

지하콘크리트 구조물의 누수량에 대하여

이 정 규*, 이 창 해**, 이 종 인**

1. 서 론

근래에 우리나라에서는 대규모의 지하콘크리트 구조물이 많이 건설되었으며 지금도 전국 곳곳에서 공사가 진행되고 있다. 대표적인 지하콘크리트 구조물은 지하철, 지하차도, 공동전력구, 지하주차장 등이 있다.

이들 구조물의 시설현황을 살펴보면, 서울시는 지하철 제2기 공사가 완공되면 총연장 약 300km가 되며(표 1), 서울시의 지하歩車道는 총 128개소에 총연장 약 25,000m이고, 이중 펌프배수는 90개소에 총연장 약 20,000m에 이른다(표 2).

표 1. 서울시 지하철 건설현황¹⁾

호선	거리(km)	비고
1	9.5	
2	57.3	
3	38.6	
4	34.6	
5	57.9	공사중
6	36.1	공사중
7	45.6	공사중
8	19.7	공사중
계	299.3	

표 2. 서울시 地下歩車道 시설현황²⁾

(1993. 12. 31 현재)

지하보차도수 (개소)	총연장 (m)	배수방식	
		자연	펌프
128	25,338.9	38 개소 5,546.9m	90 개소 19,792m

* 한양대학교 공과대학 토목공학과 교수

** 한양대학교 대학원

또한 전력공동구 설비현황을 보면 183개소에 총연장 194km에 달한다(표 3).

표 3. 공동구 및 전력구 설비현황³⁾ (94. 12 현재)

구조물	개소	연장(km)
배전전력구	100	23
송전전력구	64	93
공동구	19	78
계	183	194

지하구조물은 필연적으로 누수가 발생하기 때문에 지하구조물에는 반드시 배수시설이 설치되어 있다. 그러나 우리나라의 경우, 지하구조물의 배수시설에 대한 설계기준이 일정하지 않으며 이에 대한 상세한 검토도 미흡한 것으로 생각된다. 여기서는 서울시 지하철역의 집수정의 유입자료를 분석하였으며 지하구조물의 누수량 산정기준을 검토하였다.

2. 누수

2.1 누수의 종류

지하구조물에서 발생하는 누수는 콘크리트 벽체를 통한 투수성 누수와 콘크리트 구조물의 균열을 통한 균열누수로 나누어진다.

투수성 누수는 이론적으로는 Darcy의 유속방정식을 이용하여 누수량을 구할 수 있다. 실험에 의하면 콘크리트의 투수계수는 $10^{-10} \sim 10^{-11}$ m/sec 정도⁴⁾이므로 실제로 투수성 누수에 의한 누수량은 극히 미비하다고 생각되며, 대부분의 누수는 균열누수라고 볼 수 있다.

2.2 누수의 원인

지하구조물의 누수원인은 대부분이 부적절한 설계나 시공에 의하여 생긴 균열, 즉 지나친 신축 이음간격, 수축 및 온도철근량의 부족, 과도한 하중재하, 수화열에 의한 온도상승 등에 기인한 균열⁵⁾때문이며, 그외에 수밀재나 방수재료의 시간경과에 의한 열화현상의 결과로 누수가 발생한다⁵⁾.

3. 자료수집

우리나라는 지하구조물의 누수량에 대하여 정기적이고 체계적인 실측을 하고 있지 않기 때문에 누수량에 대한 정밀분석은 할 수 없었다. 그러나 서울시 지하철 설계에 참고자료로 사용하기 위하여 서울시 지하철공사에서 실시한 집수정유입량 현황자료(91. 3~92. 3 측정실시)를 중심으로 개략적인 분석을 해보았다.

이 자료는 관측치의 정확성과 신뢰성이 높다고는 생각되지 않지만 우리나라 지하철의 터널구간에서 발생한 누수량에 대한 최초의 중요한 실측자료라고 생각된다.

4. 분석 및 고찰

4.1 누수량 산정기준

지하구조물 내면으로부터 발생하는 누수는 지하수위의 고저, 하천과의 근접정도, 구조물의 설계 및 축조방법, 지질 및 토압 등에 따라 다르므로 정확한 누수량을 측정하기는 곤란하다⁷⁾

누수량을 산정하는 이론적인 근거는 없으며 기존구조물의 누수실적을 고려하여 기준을 정하는 것이 보통이다. 지금까지 적용된 누수량의 산정기준은 표 4와 같다.

표 4. 누수량 설계기준

구 분	누수량 산정 기준(m ³ /min/km)	비 고
서울지하철	2.0	서울시 지하철 6호선 ⁸⁾
한전전력구	1.6	154kV 전력구 건설공사 ⁹⁾
서울지하차도	1.2	경인국도 지하차도 ¹⁰⁾
일본지하철	1.2	지하철건설 핸드북 ¹¹⁾
"	2.0	일본 동경 지하철 3호선 ¹²⁾

집수정의 규모와 펌프용량을 결정하기 위하여 국내 지하구조물에 적용하는 누수량의 설계기준을 살펴보면, 1.2, 1.6, 2.0 m³/min/km의 3가지가 있으며, 어느 것이고 설계기준을 정한 근거나 적용방법 등이 명시되어 있지 않아서 실제로 지하구조물의 집수조와 펌프용량을 설계할때 기준적용에 혼란이 올 수 있으므로 누수량산정에 대한 적절한 기준과 적용방법이 정해져야 할 것이며, 동시에 집수정에 유입되는 유입량에 대한 정밀한 관측을 실시하여 국내에 적용할 수 있는 누수량산정기준을 재검토하여 적절한 배수시설 규모를 결정해야 할 것이다.

4.2 유입자료의 분석

서울시 지하철의 집수정 유입자료를 각 호선별로 고찰해 보면 다음과 같다(표 5 참조).

- 1) 지하철 1호선의 누수량은 0.0481~0.273m³/min/km로 설계기준의 2.41~13.7%, 펌프이용률은 1.43~8.00% 이다.
- 2) 지하철 2호선의 누수량은 아현역을 제외하면 0.036~0.391m³/min/km로 설계기준의 1.8~19.6%이고 펌프이용률은 0.11~5.99% 이다.
- 3) 지하철 3호선의 누수량은 안국역이 2.52m³/min/km로 설계기준을 초과하고 있으나, 그외의 곳은 0.102~1.811m³/min/km로 설계기준의 5.1~90.6%이고 펌프이용률은 1.00~45.1% 이다.
- 4) 지하철 4호선의 누수량은 길음역이 설계기준을 초과하고 있으나, 그외의 곳은 0.0338~1.97m³/min/km로 설계기준의 1.69~98.5%이고 펌프이용률은 0.71~33.9% 이다.

표 5. 서울 지하철의 집수정 유입현황¹²⁾

(91. 3~92. 3)

호선	역 사 ^{a)}	유입량 ^{b)} (m ³ /min)	집수구간 ^{c)} (m)	누수량 (m ³ /min/km)	펌프이용율 ^{d)} (%)
1	시청	0.06	934	0.0642	3.33
	종각	0.04	832	0.0481	1.43
	종로3	0.24	1073	0.224	8.00
	종로5	0.217	795	0.273	6.29
	동대문	0.164	763	0.215	4.32
	청량리(채기)	0.25	998	0.251	3.85
	청량리(서부)	0.03	437	0.0686	7.32
2	종합운동장	0.16	730	0.219	2.42
	종합운동장(본선)	0.20	753	0.66	2.67
	삼성	0.20	1344	0.149	1.75
	선릉	0.24	1446	0.166	2.11
	교대	0.25	985	0.254	2.78
	서초	0.03	785	0.0382	0.33
	서울대	0.06	1045	0.0574	0.63
	봉천	0.38	1000	0.38	2.53
	문래	0.023	1225	0.0188	0.21
	영등포구청	0.034	1562	0.0218	0.37
	합정	0.029	368	0.0788	0.11
	홍대	0.67	1713	0.391	2.66
	신촌	0.463	1260	0.363	2.97
	아현	1.043	1270	0.815	5.99
	충정로	0.011	252	0.0437	1.22
을지3	0.015	417	0.036	2.63	
을지4	0.127	678	0.187	1.46	
동대문운동장	0.112	1128	0.0993	1.24	
3	연신내	1.73	2014	0.844	16.00
	불광	0.16	1246	0.128	3.56
	녹번	0.19	765	0.248	4.22
	독립문	1.09	1292	0.844	10.70
	경복궁	2.27	1963	1.16	14.80
	안국	1.76	698	2.52	45.10
	종로3	2.45	1441	1.70	23.30
	을지3	0.84	650	1.29	21.50
	충무로	0.38	935	0.406	6.33
	동대입구	1.47	811	1.811	19.30
	약수	0.35	840	0.417	10.60
금호	0.27	952	0.284	5.29	

(표 5. 계속)

호선	역 사 ^{a)}	유입량 ^{b)} (m ³ /min)	집수구간 ^{c)} (m)	누수량 (m ³ /min/km)	펌프이용율 ^{d)} (%)
3	신사	0.06	583	0.103	1.39
	잠원	0.06	1438	0.0417	1.00
	고속터미널	0.5	1568	0.319	5.20
	교대	0.8	1466	0.546	12.70
	남부터미널	0.08	783	0.102	2.96
	양재	0.3	1180	0.254	9.68
4	미아	0.07	546	0.128	2.92
	미아3	0.7	2146	0.326	10.60
	길음	2.1	826	2.54	33.90
	성신여대	0.34	1316	0.258	7.56
	한성대	0.14	956	0.235	5.83
	혜화	0.68	900	0.756	13.30
	동대문	1.83	1515	1.21	17.00
	동대문운동장	0.95	1187	0.800	13.20
	명동	0.49	791	0.619	9.61
	회현	0.49	249	1.97	23.30
	서울역	0.6	832	0.721	14.30
	숙대입구	0.15	983	0.153	3.85
	삼각지	0.9	1461	0.616	13.60
신용산	0.03	888	0.0338	0.71	

註 :

- a) 역사는 집수정의 위치와 같거나 가까운 위치에 있다.
b) 유입량은 91. 3 ~ 92. 3에 지하철공사에서 실측한 자료중에서 최대값을 택하였다.
c) 집수구간은 집수정의 위치 도면에서 실측한 것이다.
d) 펌프이용율은 유입량을 펌프설비용량으로 나눈 값이다.

이상에서 알 수 있는 바와 같이 지하철 1,2호선의 누수량은 설계기준에 비하여 아주 작은 값에 불과 하였고 펌프이용률도 극히 낮았으나, 지하철 3,4호선의 누수량은 1,2호선에 비하여 누수량이 상당히 많이 발생하고 있으며, 특히 누수량이 설계기준보다 큰 곳이 2곳 이고 1m³/min/km보다 큰 곳이 8곳 이나 된다. 이것은 3,4호선을 설계할때 지하수를 배수처리하는 것으로 설계하였기 때문 이라고 생각된다.

서울시 지하철의 누수량을 일본의 경우와 비교해 보면, 기존 지하철의 실측치는 0.8~1.5m³/min/km⁷⁾이므로, 지하철 1,2호선은 일본의 실측치보다 상당히 작은 값 이지만 3,4호선은 누수량값의 분포범위가 넓고 1.5m³/min/km를 초과하는 곳도 5곳이나 있었다. 따라서 지하구조물의 누수량 산정기준을 올바르게 정하기 위해서는 무엇보다도 먼저 집수정 유입량에 대한 정밀관측 이 필요하다고 생각되며 특히 지하철 3,4호선의 누수량이 많은 곳은 그 원인을 정밀조사하여 지하

철의 안전성과의 관계도 밝혀야 할 것이다. 또한 우리나라의 설계기준에는 집수정 사이의 거리에 대한 기준이 없는데 일본에서는 집수정 사이의 거리를 1km 이내로 정하고 있다. 우리나라에서도 이에 대한 기준이 마련되어야 할 것으로 생각된다.

5. 결 론

우리나라에 건설된 지하콘크리트 구조물의 누수량 산정기준을 검토하였으며 서울시 지하철의 집수정 유입자료를 분석하였다. 본 연구에서 얻은 결론을 요약하면 다음과 같다.

- 1) 국내 지하구조물의 누수량 산정기준이 구조물에 따라 각기 다르며 누수량 산정기준을 정한 근거가 미약하다.
- 2) 서울시 지하철의 집수정 유입량과 펌프이용률은 1,2호선의 경우 설계기준에 비하여 40% 이하로 아주 작고, 3,4호선은 유입량의 변동범위가 상당히 클 뿐 아니라 설계기준을 초과하는 곳도 발견되었다.
- 3) 지하철 1,2호선과 3,4호선의 누수량이 다른 것은 지하철 설계시 지하수의 처리방법이 다른 이유도 있겠으나, 누수량이 과다한 곳은 정밀조사가 필요하다.
- 4) 국내 설계기준에 집수정 간격에 대한 기준설정이 필요하다.
- 5) 누수량 산정기준은 실측치를 근거로 정하는 것이 보통인데 국내에는 정밀한 실측자료가 거의 없으므로 이를 위하여 앞으로 누수량에 대한 정밀관측이 필요하다.

참고문헌

1. 서울 지하철 건설현황, 서울특별시 지하철건설본부, 1993
2. '94 주요업무 통계, 서울특별시 도로국, 1994
3. '95 배전실무교재, 한국전력공사, 배전처, 1995
4. 氏家勳, “實構造物におけるかぶりコンクリートの吸水性,透水性,透氣性の測定方法”, 콘크리트工學, Vol. 32, No. 12, 1994, 12
5. Kenchiku Gijutsu, 増刊 Vol. 4, 1991, 4, pp.243-271
6. 村田二郎, “コンクリート技術100講”, 山海堂, 1990, pp.219-223
7. 遠藤浩三, 田中康男, 三好迪男, 西野保行, “地下鐵建設ハンドブック”, 山海堂, 1973
8. 서울 지하철 6호선 설계기준, 서울특별시 지하철 건설본부, 1992. 8
9. 154KV 신당-한남간 地中 T/L 전력구 건설공사 실시설계보고서, 한국전력공사 지중선사업처, 1993. 8
10. 경인국도 지하차도 건설공사 실시설계 종합보고서, 서울특별시, 1990. 6
11. 지하철 시공위원회(편역), 地下鐵設計와 施工, 建設研究社, 1979
12. 서울시 지하철 건설본부와 서울시 지하철공사에서 개인적으로 자료수집(1995)
13. 공릉 1. 택지개발사업지구 관련시설공사(지하차도) 기본 및 실시설계 보고서, 서울특별시 도시개발공사, 1994. 3