

## 트랜스퍼거더에 적용된 매스콘크리트의 시공사례연구

- 말레시아 TELEKOM NEW HQ 빌딩 -

### A Case Study of Mass Concrete for Transfer Girder



이사범\*



나창순\*\*

#### 1. 머리말

말레시아 국영 Telekom사의 새 본사 건물이 될 Menara Telekom 빌딩은 수도 쿠알라룸푸르의 상징적 건물로 기존의 초고층 건물들과 더불어 말레시아 수도의 스카이 라인을 바꾼 landmark의 하나이다.

규모로는 지하 4층 지상 77층으로 지상 310m의 높이이며 대나무 죽순을 형상화한 독특한 입면을 구성하고 있어 말레시아 국책사업 Vision 2020을 잘 형상화하고 있다.

이 건물은 상부 약 18개층 구간의 안테나타워 부분을 제외하고는 모두 콘크리트 조로 되어 있으며 특히 지상 2층과 3층에 걸쳐서는 상부에서의 6m의 기둥간격을 주출입구 부분에서 12m로 전환하고자 트랜스퍼거더를 사용하였다.

상부 74개층으로부터의 하중을 스팬 중앙에서

지지하는 트랜스퍼거더는 총 4개로 위치에 따라 24m에서 60m 길이로 되어 있으며 (총 연장길이 168m) 지점간 거리 12m에 크기는 2.8m × 5.4m의 대규모 부재이다.

공사를 담당한 당사에서는 그 크기에 따른 콘크리트의 열특성 및 구조적 중요도 때문에 이 부분의 시공에 각별한 주의를 기울였으며 당사 대우건설기술연구소의 자문과 설계자와의 충분한 협의를 통해 매스 콘크리트의 시공을 완료 하였는 바 향후 유사한 프로젝트의 자료로 활용될 수 있도록 매스 콘크리트 시공에 따른 재료적 특성과 계측결과를 중심으로 사례를 소개하고자 한다.

#### 2. 건물 개요

평면은 중앙의 코아를 중심으로 양쪽으로 일정한 곡률을 가진 곡선모양의 오피스 wing이 바람

\* ㈜대우 건설부문 이사, 텔레콤현장소장

\*\* ㈜대우 건설부문 과장, 텔레콤현장

개비 모양으로 붙어있다. 코아벽은 최대 벽체두께 600mm, 콘크리트 큐브강도는 70Mpa (실린더 강도 약 580kg/cm<sup>2</sup>)이며 수평하중에 대해 저항한다. 오피스 부분은 고층으로 가면서 점차 줄어들어 독특한 입면을 구성한다. 양쪽의 오피스 wing사이의 양쪽으로 엇갈리게 매 3개층 마다 스카이가든(옥외정원)을 두어 steel truss로 지지한다. (그림 1)

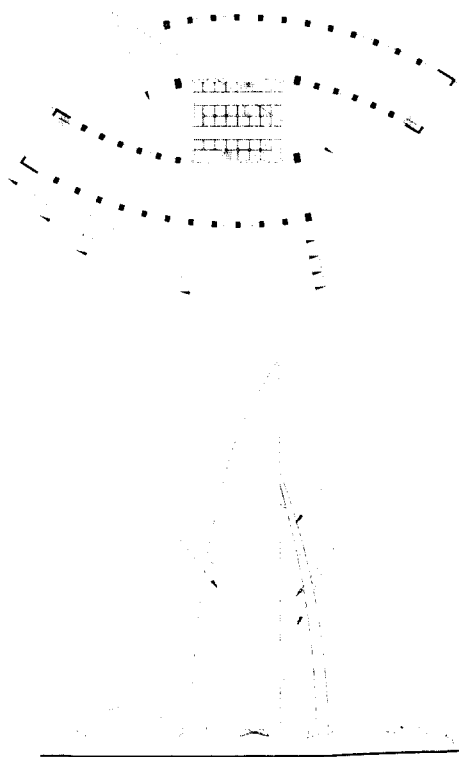


그림 1 Telekom 빌딩 평면 및 입면

저층부를 제외한 typical층은 약 16m 스패의 포스트텐션보(850mmx750mm)로 설계가 되어 있고 약 5m스패의 슬래브(140mm) 역시 포스트 텐션 구조로 하여 전체적인 자중을 줄였다. 기둥은 코아벽과 같이 최대 70Mpa(70N/mm<sup>2</sup>)의 고강도콘크리트가 사용되었으며 저층부에서의 최대 크기는 1.5m×2.5m이다.

기둥은 상부에서 건물 외각면을 따라 6m 간격으로 배치되며 하부에서는 주출입구 부분의 넓은

공간 확보를 위해 12m로 넓어지는데 이 사이의 하중 전이를 위해 약 1개층 반의 높이(5.4m)로 트랜스퍼거더가 설치된다. 트랜스퍼거더의 스패 중앙에 위치한 기둥은 건물의 입면이 변해감에 따라 전달하는 하중이 줄어들기는 하지만 최대 6300톤(계수하중)의 하중을 트랜스퍼거더에 전달한다. 트랜스퍼거더는 기본적으로 콘크리트 큐브강도 55MPa(실린더강도 약 450kg/cm<sup>2</sup>)가 이용되었으며 최대하중이 작용하는 24m 길이의 2스패 보의 경우에 한하여 60MPa(실린더강도 약 500kg/cm<sup>2</sup>)의 콘크리트가 사용되었다.

트랜스퍼거더의 설계는 다스패의 춤이 큰 보(deep beam)로 모델링되고 설계자에 의한 기본 구조해석은 strut and tie method에 의해 이루어졌으며(그림 2) 별도의 독립된 검토 엔지니어에 의해서도 유한요소해석에 의한 원설계 검토가 이루어졌다.

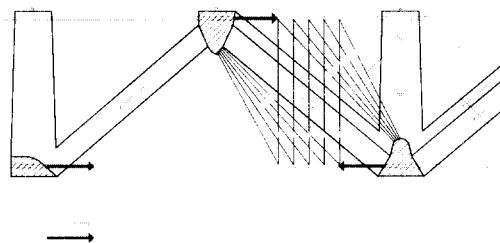


그림 2 트랜스퍼거더 해석모델

해석 결과에 의한 각 응력에 효율적으로 대처할 목적으로 32mm크기의 일반철근 외에도 다음과 같은 3가지의 포스트텐션 방식이 추가로 사용되었다. (그림 3)

- 트랜스퍼거더의 하부에 15.2mm의 7연선 31가닥으로 구성된 4개의 multi strand tendon
- 대각선 방향으로 배근되어 불균등처짐 및 침하에 따른 대각선 방향의 tension tie용 고강도 stressing bar (직경40mm, 중국 강도 10.1t/cm<sup>2</sup>) 각 5개
- 분할타설에 따른 수평전단력 손실 보강용으로 수직 방향으로 설치되는 같은 재질의 untensioned bar

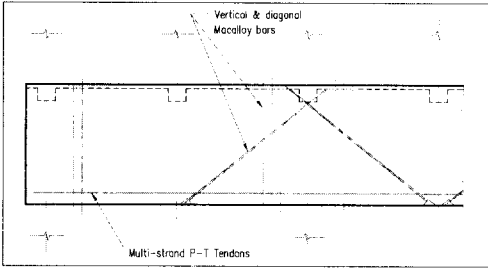


그림 3 트랜스퍼거더에 적용된 포스트텐션

### 3. 매스콘크리트

전술한 바와 같이 트랜스퍼거더는 massive한 볼륨때문에 일반구조물과는 다른 콘크리트의 열특성이 예상되었고 이에 따른 사전검토가 필요하였다.

#### 3.1 매스콘크리트 개요

매스콘크리트는 수화열에 의해 상당한 온도상승이 일어날 정도의 큰 단면이나 온도상승에 의한 균열이 고려되어야 하는 콘크리트라고 정의할 수 있는데 그 크기는 일률적으로 정하지는 않지만 대략 단면 두께가 0.8m-1.0m이상인 구조물이 그 대상이 된다.

콘크리트는 경화과정에서 수화반응에 의해 수화열이 발생하지만 매스콘크리트의 경우와 같이 크기가 큰 경우에는 외부로의 방열이 늦어져 내부의 온도가 크게 상승하고 이에 따라 발생하는 체적팽창이 구속을 받아 온도응력이 발생한다. 온도응력이 콘크리트의 인장강도보다 크게 되면 균열이 발생하고 이를 온도균열이라 한다.

온도균열은 그 균열발생 특성에 따라 내부구속에 의한 경우와 외부구속에 의한 경우로 나눌 수 있는데 내부구속에 의한 균열의 경우는 콘크리트의 온도 강하시 수축이 내부의 콘크리트에 의해 구속되어 발생하는 것으로 균열발생 방지를 위해서는 콘크리트 타설 초기에 표면의 급냉을 피해야 한다. 외부구속에 의한 균열은 콘크리트의 온도상승이 최고에 달한 후에 온도강하에 의한 수축이 외적으로 구속되는 경우에 발생하는 것이다.

이 균열은 수축을 방해하는 구속물의 종류와

형상, 치수에 따라 다르지만 내부구속과 달리 구조물을 관통하는 경우가 많은데 균열을 방지하기 위해서는 콘크리트의 온도상승을 가능한 낮게 억제하고 최대온도에 도달한 이후에 온도 강하속도가 빠르지 않도록 해야한다.

#### 3.2 매스콘크리트 배합설계의 기본방침

매스콘크리트의 배합은 타설에 적합한 work-ability를 가지고 소요강도, 내구성, 수밀성 등을 갖추고 가능한 온도상승이 적은 배합을 선정할 필요가 있다.

온도상승은 발열의 절대량이 최대한 적어야 함은 물론 특히 초기의 발열을 가능한 억제해야 한다. 이를 달성하기 위한 일반적인 방법은 단위 시멘트량을 적게하고 실리카흄이나 플라이애쉬 등을 시멘트에 대용하며, 초기의 수화열이 낮고 장기강도의 증진이 큰 저발열성 시멘트를 사용하고 감수지연형의 혼화제를 사용한다.

또한 배합 시에도 precooling을 하여 타설 시의 콘크리트 온도가 낮도록 유지하고 타설시점도 낮시간 보다는 이른 아침이나 야간 등의 외기온이 낮은 시간에 타설하는 것이 유리하다. 콘크리트배합에서 precooling은 배합수로서 찬물을 사용하고 경우에 따라 작은 얼음조각 등을 배합수에 섞어 사용하는 방법이 사용된다. 또한 골재는 직사광선에 노출되지 않도록 골재 저장소에 천막을 씌워두는 것이 바람직하다.

#### 3.3 콘크리트의 시험배합

당 프로젝트의 트랜스퍼거더는 전술한 바와 같이 크기가 대형으로 매스콘크리트로서 열특성을 고려한 재료의 선정이 요구되었다. 즉 소정의 강도를 얻으면서 수화열을 최대한 억제한 배합이 필요하였다. 초기의 시험배합으로 다음의 3가지가 선정되었다.

3개의 시험배합은 각각 압축강도평가와 단열온도상승 시험(adiabatic test)에 의한 열특성 평가에 의해 배합의 적절성을 평가하고 이에 따른 최종배합을 선정하는 것으로 하였다.

표 1 트랜스퍼거더용 콘크리트 시험배합

배합구성	배합 1	배합 2	배합 3
콘크리트큐브 강도(MPa)	55	55	55
슬럼프(cm)	200+40 -20	200+-25	200+40 -20
OPC(kg)	390	-	195
매스콘크리트(kg)	-	390	195
FA 함량(kg)	-	78	39
FA 함량비(%)	0	20	10
SF 함량(kg)	30	30	30
SF 함량비(%)	7.7	7.7	7.7
20mm골재(kg)	970	970	970
모래(kg)	920	920	920
물(kg)	147	147	147
감수시연제 (liter/m <sup>3</sup> )	2.1	2.1	2.1
연동화제 (liter/m <sup>3</sup> )	6.24	6.24	6.24
물시멘트비	0.35	0.35	0.35

- 주) 1. OPC - Ordinary Portland Cement  
 2. 매스콘크리트 - FA가 20%혼입된 시멘트제품  
 3. FA - Fly Ash  
 4. SF - Silica Fume  
 5. 강도 60MPa의 배합은 추후 설계변경에 의한 것으로 시험배합은 없음.

### 3.3.1 열특성 분석

단열온도상승 시험은 당사 건설기술연구소에서 수행하였고 각각의 배합에 대한 시험결과는 아래 [표 2]에 정리하였다.

단열온도상승의 정량화를 위해 사용된 아래 식은 건설부 표준시방서에 제시된 바에 따랐다.

$$Q(t) = K (1 - e^{-\alpha t})$$

- $Q(t)$  : 재령 t일에서의 단열온도 상승량  
 $K$  : 최고 단열온도 상승치  
 $\alpha$  : 온도 상승속도

표 2 시험배합의 열 특성치

특성치	배합 1	배합 2	배합 3
$K$	40.64	36.78	35.48
$\alpha$	1.08	1.96	1.74

시험결과에서 보는 바와 같이 일반 OPC와 실

리카흙을 혼합한 배합이 콘크리트의 최고 온도가 가장 높고 플라이애쉬를 20% 섞은 시멘트제품인 매스콘크리트와 OPC를 절반씩 배합하고 여기에 실리카흙을 첨가한 [배합 3]이 온도상승이 가장 적었다.

### 3.3.2 강도 분석

각 배합에 대해 각각 15개의 큐브 공시체를 제작하여 아래와 같이 압축강도를 시험하였다.

1일, 3일, 5일, 7일, 28일 : 각 2개씩

56일 : 각 4개씩

90일 : 각 1개씩

한편 탄성계수 시험을 위해서는 12개의 실린더를 채취하여 7일, 28일, 56일과 90일에 각각 3개씩 시험을 수행하였다.

3가지 시험 배합 모두는 56일에 목표강도에 margin을 더한 값 70MPa를 초과하였으며 탄성계수 역시 3가지 시험배합 모두에 대해 요구되는 값을 초과하였다.

표 3 시험배합의 압축강도(단위MPa=10<sup>6</sup>N/m<sup>2</sup>)

배합	1일	3일	5일	7일	28일	56일
배합1	20.2	41.8	51.1	58.5	75	84.7
배합2	9.4	26.2	33.9	41.8	66	73.9
배합3	17.3	31.4	43.8	45.5	64.8	70.4
기준강도		30 <sup>1)</sup>				70 <sup>2)</sup>

- 주) 1) 트랜스퍼거더의 포스트텐션에 필요한 강도  
 2) 소요강도55MPa에 15MPa의 margin을 더한 값

### 3.3.3 최종배합의 선정

상기의 시험결과에 따라 최종배합은 강도발현 및 열특성에서 가장 적합한 [배합 3]이 선정되었다.

## 4. 콘크리트 타설방법

콘크리트 배합의 선정 이후에는 이의 열특성을 바탕으로 온도분포 및 온도응력을 고려하여 균열의 발생을 최소화하는 방안으로 콘크리트를 타설하여야 한다. 콘크리트의 내부온도분포는 콘크리

표 4 시험배합 탄성계수 (단위 GPa = 10<sup>9</sup>N/m<sup>2</sup>)

배합	7일	28일	56일
배합 1	33.7	38.8	40.3
배합 2	28.5	35.8	37.2
배합 3	30	34.2	39.7
기준계수			30

트의 온도상승과 표면으로부터의 열발산에 의해 정해진다. 매스콘크리트의 내부온도를 계산에 의해 예측하는 방법에는 실험적인 방법과 해석적인 방법이 있으며, 해석적인 방법은 콘크리트 타설시의 다양한 조건들을 변수로 처리하여 각 경우에 대한 온도응력 및 분포상태를 확인할 수 있는 장점이 있다. 이와같은 해석적인 방법에는 여러가지 간이해석법이 제안되어 사용되고 있으며 컴퓨터의 이용으로 유한요소법과 같은 수치해석법이 점차 일반화되고 있다.

당 프로젝트의 트랜스퍼거더는 그 크기 때문에 단순히 1회의 타설시 내부의 고온은 6개월 이상 지속되어 내부단면에 균열이 발생할 가능성이 매우 높고 가설구조, 장시간 타설 등 콘크리트 타설시의 여건에 불리한 측면이 많다. 따라서 2-3회의 분할타설이 초기에 고려되었으며 높이를 기준으로 한 안은 다음과 같다.

- 1) 3.0m+2.4m의 2회 타설
- 2) 2.1m+3.3m의 2회 타설
- 3) 2.1m+1.8m+1.5m의 3회 타설

분할타설시의 타설간격은 콘크리트의 수급이 원활한 주말에 타설하는 것을 기준으로 8일로 가정하였다. 3가지의 모델에 대한 해석은 당사 건설기술연구소의 수치해석 프로그램을 이용하였으며 각 안에 대한 검토결과 1차타설 부위에서 상대적으로 높은 균열 가능성을 나타내며 2차타설 부위 또는 3차타설 부위는 상대적으로 균열발생의 가능성이 낮았다.

따라서 분할타설은 시공성 및 가설구조 계획에서 가장 유리한 2)안, 즉 2.1m+3.3m의 2회 분할타설이 적합한 것으로 판단하였다.

1차타설 3일 후에 실시하는 것으로 계획한 포

스트텐션의 응력은 콘크리트에 약 20kg/cm<sup>2</sup>의 압축응력을 주므로 상기 검토결과를 볼 때 1차타설 부분의 균열 제어에 매우 효율적인 것으로 판단된다.

분할타설에 따른 상하부 콘크리트의 수평 전단 내력 손실은 설계적인 측면에서는 전단철근, 수직방향으로의 고강도 untensioned bar가 추가적으로 배근되었지만 시공적인 측면에서도 콘크리트간의 접착을 최대한으로 확보하기 위해 다음의 조치를 취했다.

- 콘크리트의 1차타설 후 즉시 retarder를 표면에 도포하여 콘크리트의 수분 증발을 억제한다.
- 약 12-24시간 이후에 water jet로 상부표면부를 불어내어 레이턴스를 제거함과 동시에 접착에 유리하도록 울퉁불퉁한 표면상태를 유지한다.
- 상부의 2차 콘크리트 타설 직전에는 하부의 1차타설 콘크리트의 상부표면에 시멘트 페이스트를 골고루 도포한다.

콘크리트의 타설은 약 30~45cm의 높이로 5~9 layer로 골고루 진행하며 각 layer에 cold joint가 발생하지 않도록 한다. 공급되는 콘크리트의 온도 및 슬럼프는 현장내에 설치된 품질관리 station에서 매차 검사를 수행하였으며 측정된 결과는 아래 [표 5]와 같다.

표 5 트랜스퍼거더용 콘크리트 슬럼프 및 온도

보	길이	타설차수	슬럼프 평균(cm)	평균온도 (°C)
보 1	60m	1차	228	30.2
		2차	218	29.9
보 2	24m	1차	222	30.9
		2차	214	25.1
보 3	24m	1차	213	29.9
		2차	212	29.8
보 4	60m	1차	225	29.2
		2차	219	31.3

콘크리트 온도는 단지 배합수로서 찬물을 사용하는 방법에 의해서 얻어졌으며 참고로 시방서에서 요구하는 콘크리트의 타설허용 최고온도는

35℃ 이었다

### 5. 계측결과의 분석

트랜스퍼거더의 콘크리트 타설이후 14일 이상 온도변화 및 strain에 대한 계측을 시행하였는데 트랜스퍼거더 내에 매립된 계측기구는 strain gauge(VWG)와 thermo-couples가 이용되었다. 계측된 결과를 아래 [표 6]에 정리하였다.

표 6 트랜스퍼거더 콘크리트 온도계측 결과

보	타설 차수	최고온도	Bulk온도 (℃)	단면내 최대온도차 (℃)
보 1	1차	76.2	69.9	34.9
	2차	80.6	73.7	37.9
보 2	1차	77.4	71.4	32.5
	2차	81.1	75.9	33.7
보 3	1차	78.7	72.2	29.1
	2차	82.3	75.1	31.2
보 4	1차	79.1	71.1	29.9
	2차	85.5	79.3	38.7

주) Bulk온도는 mass의 온도분포를 포물선으로 가정하여 보정한 단면평균값

계측된 최고온도는 전반적으로 사전에 예측한 온도보다는 높았으나 strain gauge를 통해 분석된 콘크리트의 거동은 1차타설 부위의 상부표면에서 인장응력이 발생하였고 실제로 폭 1mm, 깊이 20mm 정도의 경미한 표면 shrinkage 균열이 발생한 것이 관찰되었다. 기타 육안에 의한 표면균열 검사는 1차타설 부위는 균열이 전혀 없고 2차타설 부위는 거푸집 고정용 tie rod 주위에 약 0.1mm~0.2mm의 미세균열이 일부 있었으나 역시 표면균열로 허용치이내 폭으로 별도의 보완은 필요치 않았다.

### 6. 맺음말

비교적 저렴한 노동인력을 보유한 동남아 현지에서는 고층건물의 재료로도 콘크리트가 매우 보편적으로 사용되고 있는데 당 프로젝트에서는 여기에 트랜스퍼거더라는 특수한 형식의 구조 부재가 추가되어 재료, 시공상으로 많은 연구가 시공 전에 요구되었다. 특히 매스콘크리트로서 기초의 매트부분에 적용하는 경우가 아니고 상부구조에 적용하는 것은 가설구조, 분할 타설, 포스트텐션 등 기초부분과는 다른 여러 제약조건들이 고려되어야 하는 관계로 특별한 주의가 필요하였다. 당 프로젝트의 트랜스퍼거더의 성공적 시공은 효율적인 공사방법에 대한 현장자체의 노력 못지 않게 근간에 이루어진 매스콘크리트 특성 및 콘크리트 재료에 대한 학계의 많은 연구에 힘입은 바 크다고 생각되며 아울러 앞으로 더욱 치열해질 해외 건설시장에서의 우위를 확보하기 위해 실용적인 연구가 지속되기를 기대한다. □