

국내 철도건설을 위한 토공설계기준의 비교 - 철도 토공노반 흙쌓기 중심으로 -

최찬응*

1. 서론

과거의 철도건설은 경제성을 최우선으로 두고 설계와 시공을 실시하였다. 대부분 구조물보다 저렴한 토공쪽으로 시공을 실시하였으며, 종단구배의 적절한 배분을 통해 경제적인 건설이 될 수 있도록 하였다. 철도건설에서 본격적인 기계화 시공은 70년대 초 호남선 대전~이리 구간이나 충북 복선(조치원~봉양간)에 건설되었다(한국철도 100년사, 1999). 이때 사용된 성토재료는 깎기에서 발생된 토사와 암석을 그대로 사용하였으며, 다짐도 90%에 의한 품질관리를 시행한 것은 80년대 후반에 이루어졌다. 이후 경부고속철도의 건설과 더불어 재료의 선별기준과 다짐의 강화 등이 시행되었다.

현재 철도건설에 사용되는 설계 및 시공기준은 일반철도와 고속철도에 따라서 이원화되어 관리하고 있으며, 각 설계기준에 따라 강화노반에 대한 용어 정의 및 기능이 약간씩 차이가 있으며, 품질관리하

는 방법에도 차이가 있다. 일반철도의 경우에는 일반설계기준을 바탕으로 개정되었으며, 고속철도의 경우에는 초기에는 일본방식으로 기준서가 작성되었으나 고속철도 차량이 선정된 이후 유럽방식을 토대로 작성되어져 있다. 외국의 경우 통일된 설계기준서를 바탕으로 설계 및 시공을 하고 있는 실정이다. 현재 철도설계와 관련한 다양한 기준은 철도설계기준(노반편)과 고속철도설계기준(노반편), 전문공사시방서(노반편)에서 개정되고 있으나, 많은 기술자들이 이에 관한 이해도가 높지 않은 실정이다. 따라서, 본 고에서는 현재 활용되고 있는 국내 철도설계 관련 기준들을 고찰하여 철도설계관리기준 현황과 문제점을 검토하고, 토공노반설계 관리기준 및 개선방안을 제시하고자 한다.

2. 국내 설계기준서의 변천

2.1 광복이전

*한국철도기술연구원 궤도토목연구본부, 선임연구원
(cychoi@krri.re.kr)

국내 철도건설을 위한 토공설계기준의 비교 - 철도 토공노반 흙쌓기 중심으로 -

1892년 일본에서 최초로 철도부설법(일본 명치 25년)이 제정되었고, 국내에서는 1897년 7월 17일 철도규칙(광무 1년)을 제정 공포하였다. 1912년 일본철도 최초의 철도교설계시방서가 제정되었으며, 1899년 경인선 노량진~제물포 간의 개통, 1904년 경부선 남대문~초량간 개통이후의 일이다. 1922년 일본에서는 새로운 철도부설법이 제정 공포되었으며, 1929년 7월 일본의 국유철도건설규정이 제정되었다. 이들 시방서 및 규정은 1941년 시방서가 제정되었다.

광복이후 1962년 제1차 경제개발 5개년 계획이 시작되면서 이와 병행하여 1963년 교통부에서는 철도관계의 모든 규정 정비에 착수하여 개정 정비하였다. 광복이후 국내에 철도공사에 대한 시공기준은 1963년 3월 26일 훈령 제4918호인 「철도토목공사 표준시방서」가 최초라 할 수 있으며, 이후 1980년 1월 8일 개정되어왔다.

2.2 고속철도의 등장

1989년 12월 경부고속철도 건설계획의 추진을 위해 고속철도건설기획실을 설치한 다음 1990년 12월 고속철도사업 기획단에서 토목분야 각종 설계 및 공사시방서를 작성하였다. 이후 건설시장 개방에 따른

국가경쟁력을 강화하고 철도건설공사의 대형화, 고도화, 첨단화 및 친환경적 건설이 요구됨에 따라, 능동적으로 대처하기 위하여 1999년 철도청에서는 「철도공사전문시방서(토목편)」와 「철도설계기준(철도교편)」을 제정하여 체계적인 설계 및 공사기준을 확립하였다. 그러나, 구조물에 국한된 설계기준서이기 때문에 토공에 대한 기준이 미비하여 2001년 「철도설계기준(노반편, 2001)」이 제정되어 철도노반공사의 총괄적인 시행기준과 조사 및 측량, 토공, 구교 및 배수시설, 지하구조물, 터널, 정거장 등 총 6편으로 구성되어 설계에 필요한 일반적인 기준을 가급적 쉽게 이해하도록 기술되었다. 이후 처음 제정으로 인해 기준의 미비점과 그동안 철도기술 발전과 주변 환경변화에 따라 2004년 「철도설계기준(노반편, 2004)」을 개정하였다. 구성은 총 6편으로 구성되어 있으며, 국내 설계기준을 국제흐름에 맞추기 위하여 단위체계를 국제 단위계인 SI단위계로 변경 통일하였으며, 태풍 등 재해에 대비한 비탈면 기울기를 완화하고 터널 방재 및 정거장의 기준을 개선함으로써 보다 체계적이며 안전한 설계가 이루어지도록 하였다.

제 · 개정된 철도설계기준은 설계 관련 실무자가 활용하는데 어려움이 있어 이후 2004년 철도설계기준(노반편)을 바탕으로 설계기준의 세부적인 사항을

표 1. 연도별 철도설계기준

1960년대	1980년대	1990년대	2000년대
<ul style="list-style-type: none"> · 철도토목공사표준시방서(1963) · 철도청 정규도 및 표준도(1968) 	<ul style="list-style-type: none"> · 철도토목공사표준시방서(1980) · 철도청 정규도 및 표준도(1980) 	<ul style="list-style-type: none"> · 고속철도 정규도 및 표준도(1992) · 철도설계기준(철도교편, 1999) · 철도공사전문시방서(토목편, 1999) · 고속철도표준공사시방서(1997) 	<ul style="list-style-type: none"> · 철도설계기준(노반편, 2001) · 철도설계기준(노반편, 2004) · 철도설계편람(2004) · 고속철도설계기준(노반편, 2005) · 고속철도공사 전문시방서(노반편, 2005)

표 2. 국내외 대표적인 철도용어 비교

한국	유럽(UIC)	AREA	일본
도상	Ballast	Ballast	道床
흙쌓기	Embankment	Embankment	盛土
땅깎기	Cut	Cut	切土
상부노반	강화노반 ^{*)}	(sub-ballast)Blanket layer	路盤(強化路盤, 土路盤, 其他路盤)
	상부노반	Earthworks	上部盛土(路床)
하부노반	Subgrade Prepared Subgrade	Subgrade	下部盛土
원지반	Natural Subgrade	Foundation	原地盤

* : 고속철도의 경우 강화노반에는 보조도상과 입도조정층으로 구분함.

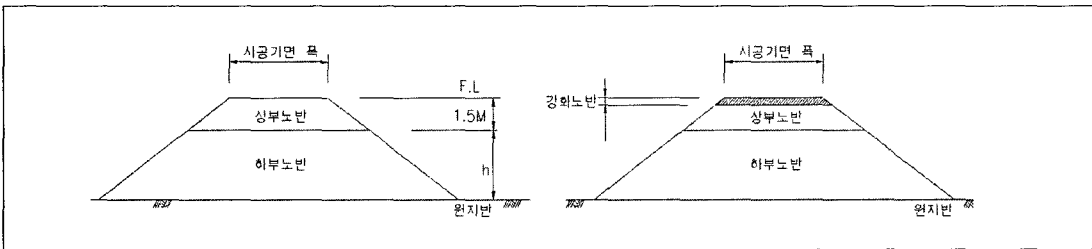


그림 1. 흙노반과 강화노반(철도설계기준(노반편), 2004)

기술한 철도설계편람(노반편, 2004)편을 제정 발간 하였다. 표 1은 연도별 철도설계기준 변경과정을 나타내었다.

2.3 철도노반의 기하학적 형상 및 용어

국내 철도 설계기준서에 제시하고 있는 토공노반의 구조 및 형상은 약간씩 상이하며, 동일한 기능을 가지더라도 사용하는 명칭이 약간씩 다르게 정의되어 있다. 표 2는 국내 토공노반에서 주로 사용되고 있는 도상, 노반, 강화노반 등에 대하여 외국기준을 도입할 경우 용어의 정확한 이해를 바탕으로 국내 설계기준에 적용하여야 할 것으로 판단된다.

그림 1~그림 2는 국내 일반철도와 고속철도의 표준단면도를 나타내었다. 고속철도의 경우 표준도가 1단계 고속철도 건설시 제정되어 현재 2단계 고속철

도에도 적용하고 있다. 이와 같이, 고속철도의 경우 경부선 2단계 공사와 호남선 고속철도가 건설되는 등 많은 철도건설이 시공되어져 있기 때문에 1단계의 시공 Know-how를 포함한 국내 철도환경을 반영한 새로운 토공표준도의 제정이 시급한 실정이다. 일반철도의 경우에는 토공표준도가 아직 없으며, 그림 1에서와 같이 철도설계기준(노반편, 2004)에 제시되어져 있는 단면을 인용하고 있다. 일반철도의 경우에도 국내열차조건, 설계 및 시공의 선진화 등 국내 토목환경을 반영한 새로운 토공표준도의 제정이 시급하게 이루어져야 할 것으로 판단된다.

국내 토공표준도를 보면 크게 궤도부, 상부노반, 하부노반으로 구분되어져 있으며, 상부노반층 안에 강화노반층이 포함되어져 있다. 일반철도의 경우 상부노반 높이를 시공기면(F.L)에서 -1.5m로 규정하고 있으며 고속철도의 경우 -3.0m로 각각 규정되어

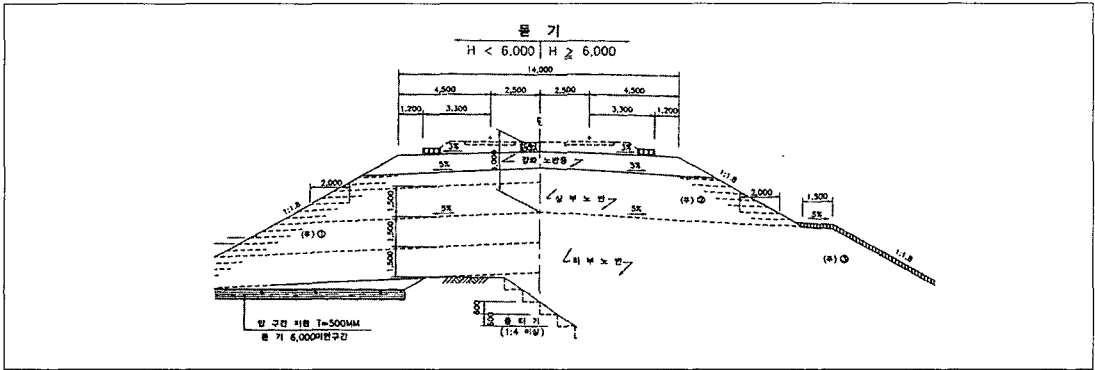


그림 2 고속철도 흙쌓기 표준단면도

져 있다. 일반철도와 고속철도의 상부노반의 높이가 다른 이유는 고속철도가 일반철도보다 고속주행에 따라 더 품질이 좋은 노반을 요구하기 때문에 상부노반의 두께를 3m로 규정하고 있다. 즉, 상부노반의 다짐품질관리를 더욱 엄격하게 시공함으로써 노반의 잔류침하량 또는 소성침하량이 발생하는 것을 방지하고 있다. 또한, 열차하중에 의한 토체 응력이 흙의 자중에 의한 응력의 약 10%이하로 되는 구간이 3m이기 때문에 이 범위를 상부노반이라고 정의하였다. 외국자료를 검토한 결과 일본의 경우 상부노반을 3m로 구분하여 상부노반에 대한 품질관리를 더욱더 엄격하게 관리하고 있으며, 독일과 UIC에서도 상부노반의 두께를 약 2.7m 정도로 구분하여 하부노반보다 더 엄격한 다짐품질관리기준을 적용하고 있는 것을 볼 수 있다.

3. 국내 토공노반 설계기준서 검토

3.1 흙쌓기 일반사항

표 3과 같이 흙쌓기 재료에 대한 주요 설계항목으

로는 크게 7개로 구분하여 요약정리하였다. 설계항목별로 설계기준과 설계편람이 거의 같은 것을 볼 수 있으며, 비탈면 기울기는 철도설계편람이 보다 세부적으로 명시되어져 있다.

표 4는 국내 고속철도의 설계기준과 공사전문시방서를 비교하였다. 표 4에서와 같이 흙구조물에 대한 적용기준은 설계항목별로 거의 유사하거나 비슷하며, 공사전문시방서에서는 공사를 할 때 어려운 부분에 대하여 최소한의 기준을 명시하고 있다.

3.1.1 고속철도와 일반철도 흙쌓기 분야 설계 기준의 비교

고속철도와 일반철도의 설계기준을 보면 일반철도의 경우 통일분류법에 의거하여 흙을 분류한 반면, 고속철도의 경우 통일분류법을 [A군], [B군], [C군] 등으로 분류하여 좀 더 포괄적인 개념으로 흙쌓기 높이를 관리하고 있다.

일반철도의 경우 비탈면 기울기의 구분을 흙쌓기 높이에 따라 5m, 10m, 15m, 15m이상, 4단계로 구분하고 있으나, 고속철도의 경우 흙쌓기 높이에 따라 9m, 15m, 15m 이상으로 3단계로 구분하여 관리하고 있다. 이와 같이 일반철도가 5m이하에 대하여 흙

표 3. 일반철도설계기준에서 제시하고 있는 흙쌓기 일반사항

설계기준 분류	철도설계기준(2004)	철도설계편람(2004)
흙쌓기 일반	한층 마무리 두께 : 30cm 최대높이 : 10m 전후(부득이한 경우 더 높게) 통일분류법 의거 [GW, GP], [SW, SP], [SM, SC], [ML, MH, CL, CH]	땅깎기 및 터널 굴착 등에서 발생된 재료사용 한층 마무리 두께 : 30cm 통일분류법 의거 [GW, GP], [SW, SP], [SM, SC], [ML, MH, CL, CH]
비탈면 기울기	H≤5m : 1:1.5, 5m≤H≤10m : 1:1.8 10m≤H≤15m : 1:2.0, H≥15m : 1:2.3	입도분포가 좋은 모래(GW, GP, SW, SM, GC) 0~5m 1:1.5, 5~15m 1:1.8 자갈 및 자갈섞인 모래(GW, GP, SW, SM, GC) 5~15m 1:1.8 입도분포가 나쁜모래(SP) 0~10m 1:1.8 암괴, 암버력(SW, GP, GM) 0~5m 1:1.5, 5m이상 1:1.8 사질토, 굳은 점토(SM, SC, CL) 0~5m 1:1.5, 5m이상 1:1.8 연약한 점성토(CH, OH, ML, MH) 0~5m 1:1.8
비탈면 안전율	인명 및 재산에 심각한 피해 2.0이상 공용하중 비탈면 1.3이상 시공중인 비탈면 1.2이상 지진하중을 고려한 비탈면 1.1이상 강우에 의한 침투고려 1.3이상	좌동
소단	사공기면에서 5m 설치 소단폭 1.5m 외측으로 향하는 횡단기울기 5%	좌동
강화노반 재료	입도조정쇄석(CS) 입도조정고르슬래그쇄석(MS) 수경성입도조정고르슬래그쇄석(HMS)	좌동
상부노반 재료	양질의 자연토 최대입경 25mm이하, 200번째 통과율 35%이하 소성지수 10이하(40번째 통과분) 상부노반 다짐 KS F 2312 D방법 최대건조밀도 95% 평판재하시험 $K_{30} \geq 11\text{kgf/cm}^2$	압축성이 작고 활성도가 작은 무기질 흙 자갈, 모래, 실트 및 점토 섞인 양질의 흙 최대입경 25mm 이하, 200번째 통과율 35%이하 소성지수 10이하(40번째 통과분) KS F 2312 D방법 최대건조밀도 95% 평판재하시험 $K_{30} \geq 11\text{kgf/cm}^2$
하부노반 재료	다짐시공이 쉽고 외력에 안정성 확보된 재료 하부노반 다짐 KS F 2312 A방법 최대건조밀도 90%이상 평판재하시험 $K_{30} \geq 7\text{kgf/cm}^2$	자갈, 모래, 실트 및 점토 섞인 양질의 흙 200번째 통과율 50% 이하, 소성지수 30이하 하부노반 다짐 KS F 2312 D방법 최대건조밀도 90%이상 평판재하시험 $K_{30} \geq 7\text{kgf/cm}^2$
암석쌓기	연암 및 경암사용 최대입경 300mm 이하 시공기면으로부터 60cm 부분은 암버력 금지	본선암 유용, 연암 및 경암사용 최대입경 300mm 이하 시공기면으로부터 60cm 부분은 암버력 금지

국내 철도건설을 위한 토공설계기준의 비교 - 철도 토공노반 흙쌓기 중심으로 -

표 4. 고속철도 설계기준에서 제시하고 있는 흙쌓기 일반사항

설계기준 분류	고속철도설계기준(2005)	공사전문시방서(2004)
흙쌓기 일반	적용구분 I 상부노반 : [A군], 안정처리를 한 [B군], [C군] 하부노반 : [A군], [B군], [C군] 적용구분 II 상부노반 : [A군], [B군], 안정처리를 한 [C군] 하부노반 : [A군], [B군], [C군] 액성한계 50%이상, 건조밀도 1500kgf/m ³ 이하 간극율 42%이상, 소성한계 25%이상 혹은 흙쌓기 재료로 불가	노반에 사용되는 모든 재료는 땅각기 및 터널굴착에서 발생된 토사나 버력을 우선적으로 활용 액성한계 50%이상, 건조밀도 1500kgf/m ³ 이하 간극율 42%이상, 소성한계 25%이상 혹은 흙쌓기 재료로 불가
흙쌓기 제한높이	[A군], [B군], 안정처리를 한 [C군] H≤20m [C군] : H≤10m	-
비탈면 기울기	H≤9m 1:1.8 9m≤H≤15m 1:2.0 H≥15m 1:2.3	-
비탈면 안전율	일시적 비탈면 1.1~1.2 영구적 비탈면 1.3~1.5 중요비탈면 1.5이상 지진하중 고려 1.10이상	-
소단	상부, 하부노반의 경계 매 6m 설치, 소단폭은 1.5m 횡단기울기 5%	-
강화노반 재료	보조도상층(최대입경 31.5mm이하) 경도및내구성 40이하, 편평도 30이하 모래당량 40이상 입도조정층(최대입경 125mm이하) 경도및내구성 60이하, 편평도 30이하 모래당량 40이상 다짐후 1층두께 - 보조도상층(20cm이하), 입도조정층(30cm 이하) 혈암, 점판암, 이암, 사암 등 강도가 낮거나 박리현상이 뚜렷한 암은 사용금지	좌동
상부노반 재료	최대입경 100mm이하, 수정CBR 100이상 5mm체 통과율 25~100% 0.08mm체 통과율 0~25% 소성지수 10이하 KS F 2312의 D다짐 95%이상 E _{v2} ≥80MN/m ² , E _{v2} /E _{v1} <2.3 다짐원료후 두께 - 상부노반 : 흙쌓기 300mm, 암쌓기 300mm	좌동
하부노반 재료	300mm 이하, 수정CBR 2.5이상 KS F 2312의 D다짐 90%이상 E _{v2} ≥60MN/m ² , E _{v2} /E _{v1} <2.7 다짐원료후 두께 - 하부노반 : 흙쌓기 300mm, 암쌓기 500mm	좌동
암성토	상부노반 200mm 하부노반 300mm	좌동 암성토시 상·하부 경계면에 부직포 3mm이상 설치

쌓기에 대한 비탈면 기울기를 추가적으로 제시하고 있다. 참고적으로 고속철도기준은 일본기준과 동일한 표준 비탈구배를 가지고 있는 것으로 조사되었다.

비탈면 안전율의 경우 일반철도가 고속철도보다 안정을 측면에서 더 엄격하고 높은 기준으로 설계하고 있어 다소 과대 설계가 되고 있는 것으로 판단된다. 따라서 이에 대한 면밀한 검토가 이루어져야 할 것으로 판단된다.

소단설계 기준은 일반철도의 경우 5m, 고속철도에서는 6m 마다 설계되어 고속철도 설계보다 1m 낮게 소단을 설치하도록 설계되어 있으며, 소단폭 1.5m, 횡단기울기 5%은 동일하다. 특이할 점은 고속철도의 경우에는 상부노반과 하부노반의 경계부도 소단을 설치하도록 규정되어 있다. 참고적으로 일본규정을 보면 소단설치높이는 6m이며, 소단폭은 1.5m, 횡단기울기는 5%로 고속철도규정과 동일하다.

강화노반재료 선정기준은 고속철도 설계기준이 보다 광범위하게 적용가능 하도록 규정되어 있으며, 일반철도의 경우 쇄석, 슬래그 등으로 비중, 흡수량, 마모감량, 일축압축강도, 단위중량, 수정CBR 등으로 재료의 적합성에 대하여 규정되어 있다. 고속철도의 경우 재질의 경도 및 내구성, 편평도, 모래당량, 입도 등 물리적 성질에 따라 재료를 선택할 수 있도록 규정되어 폭넓은 재료의 선택이 가능한 것으로 판단된다.

상부노반과 하부노반에 대한 설계항목은 흙쌓기에서 가장 중요한 항목으로서 일반철도, 고속철도 모두 품질관리기준을 엄격하게 적용하고 있다. 일반철도의 경우 최대입경, 200번째 통과율, 소성지수 등으로 노반재료의 적합성을 판정하고 있으며, 고속철도의 경우 최대입경, 5mm통과율, 0.08mm 통과

율, 소성지수 등으로 판정하고 있다. 최대입경 기준이 일반철도, 고속철도 각각 25mm, 100mm로 고속철도가 일반철도기준보다 시공성을 고려한 현실적인 설계기준인 것으로 판단된다. 또한, 5mm 통과율, CBR 등 다른 항목을 검토함으로써 보다 안정화된 재료를 선택하도록 설계되어 있다. 200번째 통과량의 경우 35%, 25%로 고속철도가 세립분 함유량이 적은 재료를 사용하도록 규정되어 있으며, 소성지수는 모두 10이하로 되어있다.

일반철도와 고속철도의 품질관리기준은 다짐도와 지지력평가를 통해 노반품질관리를 실시하고 있다. 다짐도의 경우 모두 95%이상을 만족하도록 되어 있으며, 지지력평가는 일반철도는 k_{90} , 고속철도의 경우 E_{v2} , $E_{v2}/E_{v1} < 2.3$ 으로 다르게 적용하고 있다.

하부노반의 품질관리도 일반철도와 고속철도 기준이 약간씩 다르게 적용하고 있으며, 현장여건 및 시공을 고려한다면 고속철도기준이 보다 현실적이라고 볼 수 있다. 특히, 최대입경기준이 300mm로 일반철도의 자갈 포함된 양질의 토사(약 100mm)로 볼 때 보다 현실적이며, 강도적인 규정을 포함하여 지지력 특성을 가지도록 설계되어 있다. 따라서 일반철도의 경우에도 지지력 특성값인 CBR값을 설계항목에 포함하고 200번째 통과율, 소성지수 등 적용성이 낮은 설계항목을 개선해야 할 것으로 판단된다.

현장에서 발생하는 암버력에 대하여 사용기준이 명확하게 확립되어야 설계와 시공간의 발생되는 문제를 최소화 할 수 있다. 따라서, 일반철도와 고속철도의 암성도 기준에 대하여 검토하였다. 일반철도의 경우 연암과 경암을 사용하도록 되어 있으며, 최대입경 300mm로 되어 있으며 시공기면 60cm 아래 부분은 암버력을 사용금지하도록 설계되어 있다. 고속철도의 경우에는 상부노반과 하부노반의 입

국내 철도건설을 위한 토공설계기준의 비교 - 철도 토공노반 흙쌓기 중심으로 -

표 5. 상부노반과 하부노반의 품질기준(일반철도)

구분	단위	시험방법	상부노반			하부노반
			강화노반		흙노반	
			입도조정 쇄석	고로슬래그 쇄석		
최대입경	mm	KS F 2302	40mm 이하	25mm 이하	25 이하	-
200번체 통과율	%				35% 이하	50 이하*
소성지수	%	KS F 2303			10 이하	30 이하*
액성한계	%	KS F 2303			35% 이하*	
수정 CBR	%	KS F 2320	80 이상	80 이상		
일축압축강도	kN/m ²	KS F 2535		1,200 이상		
단위중량	kN/m ²	KS F 2535	15 이상	15이상		
비중		KS F 2503	2.45 이하			
흡수량	%	KS F 2503	3.0 이하			
마모감량		KS F 2508	30 이하			
다짐도		KS F 2312	95% 이상 (E 다짐)	95% 이상 (E 다짐)	95% 이상 (D 다짐)	90% 이상(A다짐) (D다짐)*
현장품질관리방법			k ₃₀ >7kgf/cm ² k ₃₀ >11kgf/cm ² 조건에 따라 분류		k ₃₀ >11kgf/cm ²	k ₃₀ >7kgf/cm ²
흙쌓기 지지지반 조건		1) 흙쌓기 지지지반은 지표에서 흙쌓기 폭의 약 2배(25m를 한도)의 깊이까지 지진시 액상화 위험이 없는 조건의 지반일것 2) 흙쌓기 지지지반 조건 암반 : 조건 없음 풍화층 : 지갈층(조건없음), 모래층(N값이 10이하인 경우에는 액상화될 위험이 없는 충일것), 세립토층(N)4 경우 조건없음, 4)N)2 인 경우 층 두께 3.0m 이하로할것, 2)N 인 경우 층두께를 2.0m 이하로서 안정성을 확인할것				

경을 상부노반 200mm, 하부노반 300mm로 제한하고 있으며 암성토시 상·하부 경계면에 부직포 3mm이상 재료를 설치하도록 되어져 있다. 일반철도의 경우 상부노반 60cm는 암버럭 사용을 원칙적으로 배제하고 있으며 양질의 자연토나 강화노반층을 설치하도록 되어져 있다.

3.2 상·하부노반의 다짐관리기준

앞서 언급한바와 같이 흙쌓기는 상부노반과 하부노반으로 구분하며, 상부노반의 경우 일반철도는

1.5m, 고속철도는 3.0m로 구분하고 있다. 일반철도의 경우에도 향후 고속화와 열차하중의 증가로 인해 상부노반의 높이를 고속철도와 동일하게 규정하는 것이 장기적인 측면에서 바람직할 것으로 판단된다. 표 5는 일반철도 흙쌓기에서 상부노반과 하부노반의 품질기준을 요약 정리하였다. 일반철도의 경우 상부노반의 기준이 하부노반 기준보다 엄격히 관리되고 있으며, 현장품질관리는 평판재하시험의 비반복 시험방법 k₃₀에 의해 관리하고 있다.

철도설계기준(2004)에서는 일반철도 상부노반의 최대입경이 25mm로 규정된 반면, 하부노반은 특별

표 6. 상부노반과 하부노반의 품질기준(고속철도)

구분	단위	시험방법	상부노반			하부노반
			강화노반		상부노반	
			보조도상층	입도조정층		
최대입경	mm	KS F 2302	31.5 이하	125 이하	100 이하	300 이하
수정 CBR	%	KS F 2320			10 이상	2.5 이상
5mm체 통과율	%				25~100%	-
0.08mm체 통과율	%	KS F 2511			0~25%	-
소성지수		KS F 2303			10 이하	-
경도 및 내구성	%	KS F 2508	40 이하	60 이하		
편평도	%	KS F 2575	30 이하	30 이하		
모래당량		KS F 2340	ES > 40	ES > 40		
다짐후 1층 두께			20cm 이하	30cm 이하		
다짐도	%	KS F 2312 D	100%이상	-	95% 이상	90% 이상
		DIN 18 134	$E_{v2} \geq 120\text{MN/m}^2$ $E_{v2}/E_{v1} < 2.2$	$E_{v2} \geq 80\text{MN/m}^2$ $E_{v2}/E_{v1} < 2.3$	$E_{v2} \geq 80\text{MN/m}^2$ $E_{v2}/E_{v1} < 2.3$	$E_{v2} \geq 60\text{MN/m}^2$ $E_{v2}/E_{v1} < 2.7$
노반재료의 일반기준	○사용 불가능한 흙 (1) 액성한계 50% 이상 되는 재료, 건조밀도 1.5t/m ³ 이하의 재료, 간극율이 42% 이상, 소성한계가 25%이상인 흙은 사용금지 (2) 벤토나이트, 온천여토, 산성백토, 유기질토 등 흡수성이 크며 압축성이 큰 흙 (3) 빙토, 빙설, 초목, 나무 등 다량의 부식물을 함유한 흙					

한 기준이 없어 이에 대한 기준이 마련되어야 할 것으로 판단된다.

표 6은 고속철도 공사전문시방서 기준서를 바탕으로 상·하부노반의 기준을 검토하였다. 고속철도의 경우 일반철도 기준보다 엄격하게 관리하고 있으며, 강화노반층의 입도에 따라 보조도상층과 입도조정층으로 구분하여 관리하고 있다. 상부노반의 최대입경이 100mm로 일반철도 25mm보다 4배 이상으로 매우 현실적인 기준인 것으로 판단된다. 또한, 일반철도와 달리 하부노반의 최대입경을 제한하여 품질관리를 하부노반에서부터 관리를 하고 있는 특징이 있다. 고속철도의 노반품질관리는 유럽 등에서 많이 사용하고 있는 평판재하시험의 반복법으로 E_{v2}

값으로 관리하고 있으며, 일반철도에 비해 좀 더 합리적인 방법을 사용하고 있다고 볼 수 있다. 그러나, 평판재하시험을 통해 노반품질관리는 실험은 시험 방법은 간단하지만, 충분한 재하시간과 정확한 변위 등을 얻어야 좋은 결과를 얻을 수 있다.

3.2.1 다짐시험 판정기준의 비교

표 7은 일반철도와 고속철도의 다짐시험 판정기준을 나타내었다. 다짐도는 일반철도, 고속철도 모두 상·하부 노반을 구분하여 관리하고 있으며, 다짐도가 최소 90%~100%이상으로 밀도로 관리하고 있으며, 이와 병행하여 평판재하시험의 반복법(E_{v2})과 비반복법(k_{30})에 의해 지지력으로 관리를 하고 있다.

국내 철도건설을 위한 토공설계기준의 비교 - 철도 토공노반 흙쌓기 중심으로 -

표 7. 다짐시험에 대한 판정기준

적용	구 분	상부노반		하부노반	비고	
		강화노반	흙노반			
일반 철도	1층 다짐 완료후의 두께(cm)	15 이하		30 이하	-	
	다짐도 (%)	95		95이상	90이상	
	다짐방법	D		D	A, D*	
	평판재하	침하량 (cm)	0.125		0.125	0.125
		지지력계수 (K_{30} : kg/cm ²)	7이상 11이상		11 이상	7 이상
고속 철도	1층 다짐 완료후의 두께(cm)	보조도상	200이하	30이하	50이하	
		입도조정층	300이하			
	다짐도 (%)	보조도상	100이상	95이상	90이상	
		입도조정층	-			
	다 짐 방 법	보조도상	D	D	D	
		입도조정층	-			
	평판 재하	보조	$E_{v2} \geq 120\text{MN/m}^2$	$E_{v2} \geq 80\text{MN/m}^2$ $E_{v2}/E_{v1} < 2.3$	$E_{v2} \geq 60\text{MN/m}^2$ $E_{v2}/E_{v1} < 2.7$	
도상		$E_{v2}/E_{v1} < 2.2$				
입도 조정층		$E_{v2} \geq 80\text{MN/m}^2$ $E_{v2}/E_{v1} < 2.3$				

표 8. 고속철도의 흙쌓기 재료의 품질관리 요건

종별	시험종목	시험 방법	시험빈도		비고
			상부노반	하부노반	
흙쌓기 재료 (상·하부 노반)	입도	KS F 2302	1,000m ² 마다	2,000m ² 마다	현장밀도는 평판재하 불가능시 실시
	평판재하	DIN 18 134	- 상부노반: 층별 500m ² 마다		
	현장밀도	KS F 2311	- 하부노반: 층별 1,000m ² 마다		
	두께측정	KS F 2312	- 1일 1회 이상		
	액성, 소성한계	KS F 2303	- 재료원 마다		
	함수량	KS F 2306	- 재질변화시 마다		
	비중	KS F 2308			
	흙의 씻기 시험	KS F 2309			
	다짐(D방법)	KS F 2312			
	실내 CBR	KS F 2320			

(1) 시험시공은 20,000m²당 1회 이상 실시하여야 한다.

(2) 흙쌓기시 충격다짐으로 정확한 함수비-밀도곡선과 최대건조밀도를 구할 수 없거나, 점성이 없고 배수가 잘 되는 흙의 밀도를 결정하기 위해서는 「KS F 2345」에 따르며, 이때에도 공사감독자의 확인을 받아야 한다.

(3) 다짐도 시험에 필요한 함수량 시험방법은 「KS F 2306」에 따르며, 급속함수량시험, 적외선 수분계 또는 방사성 동위원소를 사용한 측정장비(R)를 사용할 경우에는 각 시험방법에 따른 보정값에 대하여 공사감독자의 승인을 받아야 한다.

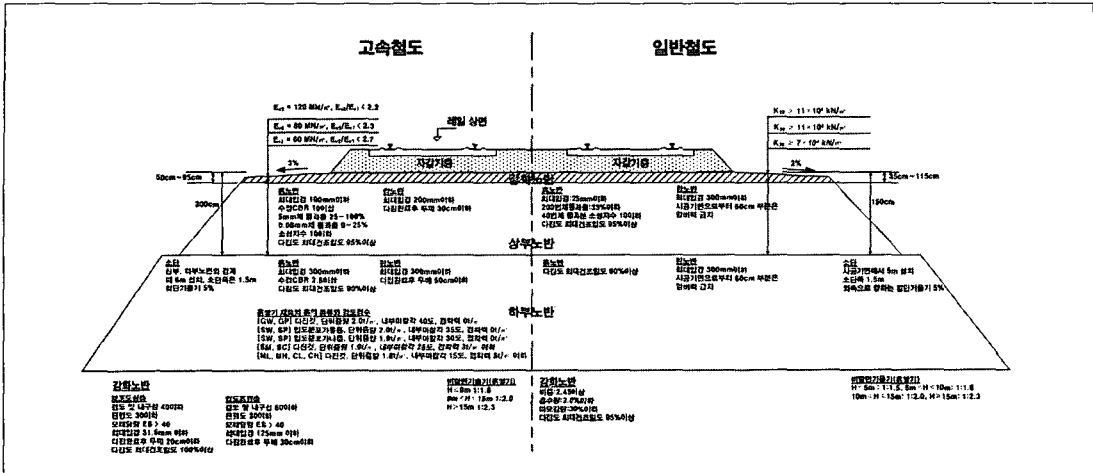


그림 3. 일반철도와 고속철도 흙쌓기 구간의 품질관리기준

3.2.2 품질시험 기준

표 8은 고속철도 흙쌓기 재료의 품질관리기준을 나타내었다. 표 8에서와 같이 고속철도의 품질관리요건은 상·하부 노반을 분리하여 관리하고 있으며, 재료의 변화 및 재질원에 따라서 시험을 실시한다.

토공분야의 흙쌓기에 대한 고속철도와 일반철도의 설계기준을 비교 검토하였다. 그림 3은 일반철도와 고속철도의 설계기준에 따른 품질관리기준, 재료별, 위치별로 각각 정리하여 요약하였다.

4. 결론

국내 철도노반 설계기준서를 바탕으로 현재 활용되고 있는 철도설계 관련 기준들의 현황과 문제점을 검토하고, 관리기준에 대한 기술적 문제를 분석한 결과는 다음과 같다.

- 1) 국내 설계기준서에 국외자료를 인용하는 경우에는 용어의 정의 등을 명확히 사용하여 혼돈을

최소하여야 하며, 일반철도의 경우 현장에서 많이 사용하고 있는 암버력에 대한 기준 및 최대입경 등에 대하여 현장여건을 반영한 설계가 되어야 할 것으로 판단된다.

- 2) 현장에서 다짐관리기준에 대한 일반철도와 고속철도의 기준에 대하여 좀 더 명확한 기준 마련이 필요할 것으로 판단되며, 지지력뿐만 아니라 밀도측면에서도 관리를 하여야 할 것으로 판단된다.

- 3) 국내 철도건설은 앞서 언급한 바와 같이 일반철도와 고속철도가 별도의 설계기준과 시공기준을 가지고 있으며, 특히 품질관리방식이 다르게 표현되어 있어 이에 대한 면밀한 검토가 필요할 것으로 판단된다. 또한, 본 고에서는 토공분야 중에서 성토부분만을 검토하였으나, 장기적으로는 토공분야 전 분야에 걸쳐 이러한 연구가 수행되어야 할 것으로 판단된다. 또한, 제도적으로 기준서의 추진체계 정립 등이 필요할 것으로 판단되며, 각 기준들 간의 설계 표준화를 통

해 설계자들의 혼돈을 최소화하여야 할 것으로 판단된다.

참고 문헌

1. 철도설계기준, 한국철도시설공단, 2004
2. 고속전철사업기획단, 고속철도 흠구조물 설계표준시방서 해설(안), 1991
3. 철도청, 철도토목공사 표준시방서, 철도청훈령 제4918호, 1980
4. 철도청, 철도토목공사 표준시방서(안), (사)대한토목학회, 1998
5. 철도청, 한국철도 100년사, 1999
6. 한국고속철도건설공단, 고속철도 노반공사 공사 시방서, 1997
7. 한국고속철도건설공단, 고속철도 궤도구조 설계보고서, 1992
8. 한국고속철도건설공단, 고속철도 전문시방서(노반편), 2003
9. 한국철도기술연구원, "철도노반 관리기준 정립 및 개선 방안" 최종보고서, 2005
10. 최신철도선로, 서사범 역, 열과 알, 2001
11. AREMA, Manual for Railway Engineering, Vol. 1 Track, 2005
12. UIC, UIC-719 2nd Edition, 1994
13. 運輸省 鐵道局, "鐵道構造物等設計標準・同解説 土構造物", 鐵道總合技術研究所, 1992. 10.

제 19회 계속교육안내

주제 : 지반재해와 대책

- 주 최 : 한국지반공학회 재해대책기술위원회
- 일 시 : 2007년 3월 7일(수) ~ 9일(금) / 7, 8일 : 강의, 9일(오전) : 현장견학
- 장 소 : 한국과학기술단체총연합회 지하 강의실(강남역 국기원 앞)
- 접 수 : 선착순 120명
- 수강료 : 회원 - 120,000원 비회원 - 150,000원
- 문의 : 한국지반공학회 사무국