

서울 지하철 9호선의 개착구조물에 대한 가치공학 평가

THE VALUE ENGINEERING REVIEW OF THE CUT AND COVER TUNNEL FOR THE SEOUL SUBWAY LINE 9

송 석 준*
Song, Suk-Jun

구 자 갑**
Koo, Ja-Kap

김 은 겸***
Kim, Eun-Keum

ABSTRACT

The selected structure for the value engineering review is one section of cut and cover tunnel for Seoul Subway Line 9. The primary focus of the review is on the optimisation of the structures to save cost on the existing Line 9 contracts through variation of the design criteria as it affects the permanent works.

This is to be achieved through comparison with design criteria for other selected international subways. Criteria resulting from the review must not compromise public safety and durability for the 100 year design life.

1. 서 론

지하철(도시철도)의 기원은 1863년 영국 런던에서 6km짜 지하터널로 건설함으로써 시작되었으며, 우리나라는 그 후 110년 뒤인 '74. 8. 15일 서울지하철 1호선이 개통됨으로써 지하철 시대부터 맞이하였다.

서울지하철 1호선을 건설한 이래로 30여년간 8개노선을 건설하여 운영하고 있으며 서울시의 대중교통수단으로 중요한 위치를 차지하고 있다. 현재 건설중인 서울지하철 9호선 1단계 사업은 김포공항에서 강남대로까지 연장 25.5km, 정거장 25개소, 차량기지 1개소를 건설하는 사업으로 2001년 말에 착공하여 2007년말 개통을 목표로 추진하고 있다. 지하철 9호선은 그간의 건설경험과 설계기준을 근간으로 대안 및 입찰입찰방법으로 반주를 하였으나 공사입찰 참가회사는 공사의 수주(높은 설계집수위등)를 위하여 자체에서 준비한 선계에서 적정수준 이상의 시설을 계약에 반영하는 경향이 있어 공사계약 후 개착구조물에 대하여 가치공학(VE ; Value Engineering)을 도입하여 최적의 경제선계가 되도록 조정하였다.

여기서 적용된 가치공학은 개착BOX구조물 본체설계에 영향을 줄 수 있는 설계기준을 변화시켜 분석하여 9호선 공사비의 절감을 목적으로 하고 있으며 이러한 목적을 달성하기 위하여 국내·외의 지하철 설계기준을 비교·검토 및 분석하였으며 본 가치공학 도입의 결과로써 제안되는 개선 사항들은 지하철 구조물의 100년 이상의 내구년환과 내진을 고려한 공공의 안전성 및 내구성을 만족시키는 것을 근간으로 하였다. 또한 본 논문에서 설계유형 비교에 적용된 외국 지하철은 다음과 같다.

* 서울산업대학교 철도대학원 박사과정, 서울시 지하철건설본부 설계과장, 정회원

** 수성엔지니어링 근무

*** 서울산업대학교 교수, 정회원

- 홍콩 : MTRCL(Mass Transit Railway Corporation Ltd), KCRC(Kowloon-Canton Railway Corporation)
- 싱가포르 : LTA(Land Transport Authority), • 방콕 : MRTA(Metropolitan Rapid Transit Authority)
- 런던 : LUL(London Underground Ltd), • 일본 : 동경도 12호선의 10개 노선

2. 연구방법

가치공학(VE) 검토는 서울 지하철 9호선과 외국 지하철에서 사용한 설계기준 검토부터 시작되었다.

이 검토를 통하여 외국 지하철에서 사용한 기준보다 과대하게 사용된 설계기준과 인자들을 비교하고 인자들을 변화시킨 매개변수해석을 수행하여 인자들의 변화에 따른 결과를 분석하고자 한다.

검토에서 매개변수해석에 사용한 설계기준과 인자는 다음과 같다.

- 하중계수 및 하중조합 • 지하수위
- 최소온도철근량 • 슬래브 부재의 전단설계방법
- 길이방향 길이 • 콘크리트 및 철근 강도

한 개의 본선단면에 대하여 콘크리트(철근량은 변화시키지 않고 산정) 및 철근(콘크리트양은 변화시키지 않고 산정)에 대한 인자들을 변화시킨 결과를 분석하고 서울 지하철 9호선의 설계에 적용한 품목별 단위공사비를 사용하여 절감가능한 최대비용을 산정하였다.

매개변수 분석 및 절감가능비용 산정결과는 표7에 요약되어 있다.

3. 서울지하철 9호선 설계기준과 외국 지하철 설계기준 비교

3.1 하중계수(load factors) 및 하중조합(load combination)비교

표1) 목적 구조물에 대한 하중계수

구 분	고정하중(D)	활하중(L)	토압 및 지하수압(H)	비고
서울지하철 9호선	1.54	1.70	1.80	1.54D+1.7L+1.8H
KCRC(홍콩)	1.40	1.60	1.40	
MTRCL(홍콩)	1.40(시공중 1.20)	1.60	1.40	
MRTA(방콕)	1.40	1.60	1.40	
LTA(싱가포르)	1.40	1.60	1.40	
LUL(런던)	1.40	1.60	1.40	

※ ACI Code (NEW YORK SUBWAY) ; 고정하중 1.2, 활하중 1.6, 토압/수압 1.6

위 표는 목적구조물의 설계를 위한 지배 하중조합이다. 서울 지하철 9호선에 사용된 하중 계수들이 비교적 높음을 알수있다. 더 낮은 하중 계수들이 사용된다면, 지하철 구조물에 적용되는 하중(예를 들어, 휨모멘트나 전단력)은 감소될 것이고, 사용 구조 재료의 양도 감소할 것이다.

3.2 부력 및 지하수위(floatation and ground water levels) 비교

현장시추조사결과 평지하수위가 GL-8.7m~11.3m를 보여주고 있으나 시공사에서 설계한 지하수위는 GL-1.0m를 적용하였다. 비교된 외국지하철 설계에서는 아래 표와 같이 2~3개의 설계수위를 적용하였다.

표2) 부력에 대한 안전율

구 분	부력검토를 위한 안전성의 부분적 요소					안전율	
	하향 하중			저항력			
	구조자중	비구조자중	및채용제하중	토사마찰	암반 마찰		
서울지하철 9호선	1.00	0.00	1.00			1.20	
KCRC (홍콩)	정상	1.10	1.10	1.30	3.00	-	1.00
	재해	1.03	1.03	1.20	1.50	-	1.00
MTRC (홍콩)	정상	1.10	1.10	1.30	3.00	2.00	1.00
	재해	1.03	1.03	1.20	1.50	1.50	1.00
	극한	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.00
MRTA (방콕)	정상	1.05	1.00	1.30	3.00	-	1.15
	극한	1.00	1.00	1.00	2.00	-	1.05
LTA(싱가포르)	1.10	0.00	1.30	2.00	-	1.15	
LUL(런던)	정상	1.10	1.10	1.30	3.00	-	1.00
	재해	1.03	1.03	1.20	1.50	-	1.00

* 정상 / 운행 상태(normal / operation condition) :

정상/운행 상태는 구조물의 설계수명기간 동안 주위 해양수위의 기후적 상승 및 조수의 변동은 고려한 구조물 위치에서의 평수위를 사용한다.

** 재해 상태(accidental condition) :

재해 상태는 구조물의 설계수명기간 동안 발생가능하나 초과가능성이 낮은 재현주기를 갖는 지하수위를 사용한다. 이 때 조수 변동이라든지 해양수위의 장기간 상승, 강우와 폭풍의 영향, 수해 등의 사고적 영향과 같은 조합들을 고려한다.

*** 극한 상태(extreme condition) :

극한 단계는 지하수위를 평가하는 데 있어서 불확실성의 요소를 반영하며 계획 지역에서 가장 신뢰할 수 없는 수위를 사용한다.

부동 홍수위에 대한 발생가능성 및 재현주기 및 지하수위의 영향을 평가할 수 있도록 상세한 홍수 평가가 이루어져야 한다.

3.3 긴조수축 및 온도에 대한 최소철근비 비교

종방향 배력 철근량은 외부온도와 긴조수축제어에 필요한 최소철근비 규정에 지배된다.

우리나라의 계절별 온도변화가 크므로 최소온도 철근비가 크게 적용될 수 있으나 지중구조물은 지중구조물이라는 특성이 고려되어야 한다.

표3) 온도에 대한 최소철근비

구 분	설계단면적 Ag에 대한 최소철근비(%)
서울지하철9호선	· 설계단면적의 0.40%
서울지하철7, 8호선	· 설계단면적의 0.18% (fy=400N/m ²), 설계단면적의 0.20% (fy<400N/m ²)
KCRC(홍콩)	· 압축부재에서는 설계단면적의 0.40%(철근의 항복강도 fy=460N/mm ²)*
MTRCL(홍콩)	· 일반적인 슬래브에서는 설계단면적에 0.13%(철근의 항복강도 fy=460N/mm ²)*
MRTA(방콕)	· 설계단면적에 0.20%(철근의 항복강도 fy=390N/mm ²)#
LTA(싱가포르)	· 최소철근비규정을 적용하지 않음.
LUL(런던)	· 부재두께 > 600mm : 벽-전후면에서 각각 840mm ² /m, 슬래브-상하면에서 각각 960mm ² /m · 부재두께 < 600mm : 벽-전후면에서 각각 0.14%, 슬래브-상하면에서 각각 0.16%

1. # BS 5400에 근거함

2. * BS 8110에 근거함

3.4 콘크리트 설계강도 비교

고강도 콘크리트의 사용은 높은 축방향하중을 받는 기둥같은 부재에 유리하다. 그리고 높은 품질의 콘크리트의 사용으로 구조물의 방수특성과 내구성에 유리하다. 고강도 콘크리트의 타설시에 시공관리에 더 유의하여야 하며 콘크리트 생산비도 약간 증가하게 된다.

표4) 콘크리트 설계강도

구 분		콘크리트 실린더 강도, $f_{ck}(N/mm^2)$		
		벽	슬라브	내부 기둥
서울지하철 9호선	본선 개착	24	24	24
	정거장	27	27	27
외국지하철		32(40)*	32(40)*	32(40)*

1. 외국지하철 : KCRC(홍콩), MTRCL(홍콩), MRTA(방콕), LTA(싱가포르), LUL(런던)임
2. ()*=은 압축 실린더 강도(compressive cylinder strength) 시험에 따른 콘크리트 설계강도를 나타내고 이것은 대략적으로 큐브 강도(cube strength) $40N/mm^2$ 과 거의 같다.

3.5 철근 설계강도 비교

지하구조물은 고층건물의 부재에 비해 높은 하중을 받게 되는데 이는 상재토사와 지하수의 무게가 높기 때문이다. 외국에서는 이러한 높은 하중에 견딜 수 있도록 고강도 콘크리트에 큰 직경의 고강도 철근을 사용하여 시공재료 비용을 절감하고 있다.

표5) 철근 설계강도

구 분		철근항복강도 $f_y(N/mm^2)$		
		주철근	스터립	배터철근
서울지하철 9호선	본선 개착	300	300	300
	정거장	400	400	400
외국지하철		460(※MRTA : 490)	460	460

3.6 주철근의 굵이음길이 비교

철근의 최소 굵이음길이와 정착길이는 콘크리트와 이형철근의 부재에 지배된다. 콘크리트강도가 높으면 요구되는 굵이음길이는 줄어들테지만 철근이 견뎌야 하는 힘이 커지면 요구되는 굵이음길이는 길어진다. 고강도콘크리트와 고강도 철근을 같이 사용하면 굵이음길이와 정착길이는 절감될 수 있다.

표6) 주철근의 굵이음 길이

구 분		철근직경 [mm]	일반적인 굵이음길이	
			인장이음	압축이음
서울 지하철 9호선	본선 개착	13,16,19,22,25, 29,32	- $f_{ck}=24N/mm^2$, $f_y=300N/mm^2$ 일 때 · D19mm이하인 철근 : 50d 사용 · D22mm이상인 철근 : 62d ~ 64d 사용	- $f_{ck}=24N/mm^2$, $f_y=300N/mm^2$ 일 때 22d
	정거 장		- $f_{ck}=27N/mm^2$, $f_y=400N/mm^2$ 일 때 · D19mm이하인 철근 : 63d 사용 · D22mm이상인 철근 : 77d ~ 80d 사용	- $f_{ck}=27N/mm^2$, $f_y=400N/mm^2$ 일 때 28d
외국지하철		6,8,10,12,16,20, 25,32,40,50	- $f_{ck}=32N/mm^2$, $f_y=460N/mm^2$ · 이형철근 : 46d 사용	- $f_{ck}=32N/mm^2$, $f_y=460N/mm^2$ · 이형철근 : 32d 사용

4. 설계기준 및 영향 인자 검토결과

본 장에서는 지하철근9호선 본선개착박스 구조물에 대한 설계 기준 검토를 통한 개선사항과 함께, 설계 기준 및 구조적 영향 인자를 변화시켜 수행한 매개변수분석의 주요 검토 결과를 요약하였다.

표7) 설계 및 재료 매개변수별 비용 비교

(단위:천원)

구분	매개변수	검토내용	
① 설계 기준 및 방법	1. 하중조합의 하중계수들의 감소: · 고정하중: 1.54에서 1.40 · 활 하 중: 1.70에서 1.60 · 토압/수압하중: 1.80에서 1.40	- 콘크리트량 고정시→철근 절감량	· 전체 철근의 14.0% · 1,011kg/m, 768천원/m
		- 철근량 고정시→콘크리트 부피 절감량	· 전체 콘크리트의 23.8% · 10.4m ³ /m, 598천원/m
		- 비용 절감의 가능한 비율 (%) · 100%×[최대 비용절감/(콘크리트 + 철근 전체 비용)]	· 768천원/7,959천원=9.6% ※(768+598)/7,959=17.2%
	2. 지하GI,-1m에서 지하 -6m로 설계저하수위를 낮추었을 때	- 콘크리트량 고정시→철근 절감량	· 전체 철근의 6.1% · 437kg/m, 332천원/m
		철근량 고정시→콘크리트 부피 절감량	· 전체 콘크리트의 15.0% · 6.6m ³ /m, 378천원/m
		- 비용 절감의 가능한 비율(%) · 100%×[최대 비용절감/(콘크리트 + 철근의 전체 비용)]	· 378천원/7,959천원=4.7% ※(332+378)/7,959=8.9%
	3. 0.004×b×h대신에0.004×b×50으로 변화하였을 때 배력 철근 사용 절감	- 철근의 절감	· 전체 철근의 8.4% · 602kg/m, 457천원/m
		- 비용 절감의 가능한 비율(%) · 100%×[최대 비용 절감/(콘크리트 + 철근의 전체 비용)]	· 457천원/7959천원=5.7%
	4. 진단 철근 감소 1) 0.8 Vc 미만의 슬라브에서의 진단철근 없음 2) 벽과 기둥에 대한 진단성능을 높이기 위한 목적 고려 3) 진단철근을 제거하기 위한 슬라브 두께 증가	- 진단 철근 절감	· 전체 철근의 3.8% · 58kg/m, 36천원/m
		- 비용 절감의 가능한 비율(%) · 100%×[최대 비용절감/(콘크리트 + 철근의 전체 비용)]	· 36천원/7,959천원=0.5%
- 철근 절감		· 전체 철근의 2.4% · 169kg/m, 128천원/m	
5. 접이음 길이 ※BS8110 계산방법을 사용	- 비용 절감의 가능한 비율(%) · 100%×[최대 비용절감/(콘크리트 + 철근의 전체 비용)]	· 128천원/7,959천원=1.6%	
	비용에서의 가능한 % 변화 소계	22.1%	
② 재료 특성	1. 고강도 콘크리트 사용 24N/cm ² → 27N/cm ² 에서 32N/cm ² 까지의 콘크리트 강도 변화	- 비용면에서의 절감은 없지만, 내구성계서의 구조적인 이유로 고려될 수는 있다. 그리고 철근까지의 콘크리트피복두께 감소가 고려될 수 있다.	
		- 내부기둥 규모에서의 상당한 감소가 가능하고(30%-40% 절감)기둥 규모에서의 감소는 경거장 계획에 유리하다.	
	2. 고강도 철근사용 300N/cm ² 에서 400N/cm ² 까지의 절강 단계 변화	- 콘크리트량 고정시→철근 절감량	· 전체 철근의 14.3% · 1,029kg/m, 712천원/m
		- 철근량 고정시→콘크리트 부피 절감량	· 전체 콘크리트의 21.9% · 9.6m ³ /m, 482천원/m
		- 비용 절감의 가능한 비율(%) · 100%×[최대 비용절감/(콘크리트 + 철근의 전체 비용)]	· 712천원/7,959천원=9.0% ※(712+482)/7,959=15%
비용에서의 변화가능한 % 소계	9%		
비용에서의 변화가능한 % 총계(설계 기준, 설계방법 및 재료특성 변화)			31.1%

4.1 하중 계수 및 하중 조합

서울지하철 9호선 설계 기준의 하중 계수는 1999년에 간행된 ACI 318-99Code를 토대로 규정된 것으로 본 연구에서 검토한 영국설계기준(BS)을 기초하는 외국지하철 설계기준과 비교하면 고정하중에 대한 하중 증가 계수는 10%, 수압 및 토압에 대한 하중 증가 계수는 28%만큼 크게 규정되어 있다. 2002년 ACI Code와 비교하면 고정하중 및 수압/토압의 경우 28%, 활하중의 경우 6.3%만큼 크게 규정되어 있다. 하중 증가 계수는 하중 영향의 정확성, 구조물의 공용 수명 내 하중 변화량 및 해석의 정확도에 영향 받는다는 사실을 주목해야 한다. 그러므로 하중 증가 계수의 변경은 공사시방서와의 일관성 및 미래에 증가할 수 있는 하중에 대한 예측 및 관리 가능성 내에서 결정되어야 한다. 예상한 바와 같이 하중 증가 계수의 변화는 철근 및 콘크리트, 또는 두 가지 모두에 대한 비용을 감소시킨다. 최대 절감 가능 비용은 철근을 감소시킬 때 발생하는 데, 물량으로 14%~23.8%, 구조물 전체에 대한 비용으로 환산할 경우 대략 9.6% 절감 시킬 수 있을 것으로 나타났다. 그러므로 2002년 ACI 318-02Code를 토대로 하여 사하중에 대한 하중 증가 계수는 1.2, 활하중 및 수압과 토압에 대한 하중 증가 계수는 1.6을 적용함으로써 국내 지하철 설계기준과 ACI 318-02Code와의 연관적 일관성을 유지하는 것이 바람직하다.(계속연필필요)

4.2 지하수위

서울지하철 9호선 설계규정에 따르면 실제 지하수위와는 무관하게 지표면으로부터 1m 아래에 지하수를 위치시키도록 규정하고 있다. 지하수위보다 토피가 상당히 짙을 경우, 앞서 언급한 높은 하중계수와 조합되면 과도한 설계력을 유발하게 된다. 외국 지하철의 경우, 보통 수위(Normal GWL) 및 공용중 수위(Operational GWL)로 나누어 산정하고 한계상태설계법을 적용하여 구조물을 설계한다. 부력검토의 경우, 공용중(Operational) 수위, 재해(Accidental) 수위, 극한(Extreme) 수위 별로 다른 수위를 산정하고 발생 가능성에 따라 각각의 다른 계수를 적용, 검토하는 위험도에 근거한 접근방법이 사용된다. 매개변수해석에 지하수위를 지표면 아래 6m를 적용하였으며 실측수위와 지반조건을 검토하여 정하였다. 지하수위 감소 영향을 반영한 매개변수분석 결과, 철근량은 6.1%가량 감소되어 구체 전체에 대한 비용으로 환산할 경우 4.7% 감소된 것으로 예측된다. 그러므로 절가장 및 분선 주위 여러 지점들에서 지하수위 데이터를 지속적으로 측정하여 추적하고 그를 토대로 홍수예측을 수행하는 것이 바람직하다. 만약 이러한 데이터들이 존재하지 않을 경우, 지하철 예정 선형에 대한 지하수위 데이터를 설계 전에 얻기 위하여 앞서 언급한 조사 및 예측이 미리 수행되어야 한다. 이러한 조사 및 예측은 계절 및 조수간만의 차, 지질학적 조건 등이 반드시 고려되어야 한다. 결론적으로 부력검토는 하중 증가 계수의 변경과 함께 위험도에 근거한 접근방법이 사용되어야 하며, 계절 및 조수의 영향을 고려하기 위하여 장기간 실제 구조물 위치에서 측정된 지하수위에 부합하는 설계 지하수위가 제시되어야 한다.

4.3 슬래브의 최소 배력/온도 철근량

서울지하철 9호선 설계기준에 따르면 배력 및 온도 철근 산정시 부재 전체 단면적을 사용하도록 규정되어 있다. 이 철근의 주된 역할은 횡방향, 즉 배력 및 온도철근의 직각방향으로 발생하는 균열을 방지하기 위하여 배근된다. 따라서 서울지하철 9호선의 구조물들 대부분, 온도 및 배력 철근이 종방향, 즉 주철근의 직각방향으로 배치된다. 외국 지하철의 설계기준을 살펴보면, 부재 전체 단면적에 대한 배력 및 온도 철근비가 슬래브의 경우 0.13%~0.2%로 0.4%인 서울 지하철 9호선 설계기준에 비해 상당히 낮은 편이다. 일부 외국 지하철 설계 기준에서는 슬래브의 배력 및 철근량 산정에 있어 부재 양쪽 표면 250mm만을 규정하여 최대 500mm의 두께를 적용하고 나머지 부분은 무시하기도 한다.

위에 언급한 "표면 영역"을 적용한 배력 및 온도 철근량 산정법을 채택할 경우, 철근량을 상당량 절감할 수 있다. 매개변수해석결과에 따르면 철근량은 8.4% 감소되어 구체 전체에 대한 비용으로 환산할 경우 5.7% 감소된 것으로 예측된다. 따라서 이러한 "표면 영역"을 적용한 배력 및 온도 철근량 산정법을 채택하는 것이 바람직하다.

4.4 슬래브 요소의 전단설계 방법

서울지하철 9호선의 슬래브 전단설계를 살펴보면, 외력에 의한 극한 전단력(V_u)이 단면의 공칭 전단력(ΦV_c)보다 작은 경우에도 전단철근을 배치한다. 즉, 보의 최소전단철근기준을 적용한다. 콘크리트구조설계규정(2000) 및 ACI 318-02 Code(2002)의 슬래브 전단설계과정을 재검토해 본 결과, 극한 전단력(V_u)이 단면의 공칭전단력(ΦV_c)보다 클 경우에만 전단철근을 배치하는 의미로 결론지었다. British Standard에서도 슬래브에 최소전단철근을 배근하는 규정을 적용하지 않으며 이러한 전단설계법은 슬래브의 전단철근량 절감으로 이어질 수 있다. 슬래브 부재의 전단설계 방법을 변경함으로써 철근은 3.8% 감소되어 구체 전체에 대한 비용으로 환산할 경우 0.5% 감소될 것으로 예측된다. 따라서 콘크리트구조설계기준(2000) 및 ACI 318-02 Code(2002)의 슬래브 전단설계과정에 대한 재검토결과(슬래브 전단설계시 최소전단철근 미적용)를 지하철 구조물 전단설계에 적용하는 것이 바람직하다.

4.5 겹어음 길이

BS8110에 규정되어 있는 겹어음 길이를 적용할 경우, 콘크리트구조설계기준(2003) 및 ACI 318-02 Code(2002)에 비하여 철근의 겹어음을 상당량 감소시킬 수 있다.

BS8110의 겹어음 길이 산정법을 이용하게 되면 철근량이 2.4% 감소되어 구체 전체에 대한 비용으로 환산할 경우 1.6% 감소될 것으로 예측된다.

ACI 318-02 Code(2002)에서 규정된 내용이나 국내에서 주로 사용되는 철근 및 콘크리트의 부작용력에 대한 연구를 통하여 겹어음 길이에 대한 설계기준을 검토함으로써 경제적인 겹어음 길이 규정을 개선할 수 있다.

4.6 고강도 콘크리트의 적용

서울지하철 9호선 구조물에 사용된 콘크리트는 외국 지하철에 일반적으로 사용되는 콘크리트(원통형 시편 : 공칭강도=32N/mm², 정육면체 시편 : 공칭강도=40N/mm²)보다 낮은 강도라는 점이 주목할 만 하다. 외국 지하철의 경우 대부분 $f_{ck}=32\text{N/mm}^2$ 를 사용하는 데 반해 국내에서는 정거장인 경우 $f_{ck}=27\text{N/mm}^2$, 본선의 경우 $f_{ck}=24\text{N/mm}^2$ 를 주로 사용한다.

본선 개착구조물의 콘크리트 강도만을 $f_{ck}=27\text{N/mm}^2$ 로 변경하여 검토하였다. 그 결과 1% 미만의 미소한 콘크리트량의 절감 효과를 나타내었다.

매개분석결과 콘크리트량을 절감하기 위하여 콘크리트 강도를 증가시키는 것은 바람직하지 않으나 축력이 주로 작용하는 정거장 기둥단면에 국부적으로 고강도 콘크리트를 사용할 경우 기둥 단면을 상당량 축소할 수 있을 것으로 예상된다. 게다가 접합부의 철근의 밀집 정도를 다소 감소시킬 수 있을 것이다. 참고적으로 고강도 콘크리트를 사용하게 되면 콘크리트 피복을 감소시키더라도 내구성 향상과 비용절감을 이루어낼 수 있는 장점이 있다.

4.7 고강도 철근의 적용

본선 개착 단면에 사용된 철근은 $f_y=300\text{N/mm}^2$, $f_y=400\text{N/mm}^2$ 철근과 가격차이가 거의 없으므로 정거장에서 사용하는 $f_y=400\text{N/mm}^2$ 로 동일하게 변경, 사용하는 것이 철근 비용을 감소시킬 수 있는 방법 중 하나이다

매개변수분석결과, 철근량이 14.3% 가량 감소되어 구체 전체에 대한 비용으로 환산할 경우 9% 가량 감소될 것으로 예측된다.

따라서 본선 개착 단면에서도 $f_y=400\text{N/mm}^2$ 철근을 사용함으로써 철근 물량의 감소를 꾀하는 것이 바람직하다. 여기서 주의할 점은 단면검토에서 최소 휨 철근비 기준이 적용되어 철근량이 결정되지 않아야 한다는 전제 조건을 만족해야 한다는 것이다.

5. 결 론

본문 개략 단면에 대하여 제검토된 모든 설계 기준들을 비용절감을 목적으로 변경해서 시행할 경우, 최대 약 31%까지 콘크리트와 철근의 비용을 절감시킬 수 있다. 그러나 앞서 언급한 바와 같이 제검토된 설계규정들 중 일부는 콘크리트구조설계기준(2000) 및 ACI 318-02 Code(2002)의 기준에 벗어나 변경하는 것이 적절하지 않고 현 공경에서 실현가능하지 않을 수 있어, 현 단계에서는 대략 15%~20% 정도의 비용 절감이 가능할 것이다.

급변 경제설계를 위한 주요설계기준 조정인자는 지하수위, 종방향철근량, 축벽, 철근의 이음장 및 정착장, 부력검토, 최소전단 철근 등이나 향후에도 구조물 슬래브 및 축벽에 작용하는 토압의 크기 증경, 지하철건설구간에 대하여 시공전부터 시공단계 및 시공완료 후 지하수위 변화유이조사, 지하철 구조물 상부슬래브에 작용하는 노변차량하중의 심도별 환하중 영향조사, 구조물 바닥 지반스프링 정수 산정을 위한 지반응력 및 변형 측정에 대하여 계속 연구하여 최적의 설계기준을 마련해야 할 것이다. 또한 설계기준 및 영향인자에 대한 개선사항들을 적용시키기 전에 반드시 국내 시공환경에 적합성여부 및 설계 및 다른 분야에 줄 영향을 완벽히 평가하는 작업이 이루어져야 한다는 점을 잊어서는 안된다.

6. 참고문헌

1. 서울지하철 구조물의 경제성검토 종합보고서 (2003. 3 서울지하철건설본부)
2. 지하철 9호선 경제체계 사례집 (2004. 7 서울지하철건설본부)
3. 콘크리트구조 설계기준 (1999. 건설교통부 및 200.3 건설교통부)
4. American Concrete Institute (1999) ACI 318-99, (2002) ACI 318-02 :
Building Code Requirements for Structural Concrete
5. British Standards Institution (1997) BS 8110 : Structural use of Concrete
6. British Standards Institution (1984) BS 5400 : Steel, Concrete and Composite Bridges