

모노레일의 활성화 방안 연구

오종우* · 오승훈**

요약문

지하전철은 고비용 구축에 의한 대량 수송의 실적에도 불구하고 현실적으로 교역의 적자행정에서 벗어나지 못하고 있다. 선진국에서는 비용과 효율성을 위하여 지하철선호에서 지상 모노레일로 급격한 변화를 가져오고 있다. 특히 경량화에 의한 첨단기술력에서 생산되는 고급 모노레일 카의 쾌적성, 친환경적, 경제성, 저소음, 저오염, 국지적 효율성 등에 의한 유비쿼터스 사회에 기여될 수 있는 최적의 조건을 가지고 있으므로 향후 지자체 위주의 행정에 의한 재정자립도의 확보를 위한 관광지의 개발에 관련된 천연성 지형지물, 인문성 문화재, 조경성 예술분야 등에 효자 상품으로 등극할 것이다.

이에 따라 정책적인 조정에 필요한 법제도 및 지방 조례 등의 조정으로 특색 있고 미래지향적인 모노레일 카의 정책방안의 설정이 시급하다. 특히 지정학적으로 3면이 바다로 위호되어 있고 중국, 러시아, 일본 등의 열강 국들에 육교적인 지정학적인 최상의 관광 및 첨단 한류문화의 교류의 니치성 상품의 활성화로 상대적으로 작지만 큰 경제적인 효과를 가져 올 수 있는 신 수송환경에 적극적인 행정과 민의의 점점에 교두보적인 수송의 르네상스 개념이 필요하다.

키워드 : 모노레일, 유비쿼터스, 천연성 지형지물, 관광진흥, 신교통시스템

I. 서론

1. 연구목적

인류의 발달사 중에서 이동과 관련된 발명품 만큼 문화적으로 지대한 공헌을 한 것이 없을 정도로 큰 비중을 차지하고 있다. 대량운송(mass transit)의 대명사로는 공중의 점보기, 해상 대형여객선, 그리고 지상의 철도차량을 들 수 있겠다. 그러한 과정에서 친환경적이고 경제적이면서 산악지 등에 적합한 모노레일 카의 출현은 기존 운송수단의 한계를 극복한 미래지향적인 유비쿼터스 세상에 편승할 수 있는 첨단교통수단이 될 것이다. 이러한 모노레일 카의 발달 과정을 통한 현황을 분석하고 U-Eco 국토를 구현할 수 있는 활성화 방안에 대한 정책적인 방안을 본 연구의 목적으로 하고 있다.

2. 발달과정

모노레일은 현재와 같은 철도가 출현하기 이전부터 개발되어 모노레일의 역사는 지금으로부터 약 180여년 전인 1821년 영국의 헨리 팔마(Henry Palmer)(발명 특허 제 461호가 모노레일 최초의 기록)가 고안한 것을 바탕으로 1824년 영국 런던에서 말에 의한 세계 최초의 화물 수송용 모노레일이 운행한 이후 1825년 6월 25일 영국에서 1마력의 엔진을 장착한 체스트너트 철도에서 시초를 찾을 수 있다. 처음으로 승객을 운송하였으나, 실제로는 벽돌을 운반하는 데 주로 이용되었다(건기연).

그 이후 1876년 미국의 필라델피아 센테니얼이 만들어졌고, 1888년에 아일랜드에서 증기운행방식으로 화물과 승객 수송을 위해 모노레일이 도입되었다. 또한 1888년 프랑스인 샤를르 라르티그(Charle Lartigue)가 고안한 모노레일이 아일랜드에 있는 약 15km노선에서 승객과 화물

* 남서울대학교 교수

** 한중대학교 교수

수송을 함에 따라 동력부착 모노레일의 실용화 조짐이 겨우 보였다. 이 최초의 동력설치 모노레일은 보일러를 2개 설치한 과좌식 증기기관차로서 운전속도 약 23km/h, 최고속도는 약 43km/h까지 내었다고 기록되어 있다. 이 모노레일의 운행은 1924년까지 36년 간 계속되었다. 실용화된 것은 1880년경 아일랜드의 벨리뷰니온 철도에서 건설한 것이 시초이며, 1930년대까지 계속되었다.

독일에서는 오이겐 랑겐(Eugen Langen)이 고안한 현수식 모노레일이 뷔퍼탈(Wuppertal : Essen市 남부, Düsseldorf市 동부, Köln市的 북부에 위치한 도시)市에서 1901년 3월부터 운행되었다. 뷔퍼탈市는 하천가의 골짜기를 따라 길게 형성되어 있으므로, 지상에 철도를 부설하기 어려워, 하천상공에 가설할 수 있는 특징을 가진 모노레일을 이용한 좋은 예의 하나이다. 더욱이 개통 이래 무사고로 현재도 도시교통의 원동력으로서 운행이 계속되고 있다. 그 후 1952년 스웨덴의 그렌(Axel L. Wenner Gren)은 독일의 쾰른 근교 휴린겐에서 독자적으로 개발한 실물의 1/2.5 축척으로 만든 과좌식 모노레일로 실험하였다. 이것은 약 1.9km 노선에서 최고속도 130km/h를 기록하였다. 이를 토대로 1957년에는 동일한 장소에서 1.8km의 실물크기의 시험선을 건설하여 모노레일의 실용화를 위한 시험이 실시되었다. 이것을 알weg(ALWEG)식 모노레일이라고 하며, 현재 실용화되어 있는 알weg식 모노레일의 기본형이다. 한편 ALWEG란, 발명자 그렌(Gren)씨의 이름 중에서 첫 글자를 따서 만든 것이다.

1960년 2월에는 파리 남쪽 오흐레앙(Orléans) 부근의 보단샤토누프에 새로운 방식의 현수식 모노레일의 시험선 1.4km가 건설되었다. 이것은 사페지(SAFEGE)식 모노레일이라 불려지고, 프

랑스 기업관리연구(株)(SAFEGE : La Société Anonyme Française d'Etudes, de Gestion et d'Entreprises)와 그 관련회사 10개 사가 프랑스 국유철도(SNCF)와 파리교통공사와의 협력으로 공동연구·개발한 것이다. 이것은 그 후 일본에 기술이 도입되어 실용화된 현수식 모노레일의 기본형이 되었으며, SAFEGE란 호칭은 프랑스에서의 개발주체가 된 회사의 머리 글자를 따서 만든 것이다. 사페지식 모노레일(SAFEGE type monorail)은 일본에서 최초로 실용화되었지만 먼저 개발된 알weg식은 일본뿐만 아니라 1959년에는 최초의 실용 알weg식 모노레일이 미국 로스앤젤레스의 디즈니랜드에 건설되었다. 당초 노선길이는 1.3km이었지만, 그 후 2.3km로 연장되었다. 또한, 1961년 이탈리아의 토리노(Torino), 1962년 미국의 시애틀(Seattle), 1971년 플로리다(Florida)의 디즈니월드에서 모두가 레저시설 혹은 박람회의 관람객수송을 목적으로 하여 건설되었다. 외국의 경우 도시교통기관으로는 뷔퍼탈(Wuppertal, 1901년 독일)市와 시드니(Sydney, 1988년 오스트레일리아)에는 현재도 운행되고 있다.

1901년에 독일에서 현재와 같은 전기에 의해 운행이 가능한 승객 전용의 모노레일이 최초로 상업운행을 시행하였으며, 1905년에 건설된 현수식 모노레일은 지금까지도 시민의 발이 되어 운행되고 있다. 1963년 미국 시애틀의 모노레일과 1964년 일본의 도쿄/하네다모노레일은 현재까지 운행이 되고 있다. 호주 시드니 달링하버 모노레일이 1988년 호주건국 200주년을 맞아 지역의 재개발과 함께 추진이 되어 시민과 관광객들의 도심 관광교통 수단으로 이용되고 있다. 2007년도 최근에는 한국의 삼척 대금굴에서 동굴의 내부로 진입되어 관광용 모노레일이 설치되었고, 일본 오키나와 시가에서는 지역의 활성화

화와 관광진흥을 위해 모노레일 교통수단을 도입하였다. 현재 일본 도쿄·오사카, 미국 휴스턴·마이애미, 캐나다밴쿠버, 호주 시드니 등 세계 49개국 321개 도시에서 모노레일 등의 신교통수단이 운행 중에 있다.

본격적인 모노레일은 현재도 영업을 계속하고 있는 독일 부퍼탈시(市)의 현수식 모노레일(바르멘-부퍼탈시 사이)로서, 이것은 단궤조애쌍플러너가 달린 바퀴가 올라타고, 거기에서 현수장치로 차체가 현수된 전장 13.6km인 전철교식 복선(全鐵橋式複線) 모노레일이다. 그 후 프랑스·영국·미국 등에서 각종 발명이나 개량·시작(試作)이 이루어졌다. 제2차 세계대전 후 독일의 알베그사(社)를 창설한 스웨덴 출생의 실업가 A.L. 베너그렌이 1951년 연구에 착수하여 1952년 1/2.5 크기의 시작품(試作品)을 만들고, 독일의 쾰른에 실험장을 만들어 실험 및 연구를 거듭하여, 1957년 실물 크기의 선로(1.8km, 단선) 및 차량을 완성하였다. 이것은 베너그렌의 머리 글자를 따서 알베그라는 이름이 붙여졌다. 그 후 1958년에는 최초의 강철레일·강철바퀴 방식에서 콘크리트빔 고무타이어 방식으로 개량되어 최고시속 80km를 기록하였다. 이 방식은 1959년 로스앤젤레스의 디즈니랜드(1.4km:단선)에 건설되어 운전되고 있으며, 이 밖에 1961년에는 이탈리아의 토리노, 미국의 시애틀에 박람회용으로 건설되었다.

1950년 말엽에는 프랑스의 사페주사(社)가 사페주식(式)을 발명하였으며, 이것은 랑젠의 원안인 쌍레일 방식과 파리 지하철의 공기식 타이어차의 경험을 살려서 독자적인 현수장치를 고안한 것으로, 1960년 오를레앙 교외에 실험선(11km:단선)이 건설되었다. 한국에서도 서울의 어린이대공원·롯데월드·에버랜드 등에 유람용 모노레일이 건설되어 운행되고 있다. 모노레일

적용 사례로 볼 때 North America와 South America에 11개 노선, Europe에 5개 노선, Australia에 3개 노선, Asia에 17개 노선으로 총 14개국에 36개 노선이 운행되고 있다. 이는 공항이나 유원지와 같이 단거리로 운행되는 노선을 제외하고 도심교통문제의 해결을 위해 도입되어 운행되고 있는 노선이다.

더욱이 모노레일은 타 신교통 시스템에 비하여 월등히 많은 노선이 운영되고 있다. 현재까지 철재차륜 AGT는 비교적 장거리에서 운행되고 있었으며, 고무차륜 AGT의 경우 공항의 터미널과 터미널을 연결해주는 수단으로 주로 사용되고 있었다. 그러나 일부 문제점으로서 철재차륜 AGT는 소음발생에 대한 문제점을 안고 있어 도심지의 외곽을 연결하는 수단으로 사용되고 고무차륜 AGT의 경우 주행을 위한 상부 구조물이 크고, 구조물의 외관이 좋지 않아 인구밀집도가 높은 도심지에 적용하는 사례가 드문 것으로 사료되고 있다.

II. 시스템 구조 및 유형 분석

1. 시스템의 구조

신교통 시스템은 대부분 고가 구조물을 채택하고 있다. 지하에 터널을 건설하여 운행하는 방법에 비해 공사비가 저렴하고 도로상에서 주행하는 차량과의 간섭을 최소화하기 위해서이다. 그러나 채택된 고가 구조물은 도시를 어둡게 하는 환경피해를 발생 시켰다. 그렇다면 모노레일은 어느 정도일까? 다른 신교통 시스템과 하부 구조물을 비교해 보았으나 모노레일은 전망권을 침해하거나, 거리에 유입되는 햇빛을 차단하지 않아 환경피해를 발생시키지 않는다. 그러나 다른 신교통 시스템이 적용된 도시는 매우 어두웠으며, 도시경관을 해치고 있다. 더욱이 겨울철에

는 구조물 하부에 결빙구간이 발생되어 교통사고를 야기 시킴으로서 차량과의 간섭을 최소화 하겠다는 당초의 목적에서 벗어나 있다. 위에서 바라본 상부구조물은 도시에 적용되기에는 부적합하다는 것을 알 수 있다.

모노레일 구조물의 특징은 단선 궤도빔에 있다. 주행되는 차량이 궤도빔 위에서 구동하기 때문에 상부 슬라브가 필요 없는 구조이다. 또한 모노레일의 구조물은 외형이 수려하여 현대의 도시경관과 잘 어우러져 또 하나의 경관을 만들어가고 있으며, 타 신교통 수단에 비하여 도시의 경관을 해치지 않는 친환경적인 구조물이다. 유선의 부드러운 선형을 가진 모노레일은 또 다른 도시 미학을 창조하고 있다. 이러한 모노레일은 인구 밀집도가 높은 도심지와 도로 폭이 좁고 건물이 밀집된 도심 구간 등에 적용성이 가능한 유일한 교통수단이다. 새로운 교통 시스템 중에서 도로 폭이 좁고 건물의 밀집도가 높은 도심 구간의 도시 교통난을 해결할 수 있는 교통 시스템은 모노레일이 아니면 불가능하다. 모노레일은 타 신교통 수단과는 달리 상부 슬라브를 가지고 있지 않기 때문에 건물의 밀집도가 높은 구간에 적용이 가능한 것이다.

또한 모노레일의 구조상 도시민의 전망권을 침해하거나, 거리에 유입되는 햇빛을 차단하지 않아 환경피해를 발생시키지 않는다. 겨울철에는 구조물 하부에 결빙구간이 발생되지 않으므로 교통사고를 발생시키지 않으며, 지주의 폭이 적어 주행차량과의 간섭을 최소화 할 수 있다. 또한 궤도빔과 궤도빔 사이로 햇빛이 유입되어 하부구간과 같이 식체가 가능한 특징이 있다. 이러한 특징은 도시 녹화사업에 큰 기여를 하고 있다. 도시 녹화사업은 도시를 전체적으로 밝게 하여 도시민의 정서를 안정시키고 도시의 이미지 전환과 관광수입의 증대 등을 위하여 시행되

고 있으며, 새로운 교통 시스템을 도입하려는 도시는 도시 녹화사업이 함께 진행될 수 있는지를 검토하여 최적의 방안으로 모노레일을 선택하고 있다.

모노레일이 인구밀집도가 높은 도심지에 적용성이 가장 우수한 새로운 교통 시스템이라 하더라도 안전성에 문제가 있어 적용하기 어렵다 하지만 실제로는 모노레일과 타 교통 시스템에 대해 잘 알지 못하기 때문에 거론될 수 있다. 그렇다면 다른 시스템이 얼마나 안전성이 우수한지 검토해 본 결과 철재 AGT나 고무차륜 AGT에 화재가 발생하여 긴급히 대피해야 하는 경우에 승객은 준비되어 있는 비상탈출구를 이용하여 주행 선로 위로 대피 할 수 있다. 그러나 승객이 대피한 주행선로는 750V의 고압 전류가 흐르고 있는 장소이다.

실제적으로 화재시 모노레일은 외부에 설치된 안전 통로를 이용하여 대피가 가능하다. 그러나 많은 모노레일 운행 노선에는 외부에 안전 통로가 설치되어 있지 않다. 이유는 화재에 대한 안전 기준 때문이다. 화재 예방을 위하여 우리나라와 같이 연소가스에 의한 기준이 아닌 내화성 기준으로 적용되는 국제기준 NFPA 130과 ASTM E-119를 적용한다. 예를 들면 차량 바닥 하부의 가열 및 점화에 의한 바닥의 평균 상승 온도가 15분 동안 139℃를 넘지 않도록 ASTM E-119는 규정하고 있다. NFPA 130과 ASTM E-119를 충족하면, 결과적으로 차내에 불에 탈 것이 없다. 그러므로 화재가 발생하지 않을뿐더러 발생한다 하더라도 초기 진화와 승객 대피에 충분한 시간적 여유를 가질 수 있다. 사실 이 기준은 거의 모든 신교통 시스템에 적용되는 기준이다. 따라서 안전에 대한 논쟁은 더 이상 불필요한 존재이다.

고가구조물을 채택 하지 않는 방식으로 대표

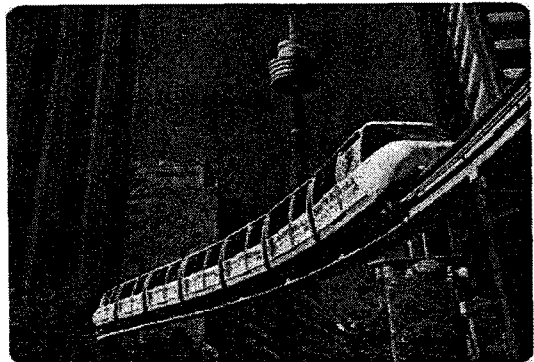
적인 것은 LRT이다. LRT는 도로상에 직접 레일을 부설하여 주행하는 방식으로 초기 건설비가 저렴하다는 장점이 있다. 그러나 알고 보면 장점에 비해 너무도 단점이 많은 교통 시스템이다. 2003년 미연방 교통국의 자료에 의하면 LRT는 모든 교통수단 중에서 가장 높은 사고율을 나타내고 있다고 한다. 1999년에서 2002년까지 4년 동안 미국 내에서만 166명이 LRT에 의해 목숨을 잃었다. 그러나 모노레일은 상업운행을 시작한 지난 100년 동안 단 한명의 사망자도 발생시키지 않았다. 따라서 모노레일은 새로운 교통수단이라고 부르기 어려울 정도로 오래된 역사를 가지고 있으며, 안전성과 편리성 친환경성이 우수한 교통수단이다.

건설비용 측면에서도 모노레일은 다른 신교통 시스템에 비하여 약 1/3의 건설비와 유지관리비를 절감할 수 있다. 로스엔젤레스에 새로운 교통시스템을 도입하기위해 주민투표를 시행한 결과 모노레일 선호도는 5:1로 매우 높게 나타났다. 시민의 호응을 받고 있는 새로운 교통시스템인 것이 증명된 사례이다. 이와 같은 이유로 모노레일은 세계 각국에 가장 많이 건설 되었으며, 건설되어 지고 있다. 2007년 완공 예정인 서울 강남 모노레일(monorail)의 건설은 우리나라 대중교통의 새로운 역사의 전환점이 될 것으로 기대 되지만, 이제 우리나라에도 모노레일이 조속히 활성화되어 도시 교통난을 해소하고 수려한 외형으로 도시경관을 높이 차원에서 도입되어야 할 것이다.

2. 모노레일의 유형

모노레일은 크게 나누어서 차량을 선로에 걸터앉히는 과좌식(跨座式)과 선로에 매다는 현수식(懸垂式)이 있다(그림 1). 과좌식은 다시 알베그식과 로키드식으로, 현수식은 사페주식과 랑

젠식으로 분류된다. 과좌식인 알베그식은 콘크리트 제I형 빔의 윗면을 주행로로 하며, 빔에 걸터앉은 차체(車體)가 고무타이어인 구동바퀴로 주행하고, 빔의 양쪽 면에는 안내바퀴와 안정바퀴가 주행하는 형식이다. 로키드식은 콘크리트 빔 면을 직접 주행로로 하지 않고, 빔의 윗면 및 양쪽 면에 강철레일을 부설하고, 그 레일 위를 강철제 구동바퀴 및 안정바퀴가 주행하는 형식이다. 현수식인 사페주식은 궤도빔이 강철로 된 상자형이며, 그 안쪽면을 주행로로 한다. 이 경우 구동바퀴는 안벽의 밑면을, 안내바퀴는 안벽의 측면을 주행한다. 차체는 주행장치에 설치되어 있는 현수장치에 의해서 현수된다.



<http://blog.naver.com/worpmind>

<그림 1> 시드니의 과좌식(跨座式) 모노레일과 독일의 현수식(懸垂式) 모노레일<부퍼탈(Wuppertal)에서 운행되는 슈베베반(Schwebebahn)>

<표 1> 한국의 모노레일 제작업체 현황

	업체명	설립년도	용도	지역	기타
1	(주)대림 모노레일	1998	노업용, 산업용, 승용, 철구조물	부산	
2	한국모노 레일(주)	1993	관광용, 산업용, 레저용,	서울	제작 특허 보유
3	범한모노 레일	1992	산업용, 농업용, 토목용	진해	

보통의 철도는 2개의 철제레일(궤도)을 이용하여 차량이 달리는 데 비해, 하나의 주행궤도를 사용하여 차량을 주행시키는 철도. 단궤철도(單軌鐵道)라고도 하며 고좌식(跨座式)·현수식(懸垂式)이 있다. 19세기 초부터 모노레일을 발명하려는 많은 시도가 이루어졌는데, 실용화된 것은 프랑스인 C. 라르티뉴의 고좌식부터이다. 1888년 아일랜드에서 증기기관차를 사용하는 고좌식 영업선로가 개통, 1924년까지 여객·화물의 수송에 이용되었다. 독일의 E. 랑겐이 고안한 현수식 영업선로는 1901년 독일 루르공업지대인 부퍼탈에서 개통하여 전차운전 방식으로 현재까지 운전을 계속하고 있다. 부퍼탈에서 장기간 실용이 가능했던 것은 도시화에 따라 용지 확보에 어려움이 없는 하천 상공에 고가궤도를 가설한 아이디어 때문이다.

제2차세계대전 후 급격한 자동차화가 가져온 도시교통의 혼란으로 지하철도, 고가식보통철도에 비해 건설비가 낮은 모노레일이 널리 주목을 받게 되었다. 고가 구조로 궤도를 건설하면 도로·하천 등의 상공부(上空部)를 효과적으로 이용하는 장점이 있다. 콘크리트제 궤도를 시설하고 주행 차량에 고무타이어를 사용하면, 강철레일에 비해 고속 배차 때 쉽게 대처할 수 있고 가·감속이 용이한 점도 장점의 하나이다. 반면,

운전 경비가 비교적 많이 든다는 결점이 있다. 1950년대 이후 미국·유럽에서 신형 모노레일을 개발하였으며, 1964년 도쿄올림픽 개막 때 일본에서 개통한 고좌식 모노레일도 실용화에 성공한 예이다.

모노레일의 형식은 크게 기본적으로 차체가 주행보[走行桁(주행형)]에 걸터앉은 형태로 주행하는 고좌식 모노레일과, 차체가 주행보에 매달려 있는 모양으로 주행하는 현수식 모노레일로 구별된다. 세부적인 차량에 따라 여러 형이 있지만 현재 주로 이용되는 것으로 고좌식에는 알베그식(AL-WEG式), 현수식에는 사페지식(SAFEG-E式)이 있다. 알베그식 모노레일은 주행보가 철근 또는 프리스트레스콘크리트 및 강철제로 되어 있고 단면은 직사각형이다. 차량 측면의 고무제 지지바퀴·안내(유도)바퀴·안정바퀴가 이 주행보를 둘러싸고 주행한다. 곧, 차량의 지지와 추진을 담당하는 지지바퀴는 주행보의 꼭대기를 전송하며, 궤도의 곡직(曲直)에 따라 차량의 주행 방향을 유도하는 안내바퀴 및 차체의 전복을 방지하기 위한 안정바퀴는 각각 수직축 주위를 회전하며, 주행보의 상부 및 하부를 양측면에서 끼듯이 하여 전송한다.

사페지식 모노레일의 주행보는 하부가 열린 세미박스 단면의 강구조(鋼構造)를 사용하여, 내부를 8개의 고무제 바퀴로 구성된 보기차가 주행하도록 되어 있다. 차량의 지지와 추진을 담당하는 4륜은 비교적 크며, 주행보 안의 평편한 주행관 위로 전송한다. 그 밖에 비교적 작은 4륜은 주행보 안의 측벽에 설치되어 있는 유도판을 접촉하면서 수직축 주변을 회전하여 차량을 유도한다. 차체는 보기차대(bogie 車臺) 아래에 장착한다. 이것에서 변형된 모노레일을 유원지에서 많이 볼 수 있다. 이와 같이 모노레일은 주로 고가구조를 가지며 점용 면적도 비교적 작으므로

<표 2> 과좌식 모노레일과 현수식 모노레일 비교

자료: 한국모노레일협회의

구 분	과좌식 모노레일	현수식 모노레일
곡선주행성	최소곡선반경에 제약이 있음(차량상하(床下) 공간, 차륜과 궤도주형의 관계, 승차감 등).	작은 곡선을 미끄러짐없이 통과가능 (대차가동장치에 작동기어를 사용).
내 후 성 (耐 候 性)	궤도주형의 주행면이 노출되어 있으므로 날씨의 영향(비, 눈, 서리 등)으로 접촉계수가 변화함. 미끄럼방지 대책이 필요.	궤도주형의 주행면이 덮여져 있기 때문에 날씨의 영향을 받지 않음. 강(鋼)구조와 극단적인 기상의 변화(급격한 기온변화 등)와 관련 필요에 따라 그 영향을 고려하여야 함.
도로교통에 대한 안전성	궤도주형상에 차량이 있기 때문에 도로상의 자동차 등에 의한 한계지장은 없음. 대차부품 등은 차체하부에서 스킵트모양으로 덮여져 있기 때문에 부품 등 도로아래로의 낙하, 비산(飛散)은 없음.	건설한계를 침범한 자동차 등과 접촉할 우려가 있음. 대차의 부품, 유류(油類)등 도로아래로의 낙하물은 차체천장이 받침대가 되어, 바로 지상으로 떨어지기는 어려움.
플랫폼에서의 전락방지	플랫폼과 전락방지기의 높이는 2m정도가 되고, 승강시설과 난간 등을 설치함.	플랫폼과 전락방지기의 높이는 0.5m로 비교적 안전하고, 특별한 시설은 필요없음.
건 설	RC구조, PC주형이 주체이므로 비용은 낮아진다. PC주형의 현지플랜트 설치·운영외에 RC구조의 시공에 공사기간을 요함.	궤도주형, 지주 등은 강(鋼)구조이므로 비용은 높아진다. 공장제작, 현지반입이 대부분으로 현지에서의 공사기간은 짧음.
보 수	기본적으로는 재도장할 필요는 없음(도장할 개소는 필요). 전차선은 지상에서, 주행면은 열차에서 눈으로 점검이 가능함. 분기기는 궤도주형본체가 전환하기 때문에 기구가 대형으로 보수가 대규모화 됨.	강(鋼)구조이므로 재도장을 고려하여야 함. 전차선, 주행면과도 궤도주형내이므로 점검차에 의해 점검됨. 분기기는 가동부분이 안내레일뿐이고, 기구는 비교적 소형이지만 구조부분의 보수에 신중함이 요구됨.

한정된 도시 공간을 효율적으로 이용할 수 있는 이점이 있다. 또한 고무타이어를 사용하므로 소음도 적을 뿐더러 고속주행도 가능하며, 차대 구조가 급곡선에서도 주행 가능하게 되어 있어 노선 선정이 자유롭다. 물론 소방 활동의 문제에서 도로확장을 일부 수반하는 일도 있지만 건설비는 지하철에 비해 저렴하다. 수송력에서 보면 버스보다 훨씬 크지만 일조·도시미관 등의 문제로 고가역 승강장의 길이가 제한되며, 열차 편성 길이에도 한계가 있으므로 지하철이나 고가철도에

뒤떨어진다. 새로운 용지 확보가 어려운 도시지역에서 지하철 건설만큼 이용자가 많지 않고, 버스로서는 수송력이 부족한 경우의 교통기관으로 적합하다고 보고 있지만, 건설비가 비싸므로 개통 후 수지 균형이 어려울 것으로 예상되어 보급에 한계를 보이고 있는 실정이다.

한국모노레일협회의 자료에 의하면 모노레일(Monorail)이란 1개의 주행로(走行路, 이하 “궤도주형”이라고 함)위에 고무타이어 차량이 과좌식(跨座式) 또는 현수식(懸垂式)으로 주행

하는 교통수단이다. 궤도주형을 타고 달리는(차체의 중심이 궤도주형의 상부에 있다)방식을 과좌식 모노레일(straddled type), 궤도주형을 달리는 대차에 차체가 매달리는(차체의 중심이 궤도주형의 하부에 있다)방식을 현수식 모노레일(suspended type) 이라고 한다(표 2).

모노레일은 과좌식, 현수식에 관계없이 다음과 같은 특징이 있다.

① 용지의 점유면적 및 도입공간 구조물의 폭이 적다.

모노레일의 구조물은 매우 단순하다고 할 수 있다. 구조물의 지지는 각주(角柱) 및 원주(圓柱, 1~1.5m정도)로써 전체를 지지(支持)하는 구조이며, 지주(支柱)를 가로의 중앙분리대에 설치할 수 있다.

따라서, 도시 내의 제한된 공간을 효율적으로 활용할 수 있는 동시에 모노레일의 주행공간과 차도(車道)가 입체적으로 공용 가능하다.

② 급구배, 작은 곡선반경에서도 운행이 가능하다.

고무타이어와 보기 대차의 사용에 따라 100%의 급구배, 최소 곡선반경 30~50m정도에도 문제없이 운행 가능하다. 다만, 급구배와 급곡선을 많을 경우에는 표정속도가 낮아지며, 차량용 전동기 용량을 크게 해야 하므로 교통기관으로서의 종합적인 기능이 저하되기 때문에 가능한 한 이를 피하는 것이 바람직하다.

③ 승차감이 양호하다.

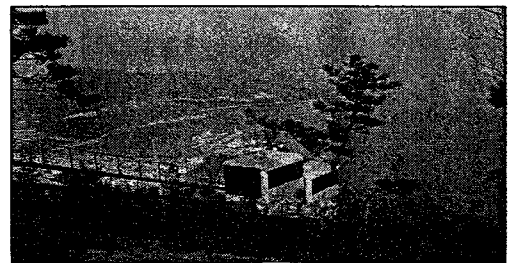
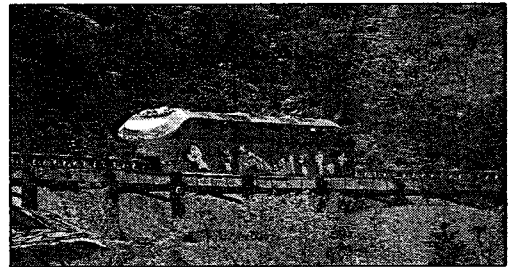
고무타이어 사용과 보기 대차의 공기스프링 채용으로 승차감이 우수하다. 또한, 차량 및 주행상태는 앞에서 기술한 바와 같이 궤도주형과

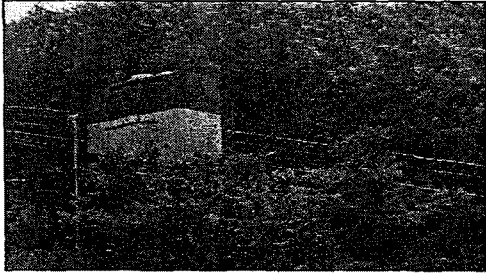
일체로 되어 전노선이 입체교차이다.

3. 상용 시스템 현황

<표 3> 상용 모노레이카의 유형 및 파생상품

	모노레일카 유형	세부상품
1	관광용 모노레일카	일반모노레일 크랜스모빌
2	레저용 모노레일카	골프장용
3	산업용 모노레일카	소형 모노로더 대형 모노로더
4	주거지용 모노레일카	주거지용





<그림 2> 국내 설치 현황: 삼척 대금굴 모노레일(1), 정산 화암굴 모노레일(2), 해남 땅끝마을 모노레일(3), 문경 가은 영상타운 모노레일(4), 자료: 한국모노레일(주) 제공

관광용 모노레일카는 노약자나 장애인도 혼자서 쉽고, 편안하게 관람할 수 있는 기회를 제공하고, 새로운 볼거리와 탈거리가 탄생되어 관광객들에게 다양한 이벤트를 제공한다. 전기를 이용한 무공해·무소음의 환경친화적 시스템이다. 전자브레이크와 레일캐치방식의 비상브레이크가 내장되어 안전한 주행을 보장하며, 고장시 자체진단기능이 내장되어 초보자도 관리가 용이하다. 모노레일카는 냉·난방시설, 자동관리시스템 등이 완비되어 사계절 쾌적하며 안전한 운행이 보장된다. 특히 내리막 주행시 자가발전으로 전기료를 절감할 수 있고, 고속철도의 개통 등 전국 1일 생활권 시대를 맞이하여, 시간활용이 중시되는 스피드 관광시대에 적합한 모노레일카 설치로 편안하고, 빠른 관광문화에 일조할 수 있다.

▪ 용도

- 1) 고지대 주거단지 주민 수송
- 2) 복지시설 노약자·장애인 수송
- 3) 레저시설 이용객 수송
- 4) 관광지·유원지 입장객 수송
- 5) 건설현장 인부·자재 수송
- 6) 산악지 시설물·인력 수송
- 7) 고지대 사찰에 인원수송
- 8) 골프장이용객 및 전동카트 수송

▪ 특징

- 1) 소형화·경량화 실현으로 설치비 및 운영관리비 저렴
- 2) 무소음·무진동의 쾌적한 운행
- 3) 간단한 버튼 조작으로 누구나 손쉽게 운전가능
- 4) 최대 등판각도 45도
- 5) 최소 회전반경 30m로 설치공간 활용 극대화
- 6) 자체 고장 진단기능
- 7) 실내 냉난방 설비 및 방송시설
- 8) 내리막 주행시 자가발전으로 전기료 절감의 극대화

▪ 안전성

- 1) 디스크 타입의 전자브레이크 장착
- 2) 레일 캐치 방식의 비상 브레이크 장착
- 3) 과하중·정원초과 경보 장치(옵션)
- 4) 전동식 자동문 장착(옵션)

▪ 모노레일카 제원

승차정원(인) 2인~100인

조 작 방 법 버튼식 리모콘조작 방식

운 전 방 식 인버터 제어 방식

모 터 용 량 3.7kW~66kW

주 행 속 도 40m/min ~ 300m/min

등 판 능 력 최대 45도

구 동 방 식 모터 구동 방식

- 레일 캐치식 비상용 브레이크
- 레일스토퍼
- 출발 경보

- 안 전 장 치
- 중량초과 경보
 - 자동문 인터록 장치
 - 과부하 릴레이
 - 누전브렉카·낙뢰 흡수 장치

모노레일 운송시스템은 현재까지 국내에서 일반적으로 적용해온 도로개설 및 헬기방식에서 탈피하고, 공사 때마다 등장하는 각종 민원발생 및 자연훼손을 최소화하면서 경비절감과 작업능률의 개선을 실현한다.

- 소형 모노로더 특징
- 높은 경사각도에 설치가 가능하며, 설치 및 철거가 용이함
- 키 시동방식을 채택하여 누구나 손쉽게 시동조작 가능,
- 비상시를 위한 리코일 스타터 장착
- 넓은 지형을 효율적으로 운영하기 위하여 레일방향 이동장치 설치
- 차량 횡단시 레일을 간단히 탈착할 수 있는 도로횡단부 설치
- 과수 및 비료운반, 도로가 없는 밭의 농작물 운반,
- 무인운반이 필요한 긴거리의 농작물 운반, 사찰, 묘지 등의 물품 운반, 고지대에서의 작물 운반 등 광범위한 용도로 활용이 가능

- 적용대상
- 1) 지하철 건설현장의 역사시공 중 자재운반
- 2) 산악지 통신중계소 건설현장의 물자운반
- 3) 철탑공사 현장의 자재운반
- 4) 방조제공사, 축대 공사 등의 자재운반
- 5) 전방 고지대 내무반, 방카 건설공사 및 부식추진
- 6) 국립공원의 쓰레기 운반

- 7) 사찰, 호텔, 별장지 건설의 자재운반
- 8) 계단식 현장의 설비 및 자재운반
- 9) 차량통행이 불가능한 곳의 자재운반
- 10) 문화재 신축 또는 유지보수에 따른 자재 운반
- 11) 공원 묘지 주요 석재 운반

- 특징
- 디젤 발전기를 탑재한 발전전동구동방식 모노레일.
- 45°의 급경사면에 부드럽고 정숙하고 스피디한 주행성
- 인버터 자동제어에 의한 속도변화(각도대응)로 쾌적한 주행특성.
- 3중 브레이크 구조에 의해 안전하게 사람이나 화물을 효율적으로 수송.

- 광범위한 용도
- 차량통행이 불가능한 고지대 중량물 운반
- 통신중계소 공사 및 출퇴근용
- 송전선 철탑공사현장 자재운반 및 통근
- 조림사업 및 임업현장 자재운반
- 국립공원 복구공사 및 쓰레기 운반

견인차 엔진	KR350	KR500
엔진종류	공냉4사이클 가솔린기관	공냉4사이클 디젤엔진기관
배기량	181cc	412cc
최대출력	6.0ps/3600rpm	8.5ps/3600rpm
시동방식	리코일, 셀모터	
연료탱크	3.8L	4.5L
견인차 구동부		
형식	피니언, 랙식	
치수(장,폭,고)	653×525×713mm	1020×750×780mm
중량(엔진포함)	97kg	145kg
운반능력	350kg/45'	500kg/45'
운행속도	45m/min	45m/min
변속	전진1단, 후진1단	
제동방식	주차, 정속, 긴급브레이크	
레일		
규격	50×50×2.3mm	60×60×4.5mm
길이	6m	
중량	26kg/6m	60kg/6m
지주	1500mm	1200mm

▪ 모노로더 1톤, 3톤 제원

항 목	1톤 모노로더	3톤 모노로더
승용의 경우	8~20명	14~24명
탑재 발전기	9.5kVA	22kVA
전동기 출력	3.7kW × 2대	3.7kW × 4대
최 대 구 배	45도	
주 행 속 도	(구배 30도이상) 저속30m/min (구배 30도이하) 저속50m/min	
주 행 방 식	랙크피니온	

- 상하좌우의 3차원 시공이 가능
- 지형 맞춤 시공으로 환경 친화적.
- 과도한 토목 공사비를 절감하는 경제적인 시설.
- 노약자 및 장애인의 자유로운 활동을 보장
- 원터치 기능으로 누구나 손쉽게 이용할 수 있으며, 쾌적한 운행을 보장.
- 운행 및 관리 비용이 저렴
- 자가 진단 기능 내장으로 고장여부를 한눈으로 알 수 있다.
- 모노레일을 따라 왕복 주행하는 시스템
- 전자브레이크 및 캐치 방식의 비상 브레이크로 안전
- 독립된 모터를 탑재하여 정상주행의 1.2배초과시 자동 정지.
- 과하중·정원초과등 경보 장치를 장착 가능.

▪ 모노레일카 제원표

형 식	KMR-6M형 (6인승)
차 량 중 량	800kg
운반능력	450kg ~
주 행 속 도	65M/MIN
등 판 각 도	MAX 45°
조 작 방 식	차량내 누름버튼방식, 자동가감속, 정위치정지
속도제어방식	인버터 제어방식
제 동 장 치	모터브레이크
전 동 기	감속전동기 5.5KW × 2Sets
급전방식 및 전원	절연트리방식 3상 AC380V
주 행 방 식	랙크 & 피니언 방식

▪ 비스타라이나

- 인버터 제어에 의한 안전한 주행
- 인버터제어방식으로 부드럽고 안전하게 관광객을 목적지까지 수송할 수 있습니다.
- 도시 경전철의 첨단기술 채용
- 쾌적한 승차감을 보장합니다.
- 안전한 브레이크 시설
- 축적된 노하우로 승객의 안전을 최우선하여 설계되었습니다.
- 8,000만명의 수송 실적
- 현재까지 약 8,000만명의 승객을 무사고로 안전하게 목적지까지 수송하였습니다
- 전기를 이용한 무소음 무공해 시스템
- 공해 물질의 배출이 전혀 없는 환경친화적 시스템
- 자연친화적 모노레일
- 무분별한 산행을 줄여 자연보호 및 환경파괴 감소
- 주거단지에서 가까운 전철역 연계
- 관광타운내 교통수단

▪ 비스타라이너 제원

	12형	30형
궤 도 구 조	콘크리트와 조물로 구성	철구콘크리트와 철구 조물로 구성
궤도간 규격	1,200mm	1,500mm
최 대 구 배	250%	100%
최소회전반경	15m	15m
차 량 편 성	표준 8량편성 (최대15량)	표준 6량편성
정 원	90명	170명
차 량 중 량	20,000kg	30,600kg
전장·전폭·전고	33,600×1,650×2,150mm	25,600×2,000×2,550mm
표 정 속 도	30km/H	30km/H
제 동 방 식	차량축·궤도축의 2계통 병용시스템	
최대 수송능력	4,000명/時	5,000명/時

▪ BTM

▪ 어떠한 경사라도 가능

- BTM은 강력한 희토류(希土類)의 네오지움자석을 사용하므로 어떠한 경사에서도 주행가능하다. 단순한 오르막만 있는 경사의 경우에는 34도(670%)까지 가능하지만, 오르막과 내리막이 계속 이어질 경우에는 11.3도(200%)정도가 실용화의 상한선이라고 할 수 있다. 도심지에서는 선로위, 도로위, 지하등 경사가 많은 곳에 적합하다. 산악지에서는 급경사면을 오를 수 있으므로 종래의 교통시스템으로는 도입이 어려웠던

지역의 교통에 도움을 준다.

- 건설비의 절감
 - BTM은 경사에 구애받지 않고 루트를 자유롭게 선택할 수 있고, 차량의 중량이 가볍기 때문에 건설비용을 다른 교통기관에 비해서 크게 절감할수 있다.
 - 수송력은 1시간당 1,000~7,000명, 도입규모는 2~20km
 - BTM은 신교통시스템과 비슷한 정도의 수송력입니다. 건설비가 저렴하기 때문에 수송량이 적은 지역에도 알맞습니다. 또한 도입설치규모는 20km/h정도이다.
 - 자연환경에 어울리는 교통기관
 - BTM은 전기운전이므로 배기가스를 배출하지 않습니다. 지상의 구축물도 최소한으로 해결되므로 생태계에 주는 영향은 매우 작게 줄일 수 있다.
 - 눈·비에 강하다
 - BTM의 궤도에 특수카본 섬유를 매설하여, 계속 눈을 녹여주므로 눈이나 얼음에 강하고 한냉지나 다설지에 적합하다(한국모노레일(주) 제공).

III. 활성화 방안

근래에 들어 세계적으로 복잡한 도심의 교통 문제를 해결하기 위한 대안으로 새로운 교통시스템의 도입을 추진하고 있다. 새로운 교통시스템은 모노레일(Monorail), LRT(Light Rail Transit), AGT(Auto Guideway Transit), PRT(Personal Rapid Transit), MLT(Magnetic Levitation Train)등이 있다. 새로운 교통 시스템이라고 표현을 하고 있지만, 서구에서는 이미 1960년부터 상용화되어 사용되고 있었으며, 동남아 지역에서는 과도한 공사비가 소요되는 지하철의 대안으로 건설되어 운영되고 있는 교통 시스템이다. 한국모노레일협회에 의하여 거론된 사안에 의한 분석 결과는 다음과 같다.

1. 미래형 교통수단

최근 한국철도기술연구원이 경북 경산에 경전철(輕電鐵) 시험선을 만들어, 한국형 고무차륜 경전철 "K-AGT"를 시험운행하면서 경전철에 대한 관심이 높아지고 있다. 경전철은 지하철과

버스의 중간 수준의 수송력을 갖춘 소형 도시철도 시스템으로, 통상

- (1) 자동궤도주행시스템 AGT(Automatic Guideway Transit),
- (2) 선형유도모터 열차 LIM(Linear Induction Motor),
- (3) 신형 노면전차 SLRT(Street Light Rail Transit), 그리고
- (4) 모노레일(Monorail)의 4종으로 구분된다.

이 같은 경전철은 우리나라를 제외하고는 세계적으로 많이 상용화되어 있으며, 도시교통수단으로써 제몫을 톡톡히 해내고 있다. 그런데, 이미 세계에서는, 경전철의 다음 세대 교통수단에 대한 연구도 활발히 진행되고 있다. 선진국에서조차 구상, 개발 단계인 그야말로 차세대 모델인 썸인데, 5회에 걸쳐, 현재 개발중인 "차세대 미래형 궤도계 교통수단"에 대해서 알아보자.

PRT (Personal Rapid Transit): 미래형 궤도계 신교통수단으로 가장 잘 알려진 것은 바로 PRT일 것이다. PRT는 '궤도택시'라고도 불리는 시스템이다. PRT의 개념은 말그대로 택시와 유사하다. 1량 1편성 1~4명 정원의 조그만 차량이 궤도에 매달려 있고, 이 차량은 궤도 안이라면 어디든지 갈 수 있다. 그리고 PRT의 궤도는 도시 곳곳으로 뻗어 있다. 이용방법은 다음과 같다. 탑승을 원하는 승객은, 승강장에서 택시를 호출하고, 곧 번 택시가 승강장에 도착하면, 승객은 택시에 탑승한다. 승객이 택시에 원하는 목적지를 입력하면, PRT차량은 자동으로 무인운전되어, 원하는 목적지의 승강장에 도착한다. 승강장에는 추월선과 승강장에 붙은 선로가 따로 마련되어 있어, 택시가 신호대기를 하거나 추돌/충돌하는 일은 없다. PRT의 장점은, 출발지에서 도착지까지 중간정차없이 도착하기 때문에, 표

정속도가 빠르다는 점이고, 무인운전되므로, 인건비 절감 및 24시간 운영이 가능하다는 점이다. 하지만 PRT의 문제점은 차량의 정원이 적기 때문에, 수송인원이 늘어날수록, 필요한 차량의 댓수도 계속하여 늘어난다는 점이다.

승객이 많은 적든, 비슷한 수준의 차량만 필요한 도시철도와 차이를 보이는 점이다. PRT는 선진국에서 활발히 연구되고 있는데, 미국 미네소타대학의 Taxi2000, 이것이 발전된 PRT2000 시스템이 대표적이다. 국내에서는 PRT Korea 주관으로, 여의도와 서울대 관악캠퍼스내에 도입을 위한 타당성 검토가 이루어진 적이 있으나, 실현되지는 않았다. 또한 포항공대에서 PRT를 연구한 바가 있으며, 연구를 위해 포항공대 구내에 약 40m의 시험선이 구축되어 있다. PRT의 대표적인 PRT2000외에도, PRT는 여러 가지 이름으로 여러 곳에서 개발되고 있는데, 영국 브리스톨 대학의 ULTra, 미국의 아이다호 국립 공학 및 환경 연구소의 Cybertran, 역시 미국의 Skytran등이 그것이다. 참고로 Skytran은 기존 PRT와 개념은 동일하나, 공기역학적인 디자인, 자기부상 운행 등의 장점을 갖추어, 속도를 기존 PRT의 60km/h를 170km/h로 개선하는 등, 보다 개선된 형태의 PRT라고 할 수 있다.

사회가 고도화될수록 교통정체가 심해지며, 교통정체 해소를 위해서는 자동차의 수요를 줄이는 것이 필요하다. 그러기 위해서는 고급이고 쾌적하면서도, 높은 신뢰도를 갖춘 교통수단이 필요해지는 것이다. 그런데 지금까지의 도시철도나 경전철은 대량수송이라는 측면은 탁월하였지만, 표정속도가 느리고, 각 개인의 입맛에 맞는 개별화된 수송에는 대응할 수 없었다. 하지만, PRT는 소량의 교통량을 신속, 정확하게 수송한다는 점에서, 각 개인의 개성과 니즈(needs)를 강조하는 미래사회에 최적의 교통수단이라고

할 수 있다. 이미 한국철도기술연구원에서도 2004년부터 ‘소형궤도열차시스템’을 개발중에 있으며, 특히 강원도와 공동으로 연구를 진행시킴으로써, 설악산 등 관광지에 철기연에서 만든 PRT가 보급될 전망이다. 1974년에 우리나라 첫 지하철이 개통된지 30년이 넘었지만, 아직도 우리 도시철도는 많은 부분을 외국 기술에 의존하고 있는 실정이다. 다음 세대의 교통수단이 될 “미래형 궤도계 교통수단”에서는 우리나라가 우리 고유의 기술을 가지고 세계와 경쟁하기를 바라는 마음이다.

2. 듀얼모드 시스템 (RUF/Megarail/DMV)

RUF 시스템 (Rapid, Urban, Flexible)은 Rapid, Urban, Flexible의 약자로서, 신속하고 유연성 있는 도시형 교통 시스템이라는 뜻이다. 궤도계 교통수단의 단점은 정해진 궤도위에서 달리기 때문에, 조향(방향조절)을 스스로 할 수 없다는 점이다. 하지만 바로 이러한 점 때문에, 주행안전성이 보장되므로, 고속주행 및 짧은 차간거리가 가능해진다. 즉 조향하는 것을 포기하면서, 새로운 장점을 얻은 것이다. 사실 궤도가 없으면, 고속주행이 힘들다. 자동차의 경우, 속도가 100km/h가 넘어가면, 보통 사람은 오랫동안 안정적으로 운전을 하기 힘들다. 이 문제를 해결하기 위해서 RUF는 일반자동차를 궤도위에서 달리게 하는 방법을 쓰고 있다. 이같이 하나의 차량이 일반도로와 궤도에서 동시에 달릴 수 있게 하는 개념을 Dual-mode(듀얼모드)라고 부른다.

덴마크의 발명가 Palle R. Jensen이 고안한 RUF는 일반도로와 철도에서 모두 운행 가능한 바퀴를 장착한 자동차를 이용하는 것이다. 자동차 하단에는 레일에서 전기를 끌어당길 수 있는

A자형 슬롯(Slot)이 설계되어, RUF궤도인 모노레일 위와 일반도로에서 모두 운행할 수 있다. RUF는 특수하게 제작된 차량과 궤도를 사용하는데, RUF의 차량은 기존 자동차에서 가운데 아랫부분에 홈을 낸 것이다. 그리고 RUF의 전용궤도는 기존 고속도로 중앙분리대 근처에 한 가닥의 길쭉한 궤도가 위로 솟아오른 것이다. 따라서 RUF의 차량은 보통 도로에서는 자동차처럼 달리다가 RUF궤도에 들어오면, RUF궤도가 RUF차량을 유도해주기 때문에, 조향을 신경 쓰지 않고, 고속주행이 가능해진다.

물론 신호시스템의 유도를 받아 자동운전이 가능하다. 자동운전을 할 경우, 차량의 속도를 높이고, 차량간 간격을 크게 줄일 수 있어, 수송력을 크게 높일 수 있다. 심지어 차량의 구동시스템을 전기모터로 할 경우, RUF궤도상에서 직접 전기를 받아 무공해 운전도 가능한 것이다. 결국 RUF는 자동차와 철도의 장점을 혼합한 것이라고 할 수 있다. RUF는 실제로 구현된 시스템은 아니지만, 덴마크의 RUF社에서는 시제차를 만들어 시험을 하는 등 연구를 계속하고 있다.

Mega Rail 시스템은 미국의 Megarail Transportation System社가 텍사스 포트워스(Fort Worth)에서 연구 중인 시스템으로, 듀얼모드라는 점에서 기본개념은 RUF와 유사하다. 하지만, RUF는 차량 가운데 아래에 홈을 파고, 그곳과 궤도를 접촉시키는데 비해, 메가레일은 기존 자동차의 바퀴가 바깥쪽으로 삐죽 나오면서, 그 바퀴가 메가레일 궤도에 일치하여, 궤도상에서 고속으로 달리게 된다. 역시 RUF와 마찬가지로 자동차의 유연성, 문전속달성에, 궤도시스템의 궤도내 고속주행성을 결합한 시스템이라고 할 수 있다. 현재 이 회사는 소형 Dual-mode 차량인 Microrail 시스템과 중형

Dual-mode 차량인 Megarail 시스템을 개발하고 있으며, 고가 가이드웨이와 시제 차량에 대한 각종 시험을 수행 중에 있다. 이처럼 RUF나 Megarail같은 듀얼모드 시스템은 자동차의 장점과 궤도계 교통수단의 장점을 동시에 취하고자 하는 노력이며, 전 세계적으로 활발히 연구되고 있다.

DMV (Dual-Mode Vehicle)은 특히 철도 승객 감소로 어려움을 겪고 있는 일본 홋카이도 지방에서는, JR 홋카이도를 중심으로 DMV가 개발 중에 있으며, 이미 지난 4월에 주행시험까지 한 바 있다. 이 시스템은 25인승 소형버스를 철궤도 위에서도 달릴 수 있도록 개조한 것으로, 자동차와 철도차량의 장점을 동시에 갖는 유연한 시스템이 될 것으로 기대되고 있다. 수요가 적은 곳에 철도차량을 보내려면, 지나치게 비용이 많이 들지만, 이러한 듀얼모드차량을 사용할 경우, 버스 수준으로 비용이 절감될 뿐만 아니라, 설치 및 유지보수에 비용이 많이 드는 철도궤도 없이도 최종 목적지까지 운행이 가능하기 때문이다. 우리나라에도 강원도의 정선선같이, 비용이 많이 들어 유명무실한 철도운행을 하는 노선들이 많다. 필요에 따라 철도와 도로를 선택할 수 있으며, 버스 수준으로 유지비를 줄일 수 있는 듀얼모드차량은 이러한 적자 철도의 한 해결책이 될 수도 있을 것 같다.

3. 첨단 굴절버스

작년 7월 1일 서울에서 시행된 버스체계개편을 계기로, 국내에도 BRT에 대한 관심이 높아지고 있다. BRT란 Bus Rapid Transit의 약자로서 우리말로는 흔히 첨단버스체제, 간선급행버스 등으로 번역되곤 한다. BRT라는 단어를 보면, 다분히 LRT(Light Rail Transit), 즉 경전철이 연상되는데, 이는 BRT가 기존 버스의 서비

스 수준을 경전철 수준으로 끌어올리는 것을 목표로 하기 때문이다. BRT는 하나의 물체를 말하는 것이 아니고, 중앙버스전용차로, 고급버스차량, Hub and Spoke 형태의 노선개편, 버스정보시스템, 버스관리시스템, 환승센터, 준공영제, 교통카드와 새로운 요금체제 등 버스의 경쟁력을 종합적으로 높이고자 하는 정책의 총합을 말한다. 즉 작년에 서울시가 추진했던 모든 정책들이 BRT의 요소이다. 이중에서도 특히 강조되는 것은 원활한 BRT서비스 제공을 위한 차량이다.

기존의 버스차량들은 바닥 면이 높아 타기가 어렵고, 수송력이 작으며, 디젤엔진을 사용하여 진동과 소음, 매연과 냄새가 심했다> 하지만 BRT가 추구하는 경전철 수준의 서비스제공을 위해서는, 그에 걸맞은 버스 차량이 제공되어야 한다. 그런데 이러한 최첨단 버스는 필연적으로 철도차량을 닮을 수밖에 없다. BRT가 추구하는 대용량, 정시성, 쾌적성, 안전성 등은 바로 철도가 제공하는 특징이기 때문이다. 전 세계적으로 많은 도시에 BRT 도입 붐이 부는 이때에, 새로운 미래형 궤도계 교통수단으로써 BRT의 첨단 굴절버스를 살펴보아야 하는 이유가 여기에 있다.

첨단굴절버스란 BRT의 첨단굴절버스는 기존 버스의 문제점을 극복하기 위해 시작된 것이다. 기존 버스는 크기가 작아서 승객 수송량이 적다. 이는 복잡한 출퇴근 시간대에 차내 혼잡이 심하다는 뜻이고, 혼잡을 줄이기 위해 운행횟수를 늘리려면 버스운전기사를 더 고용해야 하므로, 인건비가 많이 든다는 뜻이다. 철도에서는 이 문제를 해결하기 위하여 여러 대의 차량을 하나로 이어서 사용하는 방법을 예전부터 사용해왔는데, 버스에서도 이것을 배운 것이 바로 굴절버스이다. 굴절버스는 2, 3대의 버스차량을, 접히는 굴절부위를 이용하여 하나로 합쳐놓은 것으로

써, 한명의 운전기사로도 대량의 승객을 수송할 수 있는 철도의 특징을 갖고 있다.

또한 굴절버스는 저상형으로 제작되어 있다. 일반버스는 차내의 바닥 면을 오르기 위해 계단을 2개 올라가야 했으나, 저상버스는 바닥에서 버스로 발을 디는 그 부분이 곧바로 바닥 면이 된다. 버스탑승장의 높이를 조정한다면, 바닥 면과 버스정류장 높이를 일치시킬 수도 있다. 이 같은 특성을 플랫폼과 차량 바닥면의 높이가 동일한 도시철도에서 예전부터 쓰던 방식인 것이다.

동유도장치: 두 번째로 미래형 궤도계 교통수단으로써 첨단굴절버스를 주목하는 이유는 바로 '자동유도장치' 때문이다.

기존 버스의 큰 불만중 하나는, 운전기사가 난폭운전을 하다보니, 주행 중에는 이리저리 갈지자(之)로 달리고, 특히 버스정류장에 제대로 정차를 하지 못한다는 것이다. 반면 궤도계 교통수단의 가장 큰 특징은 정해진 궤도로 달린다는 것이다. 이것은 원하는 방향을 가기 어렵다는 단점도 있지만, 주행안정성을 가져온다는 강력한 장점이 있다. 도시철도가 한 치의 오차도 없이, 플랫폼의 정해진 위치에 정확하게 정차하는 이유가 바로 궤도가 있기 때문인 것이다. 첨단굴절버스는 이 같은 점을 배워서, 차량의 방향 조절을 위한 유도장치를 장착하고 있다. 다만, 도로에는 궤도가 없기 때문에, 유도를 위해서는 카메라를 이용한 광학적인 방법이나, 자기장을 이용한 방법을 사용하고 있다.

첨단굴절버스가 달리는 도로의 바닥에 하얀 점선을 미리 그려놓았음을 알 수 있다. 그러면 버스의 이마에 부착된 카메라가 점선을 파악하여, 자동으로 핸들을 조작한다. 결국 운전기사는 핸들을 붙잡지 않고도 주행이 가능하게 된다. 이 같은 자동유도장치는 흔들림 없는 안정된 주행

을 하게 해주며, 특히 버스정류장에 정차할 때 위력을 발휘한다. 자동유도장치의 도움을 받아, 버스정류장에 버스차량을 정확하게 밀착할 수 있게 해주기 때문이다.

마지막으로 미래형 궤도계 교통수단으로써 첨단굴절버스의 특징은 그 동력에 있다. 지금까지의 버스는 대부분 디젤엔진을 사용하고 있어서, 매연과 진동으로부터 자유롭지 못했다. 현재 그나마 개선된 것이 압축천연가스(CNG)를 이용하는 방식이지만, 아직도 전기철도 수준의 환경친화성을 보장하지는 못하는 실정이다. 하지만 첨단굴절버스는 외부에서 전기를 받거나, 배터리 등을 동력원으로 삼기 때문에, 철도와 보다 많은 미래형 궤도계 교통수단이라고 할 수 있는 것이다.

첨단굴절버스의 해외연구사례: 현재 해외에서는 BRT의 도입이 본격화되면서 첨단굴절버스에 대한 연구개발도 활발히 진행 중에 있다.

(1) Advanced Public Transport Systems 의 Phileas: 소설 '80일간의 세계일주'의 주인공 필리어스 포그의 이름을 딴 필리어스는 네덜란드 아인트호벤 공항과 도심을 연결하는 2~3량 1편성의 첨단굴절버스이다. LPG나 디젤엔진을 이용하여 생산 및 저장된 전기를 이용하여, 구동모터를 돌리는 하이브리드 동력을 채용하고 있으며, 속도를 줄일 때 발생하는 전기를 다시 저장하여 사용하는 회생제동을 쓰는 등 철도의 장점을 많이 채용하였다. 또한 도로바닥에 4m 간격으로 설치된 자석에 의해 자동유도가 가능한 미래형 교통수단이다.

(2) IVECO-Irisbus의 Civis: Civis는 현재 서울에서 운행 중인 굴절버스의 제작사인 IVECO-Irisbus의 첨단굴절버스이다. 프랑스에서 시운전되고 있으며, 역시 동력은 내부에 장착된 엔진에서 생산된 전기로 달린다. 또한 여건이

될 경우, 전차선을 통하여, 직접 전기를 외부에서 받아서 구동될 수도 있다. 도로상에 표시된 점선을 통하여 광학적으로 유도되는 것은 전술한 바와 같다. 이와 같이 첨단굴절버스는 철도차량의 장점을 최대한 활용한 미래형 교통수단이라고 할 수 있다

(3) Lohr의 Translohr: 마지막으로 프랑스 소재의 Lohr社에서 개발한 첨단굴절버스인 Translohr 가 있다. 프랑스와 이탈리아 등에서 운행되고 있으며, 고무바퀴를 이용하고, 바닥에 설치된 한 가닥의 중앙궤도를 통해 유도된다. 기본적으로 전차선에서 전기를 공급받아 달리는 방식이며, 대용량 배터리를 이용하여 달릴 수도 있는 유연성 있는 시스템이다.

첨단굴절버스의 우리나라 전망: 첨단굴절버스는 전 세계적인 BRT의 확대도입에 따라 더욱더 주목을 받게 될 미래형 궤도계 교통수단이다. 국내에서는 2004년 서울의 초급 BRT도입에 이어, 건설교통부의 수도권 BRT도입계획, 전남 남악 신도시의 BRT도입 예정 등 BRT 수요가 늘고 있어, 이에 걸맞은 첨단굴절버스의 개발이 시급한 상황이다. 특히 지난 5월 23일 서울시는, 대표적인 교통혼잡지역인 난곡지역에서 신대방 전철역까지의 2.8km 구간에 광학 또는 자기장을 이용한 운행유도장치를 부착한 고무차륜 신교통수단을 도입하겠다고 밝혔는데, 이것이 바로 정확하게 첨단굴절버스를 말하는 것이다. 다행히도 첨단굴절버스는 국내에서도 연구되고 있다. 현재 한국철도기술연구원에서는 건설교통부 주관의 국가교통핵심기술개발사업을 진행하고 있는데, 그중에 “도시형 연료전지 궤도차량 개발” 사업이 바로 첨단굴절버스 개발사업이다. 특히 우리나라에 개발하는 도시형 연료전지 궤도차량은 동력으로써 연료전지를 사용한다는데 주목할 만하다. 연료전지는 물이 전기분해되는 과정을

반대로 응용한 것으로, 친환경적인 차세대 동력원으로 주목받고 있다. 디젤엔진이 배기가스를 만들어내는데 비해 연료전지는 수증기만 배출시키기 때문이다. 대용량 연료전지를 이용한 첨단 굴절버스는 선진국에서조차 연구 중인 첨단기술이다. 연구개발이 성공을 거두어, 수도권 BRT나 난곡의 신교통수단으로 우리나라 기술로 개발된 첨단굴절버스가 신나게 달리기를 기원해본다.

PRT (Personal Rapid Transit): 최근 한국철도기술연구원이 경북 경산에 경전철(輕電鐵) 시험선을 만들어, 한국형 고무차륜 경전철 "K-AGT"를 시험운행하면서 경전철에 대한 관심이 높아지고 있다. 경전철은 지하철과 버스의 중간 수준의 수송력을 갖춘 소형 도시철도 시스템으로, 통상

- (1) 자동궤도주행시스템 AGT(Automatic Guideway Transit),
- (2) 선형유도모터 열차 LIM(Linear Induction Motor),
- (3) 신형 노면전차 SLRT(Street Light Rail Transit), 그리고
- (4) 모노레일(Monorail)의 4종으로 구분된다. 이같은 경전철은 우리나라를 제외하고는 세계적으로 많이 상용화되어 있으며, 도시교통수단으로써 제몫을 톡톡히 해내고 있다. 그런데, 이미 세계에서는, 경전철의 다음 세대 교통수단에 대한 연구도 활발히 진행되고 있다. 선진국에서조차 구상, 개발 단계인 그야말로 차세대 모델인 셈인데, 5회에 걸쳐, 현재 개발중인 "차세대 미래형 궤도계 교통수단"은 다음과 같다.

PRT (Personal Rapid Transit): 미래형 궤도계 신교통수단으로 가장 잘 알려진 것은 바로 PRT일 것이다. PRT는 '궤도택시'라고도 불리는 시스템이다. PRT의 개념은 말 그대로 택시와 유사하다. 1량 1편성 1~4명 정원의 조그만 차량이

궤도에 매달려 있고, 이 차량은 궤도 안이라면 어디든지 갈 수 있다. 그리고 PRT의 궤도는 도시 곳곳으로 뻗어 있다. 이용방법은 다음과 같다. 탑승을 원하는 승객은, 승강장에서 택시를 호출하고, 곧 빈 택시가 승강장에 도착하면, 승객은 택시에 탑승한다. 승객이 택시에 원하는 목적지를 입력하면, PRT차량은 자동으로 무인운전되어, 원하는 목적지의 승강장에 도착한다. 승강장에는 추월선과 승강장에 붙은 선로가 따로 마련되어 있어, 택시가 신호대기를 하거나 추돌/충돌하는 일은 없다.

PRT의 장점은, 출발지에서 도착지까지 중간 정차없이 도착하기 때문에, 표정속도가 빠르다는 점이고, 무인운전되므로, 인건비 절감 및 24시간 운영이 가능하다는 점이다. 하지만 PRT의 문제점은 차량의 정원이 적기 때문에, 수송인원이 늘어날수록, 필요한 차량의 댓수도 계속하여 늘어난다는 점이다. 승객이 많은 적든, 비슷한 수준의 차량만 필요한 도시철도와 차이를 보이는 점이다. PRT는 선진국에서 활발히 연구되고 있는데, 미국 미네소타대학의 Taxi2000, 이것이 발전된 PRT2000 시스템이 대표적이다. 국내에서는 PRT Korea 주관으로, 여의도와 서울대 관악캠퍼스내에 도입을 위한 타당성 검토가 이루어진 적이 있으나, 실현되지는 않았다. 또한 포항공대에서 PRT를 연구한 바가 있으며, 연구를 위해 포항공대 구내에 약 40m의 시험선이 구축되어 있다. PRT의 대표격인 PRT2000의외도, PRT는 여러 가지 이름으로 여러 곳에서 개발되고 있는데, 영국 브리스톨 대학의 ULTra, 미국의 아이다호 국립 공학 및 환경 연구소의 Cybertran, 역시 미국의 Skytran등이 그것이다. 참고로 Skytran은 기존 PRT와 개념은 동일하나, 공기역학적인 디자인, 자기부상 운행 등의 장점을 갖추어, 속도를 기존 PRT의 60km/h를

170km/h로 개선하는 등, 보다 개선된 형태의 PRT라고 할 수 있다.

결론적으로 신개념의 수송수단에 앞서 모노레일 카의 활성화를 위한 시점에서 볼 때 건설 비용 측면에서도 모노레일은 다른 신교통 시스템에 비하여 약 1/3의 건설비와 유지관리비를 절감할 수 있다. 조사에 의하면 로스엔젤레스에 새로운 교통시스템을 도입하기위해 주민투표를 시행한 결과 모노레일 선호도는 5:1로 매우 높게 나타났다. 시민의 호응을 받고 있는 새로운 교통 시스템인 것이 증명된 사례이다. 이와 같은 이유로 모노레일은 세계 각국에 가장 많이 건설되었으며, 건설되어 지고 있다. 따라서 2007,8년도 완공 예정인 서울 강남 모노레일(monorail)의 건설은 우리나라 대중교통의 새로운 역사의 전환점이 될 것으로 기대 되지만, 이제 우리나라에도 모노레일이 조속히 활성화되어 도시 교통난을 해소하고 수려한 외형으로 도시경관을 높이 차원에서 도입되어야 할 것이다.

IV. 결론

지하전철은 고비용 구축에 의한 대량 수송의 실적에도 불구하고 현실적으로 고액의 적자행정에서 벗어나지 못하고 있다. 선진국에서는 비용과 효율성을 위하여 지하전철선호에서 지상 모노레일로 급격한 변화를 가져오고 있다. 특히 경량화에 의한 첨단기술력에서 생산되는 고급 모노레일 카의 쾌적성, 친환경적, 경제성, 저소음, 저오염, 국지적 효율성 등에 의한 유틸리티 사회에 기여될 수 있는 최적의 조건을 가지고 있으므로 향후 지자체 위주의 행정에 의한 재정자립도의 확보를 위한 관광지의 개발에 관련된 천연성 지형지물, 인문성 문화재, 조경성 예술분야 등에 효자 상품으로 등극할 것이다.

이에 따라 정책적인 조정에 필요한 법제도 및 지방 조례 등의 조정으로 특색있고 미래지향적인 모노레일 카의 정책방안의 설정이 시급하다. 특히 지정학적으로 3면이 바다로 위호되어 있고 중국, 러시아, 일본 등의 열강국들에 육교적인 지정학적인 최상의 관광 및 첨단 한류문화의 교류의 니치성 상품의 활성화로 상대적으로 작지만 큰 경제적인 효과를 가져올 수 있는 신 수송 환경에 적극적인 행정과 민의의 접점에 교두보적인 수송의 르네상스 개념이 필요하다.

참고문헌

- 김종한, 2003. 모노레일을 이용한 채증원의 효율적인 관리 방안, 산림 통권446호pp.116-118
- 최영기, 2004. 보성차의 관광상품 활성화 방안에 관한 연구. 전남대 행정대학원 석사학위논문
- 한국 모노레일 협의회
- 김철규, 1994. 부산지하철의 건설연혁 및 역사건축. 대한건축학회
- 특수관광교통시설 선택속성에 관한 연구, 관광교통학회 20호
- 백혜숙, 2005. 한국에서의 신 대중교통수단 도입에 관한 연구 :기타큐슈(北九州)시의 사례를 중심으로. 충주대 산업대학원 석사학위논문
- 공민식, 2001. 강남권 신교통수단 도입을 위한 기준설정에 관한 연구. 서울시립대학교 석사학위논문
- Oh, Jongwoo, M. Day, B. Gladfelter, G. Huppert, G. Fludland, and M. Kolb. 1991. Potential sources of the sinkhole sediments in the Wisconsin Driftless Area. 지리학총 19호. 31-58.
- Oh, Jongwoo. 1992. Sinkhole Sediments in the

- Wisconsin Driftless Area Karst. University of Wisconsin Ph.D Dissertation. 201p.
- Oh, Jongwoo, M. Day, and B. Gladfelter. 1993. Geomorphic Environmental Reconstruction of the Holocene Sinkhole Sediments in the Wisconsin Driftless Area. 1993 World Korean Scientists Symposium Proceeding -Geoscience Section-. Korean Federations of Science and Technology. 390-397.
- 오종우, 1993. Karstic Sinkhole Sediments of Dolostone in the Upper Midwest's Driftless Area, USA. 동굴 34호. 78-104.
- 오종우, 1993. 북한지역의 카르스트 지형. 북한의 지형. 한국과학기술. 107p.
- 오종우, 1993. 북한지역의 카르스트 분포와 동굴지형. 동굴 37호. 13-32.
- 오종우, 1994. 카르스트 지형과 동굴지형. 동굴 37호. 89-96.
- 오종우, 1994. Soils and landforms on the loess mantled karst uplands in southwestern Wisconsin. 동굴 36호. 103-113.
- 오종우, 1994. GIS를 이용한 동굴지형 연구. 동굴 39호.
- 오종우, 1994. 고씨동굴의 발달과 특성. 동굴 38호
- 오종우. 1995. 카르스트지형에 관한 기초공간 정보. 동굴 40호. 97-116
- 오종우. 1995. A Geoarchaeological Review of the Fan Sites in the Lower Illinois Valleys, USA. 환동해권의 시간과 공간의 교감-목지 옹호 석박사 회갑기념논문집 I. 753-768.
- 오종우, 오승훈. 2007. 삼척 대금굴 환경과 관광화에 관한 연구. 한국동굴학회 춘계세미나자료집
- Oh J. 외 1인. 1991. Sediments of the Seneca Sinkhole in the southwestern Wisconsin. The Wisconsin Geographer 7. 25-39.
- 오종우 외 5인. 1991. Potential sources of the sinkhole sediments in the Wisconsin Driftless Area. 지리학총 19. 31-58.
- Oh JONGWOO. 1992. Sinkhole Sediments in the Wisconsin Driftless Area Karst. University of Wisconsin Ph.D Dissertation. 201p.
- J. Oh 외 2인, Geomorphic Environmental Reconstruction of the Holocene Sinkhole Sediments in the Wisconsin Driftless Area. 1993년도 세계한민족과학기술자 종합학술대회 논문집 -기초과학분과(지구과학)-. 한국과학기술단체 총연합회. 390-397.
- 오종우. 1993, Karstic Sinkhole Sediments of Dolostone in the Upper Midwest's Driftless Area, USA. 동굴 34(35). 78-104.
- 오종우, 1993. Blacks' Economic Activities in Chicagoland Using Geographic Information System (GIS). 지역개발논문집 43-52.
- 오종우, 1993. 시카고 부분지역의 사회경제적 특성에 대한 지형공간정보체계(GSIS)의 이용. 지형공간정보 1(2). 223-235.
- 오종우 외 8인, 1993. 용연동굴 내부 개발기분구상 및 실시계획 (지형분야). 강원도 태백시. 254p.
- 오종우 외 12인, 1993. 만장굴 학술조사 보고서 (환경분야). 북제주군. 236p.
- 오종우. 1993. 지역개발에 수반되는 동굴지역의 지형조사. 동굴35(36) 32-36.
- 오종우외3인, 1993. 북한지역의 지형연구. 한국과학기술단체총연합회. 107p.
- 오종우 외 1인, 1994. 북한의 카르스트지형과 동굴 분포와 상관성.
- 오종우 외 1인, 1994. 동굴 36(37). 13-32.
- 오종우, 1994. 북한의 화산지형 소고. 동굴 36(37). 33-37.
- 오종우외1인, 1994. 태백시 용연동굴 지대의 지리환경. 동굴 36(37). 81-102.
- 오종우, 1994. Soils and landforms on the loess mantled karst uplands in southwestern Wisconsin. 동굴 36(37). 103-113.

- 오종우외 1994. 고씨동굴의 환경보전및 안전진단 학술조사연구보고서. . 영월군. 155p.
- 오종우.1994.카르스트(KARST)의 지표지형과 동굴 지형.동굴37(38)P.89-96.
- 오종우외.1994. 고수동굴의 환경보전및 안전진단 학술조사연구보고서. (주)유신. 169p.
- 오종우. 1995. 카르스트 지형에 관한 기초공간정보. 동굴 41: 97-10
- 오종우,오승훈. 2007. 삼척 대금굴 환경과 관광화에 관한 연구. 한국동굴학회 춘계세미나자료집
- 우경식, 원종관, 1988. 삼척군 대이리 동굴군의 관음굴과 화성굴내에 발달한 동굴생성물의 초기 광물성분과 탄산염 속성작용에 관한 연구, 지질학회지, 25(1), p. 90-97.
- 우경식, 대이리 동굴군 학술조사보고서, 원종관 외 9명, 1987년 12월, 삼척군, 151p
- 우경식, 1989, 강원도 평창군 백룡굴 종합학술조사, 문화공보부, 평창군, 연구원
- 우경식, 1988~1991, 강원도 태백일대의 지구조 및 암석학적 연구, 과학재단, 연구원/연구책임자
- 우경식, 1987~1988, 한반도 신재3기층의 고해양학적 연구, 학술진흥재단, 연구원
- 우경식, 1987~1987, 강원도 삼척군 대이리 동굴군 종합학술조사, 문화공보부, 삼척군, 연구원
- 우경식, 1987~1988, 양식 진주의 조직적, 동위원소적, 지화학적 연구, 학술진흥재단, 연구책임자
- 우경식, 1987~1989, 강원도 조선누층군 탄산염암에서 발견되는 화석 및 비화석 구성요수의 초기광물 성분과 탄산염 속성작용, 과학재단, 연구책임자
- 우경식, 1999, 강릉 옥계지역 동굴 개발타당성 조사, 강릉시, 연구책임자
- 우경식, 1998~1999, 환선굴 내부 학술조사, 삼척시, 연구원
- 우경식, 1998~1999, 영월댐 수몰지 동굴세부조사 용역, 수자원공사, 연구원
- 우경식, 1997~1998, 중국 석유탐사 및 개발기술 조사분석 연구, STEPI, 연구원
- 우경식, 1997, 미탄면 일원 동굴탐사 실사용역, 평창군, 연구책임자
- 우경식, 1997~1998, 한반도 동해안에서 서식하는 이매패류 각질의 조직적 및 지화학적 연구 : 고해양학적 의미, 교육부, 연구책임자
- 우경식, 1996~1998, 한반도 중-서부 연안해역 퇴적 환경과 육상지질과의 상관관계에 대한 연구, 교육부, 연구원
- 우경식, 1996, 춘천 감정리 동굴개발 자료조사, 춘천시, 연구책임자
- 우경식, 1995, 평창군 미탄면 돈너미 일대의 석회암동굴 예정지조사 보고서, 평창군, 연구원
- 우경식, 1995, 용연동굴 학술조사, 태백시, 연구책임자
- 우경식, 1999, 석회동굴의 지질학적 의미와 연구방향, 99 Samchok International Cave Symposium & Festival, Samchok, Korea.