획에 영향을 미치는 요인들은 콘크리트 양생기준 및 거푸집 해체 및 존치기간으로 이들을 정리하면 표 3과 같다. 모든 작업들은 양생조건과 거푸집 해체 및 존치기간에 대해 최소 1일에서 6.15일까지 제약을 받는 것으로 분석되었다. 이러한 요소들은 골조공사 공정계획 수립 시 반드시 반영되어야 한다.

2.2 기능인력 운영방법이 골조공기에 미치는 영향분석

골조공사의 공정계획에서 또 다른 중요한 요인은 기능인력의 운영방법이다. 이것에 따라 1사이클 공기와 단위작업별 작업기간은 달라진다.

기능인력은 작업조의 구성, 자원의 운영방법, 공구의 크기, 작업 사이클, 노동생산성 등을 고려하여 합리적으로 운영되어야 한다. 즉, 최적의 기능인력운영을 통하여 인력낭비가 최소화되도록 해야 한다. 골조공사의 기능인력 운영방법을 분석하기 위해 거푸집공사, 철근공사, 콘크리트공사에 대해 설문조사를 실시하였다. 설문조사는 공공발주기관의 5개 현장(양주, 인천, 안산, 수원, 의정부)에서 발주기관의 현장감독 12인, 시공업체 공사과장 36인을 대상으로 하였다.

표 3. 시방이 골조공기에 미치는 요인(압축강도 시험 시)

작업구분	시방기준	양생 기준	거푸집 해체 및 존치기간	총 합
벽체작업	· 철근	1일	-	1일
	· 거푸집해체	-	1일	1일
	· 거푸집 운반/조립	1일	-	1일
	· 기계/전기/통신	1일	-	1일
슬래브 작업	· 철근	1일	-	1일
	· 거푸집 해체	1일	6.15일	6.15일
	· 거푸집 운반/조립	1일	-	1일
	· 기계/전기/통신	1일	-	1일
기타	· 목줄작업	1일	-	1일
	· 청소/검사/마무리	1일	-	1일
	· 콘크리트 타설	1일	-	1일

(1) 기능인력 운영계획의 중심공종

골조공사의 기능인력 운영계획이 어떤 공종을 중심으로 수립

되는지를 파악하기 위해 설문조사한 결과, 총 48인중 3인이 응답하지 않았다. 무응답 자를 제외한 설문분석결과는 표 4와 같이 응답자의 95.6%가 거푸집공사로 답하였다. 이러한 결과는 골조공사 총 기능인력의 약 63%⁴⁾가 거푸집 기능인력이므로 거푸집작업의 연속성 확보가 인력낭비를 최소화하는데 가장 중요한 요인이 되기 때문인 것으로 판단된다.

표 4. 기능인력운영의 중심공종 분석

응답내용	응답자 및 비율	응답자(명)	비율(%)
① 거푸집 공사		43	95.56
② 철근공사		1	2.22
③ 콘크리트 공사		1	2.22
④ 기타		0	0.00
전체 응답수		45	100.00

(2) 거푸집공사의 기능인력 운영방법

거푸집공사의 기능인력 운영방법을 파악하기 위한 설문조사에서 무응답은 없었다. 설문분석결과 표 5와 같이 3개동을 1사이클로 운영하는 방법은 64.5%, 2개동을 1사이클로 운영하는 방법은 23%로 분석되었다. 이러한 결과는 슬래브 거푸집의 존치기간을 고려할 때 3개동을 1사이클로 운영하는 것이 거푸집공사의 작업공백을 최소화할 수 있기 때문에 나타난 결과로 판단된다. 2개동을 1사이클로 운영하는 것에 대한 응답결과는 현장의 전체 동수가 3개동의 배수로 구성되지 않는 경우, 2개동 중심의 기능인력운영도 필요하기⁵⁾ 때문에 나타난 결과로 판단된다.

표 5. 거푸집공사의 기능인력 운영방법

응답내용	응답자 및 비율	응답자(명)	비율(%)
① 1 개동		0	0.00
② 2 개동		11	22.92
③ 3 개동		31	64.58
④ 4 개동		4	8.33
⑤ 기타		2	4.17
전체 응답수		48	100.00

(3) 철근공사의 기능인력 운영방법

철근공사의 기능인력 운영방법을 규명하기 위한 설문결과, 총 48인중 2인이 응답하지 않았다. 무응답 자를 제외한 설문분석결과는 표 6과 같이 5개동 이상 50%, 4개동 26.09%, 3개동 21.74%인 것으로 나타났다. 이 같은 결과는 철근공사의 작업기간이 짧고, 투입 기능인력의 규모가 작기 때문인 것으로 판단된다.

(4) 콘크리트공사의 기능인력 운영방법

콘크리트공사의 기능인력 운영방법을 파악하기 위한 설문조

4) 대한주택공사, 공업화 공법 시범사업의 성과분석, 1996.9, p96

5) 대한주택공사, 주요 공종별 공종 및 생산성 분석, 1994.9. p79

사결과, 총 48인중 41인이 응답하였다. 무응답 자를 제외한 설문분석결과는 표 7과 같이 5개동 이상 68.29%, 4개동 14.63%, 3개동 7.32%인 것으로 분석되었다. 이 같은 결과는 콘크리트공사의 작업특성상 총당 작업기간이 1일 이내이며, 투입인력의 수가 작기 때문인 것으로 판단된다.

표 6. 철근공사의 기능인력 운영방법

응답내용	응답자(명)	비율(%)
① 1 개동	0	0.00
② 2 개동	1	2.17
③ 3 개동	10	21.74
④ 4 개동	12	26.09
⑤ 기타	23	50.00
전체 응답수	46	100.00

이상의 결과를 종합하면, 골조공사의 기능인력은 거푸집공사를 위주로 운영되고 있으며, 거푸집공사의 기능인력은 3개동 위주로 운영되는 것으로 분석되었다. 철근 및 콘크리트 공사는 현장여건별로 다소 차이가 있겠지만, 5개동 이상을 대상으로 기능인력을 운영하는 것으로 분석되었다.

표 7. 콘크리트공사의 기능인력 운영방법

응답내용	응답자(명)	비율(%)
① 1 개동	1	2.44
② 2 개동	3	7.32
③ 3 개동	3	7.32
④ 4 개동	6	14.63
⑤ 기타	28	68.29
전체 응답수	41	100.00

3. 골조 기준층의 공정메커니즘

앞 장의 분석결과처럼 콘크리트의 양생 및 거푸집의 존치기간과 기능공의 운영계획은 공기의 결정에 큰 영향을 미치게 되는데, 이들이 공기결정에 미치는 영향을 논리적으로 규명하기 위해서는 골조공사의 공정메커니즘을 분석해야 한다. 따라서 본 장에서는 기준층의 공정메커니즘을 분석하기 위해 단위작업(activity)을 분할하고, 단위작업별 연관관계를 규명하였다. 또한, 기능인력 운영방법과 콘크리트 양생 및 거푸집의 존치기간과의 상관관계를 분석한 후, 단위작업별 기간을 결정하고 기본공정표를 작성하였다.

3.1 작업분류체계

골조공사는 크게 거푸집공사, 철근공사, 콘크리트공사, 기계공사, 전기/통신공사로 분류된다. 공종별 작업들을 수직·수평작업과 시공단계별로 분할하면 표 8과 같다. 단위작업들의 분할 원칙은 다음과 같다.

- (1) 공종이 다른 경우 별도의 단위작업으로 분류하였다.
- (2) 동일한 공종이라도 작업조가 다르다면 별도의 단위작업으로 분류하였다.
- (3) 동일한 공종이면서 동일한 작업조에 의해 작업이 수행되더라도 작업의 연속성이 없거나 선후관계가 명확하게 구분되는 경우, 별도의 단위작업으로 분류하였다.

표 8. 골조 기준층의 공종별 작업분류체계

공 종	공종별 작업단위 분류	작업조 ⁶⁾
거푸집공사	· 먹줄	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	1개조
	· 슬래브 기계/전기/통신	
콘크리트공사	· 콘크리트 타설	1개조
	· 콘크리트 양생 및 슬래브 거푸집 존치	직영
기타	· 청소/검사/마무리	직영

3.2 단위작업별 연관관계

위에서 분류한 단위작업들은 상호간에 영향을 미치게 되는데, 이들의 연관관계를 정리하면 표 9와 같다.

표 9. 골조공사의 작업단위별 선·후행 관계

선행작업	후행작업	연결 ⁷⁾	레그
· 콘크리트 양생 및 슬래브 거푸집 존치	· 먹줄	SS	1
	· 벽 거푸집 해체	SS	1
	· 계단/코어 벽 거푸집 해체	SS	1
	· 슬래브 거푸집 해체/조립	FS	0
· 먹줄	· 벽 철근 운반/조립	FS	0
	· 벽체 기계/전기/통신	FS	0
· 벽 거푸집 해체	· 벽 거푸집 운반/조립	FS	0
· 계단/코어 벽 거푸집 해체	· 계단/코어 거푸집 운반/조립	FS	0
· 슬래브 거푸집 해체/조립	· 슬래브 철근 운반/조립	FS	0
	· 슬래브 기계/전기/통신	FS	0
· 벽 철근 운반/조립	· 벽 거푸집 운반/조립	FS	0
	· 계단/코어 거푸집 운반/조립	FS	0
	· 벽체 기계/전기/통신	SS	0
· 벽체 기계/전기/통신	· 슬래브 거푸집 해체/조립	FS	0
	· 슬래브 기계/전기/통신	FS	0
· 벽 거푸집 운반/조립	· 슬래브 거푸집 해체/조립	FS	0
· 계단/코어 거푸집 운반/조립	· 슬래브 철근 운반/조립	FS	0
	· 슬래브 기계/전기/통신	FS	0
· 슬래브 철근운반/조립	· 청소/검사/마무리	FS	0
	· 슬래브 전기/통신/설비	SS	0
· 슬래브 기계/전기/통신	· 청소/검사/마무리	FF	0
	· 청소/검사/마무리 · 콘크리트 타설	FS	0
· 콘크리트 타설	· 콘크리트 양생/슬래브거푸집 존치	FS	0

6) 대한주택공사, 공업화공법 시범사업의 성과분석, 1996.9, p129
 7) FS(finish to start), FF(finish to finish), SS(start to start)

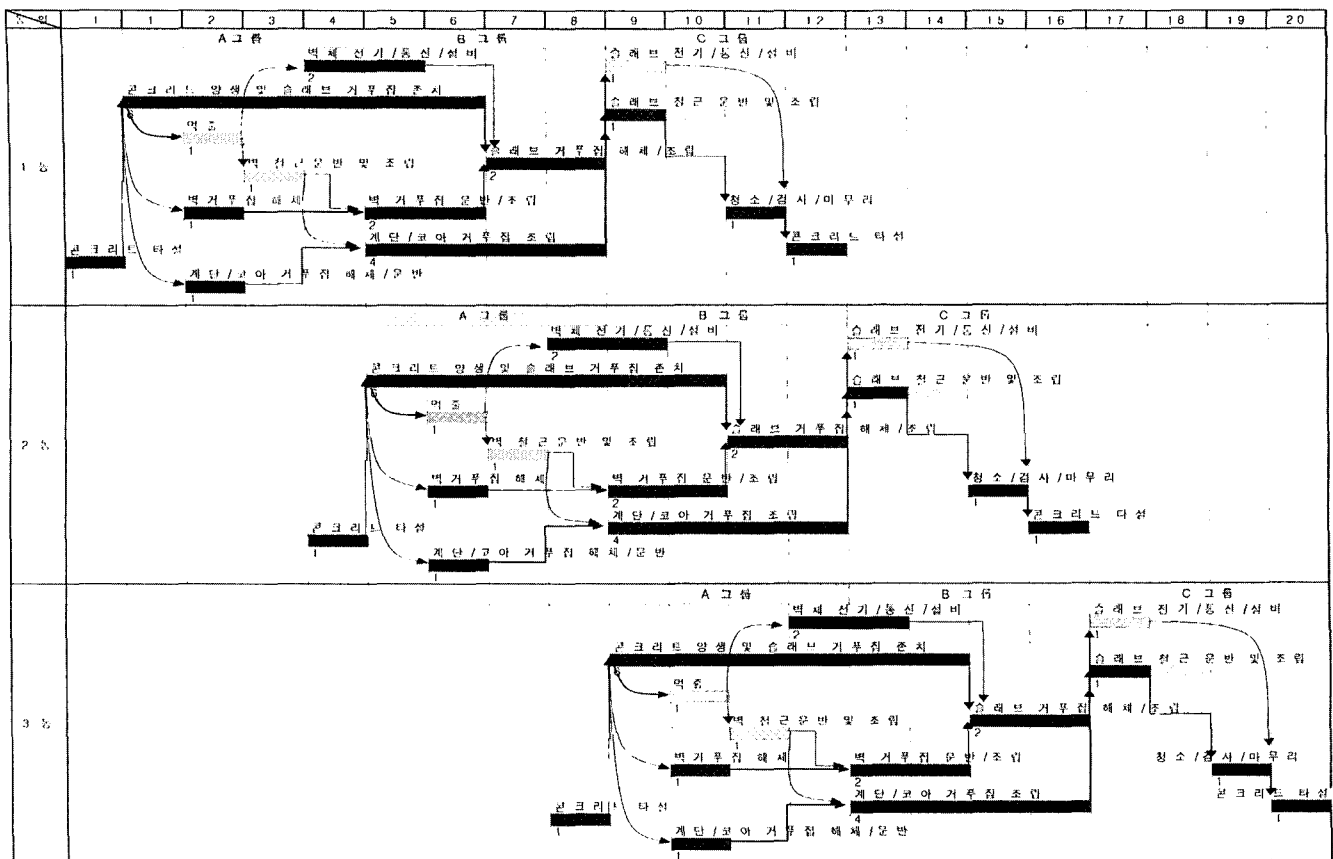


그림 1. 기존 골조 기준층의 최적 기본 공정(12일)

모든 작업 중에서 가장 먼저 시작되는 작업은 먹줄작업이다. 먹줄은 선행 층의 바닥 콘크리트 작업이 완료된 후에 시작되어야 한다. 따라서 먹줄의 선행작업은 선행 층의 콘크리트 타설 작업이고, 콘크리트 양생 및 슬래브 거푸집 준치기간(이하 “슬래브 거푸집의 준치기간”이라 함)과 동시 작업이 된다. 그러나 먹줄은 표 3에 의해 콘크리트 타설 1일후에 작업이 가능하므로 슬래브 거푸집 준치기간에 대해 1일의 래그(lag)를 가지게 된다. 벽 거푸집 해체작업과 계단/코어 벽 거푸집 해체작업도 표 3에 의해 콘크리트 타설 1일 후에 작업이 가능하기 때문에 먹줄과 동일한 연관관계를 갖는다. 벽 철근 운반/조립 작업은 먹줄이 완료된 이후에 작업이 가능하므로 두 작업은 종료 후 시작관계를 가진다. 상기와 같은 방법으로 다른 작업들의 연관관계를 설정하였다. 단, 기계공사와 전기/통신공사는 작업형태, 작업시작 및 종료시기가 거의 유사하기 때문에 다른 공중임도 불구하고 하나의 단위작업으로 분할하였다.

3.3 단위작업별 작업기간

작업을 분류하고 단위작업간의 연관관계가 규명되면 단위작업에 대한 작업기간을 설정하여야 한다. 단위작업의 작업기간은 작업의 연속성 확보를 통해 생산성을 극대화하면서도 최소화되어

야 한다. 단위작업별 기간은 다음과 같은 조건들을 전제로 한다.

- (1) 모든 단위작업의 기간은 물리적, 환경적 제약요건을 제외한 다른 요인의 제약을 받지 않는다.
- (2) 작업기간의 최소단위는 건설현장의 여건을 반영하여 일단위로 한다.
- (3) 기능인력의 공급은 제약을 받지 않지만, 공종별 동일한 인력이 반복적으로 투입되어야 한다.

이상과 같은 전제조건을 토대로 단위작업별 기간을 수립하면 표 10과 같다.

표 10. 단위작업별 작업기간

단위작업(Activity)	작업기간
· 콘크리트 양생 및 슬래브 거푸집 준치	6일
· 먹줄	1일
· 벽 철근 운반/조립	1일
· 벽 거푸집 해체	1일
· 계단/코어 벽 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	1(2)일
· 슬래브 기계/전기/통신	1일
· 청소/검사/마무리· 콘크리트 타설	1일

- (1) 슬래브 거푸집의 존치기간은 물리적 제약조건에 의해 최소 6.15일(148시간)의 작업기간을 갖는다. 이 값을 그림 2의 공정표상에는 6일⁸⁾로 표현된다.
- (2) 벽출작업, 벽 철근 운반/조립, 벽 거푸집 해체, 계단/코어 벽 거푸집 해체는 인력운영을 효율적으로 하기 위해 최소 기간인 1일로 결정하였다.
- (3) 벽체 기계/전기/통신공사는 벽 철근운반/조립 작업과 벽 거푸집 운반/조립 작업 사이의 기간 내에 완료하면 되기 때문에 작업기간은 유동적이다.
- (4) 슬래브 기계/전기/통신공사는 슬래브 거푸집이 조립된 후 시작하여 콘크리트 타설 전까지만 완료되면 되기 때문에 작업기간은 유동적이나 최소기간은 1일이다.
- (5) 청소/검사/마무리 및 콘크리트 작업은 인력운영을 효율적으로 하기 위해 최소기간인 1일로 결정하였다.
- (6) 일반적으로 벽 거푸집작업과 슬래브 거푸집작업은 동일한 작업기간을 가지며, 표 8과 같이 벽 거푸집 운반/조립 작업과 슬래브 거푸집 해체/조립 작업은 동일한 작업조에 의해 수행됨으로 연속작업이다. 거푸집작업의 기간은 기능인력의 작업이 중단되지 않도록 설정될 때 최적 작업기간이 된다. 따라서 거푸집의 최적 작업기간은 그림 1에서 $y = C - F$ 에서 y 값과 $2F$ 값이 동일할 때이다.

단, C : 슬래브 거푸집 존치기간

F : 벽 거푸집 운반/조립 또는 슬래브 거푸집 해체/조립

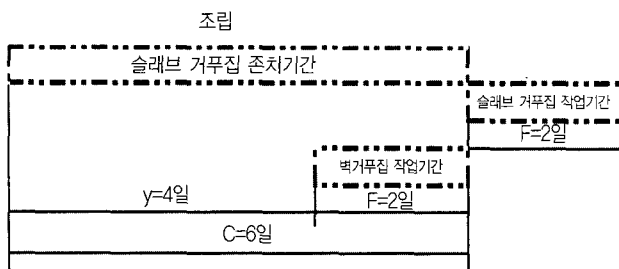


그림 2. 슬래브 거푸집의 존치기간과 거푸집공사의 최적 작업기간

표 10과 그림 1에서 슬래브 거푸집의 존치기간은 6일이므로 벽 거푸집 운반/조립 작업 또는 슬래브 거푸집 해체/조립 작업의 기간이 2일일 때 상기의 식이 만족됨으로 거푸집공사의 최적 작업기간은 4일로 결정된다.

따라서 거푸집공사의 최적 작업기간은 슬래브 거푸집의 존치기간에 영향을 받는 것으로 분석되었다.

8) [그림 2]에서 슬래브거푸집의 존치기간은 콘크리트 타설 후부터 시작되기 때문에 공정표에는 6일로 표현되지만 실제로는 6.5(156시간)일로 요구시간 6.15(148시간)일보다 더 큰 값을 가진다.

3.4 기본공정표 작성

2장에서 기능인력은 거푸집공사를 위주로 3개동으로 운영하는 것이 가장 보편적인 방법이며, 거푸집 작업의 연속성을 확보할 때 인력낭비가 최소화되는 것으로 분석되었다. 또한, 앞 절에서는 작업분류체계, 단위작업별 연관관계, 단위작업별 작업기간이 분석되었다. 특히, 그림 1에서 물리적으로 절대적 작업기간을 필요로 하는 슬래브 거푸집의 존치기간과 거푸집 작업 상관관계 분석을 통해 거푸집 작업의 작업기간이 결정되었다. 이러한 사항들을 바탕으로 기준층의 기본공정표를 작성하면 그림 2와 같다. 그림 2를 그룹으로 구분하면 표 11과 같이 A그룹(거푸집 이전 작업), B그룹(거푸집 작업), C그룹(거푸집 이후 작업)으로 구분할 수 있다. 거푸집공사의 작업기간인 B그룹의 작업이 연속성을 갖기 위해 A, C그룹의 작업기간은 B그룹의 작업기간과 동일해야 한다. 따라서 슬래브 거푸집의 존치기간을 만족시키면서 거푸집 기능인력을 합리적인 운영할 때 산정될 수 있는 기준층의 최적공기는 12일로 분석되었다.

표 11. 거푸집 공사의 반복모듈

구분	기본공정 12일		
1동	A그룹(4일)	B그룹(4일)	C그룹(4일)
	C그룹(4일)	A그룹(4일)	B그룹(4일)
2동	B그룹(4일)	C그룹(4일)	A그룹(4일)
	A그룹(4일)	B그룹(4일)	C그룹(4일)
3동	C그룹(4일)	A그룹(4일)	B그룹(4일)
	B그룹(4일)	C그룹(4일)	A그룹(4일)

4. 사례분석을 통한 합리적인 공기단축방안

앞장에서 골조공사의 공기에 결정적으로 영향을 미치는 요인은 슬래브 거푸집의 존치기간과 기능인력 운영계획에 의한 거푸집공사의 작업기간인 것으로 분석되었다. 앞장의 분석결과를 토대로 다음과 같은 3가지 사례를 통해 합리적인 공기단축 방안을 제시하였다. 사례분석에서 거푸집 기능인력은 3개동을 1사이클로 운영하는 방법을 대상으로 하였다.

- (1) 벽 거푸집은 기존과 동일하게 1벌을 사용하고, 슬래브 거푸집과 동바리는 2벌을 사용하는 경우
- (2) 슬래브에 드롭헤드 시스템(Drop Head System) 또는 필러시스템(Filler System)을 사용하는 경우
- (3) 슬래브 거푸집 존치기간을 단축하기 위해 설계기준 강도보다 더 큰 호칭강도의 콘크리트를 사용하는 경우

위의 사례분석은 작업분류체계, 단위작업별 연관관계 등의 공정메커니즘을 생략하고, 그림 2의 기본공정표와 비교하면서 공기단축방법 위주로 기술하였다.

4.1 슬래브 거푸집 2벌 적용을 통한 합리적인 공기단축 방안
 슬래브 거푸집과 동바리를 추가로 1벌 더 사용할 경우, 기본공정표는 그림 3, 그림 4와 같다.

그림 3에서 N-1층의 콘크리트 타설이 완료되었을 때 N-2층 슬래브 거푸집은 6일이 존치되어 해체가 가능하므로 공정계획 시 슬래브 거푸집의 존치기간에 따른 제약요소가 제거된다. 따라서 기준층의 공기는 거푸집공사의 작업기간에 의해 결정된다.

거푸집공사의 작업기간(반복모듈)을 그림 2의 4일을 3일, 2일, 1일로 설정하여 공기단축 효과를 분석하였다

- (1) 그림 4와 같이 거푸집작업의 반복모듈을 3일로 할 때 A그룹 3일, B그룹 3일, C그룹 3일로 기준층 공기는 표 12와 같이 9일이 되며 그림 2보다 3일의 공기단축이 가능한 것으로 분석되었다.
- (2) 그림 3과 같이 거푸집작업의 반복모듈을 2일로 할 때 A그룹 2일, B그룹 2일, C그룹 2일로 기준층 공기는 표 12와 같이 6일이 되며, 그림 2보다 6일의 공기단축이 가능한 것으로 분석되었다.

(3) 거푸집작업의 반복모듈을 1일로 할 때 A그룹 1일, B그룹 1일, C그룹 1일로 기준층 공기는 3일이 되어야 한다. 그러나 그림 2의 A그룹에 속하는 벽 철근작업은 시방조건에 의해 1일간 작업이 불가하고, 최소 1일의 작업기간이 필요하므로 A그룹은 최소 2일(작업중지 1일, 벽 철근작업 1일)이 필요하다. 또한, C그룹의 슬래브 철근작업과 콘크리트 타설 작업을 1일로 계획하면 작업간섭이 심화된다.

또한, 소정의 품질확보가 곤란하기 때문에 최소 2일(슬래브 철근 1일, 청소/검사/마무리/콘크리트 타설 1일)이 필요하다. 따라서 기준층 공기는 표 12와 같이 5일(A그룹 2일, B그룹 1일, C그룹 2일)이 가능하지만, 거푸집작업이 층당 2일씩 중단됨으로 기능인력 운영방법은 비합리적인 것으로 분석되었다.

이상의 결과를 요약하면 표 12와 같이 공기단축효과와 인력운영방법을 고려할 때 가장 합리적인 공정운영 방법은 거푸집작업의 반복모듈이 2일인 경우로 분석되었다. 이때, 기준층 공기는 슬래브 거푸집의 존치기간에 영향을 받지 않으며, 거푸집작업의 반복모듈에 의해 결정되는 것으로 분석되었다.

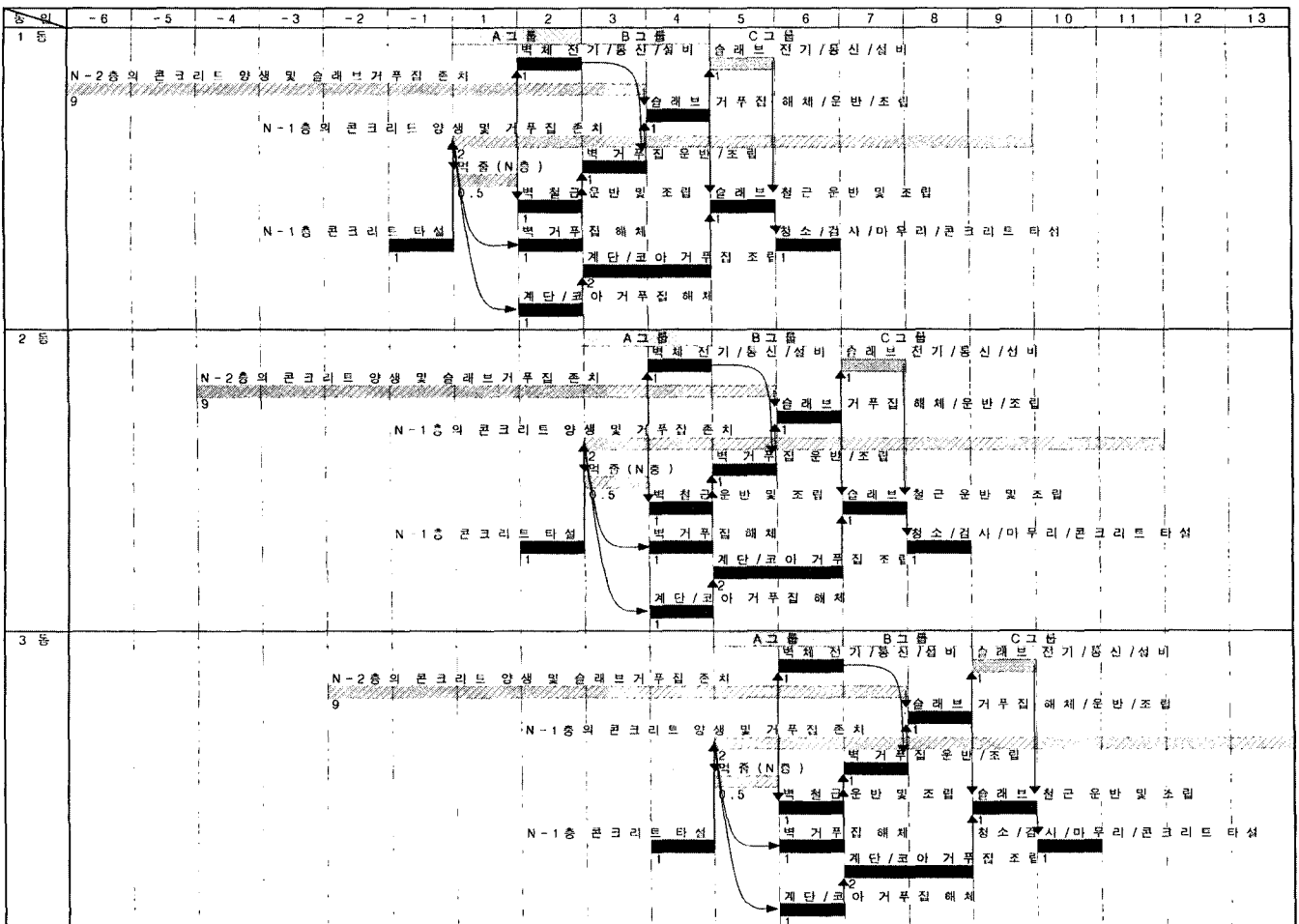


그림 3. 골조 기준층의 6일 공정(슬래브 거푸집 2벌, 콘크리트 호칭강도 조정)

표 12. 슬래브 거푸집 2벌 사용 시 공기단축 효과

구 분	9일 공정	6일 공정	5일 공정
거푸집 반복모듈	3일	2일	1일
공기단축	3일	6일	7일
거푸집 작업	연속	연속	중단(2일/층)

4.2 드롭헤드 또는 필리시스템을 통한 합리적인 공기단축방안
 벽 거푸집은 동일한 공법을 사용하고, 슬래브에 드롭헤드 시스템이나 필러 시스템을 사용하는 경우, 콘크리트 시방서에 의해 슬래브 거푸집은 콘크리트 타설 4일 후 해체 할 수 있다. 즉, 슬래브 거푸집의 존치기간이 기존보다 2일 줄지만 존치기간에 따른 제약은 여전히 남아 있다. 이것이 거푸집공사의 작업기간에 영향을 미치게 된다. 거푸집작업의 반복모듈을 3일, 2일, 1일로 설정하여 공기단축 효과를 분석하였다.

(1) 거푸집작업의 반복모듈을 3일로 할 때 그림 4와 같이 A그룹 3일, B그룹 3일, C그룹 3일로 기준층의 공기는 표 13과

같이 9일이 되며, 그림 2보다 3일의 공기가 단축되는 것으로 분석되었다.

- (2) 거푸집작업의 반복모듈을 2일로 할 때 슬래브 거푸집은 콘크리트 타설 4일 후에 해체해야 한다. 따라서 그림 1에서 보는 것처럼 벽 거푸집은 슬래브 거푸집 해체 1일전에 하게 됨으로 y값은 3일이 된다. 따라서 A그룹은 3일이 되어 거푸집작업은 반복모듈을 적용할 수 없다. 그러나 C그룹은 반복모듈을 적용할 수 있으므로 기준층 공기는 표 13과 같이 7일(A그룹 3일, B그룹 2일, C그룹 2일)로 결정된다. 이때 거푸집작업은 층당 1일씩 중단되며, 그림 2보다 5일이 단축되는 것으로 분석되었다.
- (3) 거푸집작업의 반복모듈을 1일로 할 때 벽 거푸집작업은 슬래브 거푸집 존치 4일 후에 시작하거나, 슬래브 거푸집 해체 0.5일(그림 1 참조)전에 시작해야 한다. 따라서 A그룹은 3.5일 내지 4일이 되고, B그룹 1일, C그룹 2일로 골조

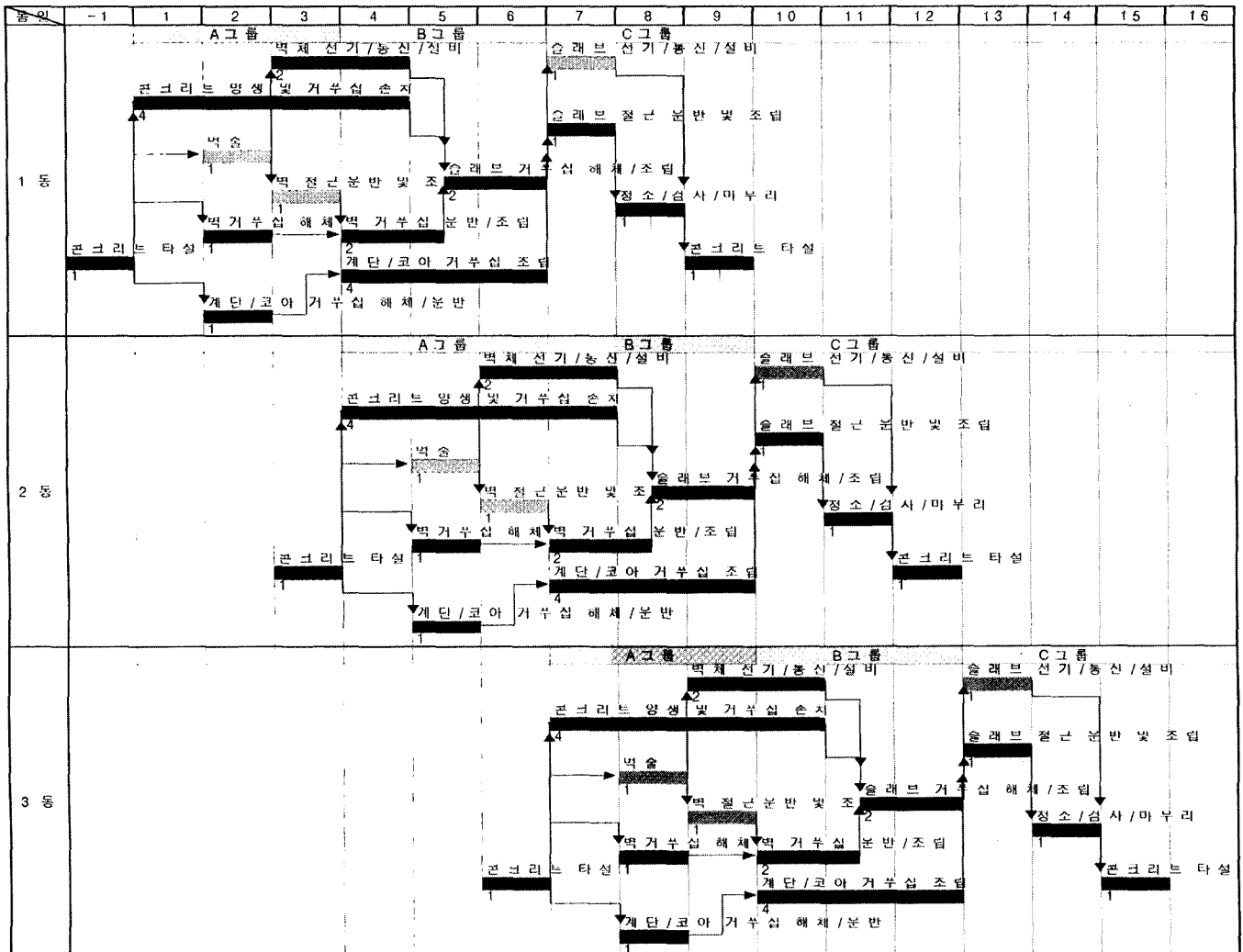


그림 4. 골조 기준층의 9일 공정(슬래브 거푸집 2벌, 드롭헤드 시스템, 콘크리트 호칭강도 조정)

기준층 공기는 6.5(7)일이 되며, 5.5(5)일의 공기단축이 가능하지만, 거푸집작업이 층당 3.5(4)일씩 중단됨으로 기능인력운영은 비합리적인 것으로 분석되었다. 이상의 결과를 요약하면 표 13과 같이 공기단축 효과와 기능인력 운영 방법을 고려할 때 가장 바람직한 공정운영 방법은 거푸집작업의 반복모듈이 3일인 경우이다.

표 13. 드롭헤드 사용 시 공기단축 효과

구분	9일 공정	7일 공정	6.5일 공정
거푸집 반복모듈	3일	2일	1일
공기단축	3일	5일	5.5일
거푸집작업	연속	중단(1일/층)	중단(3.5일/층)

4.3 콘크리트 호칭강도의 조정을 통한 합리적 공기단축방안

설계기준강도보다 높은 강도의 콘크리트를 사용하여 슬래브 거푸집의 존치기간을 단축함으로써 공기를 단축하는 방법으로 콘크리트의 호칭강도에 따라 공기단축 효과는 달라진다. 사례분석은 설계기준강도가 210kg/cm²인 경우를 대상으로 하였다.

콘크리트의 호칭강도를 240kg/cm², 270kg/cm², 300kg/cm²로 할 때 시방에 의해 콘크리트 강도가 140kg/cm²에 도달하는 재령을 ACI 209에 의해서 구하면, 각각의 재령은 4.62일(5일), 3.7일(4일), 3.1일(3일)이 된다. 따라서 210kg/cm² 사용 시 재령 6.15일(6일)보다 슬래브 거푸집 존치기간은 각각 1일, 2일, 3일씩 빨라진다. 각각에 대한 공기단축 효과를 분석하면 다음과 같다.

(1) 콘크리트 호칭강도 240kg/cm² 사용 시

슬래브 거푸집의 존치기간은 1일이 단축되어 5일이 된다. 거푸집작업의 반복모듈은 3일, 2일, 1일로 설정하였다.

- ① 거푸집작업의 반복모듈을 3일로 할 때 표 11의 A그룹은 3.5일(그림 1 참조), B그룹 3일, C그룹 3일로 기준층의 공기는 9.5일이 되고, 거푸집작업은 층당 0.5일씩 중단되는 것으로 분석되었다.
- ② 거푸집작업의 반복모듈을 2일로 할 때 표 11의 A그룹 4일(그림 1 참조) B그룹 2일, C그룹 2일로 기준층의 공기는 8일이 되고, 거푸집작업은 층당 2일이 중단되는 것으로 분석되었다.
- ③ 거푸집작업의 반복모듈을 1일로 할 때 표 11의 A그룹 4.5일(그림 1 참조), B그룹 1일, C그룹 2일로 기준층 공기는 7.5일이 되고, 거푸집작업은 층당 4.5일이 중단되는 것으로 분석되었다.

이상과 같이 호칭강도 240kg/cm² 사용하는 경우, 공기단축 효과와 인력운영방법을 고려할 때 가장 효과적인 공정운영 방법은 표 14와 같이 거푸집작업의 반복모듈이 3일인 경우로 분석되었다.

표 14. 콘크리트 호칭강도 240kg/cm² 사용 시 공기단축 효과

구분	콘크리트 호칭강도 240kg/cm ²		
	9.5일 공정	8일 공정	7.5일 공정
거푸집 반복모듈	3일	2일	1일
공기단축	2.5일	4일	4.5일
거푸집작업	중단(0.5일/층)	중단(2일/층)	중단(4.5일/층)

(2) 콘크리트 호칭 강도 270kg/cm² 사용 시

슬래브 거푸집의 존치기간이 2일 단축되어 존치기간은 4일이 된다. 거푸집작업의 반복모듈은 3일, 2일, 1일로 할 수 있다. 세부적인 내용은 드롭헤드 시스템 또는 필러시스템을 적용하는 경우와 동일한 형태가 되기 때문에 생략하였다. 공기단축 효과와 기능인력 운영방법을 고려할 때 가장 효과적인 공정운영 방법은 표 15와 같이 거푸집작업의 반복모듈이 3일인 경우로 분석되었다.

표 15. 콘크리트 호칭강도 240kg/cm² 사용 시 공기단축 효과

구분	콘크리트 호칭강도 270kg/cm ²		
	9일 공정	7일 공정	6.5일 공정
거푸집 반복모듈	3일	2일	1일
공기단축	3일	5일	5.5일
거푸집작업	연속	중단(1일/층)	중단(3.5일/층)

(3) 콘크리트 호칭강도 300kg/cm² 사용 시

슬래브 거푸집의 존치기간이 3일 단축되어 존치기간은 3일이 된다. 거푸집작업의 반복모듈은 3일, 2일, 1일로 할 수 있다. 세부적인 내용은 슬래브 거푸집 2벌을 적용한 경우와 동일하기 때문에 생략하였다.

공기단축 효과와 기능인력 운영방법을 고려할 때 가장 효과적인 공정운영 방법은 표 16과 같이 거푸집작업의 반복모듈이 2일인 경우로 분석되었다. 여기서 슬래브 거푸집의 존치기간이 3일이내인 경우, 기준층의 공기는 슬래브 거푸집의 존치기간에 영향을 받지 않으며, 거푸집공사의 작업기간에 영향을 받는 것으로 분석되었다.

표 16. 콘크리트 호칭강도 300kg/cm² 사용 시 공기단축 효과

구분	콘크리트 호칭강도 270kg/cm ²		
	9일 공정	6일 공정	5일 공정
거푸집 반복모듈	3일	2일	1일
공기단축	3일	6일	7일
거푸집 작업	연속	연속	중단(2일/층)

5. 결론

일반적으로 공기는 물리적 요인과 작업조의 구성, 자원의 운영방법, 공구의 크기, 작업 사이클, 노동생산성 등과 연관된 기능인력의 운영방법에 의해 많은 차이를 보이게 된다. 따라서 본 연구에서는 기준층의 공기에 영향을 미치는 물리적 요인에 대해서는 시방서들의 규정 사항들을 분석하고, 기능인력 운영방법에

대해서는 건설기술자들의 설문조사를 통하여 규명하였다. 이를 통해 기존에 경험적으로 파악해 왔던 벽식 아파트 기준층의 공정메커니즘을 CPM 기법을 이용하여 논리적으로 분석함으로써 다음과 같은 결과를 얻었다.

(1) 골조 공기에 1차적으로 영향을 미치는 요인은 소요품질을 확보하기 위해 고려되어야 하는 것으로 슬래브 거푸집의 존치기간과 같이 인적자원을 많이 투입하더라도 절대적 기간을 보장해야 하는 작업이다.

이 작업은 다른 작업들의 작업기간과 작업조의 구성, 공구의 크기, 작업 사이클 등에 영향을 미치는 것으로 분석되었다. 특히, 슬래브 거푸집의 존치기간은 거푸집의 작업기간과 기능인력의 운영방법에 많은 영향을 미치는 것으로 분석되었다.

(2) 골조 공기에 2차적으로 영향을 미치는 요인은 기능인력의 운영방법이다. 공기는 자원의 활용을 극대화할 수 있는 방향으로 설정되어야 한다. 자원 중에서도 가장 중요한 기능인력의 운영방법은 공종별 인력투입 규모, 작업량, 공구별 이동 동선 등을 고려하여 체계적이고 과학적으로 수립되어야 하며, 최적의 인력 운영 계획을 통하여 인력낭비가 최소화되도록 해야 할 것이다.

골조공사에서 자원의 활용을 극대화하기 위해서는 거푸집 작업이 연속성을 가질 수 있도록 작업조 편성, 작업기간, 작업 사이클 등을 설정해야 하는 것으로 분석되었다.

이상과 같은 결과를 통하여 기준층의 공기를 가장 합리적으로 단축하는 방법은 물리적 측면에서 절대적 작업기간을 필요로 하는 슬래브 거푸집의 존치기간을 줄일 수 있는 방법을 모색하면서 거푸집 작업의 연속성을 확보할 수 있도록 기능인력을 운영해야 하는 것으로 분석되었다.

비록 본 연구에서는 시간과 비용의 제약 때문에 작업조의 구성, 자원의 운영방법, 작업 사이클, 노동생산성 등과 연관된 기능인력의 운영방법이 현장 건설기술자들의 설문조사를 통하여 규명되었지만, 현장 경험이 풍부한 많은 기술자들의 의견을 집약하였기 때문에 도출된 연구결과의 신뢰성은 확보될 수 있을 것으로 판단된다.

그러나 향후 골조공사의 공정메커니즘을 보다 신뢰성 있게 규명하기 위해서는 작업조의 구성, 자원의 운영방법, 작업 사이클, 노동생산성 등에 대한 많은 데이터들이 다수 현장의 작업측정을 통해서 얻어져야 하며, 이들을 토대로 공정메커니즘이 분석되어야 할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 대한주택공사, "아파트 공사의 공기단축을 위한 효율적인 공사관리 방안 연구", 2001.5
2. 대한주택공사, "동절기 공사불능기간의 효율적 운영방안에 관한 연구", 2003.6
3. 대한주택공사, "주요 공종별 공정 및 생산성 분석", 1994.9
3. 대한주택공사, "주택건설전문시방서", 2003
4. 대한건축학회, "건축표준시방서", 2003
5. 콘크리트 학회, "콘크리트 표준시방서", 2003
6. ACI Committee 209, "Prediction of creep, shrinkage, and temperature effects in concrete structures", 1992

Abstract

The construction duration in apartment construction is an important factor which affects project cost. Henceforth, the time shortening is essential to retrench project cost and project risk when there adopt Five-Day Workweek and introduce apartment sales after completion of construction. Therefore, the purpose of this study is to examine closely the affecting factors on the duration of framework which forms about 40~50 percent of total time in apartment construction by analyzing the schedule mechanism of typical floor and to show the reasonable time shortening methods by case study. The shown schedule mechanism and basic schedule table can utilize as a guideline in case of scheduling of framework in the existing construction method. Also, the shown time shortening methods by three case studies will guide the direction and process of time shortening while there need time shortening in many-sided projects.

Keywords : form work, basic schedule, time shortening, schedule mechanism