

튜브운송시스템 경제성과 성능요구조건 Economic Feasibility and Basic Technical Requirements for Tube Transportation System

이진선[†] · 임관수* · 남두희** · 권혁빈*** · 김정렬****

Jinsun Lee · Kwansu Lim · Doohee Nam · Hyukbin Kwon · Jungyeol Kim

Abstract Currently, urban areas face congestion problems that diminish personal mobility and freight-transport productivity. An increasing number of experts suggest that separating freight traffic from passenger traffic makes sense in terms of economics, the environment, and safety. Some experts suggest that tube transportation is the solution. The objective of this paper is to evaluate the potential benefits and limitations of tube transportation system as a viable mode of transport that can alleviate congestion on roadways. Specifically, this research employs theoretical and practical method identifying, evaluating, and selecting appropriate freight pipeline systems; evaluating the technical and economic feasibility of tube transportation; and estimating environmental, energy, and safety benefits.

Keywords : Tube transportation, Freight transportation, Engineering requirement, Pipeline transportation

요 지 새로운 운송시스템은 기술개발뿐 아니라, 경제성 확보가 필수적인 요소이며, 튜브운송시스템은 현재 개발 초기 단계로서 다양한 기술이 제안되고는 있으나 세계적으로 상용화된 사례는 없는 실정이다. 따라서 튜브운송시스템의 개념설계 단계에서부터 경제성을 고려한 성능조건을 설정하고 이를 설계 요구조건에 반영함으로써 사회적으로 유의미한 기술의 개발이 가능할 것으로 생각된다. 국내에서 과거 대중교통문제를 해결하기 위하여 신교통수단을 도입하였으나 도입당시 기술적 문제 및 경제성을 고려하지 않음으로 경쟁력 있는 교통수단이 되고 있지 못한 실정이다. 그러므로 본 연구에서는 튜브운송시스템의 개념설계를 위한 설계 요구조건 확립을 위하여 경제성을 고려한 튜브운송시스템의 성능조건을 도출하고자 하였다. 이에 우선적으로 타당성 분석방법론을 검토하고 이에 따른 비용/편익을 산출하였으며 수단간 비교분석 및 사례분석을 통하여 화물운송을 위한 튜브운송시스템 최소 성능조건을 도출하였다.

주 요 어 : 튜브운송시스템, 파이프네트워크, 지하운송수단, 튜브성능요구조건

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

교통혼잡으로 인하여 발생하는 교통혼잡비용은 1995년부터 산출되었으며, 1995년에 11.6조원, 2005년 23.7조원으로 연평균 7.4% 증가하는 것으로 나타나고 있어 국가경쟁

력을 약화시키는 원인 중 하나로 작용하고 있다[1].

또한, 급격히 증가하고 있는 통행 및 물류수요를 노면운송 수단만으로 처리하는 데는 한계가 있기 때문에 사회경제적 비용의 감소, 경쟁력 확보를 위한 운송비용의 절감, 운송효율화를 위한 편의성 및 안전성 등이 보장되는 튜브운송시스템과 같은 신운송수단의 검토가 필요한 시점이다.

튜브운송시스템은 튜브로 구성된 파이프 네트워크(Pipes Network)를 구축한 뒤 표준화된 캡슐에 의한 화물 및 여객 수송과 캡슐 이동을 자동 제어하는 시스템으로써 철도나 도로, 항공 등 기존의 운송수단과 비교시 화물이나 여객을 캡슐에 탑재하여 튜브 네트워크 내를 중앙자동제어 방식으로 운송하기 때문에 효율성, 이용편의성, 안전성 등을 증대 시키는 것으로 연구되고 있다[2]. 그러나 국내의 경우

[†] 책임저자 : 정희원, 우송대학교 철도경영학부, 교수
E-mail : jinsun@wsu.ac.kr
TEL : 042-630-9192 FAX : 042-630-9779

* 한성대학교, 석사과정

** 교신저자 : 정희원, 한성대학교, 교수

*** 정희원, 한국철도기술연구원, 책임연구원

**** 한성대학교, 교수

에는 신운송 수단으로써 모노레일, 경전철의 연구에만 집중되고 있으며 튜브운송시스템과 관련된 기술은 연구 및 산업계에서도 검토되고 있지 않은 실정이다. 다만, 튜브운송 기술에 기반이 되는 시스템엔지니어링 기술, 자기부상 추진·제어기술, 터널 시공기술 및 자동제어기술 등은 항공, 기계, 철도 및 건설기술 분야에서 상당한 수준에 이르렀다고 평가될 수 있다.

새로운 운송시스템은 기술개발뿐 아니라, 경제성 확보가 필수적인 요소이며, 튜브운송시스템은 현재 개발 초기 단계로서 다양한 기술이 제안되고는 있으나 세계적으로 상용화된 사례는 없는 실정이다. 따라서 튜브운송시스템의 개념설계 단계에서부터 경제성을 고려한 성능조건을 설정하고 이를 설계 요구조건에 반영함으로써 사회적으로 유의미한 기술의 개발이 가능할 것으로 생각된다.

국내에서 과거 대중교통문제를 해결하기 위하여 신교통수단을 도입하였으나 도입당시 기술적 문제 및 경제성을 고려하지 않음으로 경쟁력 있는 교통수단이 되고 있지 못한 실정이다. 그러므로 본 연구에서는 튜브운송시스템의 개념설계를 위한 설계 요구조건 확립을 위하여 경제성을 고려한 튜브운송시스템의 성능조건을 도출하고자 하였다. 이에 우선적으로 타당성 분석방법론을 검토하고 이에 따른 비용/편익을 산출하였으며 수단간 비교분석 및 사례분석을 통하여 화물운송을 위한 튜브운송시스템 최소 성능조건을 도출하였다.

2. 튜브운송시스템 도입 타당성 분석

2.1 타당성 분석 방법론

튜브운송시스템 도입 타당성을 분석함에 있어 기존의 연구개발 사례가 없는 관계로 다음과 같은 사항을 전제하고 타당성 분석을 수행하였다. 첫째, 도로 및 철도 관련 사업의 타당성 분석을 수행하고자 할 경우 한국개발연구원에서 제시하는 '예비타당성조사 수행을 위한 일반지침 수정·보완 연구(제4판)' 및 도로 및 철도 예비타당성 표준지침[3]을 준용하도록 되어 있으나 기존 수송체계와 튜브운송시스템은 상이한 점이 많으며 특히, 수단선택모형을 적용할 수 없으므로 국외 및 유사 시스템의 경제성 분석 방법론을 적용한다. 둘째, 튜브운송시스템 국내외 현황을 분석해본 결과 현재는 상용화 및 실세계 적용 단계에 위치하므로 기존 수송체계 도입 타당성 분석시 사용된 세부적인 비용/편익 분석 보다는 개괄적이고 정성적인 분석을 통하여 타당성을 분석함이 보다 현실적이라 판단되었다. 셋째, 국외 프로토타입 연구 결과 중 국내 상황에 유사하다고 판단되는 사례의 비용 및 규격을 추정/사용하며, 국내 유사 사업시 적용

된 사업단가를 적용한다.

이와 같은 전제사항을 두고 본 튜브수송시스템 타당성 분석 절차는 시나리오 설정 → 기간시설 비용산출 → 편익산출 → 타당성 평가 → 성능요구조건으로 크게 구분되며 다음과 같은 방식으로 수행되었다.

- 참조사례사업 및 연구 : 참조대상이 되는 모범사업 및 연구으로써 텍사스 교통국에서 수행된 고속도로 정체 완화를 위한 튜브수송의 타당성 보고서(방법론, 편익, 비용산출)[4], 마·창·진 경전철 사전 예비타당성 보고서(공사비 단가)[5], 경산시 경전철 건설운영 기본계획 보고서(공사비 단가)[6], 한국개발연구원에서 제시된 도로·철도 부문사업의 예비타당성조사 표준지침 수정·보완연구(제4판)(방법론), 미교통국의 화물차량 전용도로 타당성 조사 연구보고서(편익)[7]가 해당된다.

- 시나리오 설정 : 타당성 분석을 수행하기에 앞서 우선적으로 수행되어야 할 사항이 노선 설정이므로 화물의 물동량이 많으며 대상 노선에 교통혼잡이 심한 곳으로 대안을 설정하였다.

- 기간시설 비용산출 : 공사단가를 산정하므로 노선에 따른 사업비를 산출할 수 있으나 튜브운송시스템이 아직 사업화되어 있지 않은 상태이므로 참조사례사업 및 연구로부터 공사단가를 유추하여 적용하였다.

- 편익산출 : 타 연관사업 및 연구로부터 편익항목 및 편익효과(정량적, 정성적)를 유추하였다.

- 비용 대비 편익 : 비용은 개괄적으로나마 정량적으로 산출되나 편익의 경우 아직까지는 미사업 시스템으로 정량적인 산출이 아니라 정성적 평가가 이루어지므로 전체적인 정성적 평가를 수행하였다.

- 성능요구조건 : 앞서 제시된 평가를 기반으로하여 기본적으로 경제성을 갖추기 위한 튜브운송시스템의 최소 성능요구조건을 제시하였다.

2.2 비용산출

튜브운송시스템의 경제성 평가를 수행하기 위해서는 노선설정이 우선시되나 현재 노선이 설정되어 있지 않은 상태이므로 튜브운송시스템 도입이 예상되는 시나리오를 우선적으로 설정 하였다. 화물 운송을 위한 튜브운송시스템의 경우 육상 도로의 혼잡 및 화물 트럭에 의한 환경오염과 사고위험을 배제시키기 위해 도입하고자 하는 의도가 있으므로 우선적으로 물동량이 많은 육상 도로를 우선 선택하고 다음으로 선택된 노선에서 도로 혼잡으로 인하여 교통문제가 문제시 되고 있는 곳을 선택하였다.

첫째 노선 1 : 인천국제공항-인접물류센터 노선으로 튜브의 효율성을 높이기 위하여 항공기 팔레트 또는 컨테이너

를 직접 캡슐에 선적하여 화물의 환적 시간을 줄이도록 운영한다. 단, 화물 물동량 자료가 인천국제공항 화물터미널-서울종합물류센터(양재)로 산출되는 것이 아니므로 가장 근접한 영종도-서울로 대체하였다(연장 약 67km).

둘째 노선 2 : 서울-대전(거점 물류센터간) 노선으로 튜브로 운송할 수 있는 중장거리 노선에 해당된다. 이 노선은 주로 중대형 화물 위주로 운송되고 있으며 고속도로를 따라 노선을 배치할 경우 기간설비 비용의 감소효과를 볼 수 있다(연장 중부대전물류센터-서울종합물류센터 약 165km).

셋째 노선 3 : 도시내 건물간 단거리 노선으로 튜브의 초기 도입 사례와 동일한 형태로 건물간의 우편 및 소량의 화물을 운송하는데 주로 사용되며 도심내 지하도, 전철, 하수도 네트워크를 활용하여 운영할 수 있다[8].

경제성 분석을 수행하기 위해서는 편익과 함께 비용이 산출되어야 하며 우선 기간시설 비용을 도출하면 다음과 같다.

Table 1. Tube transportation system base facility expense unit cost

기반시설비용	세부비용	단가	출처
본선공사비	개착시공	44.4억원/km	[5]
	터널시공	41.6억원/km	[5]
궤도공사비		13.69억원/km	[6]
건축공사비(입구, 출구)		39.1억원/개소	[5]
기계	정거장	41.6억원/개소	[6]
	환기구	2.1억원/개소	
선형 유도 모터		4.277억원/km	[4]
컨테이너/캡슐		캡슐 개수 1.875개/km일때 8,645천원/km	[4]
설계 및 감리비		공사비*5.735%	[9]

각 노선별 정확한 사업비는 기본 및 실시설계 단계에서 산출이 가능하며 현 단계에서는 비용 추정에 한계가 있어 최근의 유사사업 사례를 근거로 하여 공사비 단가를 산출하였다. 터널 시공비의 경우 마창진 광역 도시철도에서 사용된 고무차륜 AGT 차량의 크기는 2.4×3.5m(W×H)로 킬로미터 당 단가가 147.4억원/km이 제시되었으나 가장 작은 컨테이너의 규격이 1.63×1.53m(W×H)이므로 단면적과 부대비용 차이에 따른 보정계수 0.282를 사용하여 41.6억원/km으로 산정하였으며(단, 컨테이너 또는 팔레트의 규모에 따라 단가가 달라진다.) 개착 시공비도 터널 시공비와 같이 보정계수 0.282을 사용하여 44.4억원/km으로 산정하였다. 설계 및 감리비는 기획예산처에서 발행한 2006년 예산안편성지침에 따라 공사비에 일정요율 5.735%를 곱하여 산출하였다. 이렇게 산출한 결과 노선 1은 총사업비가 7,644.4

억원(119.4억원/km)으로 노선 2는 18,435.8억원(111.7억원/km)으로 산출되었다. 산출된 내역은 총사업비의 규모를 산출하기 위한 개략 산출방식으로 나타낸 수치이며 실제 노선설정과 세부 내역산출시 오차가 발생할 수 있다.

2.3 편익계산 및 비교분석

한국개발연구원에서 제시된 예비타당성조사 수행을 위한 일반지침 수정·보완 연구(제4판)에서는 편익을 직접편익과 간접편익으로 나누어 제시하고 있으며 직접편익으로는 통행 시간절감, 쾌적성, 정시성, 안정성 향상과 운행비용절감, 교통사고감소, 전환수요에 의한 편익이 있으며 간접편익으로는 환경비용절감, 지역개발효과, 고속도로 유지관리비 절감, 공사중 교통혼잡 및 도로공간 축소로 인한 부의 편익을 제시하고 있다.

본 연구에서는 편익을 추정함에 있어 튜브운송시스템의 선례가 없는 관계로 참조사례에 의한 정성적 분석과 트럭 운송 수단으로 부터의 전환에 따른 정량적 분석을 수행하였다. 정성적인 분석으로는 운반거리, 소음레벨, 에너지 효율성, 캡슐속도, 잠재적 화물처리량과 환경효과, 안전성, 신뢰성에 따른 분석 결과를 참조 하였다.

Table 2. Reliability comparison

시스템	평균 예상 수명(년)	
	트럭	튜브
추진 및 제어	4-10	80
튜브/고속도로	20	60
트랙 또는 가이드웨이	-	55
인간 위험 노출	저	고

* "Feasibility of Tube Transportation to Relieve Highway Congestion", Texas Transportation Institute, 2001.4

주 비교 수단으로는 트럭과 튜브운송수단이며, 튜브운송 수단간의 비교는 선형유도모터(Linear Induction Motor; LIM)와 공기압 송풍장치(Pneumatic Blower: PB)를 비교하였다. 비교결과 PB보다는 LIM이 상위 추진 시스템으로 평가 되었으며 환경효과, 안전성, 신뢰성 비교에 있어서 트럭, 기차 보다는 튜브가 상대적 높은 성능을 보여 주었다. 특히 신뢰성에 있어 평균 예상수명은 4배까지 차이가 나며 위험 노출이 낮게 비교되었다[4].

Table 3. Seoul-Yeongjongdo cargo traffic(2005~2025)

출발지	도착지	물동량(톤/일)				
		2005년	2010년	2015년	2020년	2025년
서울	영종도	476	983	1,079	1,153	1,212
영종도	서울	1,079	1,087	1,106	1,118	1,115

정량적 분석으로는 서울-영종도간 화물 물동량을 조사 (KOTI DB 수도권 품목별 화물물동량을 근거로 산출)한 후 이에 대한 튜브운송 수단으로의 전환수요를 4단계 수요추정법에 따라 산출 하였다.

튜브운송수단에 대한 화물 수단 선택 모형이 제시되어 있지 않음으로 전환율을 5%, 10%, 20%, 30%, 50%로 가정하여 예상 수요를 도출하였으며, 트럭의 용량을 현대자동차의 트럭을 기준으로 할 때 재원이 1.92×0.38×3.4m(W×H×L)이므로 실제 적재용량은 최대 12톤 정도를 운반하게 되며 튜브는 1.63×1.53×4m(W×H×L)=9.98톤 약 10톤을 운반할 수 있게 된다. 그리고 모든 트럭이 항상 100%를 적재하고 운반하는 것이 아니므로 적재 화물은 트럭 적재 용량의 80%라 가정을 하면 실제 줄어드는 트럭 대수는 표 4와 같다.

Table 4. The transfer traffic volume which follows in mode transfer ratio

전환율 (%)		트럭대수(대/일), ()숫자는 12톤일 경우				
		2005년	2010년	2015년	2020년	2025년
서울→영종도	5%	8(2)	16(3)	17(4)	19(4)	20(4)
	10%	15(3)	31(7)	35(7)	37(8)	39(8)
	20%	30(6)	63(13)	69(14)	74(15)	77(16)
	30%	46(10)	94(20)	104(22)	111(23)	116(24)
	50%	76(16)	157(33)	173(36)	185(38)	194(40)
영종도→서울	5%	17(4)	17(4)	18(4)	18(4)	18(4)
	10%	35(7)	35(7)	36(7)	36(7)	36(7)
	20%	69(14)	69(14)	71(15)	72(15)	71(15)
	30%	104(22)	104(22)	106(22)	107(22)	107(22)
	50%	172(36)	174(36)	177(37)	179(37)	179(37)

참조 사례인 미국 TTW 타당성 분석 결과[4]에서 제시된 편익비용으로부터 단순 트럭 교통량의 전환을 교통량 감소로 하였을 경우 단순 비교시 다음과 같은 편익비용이 발생된다. 단 트럭에서 튜브로 전환율이 20% 미만의 경우 선

Table 5. The budget curtailment by transformation of a truck mode (unit: 1,000 won/lane-km)

전환율 (%)	편익비용 (1:1)	67km	편익비용 (1:1.5)	67km
5	196,288	13,151,295	187,644	12,572,125
10	197,878	13,257,793	189,675	12,708,226
20	202,646	13,577,289	195,769	13,116,530
30	204,236	13,683,787	197,800	13,252,631
50	210,594	14,109,781	205,926	13,797,035

*미국 TTW 보고서로부터 추정(1:X)의 의미는 기존 트럭X 대로 운반하던 것을 캡슐 1개로 처리.

형회귀에 의한 오류로 인하여 부정확하나 30% 이상의 경우는 거의 일치하게 된다.

표 5에서 제시된 값은 교통량이 일평균 4만대이고 트럭 분담률이 20%로 가정한 상태에서 제시된 값이다.

다음의 표는 2005년 수시통계연보 중 교통량에 대한 통계자료를 분석한 것으로 국내 도로의 경우 화물차량의 교통량 분담률은 30%가 넘고 있어 미국의 20%가정 보다 많음으로 인하여 실제 편익은 더욱 증가될 것으로 판단된다.

Table 6. Modal split of freight truck

트럭분담율	고속도로	일반국도	지방도	국지도
최대	49.2%	63.1%	74.1%	65.3%
최소	12.2%	12.7%	6.8%	9.1%
평균	29.4%	32.1%	35.9%	33.7%

*"수시통계연보", 건설교통부, 2005

편익 비용이 트럭의 수단분담률 30%부터 정확성을 가지며, 또한 국내 화물트럭 분담률이 30%를 상회함에 따라 튜브 수송 수단 도입으로 인하여 최소 30% 이상의 전환율을 갖게 될 경우 목표연도인 2025년 이내에 정량적, 정성적 편익을 고려할 때 타당성이 있는 것으로 판단된다. 또한 서울-영종도의 경우 육로로만 화물을 운반하므로 "대기오염의 80%가 자동차로 인하여 발생되며 그 중 디젤 차량(트럭)에 의한 대기오염원인 발생률은 46.7%이다." [11] 으로부터 자동차 원인물에 디젤 차량 원인물을 곱하므로 대기오염의 37.36%는 디젤 차량에 의해서 발생됨을 알 수 있다. 그러므로 수단 전환율에 화물차량 대기오염 발생 원인율(0.3736)을 곱하여 표 7과 같이 대기오염 감소율을 산정할 수 있다.

Table 7. The air pollution reduction which follows in mode transfer ratio (Truck to Tube)

전환율(%)	5	10	20	30	50
대기오염 감소율(%)	1.87	3.74	7.47	11.21	18.68

3. 성능요구조건

3.1 수단간 비교 분석

기존 노면운송체계와 비용구조 및 특성을 비교하여 신운송인 튜브운송시스템의 도입 여부를 결정하고자 하며, 국토해양부(건교부)에서 발간된 대중교통기본계획을 기본으로 하여 기존의 운송수단인 지하철, 버스 및 경량전철의 용량 특성을 비교하였다.

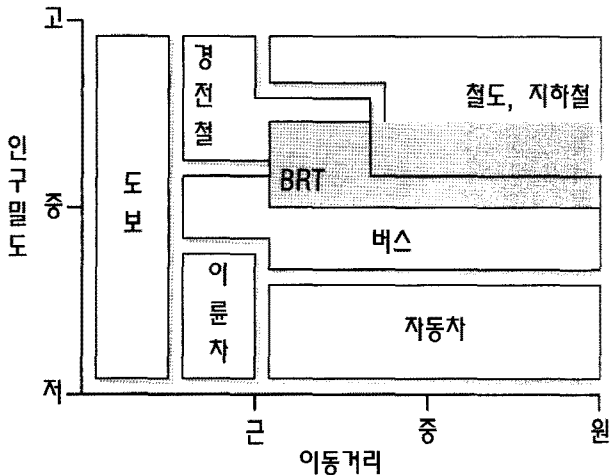


Fig. 1. Transportation mode by distance-density

튜브의 경우 다른 수단과 달리 실제 운영되고 있는 상황이 아니므로 사례분석을 통해 유추한 특성으로 경제성 분석시 사용된 특성은 다음과 같다.

- 노선연장 : 67~165km
- 표정속도 : 90km/h
- 노선성격 : 지역간, 도심간선, 공항-물류센터 화물수송
- 수송능력 : 여객-1,000~3,000(8인승~24인승), 화물-캡슐당 10톤

고속도로, LRT, 튜브를 비교함에 있어 각각 1차선에 대하여 비교한 결과 고속도로를 1로 가정할 경우 튜브의 성능은 3.1에 해당하며 LRT를 1로 가정할 경우 튜브의 성능은 4.1에 해당된다. 이는 상대적 비교시 튜브가 처리 능력이 우수함을 보여주고 있다.

Table 8. Quality comparison of Express highway, LRT and Tube

구분	용량 (대/시)	평균 차두시간	평균 재차인원	용량 (인/시)	상대 비교
고속도로	2,200		1.1	2,420	1/3.1
LRT	12	5분	152	1,824	1/4.1
튜브	7,200	0.5초	1.5	7,560	1

튜브를 여객수송용으로 사용시 튜브가 지하로 매설되어 캡슐단위로 수송되므로 이에 대한 안전장치 및 사용자가 느끼는 안락성, 편의성, 안전성을 고려할 경우 초기 투자비용의 증가와 함께 설치에 따르는 규제가 많으므로 국외 사례를 보더라도 지하 보다는 지상으로 수송하는 방식을 고려하고 있으며 화물대상으로 개발수준보다는 상당히 뒤쳐져 있는 상태이다. 현재의 기술수준으로 여객용을 고려할 경우 비용뿐만 아니라 사고발생시 대피방안 또는 사고처리 문제로 인하여 현재보다는 국내의 기술개발 및 운영방안의 동향을 살펴보고 향후에 도입하는 것으로 하는 것이 좋을 것

이며, 다만 관광용으로써 지상의 고가(입체화) 구조물을 사용하는 모노레일과 같은 방식으로 사용하면 가능할 수는 있으나 모노레일과 경쟁시 현재의 수준으로는 경쟁력이 없는 상태이다.

3.2 최소성능조건

국내 현황과 시나리오 분석시 적합한 사례로는 시카고, 뉴욕, OLS의 사례[13]를 들 수 있다. 운송의 효율을 높이기 위하여 팔레트 등의 규정 크기의 화물 운송을 권장하고 있으며 속도는 거리에 비례하여 거리가 짧을수록 속도를 낮추는 것이 효율성이 좋은 것으로 분석되고 있다.

Table 9. The tube transportation system propulsion method comparison

구분	PCP	HCP	LIM
사용매체	공기	물	전자기
운송속도	2(48km/h)	3(6~10km/h)	1(90km/h)
운송거리	3	1	1
소요 에너지	2	3	1
화물처리량	3(1.1ton/h)	1(2ton/h 이상)	2(2.6ton/h)

*주) 1 : 높음, 2 : 중간, 3 : 낮음

튜브운송시스템의 추진방식으로는 주로 공기압(PCP), 유압(HCP), 전기(LIM)를 이용한 3가지 방식이 있으며 내용을 분석 정리하면 다음과 같다. 첫째, 비교된 표만을 보면 LIM방식이 PCP방식보다는 상대적으로 우수하나 적용되는 대상 노선에 따라 다를 수 있다. 둘째, PCP 방식이 상대적으로 낮은 평가가 되었으나 튜브가 아닌 다른 수단과 비교시 상대적 우월성을 가진다.

사례분석, 동향기술분석, 경제성분석을 통하여 튜브운송시스템이 타 운송시스템과 비교하여 우위의 경쟁력을 가질 수 있는 기본적인 요구조건은 첫째, 화물적재단위는 국제화물 운송에서 규정하는 팔레트의 규격을 따르되 팔레트의 규격이 클수록 건설비가 급증하게 되므로 가능한 최소 규격을 선정(팔레트의 규격에 따라 캡슐규격 및 튜브의 직경이 산출). 둘째, 운송거리에 따른 비교시 튜브운송시스템에 적합한 운송거리로는 초기 도입시에는 공항-물류센터 및 도시내 건물간 또는 물류센터간 거리인 중단거리에서 경제성이 있는 것으로 판단되며 또한 운송노선으로는 기존의 교통류 상태가 혼잡 또는 밀도가 높은 노선에 설치하는 것이 비용대비 편익(환경, 혼잡, 도로파손, 정시성)의 효과가 높게 나타났다. 셋째, 추진방식으로는 운송거리 및 속도, 에너지 효율성을 볼 때 중단거리에서는 LIM 방식이 적합하며, 단거리에서는 LIM 방식 또는 PB 방식이 적합하다(추진방식에 따라 캡슐의 이동속도가 결정). 넷째, 튜브운송시스템 보급

이 전국적인 규모로 확산되었을 경우 장거리 운송방식으로 HCP 방식을 고려해 볼 수도 있다. 다섯째, 용량 및 캡슐의 개수는 대상지역의 물동량에 관계된 것으로 현재 고려된 사항은 인천국제공항-서울물류종합센터간의 상황에 맞추어 적용한 것이다. 제시된 캡슐의 개수 및 비용은 Gifford-Hill American에서 제시한 캡슐당 \$7,000 비용에서 연장 160km인 튜브에 1542개의 캡슐을 추정하였으며 FHWA 보고서에서는 튜브 1km당 3.75개의 캡슐을 가정하여 각 캡슐의 비용을 \$12,000로 예상함에 따라 이에 대한 평균값을 적용하여 튜브 1km당 1.875개의 캡슐로 적용하였다.

Table 10. Minimum functional requirement for a freight transportation

구분	내용
운행거리	60km 내외
캡슐의 개수	1.875개/km
추진방식	LIM(선형유도모터방식, 중단거리) PB(공기압송풍방식, 단거리)
속도	60~90km/h
용량	2600ton/h, 3ton(캡슐1개)
캡슐규격	1.63×1.53×4m(W×H×L)
튜브 직경	2.5~2.58m(바퀴사용), 2.53m(레일사용)

4. 결 론

교통혼잡 및 혼잡으로 인한 경제적 손실을 해결하기 위하여 새로운 교통수단 도입을 추진해 왔으나 도입당시 기술적 문제 및 경제성을 고려하지 않음으로 인하여 경쟁력 있는 교통수단으로 역할을 못하고 있는 실정에 본 연구를 통하여 개념설계에서 설계요조건 확립을 위한 경제성이 고려된 튜브운송시스템의 성능조건을 도출하고자 하였다. 단 기존 구축사례 및 평가모델이 정립되어 있지 않은 관계로 사례참조를 통하여 분석을 수행하였다.

우선 공항-물류센터, 거점 물류센터간, 도시내 건물간의 노선을 대상으로 하여 경제성분석을 수행한 결과 공항-물류센터는 총사업비가 7,644.4억원(119.4억원/km)로 거점물류간 총사업비는 18,435.8억원(111.7억원/km)으로 분석되었으며 이 총사업비는 규모를 산출하기 위한 개략 산출방식으로 나타내었다. 또한 편익분석으로는 사례참조를 통한 정성적 분석과 전화교통량에 따른 정량적 분석을 수행하였다. 정성적 분석 결과로는 추진방식에 있어서 LIM방식이 우수하였으며 그 외 경제 효율성, 환경효과, 안전성, 신뢰성 등 튜브가 다른 운송수단에 비하여 상대적 우수성이 부각되었으며, 특히 시설물 예상수명이 최대 4배 이상 유지되는 것으로 분석되었다. 정량적 분석결과로는 트럭분담율이 30%

이상이고 튜브로 30%이상 전환시 경제성이 있는 것으로 판단되었다. 또한 대기오염 감소율 또한 11.21%가 되는 것으로 분석되었다. 마지막으로 수단간 비교분석을 통하여 현재 상황으로는 튜브를 여객수송용으로 도입하기에는 안정성 및 인락성, 편이성이 낮아 어려움이 있으나 화물수송용으로는 고속도로, 경전철을 1로 볼 때 튜브의 성능은 각각 3.1, 4.1로 튜브의 처리능력이 우수한 것으로 판단되었다.

이러한 타당성 분석을 종합하여 최소성능조건을 도출한 결과 화물적재단위로는 국제화물운송에서 규정하는 최소팔레트규격을 따르며 운송거리는 공항-물류센터, 운송노선으로는 교통류상태가 혼잡 또는 밀도가 높은 노선, 추진방식으로는 중단거리 운행에서 LIM방식이 표정속도는 60~90 km/h로 운행시 타당성이 있는 것으로 판단되었다. 이러한 조건은 최소조건이며 향후 기술발전 및 튜브운송시스템 보급률에 따라 달라질 수 있으며 또한 튜브운송시스템을 위한 수요분석모델 정립이 요구된다. 마지막으로 튜브운송시스템을 총칭하는 파이프라인을 이용한 화물/여객수송 관련 연구 및 기술개발을 통하여 도심내의 수송문제 및 환경친화적 교통환경을 구축하고자하는 노력이 필요하다.

후 기

본 연구는 2008년도 한성대학교 교내연구비 지원과제임.

참 고 문 헌

1. “2005년 교통혼잡비용 산출과 추이분석”, 한국교통연구원, 2007.
2. <http://www.cargocap.com>
3. “에비타당성조사 수행을 위한 일반지침 수정·보완 연구 (제4판)”, 한국개발연구원, 2004.12
4. “Feasibility of Tube Transportation to Relieve Highway Congestion”, Texas Transportation Institute, 2001.4
5. “마·창·진 광역도시철도 사전에비타당성 조사용역”, 경상남도, 2003.12.
6. “경산시 경전철 건설·운영 기본계획”, 경산시, 2004.12
7. “Exclusive Lanes for Trucks and Passenger Vehicles on Interstate Highways in Virginia: An Economic Evaluation”, Virginia Transportation Research Council, 1997.6
8. <http://users.ameritech.net/chicagotunnel/tunnel1.html>
9. “2006년도 예산안편성지침 및 기준”, 기획예산처
10. “수시통계연보”, 건설교통부, 2005
11. 한국종합환경연구소(<http://ketch.co.kr>)
12. 대중교통기본계획(2007-2011), 건설교통부, 2006.12
13. <http://www.capsu.org/>

접수일(2008년 5월 28일), 수정일(2008년 8월 17일),
 게재확정일(2008년 8월 18일)