

열차하중을 지지하는 지하철정거장 중간슬래브의 안정성 연구

A Study on Stability of Middle Slabs supporting Train Loads
in Subway Station

우종태*

임성순**

Woo, Jong-Tae

Yhim, Sung-Soon

Abstract

This study present the stability of middle slabs directly supporting train loads in the subway station. According to results of quality confirmation, mixing and curing conditions are good. But, when effects of hydration heat are analyzed, cracks seems to take place because tensile stress is higher than tensile strength in several points of middle slabs. It is found that vibration by train running don't have an effect on cracks in the structure. The structural analysis shows that there is no problem on the stability of structural body, but the design through 3-dimensional analysis is need to consider columns and opening specially in the subway station structures.

Key words : Middle slabs, Stability analysis, Quality confirmation, Vibration influences

1. 서 론

대도시의 급격한 인구증가로 인한 도심부의 패밀화와 이에 따른 교통량의 폭발적인 증가로 노면교통난이 한계에 도달하여 심각한 지경에 이르고 있다. 이러한 노면교통난 해소를 위해 대량 고속 교통수단인 도시철도(지하철, 전철) 건설에 대한 요구가 한층 더 증대하고 있고, 이에 따라 서울 강남지역과 분당신도시의 교통수요를 효율적으로 수송하고 원활한 환승을 위해 지하철3호선

과 분당선이 교차하게 되었고, 여기에 열차를 갈아타는 환승공간을 설치하게 되었다. 환승정거장의 용도를 보면, 지하1~2층은 지하철정거장, 지하3층은 환승공간, 지하4층은 지하3층과 분리된 분당선 정거장으로 설계 및 시공이 이루어 졌으며 구조물 단면도는 Fig. 1과 같다.

지하철 공사중에 열차하중을 직접 지지하는 지하3층의 환승층 슬래브에 발생된 균열에 대해 구조물 품질확인 및 분석, 양생시 콘크리트에서 발생하는 수화열의 영향분석, 진동이 양생중인 콘크

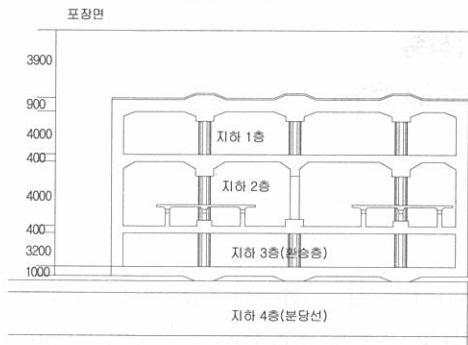
* 정희원, 경북대학 토목설계과 전임교수, 기술사

** 정희원, 서울시립대 도시과학대학 토목공학과 부교수, 공학박사

● 본 논문에 대한 토의를 1999년 12월 31일까지 학회로 보내주시면 2000년 1월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

리트에 미치는 영향, 지하철 운행으로 인한 구조물의 진동영향 분석, 구조체의 구조안전 분석을 실시하여 구조물의 안정성을 연구 검토하고 문제점 및 개선대책을 제시함으로서 향후 이와 유사한 구조물의 설계 및 시공에 도움을 주고자 하는데 그 목적이 있다.

<지하철 3호선 단면도>



<분당선 단면도>

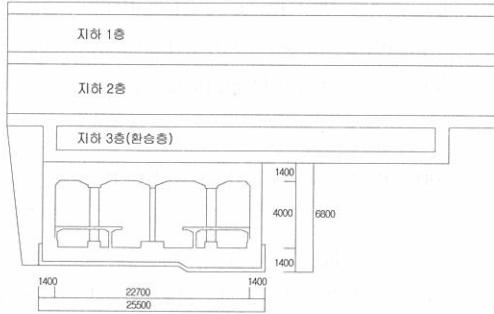


Fig. 1 구조물 단면도

2. 본 론

2.1 구조물의 품질확인 및 분석

2.1.1 균열조사

환승층 슬래브에 발생된 균열의 균열길이, 균열폭, 지하철운행중에 균열폭의 변화, 균열깊이측정은 Fig. 2와 같이 환승층(폭29.5m, 연장49.5m, 두께0.7m) 전체에 대해 조사하였으며, 구조적으로

취약하고 균열이 많은 개구부(출입계단)부근의 9지점을 선정하여 상세히 측정하였다.¹⁾

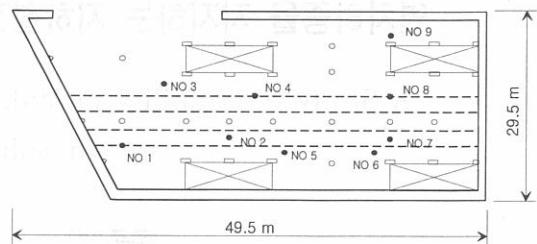


Fig. 2 환승층 슬래브 평면도

1) 균열길이 측정

균열방향은 주철근과 같은 횡방향이며, 균열길이는 1.0~7.5m로 전체27개소에 발생하였다.

2) 지하철 운행중에 균열폭의 변화정도 측정

균열측정기를 사용하여 측정한 결과 균열 폭은 0.05mm로 미세 균열이며, 26일동안 지속적으로 지하철 운행 중에 균열 폭의 변화정도를 측정한 결과 약0.01mm의 증감이 있었다. 이는 실제균열의 증감에 따른 변화이기보다는 측정시 불가피하게 발생되는 측정오차로 분석되었다.²⁾ 따라서 균열폭이 0.05mm이므로 Table 1의 보수여부 판정을 위한 균열 폭의 한계에서 방수성인 경우 0.05mm이하는 보수를 필요로 하지 않는 균열 폭으로 간주할 수 있으나, 향후 구조물의 내구성 감소 예방을 위해 균열부분에 에폭시 등으로 완전하게 보수하여 더 이상의 균열진전이 없도록 하였다.

Table 1. 보수여부 판정을 위한 균열폭의 한계

(일본콘크리트공학협회)

(단위: mm)

구 분	내구성 입장에서 본 경우			방수성 입장에서 본 경우
	심 합	중 간	미 약	
보수를 필요로 하는 균열폭	대	0.4이상	0.4이상	0.6이상
	중	0.4이상	0.6이상	0.8이상
	소	0.6이상	0.8이상	1.0이상
보수를 필요로 하지 않는 균열폭	대	0.1이하	0.2이하	0.2이상
	중	0.1이하	0.2이하	0.3이하
	소	0.2이하	0.3이하	0.3이하

3) 균열깊이 측정

균열깊이는 균열깊이 탐사장비인 초음파속도측정기를 사용하여 측정한 결과 구조물의 균열부가 건전부위 보다 초음파 투과속도가 느린 것으로 나타났으며 이로부터 균열부가 건전한 부위보다 방수성과 수밀성이 떨어짐을 알 수 있다. 추정균열깊이는 0.2~7.0cm로 콘크리트 피복두께를 초과하는 위치도 있는것으로 보이며 위치별 추정균열깊이는 Table 2와 같다.

Table 2. 위치별 추정 균열 깊이

위치	초음파 투과시간(μ sec)		추정균열 깊이(cm)
	균열부	건전부	
1	25.4	17.2	5.4
2	38.7	22.4	7.0
3	20.0	19.2	1.5
4	21.8	22.0	0.2
5	22.8	21.0	2.1
6	28.6	22.8	3.8

2.1.2 철근탐사

타설되어 있는 콘크리트부재 내부에 철근이 설계도면에 맞게 배근되어 있는지의 여부를 확인하기 위해 철근탐사기를 사용하여 균열깊이 측정한 위치에 주철근과 배력철근을 각각 나누어 실시하였다. 측정결과 콘크리트 피복두께는 약 4~6cm이내이고, 철근의 간격은 약 10cm로 설계도면과 일치하였으며, 배력철근의 경우는 일부철근의 배근상태가 다소 불규칙한(배근 깊이차 발생) 구간도 있는 것으로 확인되었다.³⁾

2.1.3 콘크리트 강도

콘크리트 압축강도 시험은 타설후 7일과 28일강도시험으로 나누어 실시하였으며, 균열발생지점에 비파괴 시험법인 반발경도법을 실시하여 비교하였다.

1) 공사시의 강도확인 (파괴시험)

공사시행중 콘크리트 품질관리는 현장레미콘 품질시험기준에 의거 관리시험, 검사시험, 품질시험의 적정성 확인을 실시하였다.

관리시험으로는 슬럼프, 공기함유량, 염화물함유량, 압축강도시험을 실시하였으며 검사시험은 선정 및 관리시험 적정여부, 현장 관리시험 성과 활용 및 불합격 조치사항, 현장시공 품질확인 등을 실시하였고, 품질시험의 적정성 확인은 품질시험의 적기실시 및 성과활용의 적정여부, 사용자재 및 시공상태의 양호여부 등을 확인하였다.

환승층 슬래브의 전체 콘크리트양은 1,050m³으로 1일에 타설 완료하였으며 압축강도 시험결과는 Table 3과 같이 설계기준강도($f_{ck} = 240\text{kgf/cm}^2$) 보다 큰 것으로 나타났다.

Table 3. 콘크리트 타설후의 압축강도 시험치

(단위: kgf/cm²)

재령	개별강도			평균 강도	개별강도			평균 강도	설계 기준 강도
	185	185	197		189	185	197		
7일	185	185	197	189	185	197	197	193	160
	203	191	197	197					
	256	271	260	262	274	281	271	275	
	269	258	276	268	274	281	264	273	
28일	275	266	284	275	276	266	281	274	240
	265	276	272	271	271	281	276	276	
	284	266	272	274	265	285	275	275	

2) 반발경도법에 의한 강도확인 (비파괴시험)

콘크리트구조물의 비파괴시험은 건설중이거나 이미 사용중에 있는 구조물에 대해 그 기능이나 내하력을 훼손하지 않고 구조물의 안전성 및 내구성 평가를 위한 기본자료를 얻는데 목적이 있으며 균열깊이를 측정한 위치에서 슈미트해머에 의한 표면반발경도법으로 측정하였다.

콘크리트 타설후 약 10개월만에 슈미트해머로 측정한 결과를 보면 Table 4와 같이 설계기준강도 240kgf/cm^2 보다 작은 $219\text{kgf/cm}^2 \sim 231\text{kgf/cm}^2$ 로 측정되었다. 이는 측정당시 환승층 슬래브표면이 습기에 젖어있어 이로 인한 강도의 감소를 보인 것으로 콘크리트표면의 습윤상태가 건조한 상태보다 반발도가 약 5% 작아진다는 연구결과를 감안하면 표면의 습기가 없는 상태에서는

좀더 높은 강도를 나타낼 것으로 보인다. 또한 측정값이 비교적 일정한 범위내에 있으므로 강도측정시 골재의 균질성이나 콘크리트의 균질성등 경도에 영향을 미치는 요소들이 양호한 상태인 것

Table 4. 반발경도법에 의한 콘크리트 추정 압축강도

측정위치	측정반발경도(R)	보정치(ΔR)	보정경도(Ro)	추정압축강도(kgf/cm ²)	설계기준강도(kgf/cm ²)
No1	41.94	-3.74	38.20	219.7	240
No2	43.11	-3.65	39.46	231.2	
No4	42.27	-3.72	38.55	222.9	
No8	42.50	-3.70	38.80	225.2	
No9	39.22	0	39.22	229.0	

으로 판단된다.

3) 콘크리트 강도 평가

슈미트해머에 의한 표면반발경도법의 콘크리트 압축강도 측정값은 설계기준강도의 91~97%로 측정되었는데 이 값은 Table 5의 비파괴 시험법을 이용한 현장콘크리트의 강도 평가기준의 보통단계(90%이상)에 해당되므로 배합과 시공이 양호한

Table 5. 비파괴 시험법을 이용한 현장 콘크리트의 강도평가 기준

성능저하 손상단계	설계기준 강도비(%)		보수여부
	슈미트해머와 초음파속도	코아에 따른 압축강도	
I (경미)	100이상	100이상	불필요
II(보통)	90이상	85이상	필요에 따라실시
III(과다)	90미만	85미만	필요

것으로 볼 수 있다.

비파괴시험법의 정밀도 향상을 위해 슈미트해머에 의한 표면반발경도법과 초음파 측정기에 의한 초음파 속도법을 동시에 수행하여 조합법에 의한 강도추정의 신뢰성을 높여야 하며⁴⁾ 강도추정식을 지역별, 도시별로 산정하여 적용하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

2.2 콘크리트 양생시 수화열의 영향분석

시멘트의 여러 성분이 물과 반응하게되면 화학반응을 일으켜 새로운 물질이 생성되면서 콘크리트가 경화하는데 이때 시멘트와 물과의 화학반응을 수화반응이라 한다.

이러한 수화반응은 원래의 시멘트, 물과 수화생성물의 에너지 차에 의해서 수화열이 발생되며, 매스콘크리트와 같이 두께가 큰 구조물의 경우에는 수화열의 방출이 늦어져 내부온도가 크게 상승하고, 이에 따른 체적 팽창이 구속을 받게되면 콘크리트에 인장응력이 발생하게 된다. 이때에 발생한 인장응력이 콘크리트의 인장강도 보다 크게 될 경우 균열이 발생하며 이것을 온도균열이라고 한다.⁵⁾

시멘트가 물과 완전히 반응하면 발열 화학반응에 의해 열이 발생하지만 콘크리트의 열전도율은 상대적으로 작아서 마치 절연체처럼 작용하고 이에 따라 매스콘크리트 구조물에서 수화열은 내부온도를 상승시키게 된다. 즉, 콘크리트의 경화 과정에서 발생하는 수화열에 의해 구조물의 내부온도는 상승하는 반면, 외부에서는 대기와의 대류에 의해 열이 손실되어 커다란 온도증가가 없으므로 내부와 외부의 온도차는 부재의 두께가 두꺼울수록 커진다. 이때 내부와 외부의 온도차에 의해 일어나는 체적변화는 외적인 구속에 대해 단면내에서 응력을 발생시킨다. 특히 온도가 하강하여 수축변형을 일으키는 동안에는 인장응력이 발생되며, 이 응력은 온도가 평형을 유지한 후에도 잔류인장응력으로 남아 구조물에 해로운 영향을 주게 되어 Table 6과 같은 매스콘크리트 구조물에서는 콘크리트 양생시 발생하는 수화열의 영향분석이 필요하다.⁶⁾

2.2.1 해석 유한요소 모델링

콘크리트 양생시 수화열의 영향을 분석하기 위해 정거장 환승층 구조물 중앙과 표면의 절점 및 요소를 구분하여 해석하였다.⁷⁾

1) 경계 조건

경계조건은 Fig. 3과 같이 자유경계조건, 고정경계조건, 벽체의 휨강성을 고려한 경계조건으로

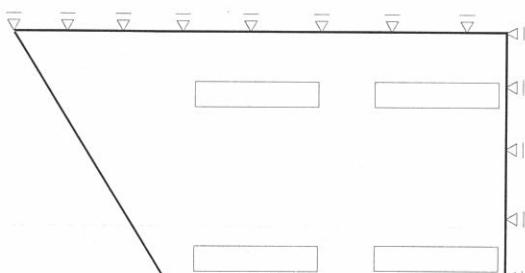
구분하였다. 그림에서 벽체의 휨강성을 고려하는 경우 굵은 선으로 표시하였다.

2) 입력 자료

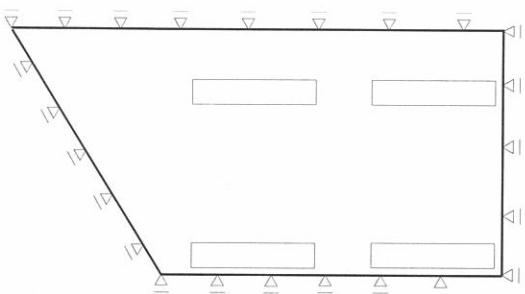
입력된 콘크리트의 물성치는 Table 7과 같고, 타설시 콘크리트의 온도는 18°C , 외부의 기온은 15°C 로 입력하였다.

2.2.2 해석결과 분석

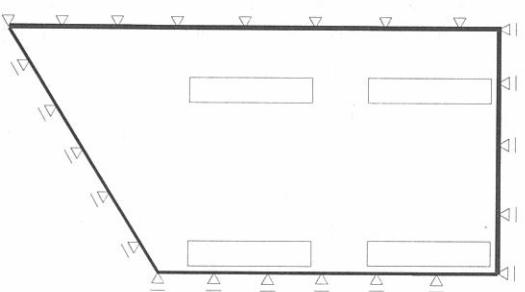
콘크리트 양생시 발생하는 수화열의 영향해석에서 얻은 결과는 경계조건이 변함에 따라 해석 결과가 상당한 차이를 보이고 있는 것으로 나타



(자유경계조건)



(고정경계조건)



(벽체의 휨강성 고려)

Fig. 3 경계조건

났다. 각 경계조건별로 해석한 결과를 보면, 자유 경계조건으로 해석한 결과가 가장 작은 응력값을 나타내고 있으며, 고정 경계조건인 경우가 가장 큰 응력값을 나타내고 있다. 그러나 실제 구조물

Table 7. 콘크리트 재료의 물성

배합표	시멘트량	포틀랜드(조강) 371kg/m^3
	잔골재율	46%
	물-시멘트비	48%
	단위중량	$2,332\text{kg/m}^3$
열적성질	열전도율	$2.5\text{kcal/m hr }^{\circ}\text{C}$
	비열	$0.31\text{kcal/kg }^{\circ}\text{C}$
	열전달율	$10\text{kcal/m}^2 \text{ }^{\circ}\text{C}$
	최고상승온도	$55.36\text{ }^{\circ}\text{C}$
	반응속도	1.29
재료특성	공칭압축강도	240kgf/cm^2
	포아송비	0.167
	열팽창계수	$1 \times 10^{-6} / ^{\circ}\text{C}$

은 자유 경계조건과 고정 경계조건 사이에 존재 하므로 자유 경계조건으로 해석한 응력값은 과소 평가되고 있으며 고정 경계조건으로 해석한 응력값은 과대평가되고 있다고 볼 수 있다.

즉, 실제 구조물의 응력은 벽체의 강성을 고려한 것으로 보아야 하며 벽체의 강성을 고려하여 해석한 결과에서는 콘크리트를 타설한 후 약 6일이 지나면서 내부의 인장응력이 인장강도를 초과하기 시작하고 슬래브중앙부에서는 여러 개소에서 인장응력이 인장강도를 넘어서고 있어 이러한

Table 6. 매스콘크리트의 구분

구 分	정의 및 범위
· 국내 콘크리트 표준시방서 · 일본토목학회 콘크리트 표준시방서	슬래브는 두께가 $80\sim 100\text{cm}$ 이상이고, 하단이 구속되어 있는 벽체는 두께 50cm 이상
· 국내 건축공사 표준시방서	구조물의 크기가 100cm 이상
· ACI 301 위원회	최소 칫수 $2.5\text{ft}(76\text{cm})$ 이상

응력이 균열을 유발시킨 것으로 보인다. 따라서 본 구조물은 수화열에 의해 균열이 발생된 것으로 판단되며, 반면 표면부에서는 인장응력이 인장 강도보다 작게 나타났다. 이렇게 수화열에 의해 발생된 균열은 대개 더 이상 진전하지는 않으나, 예폭시 등으로 완전하게 보수를 하면 더 이상의 균열로 인한 문제는 없을 것으로 판단된다.

2.3 진동이 양생중인 콘크리트에 미치는 영향

거푸집내의 양생중인 콘크리트는 충분한 양생 기간이 지나지 않으면 강도가 저하되며 특히 충격성 진동 등 외력이 가해질 경우 인장응력 발생으로 급작스런 강도저하를 유발할 수 있다. 일반적으로 진동에 대한 콘크리트의 저항력은 강도에 비례하며 양생중인 콘크리트는 강도가 아주 작으므로 콘크리트 타설 또는 양생중일 때는 인접지반에서의 진동, 충격을 주는 작업을 제한하여야 한다.

Esteves는 실험을 통하여 양생중인 콘크리트는 진동균열에 대해 민감한 시기(10~20시간)가 있으며 이 시기의 최저 진동속도는 15.9cm/sec이고 그 이상의 진동속도에서 발생될 수 있는 가시균열폭은 0.04~0.08mm로 제안하였다.⁸⁾ 최근 국내에서 발표된 연구결과에 의하면 진동속도가 0.25cm/sec의 경우는 압축강도가 증가하며 압축강도 증가율이 약 20%정도에 이르고, 진동속도가 0.5cm/sec 이상의 경우에는 압축강도가 감소하는데 압축강도 감소율이 약 5~12%로 양생초기에 진동이 콘크리트 특성에 나쁜 영향을 미치기 시작하는 진동속도의 크기는 0.25~0.5cm/sec이며, 이 결과로 볼 때 약 0.3~0.4cm/sec정도의 진동이 초기 양생중인 콘크리트의 진동 허용 제한치로 판단된다.⁹⁾

환승층 슬래브콘크리트 타설후 양생 기간 중에 상부차량하중이나 발파, 근접시공 등의 직접적인 영향이 미소하여 양생중인 콘크리트에 진동으로 인한 영향은 거의 없는 것으로 판단되며, 국내 원자력발전소, 미수송부, 독일Vibratech의 양생콘크리트의 진동허용기준은 Table 8과 같다.¹⁰⁾

Table 8. 양생 콘크리트 진동 허용기준

1) 국내 원자력발전소

양생 시간	진동 속도(cm/sec)
0시간~12시간	0.254
12시간~24시간	1.27
24시간~5일	1.27~2.54
5일이상	2.54

2) 미 수송부

양생 시간	진동 속도(cm/sec)
0시간~4시간	5.08
4시간~24시간	0.635
1일~3일	2.54
7~10일	12.7
10일이상	25.4

3) 독일 Vibratech

양생시간	진동속도(cm/sec)	설계강도(%)
12시간	0.635	5
24시간	1.27	10
48시간	2.54	20
7일	6.35	45
14일	10.2	80
28일	12.7	100

2.4 지하철운행으로 인한 구조물의 진동영향 분석

1) 측정장비 및 방법

진동측정장비는 수직, 수평, 접선방향의 동시측정이 가능한 장비를 사용하였고, 측정방법은 역승강장에서 도착 5m, 1m거리별로 각각 측정하였으며 계측기기 센서가 3축 방향성분을 동시감지하여 측정기 내부의 연산과정을 거쳐 진동치가 출력되도록 하였다.

2) 측정결과 및 분석

진동측정결과 진동측정거리 5m일 경우 진동치는 0.51cm/sec, 1m일 경우 진동치는 0.36cm/sec로 측정되었다

이와 같이 진동치의 변화는 열차의 진동속도와

차량, 궤도, 구조물등의 변동으로 인한 복합적 요인이 작용한 것으로 판단되어 최대측정값을 분석 자료로 이용하였다.¹¹⁾ 따라서 본구간의 진동치는 최대값인 0.51cm/sec를 이용하여 Table 9의 국내 외의 진동허용치와 Table 10의 진동속도에 대한 인체의 반응을 검토한 결과 열차진동에 의한 구조물의 균열 및 피해는 거의 없고 안전한 것으로 판단되며 진동속도에 대한 인체의 반응수준은 인체가 느낄 수 있는 정도지만 불쾌감을 느끼지는 않으므로 인체에 미치는 영향이 없는 것을 알 수 있다.

Table 9. 각국의 진동허용치와 본 연구에서의 적용치

적용기준	본 현장의 특성	진동허용치 (cm/sec)
서울, 부산 지하철 기준	균열이 있고 결합이 없는 건물	1.0
건설교통부 발파진동허용기준	철근콘크리트 건물	1.0~4.0
노동부 발파작업 진동허용기준	철근콘크리트 건물	1.0~4.0
독일 DIN 4150 기준	균열이 있고 결합이 없는 벌딩	0.8
미국 USBM 기준	회반죽을 쓰지않는 벽에 해당	1.25

Table 10. 진동속도에 대한 인체의 반응

인체의 반응	지반의 진동속도 (cm/sec)
느낄 수 있을 정도다	0.2~0.5
뚜렷이 느낀다	0.5~0.95
불쾌감을 갖는다	0.95~2.0
고통스럽다	2.0~3.25
도저히 참을 수 없다	3.25~5.0

2.5 구조체의 구조안전 분석

환승층 상부슬래브 구조검토는 환승층 상부슬래브에 열차하중을 재하시켜 종방향 단위폭만을 고려한 2차원 라멘구조로 단순화하여 해석한 결과는 다음과 같다.¹²⁾¹³⁾

1) 모멘트 검산

$$M_n = 72.223 \text{ tonf} \cdot m$$

$$M_d = \phi M_n = 61.390 \text{ tonf} \cdot m$$

$$> M_u = 37.966 \text{ tonf} \cdot m \therefore OK$$

2) 전단력 검산

$$S_d = \phi S_c = 37.359 \text{ tonf}$$

$$> S_u = 31.879 \text{ tonf}$$

$$\therefore OK$$

3) 처짐량은 1.38mm

4) 구조검토 결과

구조검토 결과 환승층 상부슬래브의 최대처짐량은 아주 미소하고, 실제 시공된 슬래브의 단면력도 만족하는 것으로 계산되어 구조체의 안전에는 문제가 없는 것으로 나타났다.

다만, 지금까지의 지하철 구조물은 지하에 매설된 박스구조물로 보아 종방향 단위폭만을 고려한 2차원 라멘구조로 단순화하여 해석하였는데 이러한 해석법은 지하에 매설된 박스구조물이 종단방향의 지반, 외력 및 구조물 단면 등이 변하지 않는다면 2차원 라멘구조에 의한 해석은 타당 할 수 있으나, 정거장 구조물은 종방향으로 일정한 간격으로 배치되는 기둥 또는 개구부 등으로 변하는 부분 등은 2차원 해석으로는 정확하게 평가가 어려우며 2차원 해석법에 의해 설계·시공되는 정거장의 경우 예상치 못한 횡방향의 규칙적인 균열이 발생 될 수 있는데 이는 횡방향 주철근에 대해 배력철근 개념만으로 배근된 종방향 철근의 부족이 그 한 원인이라 볼 수 있으므로 정거장의 구조해석은 기둥과 개구부 등을 고려한 3차원 해석이 필요 할 것으로 사료된다.

3. 결 론

열차하중을 직접 지지하는 지하철정거장 중간 슬래브의 안정성에 대하여 구조물 품질확인 및 분석, 콘크리트 양생시 발생하는 수화열의 영향분석, 진동이 양생중인 콘크리트에 미치는 영향, 지하철 운행으로 인한 구조물의 진동영향 분석, 구

조안전 분석결과로부터 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 슈미트해머에 의한 표면반발경도법의 콘크리트 압축강도 측정값은 설계기준강도의 91~97%로 측정되었다. 이는 구조물의 표면이 습기에 젖어 있는 상태에서 측정된 것으로 습윤상태가 건조 상태보다 약5%정도의 강도감소가 있는 것으로 판단되며 측정값은 설계기준강도의 90%이상 되므로 배합과 시공이 양호한 것으로 간주 될 수 있다. 또한 비파괴 시험법의 정밀도 향상을 위해 표면 반발경도법과 초음파속도법을 동시에 수행하여 조합법에 의한 강도추정의 신뢰성을 높이도록 해야 하며, 강도추정식을 획일화할 경우 여러 요인에 의해 강도평가가 곤란하므로 지역별, 도시별로 구체적인 강도추정식 산정 및 적용이 요망된다.
- 2) 콘크리트 양생시 발생하는 수화열의 영향해석 결과 경계조건에 따라 상당한 차이를 보이고 있다. 실제구조물의 응력은 벽체강성을 고려한 것이며 이 방법의 슬래브중앙부 해석결과 여러 개소에서 인장응력이 인장강도를 넘으므로 본 구조물은 수화열에 의해 균열이 발생된 것으로 판단된다.

3) 지반진동의 크기가 $0.25\sim0.5\text{cm/sec}$ 에서 양생 중인 콘크리트 진동허용 기준과 비교할 때 진동 제한치는 $0.3\sim0.4\text{cm/sec}$ 범위인 것으로 판단된다. 지하철운행으로 인한 구조물의 진동영향을 측정한 결과 진동치의 최대값은 0.51cm/sec 로 열차진동에 의한 구조물의 균열 및 피해는 없으며 진동 속도에 대한 이용승객의 인체에 미치는 영향은 거의 없는 것으로 나타났다.

4) 구조해석결과 열차하중으로 인한 구조체의 안전성에는 문제가 없는 것으로 나타났으며 구조해석시 정거장구조물은 2차원 구조해석으로는 정확한 구조평가가 어려우므로 기둥과 개구부를 고려한 3차원 해석으로 설계가 수행되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

1. 서울특별시 지하철건설본부, “지하철 3호선연장 시공감리 보고서,” 대우엔지니어링, 1993
2. 지오컨설팅, “3호선정거장 환승층 계측관리 보고서,” 1993
3. (주)동신주택, “3호선정거장 환승층 내구성 진단 보고서,” 쌍용양회공업(주), 1993
4. 시설안전기술공단, “콘크리트 구조물의 비파괴검사에 의한 진단시험 기준연구,” 1997, pp97~104
5. 정영수외 2인, “대형콘크리트 구조물의 타설 순서에 따른 수화열해석,” 대한토목학회논문집, 제18권 제1-1호, 1998, pp49~58
6. 김진근외 1인, “크리이프와 전조수축영향을 고려한 매스콘크리트에서의 수화열에 대한 온도응력해석,” 콘크리트학회논문집, 제4권 3호, 1992
7. 한국과학기술원, “3호선정거장 환승층 수화열 검토보고서,” 1993
8. Esteves, J.M., “Control of Vibrations Caused by Blasting,” Proceedings of the 20th United State Symposium on Rock Mechanics, 1979
9. 오병환외 1인, “양생중인 콘크리트에 미치는 진동의 영향연구,” 한국구조물진단학회 가을학술발표회 논문집, 1998, pp 119~124
10. 신석호, “암반발파시 진동경감을 위한 발파방식에 관한 연구,” 한양대 석사논문, 1998, pp25~27
11. 서울특별시 지하철건설본부, “지하철 소음·진동 저감대책,” 한국철도기술협력회, 1996
12. 서울특별시 지하철건설본부, “서울지하철 3호선연장 설계기준,” 1989.
13. 서울특별시 지하철건설본부, “지하철 3호선연장 구조계산서,” 삼안건설기술공사, 1993

(접수일자 : 1999. 7. 20)