

터널 폼 공법에서 강제양생이 콘크리트강도에 미치는 영향

Effects of a Heated Curing on Concrete Compressive Strength for Tunnel Form Construction

○ 李 忠 兩*, 이 광 수 ** 신 성 우 ***
Lee, C. W. Lee, K. S. Shin, S. W

ABSTRACT

The Tunnel Form(T/F) system instead of traditional euro form has been tried to reduce construction duration and to improve concrete quality in reinforced concrete wall type apartment construction. To find the relationship for concrete compressive strength between cylinder mold and slab, the different curing locations of concrete cylinder mold in the room have been investigated. The test results showed that the compressive strength of the cylinder concrete with middle-upper location in the room was most near concrete compression strength with respect to slab concrete strength.

1. 서론

근래 주택수급을 위한 국가주도 200만호 건설사업이 신도시 아파트를 중심으로 이루어져 왔으며 이들 아파트는 철근콘크리트 벽체식 구조형식으로 되어있다. 철근콘크리트 공사의 공기중 주공정에 큰 영향을 주는 부분이 거푸집 공사이나 공법을 대부분 재래식 거푸집인 유로폼(Euro Form)에 의존하고 있다. 이러한 유로폼은 절점이 많아 설치에 인력 및 시간이 많이 소요될 뿐 아니라 콘크리트 타설시에 절점부분이 터지는 등 콘크리트 품질관리상에도 많은 문제점을 내포하고 있다. 일부 선진국에서는 거푸집 시공성의 향상을 위하여 70년대 초부터 대형 시스템 거푸집의 일종인 철제터널폼(Tunnel Form ; 이하 T/F라 한다) 공법을 개발하여 사용하고 있다. T/F공법은 동일한 크기의 단위 공간이 중첩되어 있고, 거푸집의 전용회수를 충분히 확보할 수 있는 대단위 벽식 철근콘크리트 공사에 매우 적합하며, 기존 유로폼의 기준충공기는 6~7일 정도가 소요되는 것에 비해 T/F의 공기는 3~4일이 소요되므로 공기단축에 따른 공사비절감의 효과를 기할 수 있다. 특히 최근 국내 건설업체는 급속히 심화되는 인력난과 자재수급난(합판, 목재 등) 등 각종 어려운 여건속에서 공사원가의 상승과 생산성의 상대적 저하라는 심각한 문제에 당면해 있는 실정이다. 여기에 T/F에 의한 인력절감과 공기단축에 따른 공사비의 원가 절감효과는 매우 절실한 실정이다.

그러나 T/F 공법의 사용시 적절한 콘크리트 양생 방법, 구조체콘크리트의 압축강도를 추정하기 위한 시험용콘크리트에 관련된 연구는 전무한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 T/F 공법에서 콘크리트 타설 후 강제양생에 따른 콘크리트 수화율에 의한 강도발현 등의 관계를 실험을 통하여 분석하여 향후 구조체콘크리트 강도와 압축강도 시험용 몰드와의 관계를 규명함으로써 국내에서 T/F 공법사용에 필요한 자료를 제공하고자 한다.

2. 실험

2.1 개요

T/F 공법에서 공기단축을 꾀하지 못하면 일반 재래 거푸집공사에 비해 오히려 비경제적인 공사가 되므로 T/F공법은 강제양생으로 인해 조기에 소정의 콘크리트 강도(거푸집 탈형가능 시기 결정)를 얻는 것이 가장 중요한 관건이 된다. T/F공법에서 슬래브 상부에 발생하는 균열분석 및 균열발생 제어방법에 대한 실험과 강제양생과 콘크리트 수화온도 분포 및 압축강도 발현과의 관계를 규명하기 위하여 실험을 진행하였다. 실험을 진행한 P사의 용인수지 APT의 T/F 설치상황이 그림 2.1에, 그리고 평면이 그림 2.2에 나타나 있다.



그림 2.1 T/F의 설치상황

* 한양대 산업대학원

** 정희원, 한양대 대학원, 박사과정

*** 정희원, 한양대 건축공학과, 부교수, 공박

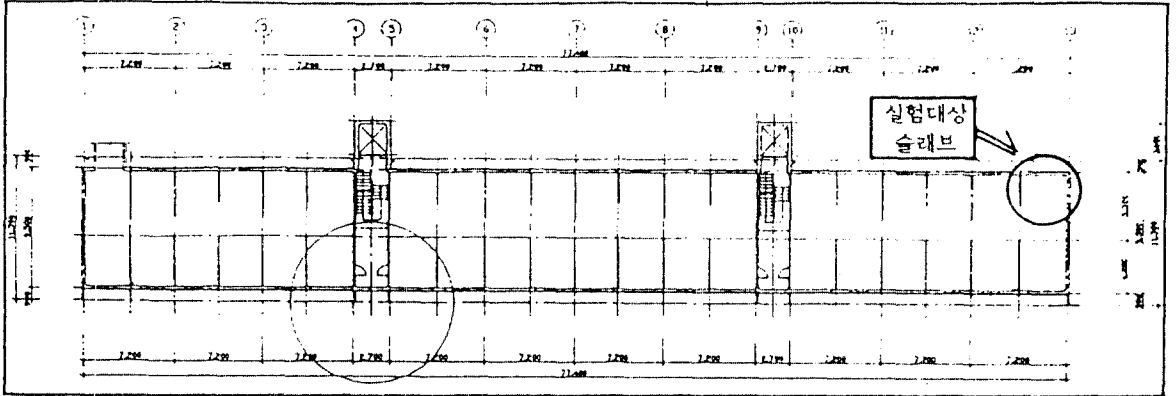


그림 2.2 실험대상아파트 평면도

2.2 사용재료 및 배합

시멘트는 1종 보통포틀랜드 시멘트를, 세골재는 조합을 2.86의 이포산 강사를, 그리고 조골재는 최대 크기 25mm의 채석을 사용하였다. 콘크리트의 배합은 표 2.1에 나타나 있다.

표 2.1 콘크리트 배합표

설계기준 강도 (kg/cm ²)	슬럼프 (cm)	공기량 (%)	W/C (%)	S/A (%)	단 위 시멘트량 (kg/m ³)
210	12	5	52	43.6	350

2.3 실험방법 및 진행

2.3.1 슬래브 균열조사 및 균열방지대책

슬래브 상부에 발생하는 균열조사와 균열발생제어를 위하여 다음과 같이 실험을 진행하였다.

- 1) 균열조사 (발생시기, 위치, 크기)
- 2) 양생포의 설치
- 3) 온도측근 배근
- 4) 태핑(Tapping)

2.3.2 T/F 내부온도 및 콘크리트 수화온도 측정

강제양생에 따른 콘크리트 수화온도 측정위치가 그림 2.3에 나타나 있으며, 자료측정은 콘크리트 수화온도 측정용 기기인 DT 600을 P/C에 연결하여 30분간격으로 자동계측하였으며, 설치상황이 그림 2.4에 나타나 있다.

2.3.3 강제양생에 따른 콘크리트 압축강도 발전

T/F공법에서 강제양생 시간경과에 따른 콘크리트 압축강도를 측정하기 위하여 구조물에 타설하는 콘크리트를 사용하여 원통형공시체를 제작하였으며, 추진 변수는 다음과 같다.

- (1) 공시체 양생 위치 (상, 중, 하 : 그림 2.5)
- (2) 몰드 재질 (철제, 플라스틱)
- (3) 공시체 가력면 마감 (깎핑, 그라인딩)
- (4) 요아 공시체 (슬래브 중앙부)

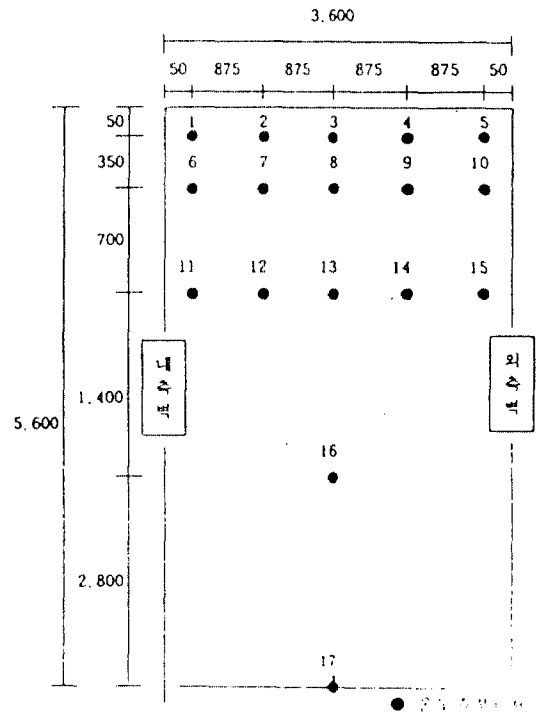


그림 2.3 수화온도측정용 게이지 매립위치도(평면도)

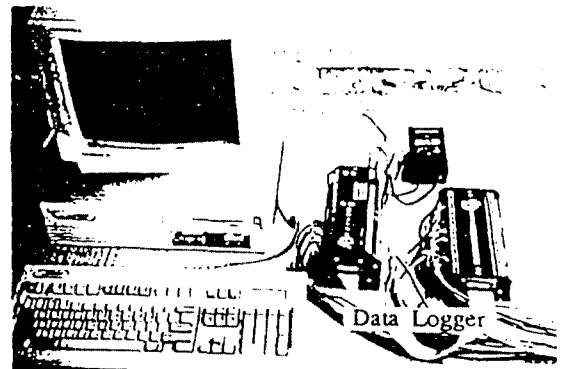


그림 2.4 Data Logger 설치상황

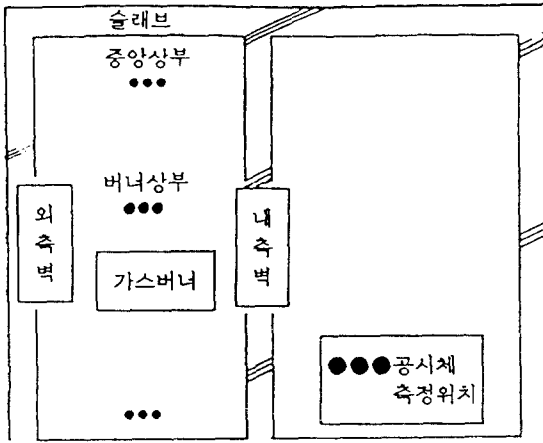


그림 2.5 공시체 양생위치도(단면도)

2.3.4 콘크리트 압축강도 측정

콘크리트 압축강도 측정에 사용한 기기는 구면좌각 부착되어 있는 최대용량 100ton의 압축강도 시험기기를 사용하였으며, 가력시 공시체의 가력면에 균등한 하중분포를 위하여 공시체 상면에 유황캠핑을 하였다. 코아 채취 공시체는 채취한 옆면이 정확하지 않고, 캠핑이 어려워 가력면을 연마기로서 가능한 명확하게 마감하였다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 슬래브 균열발생 및 균열방지

3.1.1 슬래브 균열발생 조사

슬래브에 발생한 균열을 조사한 결과, 균열은 벽과 벽사이의 슬래브 중상상부에, 그리고 강제양생을 시작하고 약 2~3시간(콘크리트 타설후 5~6시간후 : 전양생 3시간)에 발생하였다. 균열의 폭은 0.3~0.6mm정도이며, 균열의 깊이는 슬래브 상부에서부터 약 10~20mm정도이고, 균열의 길이는 슬래브 단부에서 60~120cm에 걸쳐서 발생을 하였다. 이는 벽체 콘크리트가 슬래브 콘크리트의 표면이 외기에 노출되어 있는 것에 비하여 철재 T/F으로 둘러싸여 수화반응이 빠르게 일어나므로 슬래브 중상부에 생기는 인장력에 의한 것으로 보여진다.

3.1.2 균열방지대책

1) 양생포의 설치

양생포를 설치한 이후 외기로부터의 슬래브에 대한 영향이 줄어들고, 수분의 증발이 억제되어 균열의 발생빈도 및 균열의 크기는 감소하였으나, 일기가 나쁜 경우에는 큰 효과가 없는 것으로 나타났다.

2) 온도철근 설치

균열발생위치에 온도철근을 상부에 배근하였으나 균열발생 억제에는 큰 도움이 되지 못하였다. 이는 온도균열의 발생이 양생초기 단계이므로 콘크리트와 철근의 부착력이 발휘되기 전에 균열이 발생하기 때문인 것으로 보여진다.

3) 탭핑(Tapping)

3.1.1에 나타나 있듯이 균열이 강제양생을 실시한 후 약 2~3시간대에 균열이 발생하는 것으로 조사가 되었으므로 강제양생을 실시한 후 약 2시간 경과후에 슬래브 균열이 예상되는 위치에 재진동을 한 결과 균열을 효과적으로 억제할 수 있었다.

3.2 T/F 내부온도 및 콘크리트 수화온도

3.2.1 T/F 내부온도 변화

콘크리트 압축강도를 조기에 확보하기 위하여 T/F 내부에 가스버너를 설치하여 강제 가열양생을 하였다. 강제 가열양생은 블리딩현상이 종료되고(약 2시간 후) 콘크리트의 수화반응이 시작되며, 급격한 온도상승을 하여도 비교적 장기강도의 저하가 적은 콘크리트 타설 후 3시간이후부터 시작하였다. T/F내부에 대한 온도-시간곡선이 그림 3.1에 나타나 있으며, 이를 그림 3.2의 중기양생에 따른 온도-시간곡선과 비교하여 보면 비교적 유사하게 나타나고 있어 T/F 공법에서 강제양생은 비교적 양호한 온도를 유지하는 것으로 보여진다.

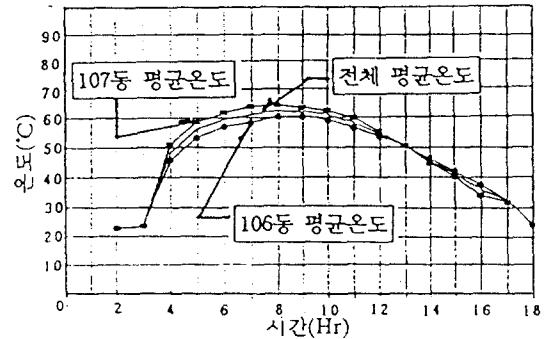


그림 3.1 강제양생에 따른 T/F내부 시간-온도 곡선

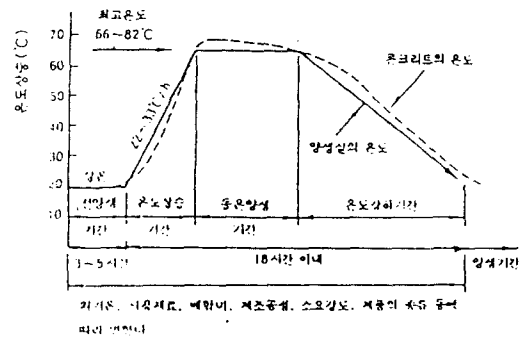


그림 3.2 중기양생에 따른 실내 시간-온도 곡선

3.2.2 슬래브 콘크리트의 수화온도

슬래브에 타설한 콘크리트의 시간-수화온도 곡선이 그림 3.3에 나타나 있다. 그림에 나타나 있듯이 수화온도의 분포가 내부벽체에 면해 있는 슬래브에서 가장 높은 수화온도를 나타내며 외측벽체에 면해있는 슬래브에서 가장 낮은 온도를 나타내어 아파트의 최외단벽체에 설치된 슬래브의 온도차이가 큰 것으로 나타났다.

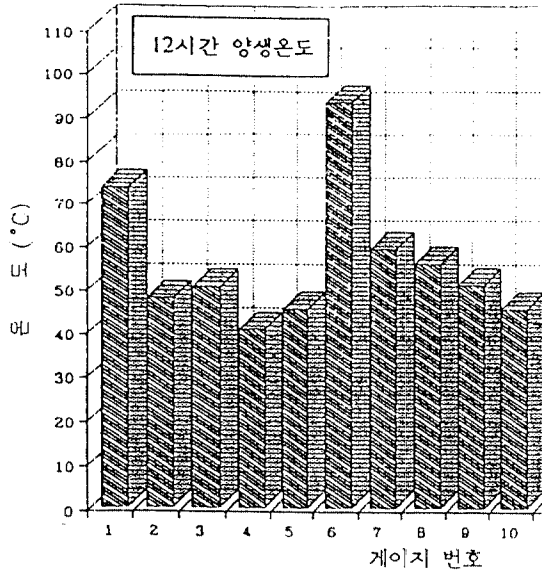


그림 3.3 슬래브 콘크리트의 시간-수화온도곡선

3.3 콘크리트 압축강도

3.3.1 양생위치에 따른 영향

T/F내부에서 양생한 콘크리트 공시체의 위치에 따른 압축강도 측정결과가 표 3.1과 그림 3.4에 나타나 있다. 그림 3.4에 나타나 있듯이 T/F내 상부에 설치한 공시체의 압축강도가 하부에 설치한 압축강도에 비해 현저히 높은 값을 보여주고 있다. 이는 T/F내부의 온도가 상부의 경우 62°C, 그리고 하부의 경우가 40°C 정도로서 강제양생의 영향이 상부에 설치한 공시체에 크게 작용하기 때문으로 보여지며, 또한 그림 3.5에 나타나 있는 양생온도에 따른 콘크리트 압축강도발현에 대한 기존의 연구결과와 매우 유사한 상황을 보여주고 있다.

표 3.1 양생위치에 따른 콘크리트 압축강도

강도측정시간		18	20	22	24	26
강도 측정 위치	중앙상부	138	137	137	138	140
	바닥부	62	65	70	74	77

* 각각 3개의 평균 강도임 (단위 kg/cm²)

3.3.2 몰드 재질에 따른 영향

강제양생을 실시한 콘크리트의 강도발현과 공시체 제작용 몰드의 재질에 따른 압축강도의 측정결과가 표 3.2와 그림 3.6에 나타나 있다. 표와 그림에 나타나 있듯이 양생위치에 관계없이 철제 몰드에 비해 플라스틱 몰드를 사용한 콘크리트 공시체의 압축강도가 약 1.15배 높게 나타났다.

3.3.3 가력면 마감에 따른 영향

콘크리트 공시체 가력면의 마감이 압축강도에 미치는 영향을 평가하기 위하여 가력면측 연마기로 마감

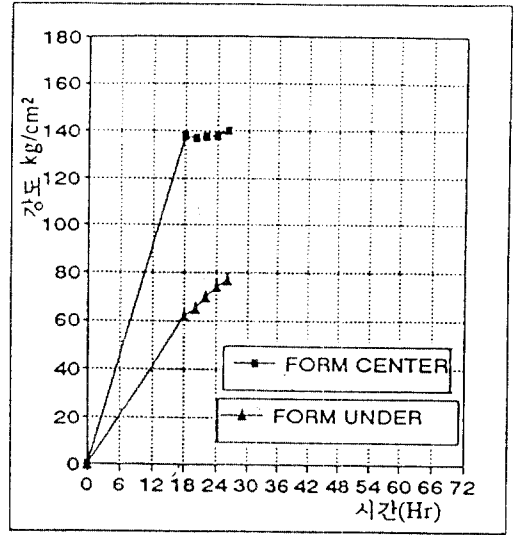


그림 3.4 양생위치에 따른 콘크리트 압축강도

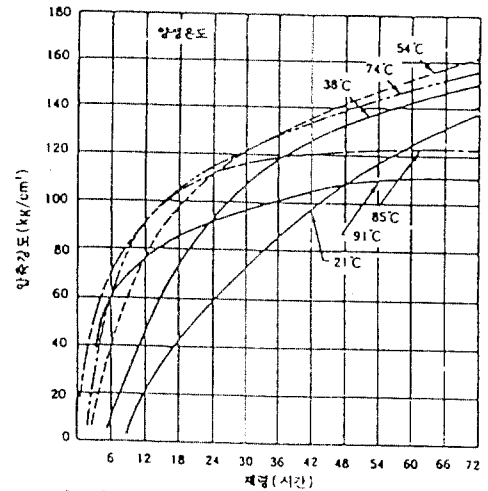


그림 3.5 온도에 따른 콘크리트 강도발현 (물-시멘트비 50%)

표 3.2 몰드재질에 따른 압축강도 (24시간 양생)

위 치	중 앙 상 부		버 너 상 부	
	플라 스틱 (P)	주 철 제 (S)	플라 스틱 (P)	주 철 제 (S)
f _c	162	133	144	133
P/S	1.218		1.083	
평 균	1.151			

* 각각 3개의 평균 강도임 (단위 : kg/cm²)

한 공시체와 쉐핑을 한 공시체의 압축강도 측정결과가 표 3.3에 나타나 있다. 강제양생을 한 위치와 물

드의 재질에 관계없이 연마를 한 공시체가 0.865에서 0.910 사이의 차이를 보여주고 있으며, 평균적으로는 0.881배로 낮게 나타났다.

표 3.3 가력면 마감에 따른 강도비교(24시간 양생)

구분	중 앙 상 부		버 너 상 부		평 균
	플라 스틱	주 철 계	플라 스틱	주 철 계	
C	162	133	144	133	143
G	141	116	131	116	126
G/C	0.865	0.872	0.910	0.872	0.881

* C : 켈핑(Capping)

G : 연마 (Grinding)

** 각각 3개의 평균강도임 (단위:kg/cm²)

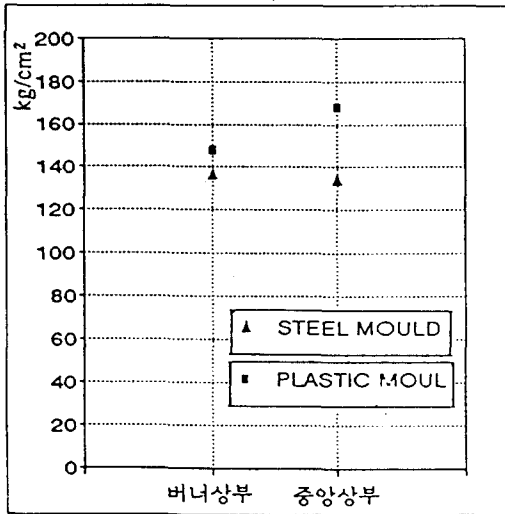


그림 3.6 양생위치에 따른 콘크리트강도(24시간 양생)

3.3.4 코아 공시체 강도

슬래브 중앙부에서 채취한 코아 공시체에 대한 압축강도 측정결과가 표 3.4에 나타나 있다. 채취한 코아 공시체는 KS F 2422에 따라 압축강도를 평가하였다. 코아 공시체 3개의 평균값이 116kg/cm²로서 측정되었다. 그러나 코아 공시체의 경구도 가력면을 연마기로 마감을 하여, 3.3.3에서 나타나 있는 가력면에 따른 강도비 0.881를 사용하여 코아 공시체의 강도를 보정하면 다음과 같다.

$$\text{켈핑강도} = \frac{1}{0.881} \times \text{연마 공시체강도}$$

따라서

$$f'_c = (1/0.881) \times (116 \text{ kg/cm}^2 : \text{코아측정강도}) \\ = 131.7 \text{ kg/cm}^2$$

이 되므로 이 값을 표 3.1의 24시간 압축강도 138과 비교하여보면 0.954으로서 T/F공법을 적용시 T/F 내 중앙상부에 설치하여 양생한 콘크리트의 압축강도를 구조체 콘크리트의 압축강도로 평가하는 것이 바람직한 것으로 판단되며, 이에 따라 T/F 해체시기(존치기간)를 결정할 수 있다.

표 3.4 코아공시체 압축강도 측정결과(22시간 양생)

No.	직경 (cm)	l/d	f'c kg/cm ²	ASTM f'c×0.87	KS F 2422 f'c×0.89
1	11.92	1	134	117	120
2	11.90	1	126	110	112
3	11.91	1	131	114	117
평균	11.91	1	130	114	116

* ASTM 및 KS F의 보정계수를 고려한 값임

4. 결론

이상의 실험결과 및 분석을 정리하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) T/F 공법에서 가스버너에 의한 가열 양생온도는 비교적 양호한 온도를 유지할 수 있다.
- 2) 슬래브에 발생하는 균열은 재진동 (Tapping)을 하므로 균열을 제어할 수 있었다.
- 3) 슬래브의 온도분포는 외측 벽에 면해 있는 슬래브의 콘크리트 온도에 비해 내측벽에 면해있는 슬래브의 콘크리트 온도가 높게 나타났다.
- 4) T/F 공법에서 콘크리트 압축강도는 온도가 비교적 높게 나타난 T/F 가열실 상부에 설치한 공시체의 압축강도가 T/F 가열실 하부에 설치한 콘크리트 압축강도에 비하여 높게 나타났다.
- 5) 플라스틱 몰드를 사용한 공시체의 압축강도가 철제를 사용한 것에 비하여 1.15배 높게 나타났다.
- 6) T/F 공법에서 T/F 가열실 중앙상부에 설치한 공시체의 압축강도를 구조체 콘크리트의 압축강도로 보는 것이 바람직하다.
- 7) 결론 6)에 따라 T/F해체시기(존치기간)를 결정할 수 있다.

참고문헌

- 1) "건축공사 거푸집의 계획과 시공", 풍림산업, 기술지도서 92-2
- 2) "최신 콘크리트공학", 1992, 기문당, 한국콘크리트학회 편
- 3) U.S. Bureau of Reclamation, "Concrete Manual", 6th. Ed. Denver, 1956