

틸팅열차 투입에 따른 시간단축 효과 검토에 관한 연구

*한성호, 이수길, 송용수
한국철도기술연구원 기촌철도기술개발사업단

A study on the reduction effects of journey time as operating Korean tilting train

Seong-Ho Han, Su-Gil Lee, Yong-Soo Song
Korea Railroad Research Institute

Abstract - Tilting trains are now an established feature of railway operations throughout the world. For intercity traffic, tilt provides operators with increasing speeds, and therefore enhanced competitiveness, on existing routes where insufficient traffic or a lack of funds precludes the construction of a dedicated new high-speed railway.

This paper explains the reduction effects of journey time with the Korean tilting train. The Korean Tilting Train eXpress (TTX) project has been carried out to develop all the core technologies related to tilting train and infra-technology to provide high speed inter-city service with the speed of 180 km/h as well as maintenance-free technology for conventional railway system. In order to simulate we considered 5 conventional railway. As a result of simulation, we found out the tilting train has very high efficiency(reduction rate 20-30%).

1. 서 론

기존선의 속도향상을 위해 필요한 기술로서 틸팅열차 운용기술은 매우 유용한 접근법이다. 현재 선진 철도국가에서는 기존선의 개량과 이에 적합한 고속화 열차를 투입하여 많은 영업적 효과를 얻고 있다. 우리나라에서도 KTX개통이후 타 기존선 지역주민의 동등한 고속열차 혜택을 주고자 200 km/h급 전기식 틸팅열차를 개발하고 있다.

틸팅열차 개발사업은 기존선 속도향상을 위해 추진된 사업으로서, 기존선 성능향상을 위해 차량개발, 인프라연구가 복합적으로 추진된 사업으로서, 최고속도 150km/h의 기존선 전철화 사업이 수행되고 있는 시점에서, 본 사업은 현재 건설되고 있는 노선에서 최고속도의 향상, 곡선부의 속도향상을 통해 전기기관차의 운행에 비해 운행 효율성 증대가 확실하다.

기존선 전철화 사업은 예전의 최소곡선을 완전히 해소하는 것이 아니라, 곡선 반경을 완화시키는 것이므로 (예를 들어 곡선반경 400m를 800m로) 선로 개량화가 이루어져도 곡선부에서의 속도 향상을 위해서는 틸팅열차의 투입이 필요하며, 현재 운행되는 최고속도 또한 본 차량개발을 통해 어느 정도 속도향상이 가능하다. 즉, 본 틸팅열차개발사업의 효과는 곡선부에서의 속도향상을 위한 틸팅차량이 운행될 때 그 효과를 극대화하기 위해서는 일부의 선로개량은 필요하며, 현재 개량되는 전철화 사업이 이루어지면 그 효과는 극대화된다. 외국의 경우에도 이러한 효과를 극대화하기 위해, 틸팅차량의 개발과 함께 기존선 개량화 사업은 병행하여 이루어 지고 있다.

틸팅열차 개발사업은 틸팅열차의 증거리용 EMU 차량개발사업으로, 곡선구간에서 속도향상(약 20-30%)과 승객수요에 따른 차량의 탄력적 운영효과를 증대시킨다. 그리고 EMU 특성인 궤도부담력(기관차방식에 비해) 감소로 통한 유지보수비용 절감 효과와 시스템 측면에서의 운행 시간단축, 개발사업의 완성을 통한 국산화로 비용절감이 가능하다.

이상의 효과를 다시 정리해 본다면 직선부의 최고속도 향상을 통한 시간단축효과, 곡선부의 속도향상(20-30%)을 통한 건설비 절감 및 시간단축, 국산개발을 통한 유지보수비용 절감 및 차량비용 절감, EMU 차량 개발을 통한 승객 탄력성 향상 및 궤도부담력 감소 등이 기대된다.

본 연구에서는 개발된 한국형 틸팅열차의 투입효과로서 시간단축측면에서의 기술검토를 통해 노선투입에 대한 적절성과 타당성을 시뮬레이션을 통해 입증하였다. 따라서 시뮬레이션을 위해 기존선 투입조건을 고려한 시나리오를 설정하였으며, 차량데이터, 노선데이터를 바탕으로 하는 TPS를 수행하여 시간단축측면에서의 시나리오별 우위분석을 수행하였다.

2. 한국형 틸팅열차의 특성

틸팅현재 개발이 진행되고 있는 전기식 틸팅차량(TTX)의 특징은 차량의 주요 전장품이 편성에 분산배치 되므로 차량의 축중이 분배되어 최대축중이 감소되고, 열차의 견인력과 제동력은 동력차량의 점

작성능과 비례하므로 차량의 가속속 성능이 향상되고, 열차의 동력차량이 분산 편성됨으로 일부 동력차량 고장시에도 열차의 운전이 가능하고, 열차의 편성 구성의 충감이 열차의 성능에 영향을 미치지 않는 조건하에서 조정 편성 운영이 가능하고, 곡선부에서 70km/h이상 주행시 틸팅작동에 의한 속도향상 및 승객의 승차감 향상이 가능하고, 기존선로에서 곡선부 주행시 차륜마모를 경감시킬 수, 있는 조향대차기능이 있으며, 기존선로에서 고속주행시 궤도부담력을 줄일 수 있는 축중 및 차체하중 경량화가 가능하다.

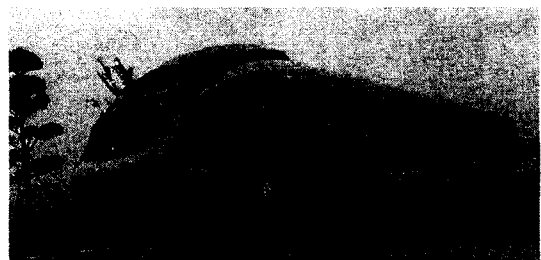
열차편성(기본편성)	6량 차량 (Mcp - M - T - T - M - Mcp)
열차편성 정보	Mcp : 리프트모듈을 가진 제어구동차 M : 당면모듈 / 1동차 객실(31 석) T : 동차 / 구동모듈 / 2동차 객실(80 석) T : 후속차 / 당면모듈을 위한 열차 유지보수 / 2동차 객실(82 석)
용량(1편성당)	206 좌석
최대운행속도	180km/h
차량형식	EMU(동력분산식)
주행	34분(단역, 일반하중)

<그림 1> 한국형 틸팅차량의 편성 및 제원

그림 1에서 보는 바와 같이 틸팅차량의 편성은 3량을 기본유닛으로 하여 6량 1편성을 기본 편성으로 하며, 9량, 12량의 편성이 가능하다. 기본 단위는 3량 1 Unit(2M1T, Mcp + T + Mcp)의 개념을 도입하여 기본편성은 6량 1편성(4M 2T, Mcp + M + T + T + M + Mcp), 확대 편성은 9량 1편성(6M 3T, Mcp + M + T + M + M + T + M + Mcp), 중련 편성은 12량 1편성(8M 4T, Mcp+M+T+T+M+Mcp+Mcp+M+T+T+M+Mcp) 등 수요에 맞게 신속적으로 열차편성이 가능하다. 또한, 4량 1편성(3M 1T, Mcp + T + M + Mcp), 8량 1편성(6M 2T, Mcp+M+T+M+M+T+M+Mcp) 등으로도 변경이 가능하다.

3량 편성의 경우 추진의 25% 고장시 정상운행에 지장이 없으며, 구동차량(Mcp)의 고장시 어느 정도의 속도저하(120-150km/h)는 예상되나, 운행에는 지장이 없다. 열차의 좌석수는 6량 1편성의 경우 282석 (Mcp: 29석, M, T: 56석)이 가능하며, 장애인 탑승을 고려할 경우 278석이 된다.

한국형 중고속틸팅열차(TTX)는 다음 그림 2와 같이 공기저항을 최소화하기 위한 유선형 전두부, 실내공간 최적화를 위한 항공기식 실내설비, 에너지 절감을 위한 경량 하이브리드 복합재 차체로 개발된다. 또한, 모듈화 설계 기법 도입, 샌드위치 구조의 내장재 적용, 샌드위치 복합재 차체와 금속재 언더프레임을 결합한 신개념의 차체 개발, 접착제와 리벳 체결방식을 동시에 사용한 체결방식, 오토클레이브 성형에 의한 차체 제작 등의 특징이 있다.



<그림 2> 틸팅열차 차체의 형상

〈표 1〉 한국형 탈빙차량시스템 주요 설계 사양

주요 항목	한국형 고속탈빙열차(TTX)	비고
설계최고속도	200km/h	국내최초 중고속용
열차편성	6량1편성(4M2T)	국내최초 분산식
차체	하이브리드 (복합재+금속재)	국내최초
전동부	유선형과 한국형 색감	독자설계
실내내장	실내패적화/난연성	독자제작
차체 탈빙기구	스윙링크방식	독자개발
조향장치	Damperless 방식	세계최초 무보수형
탈빙 제어장치	차상-지상 혼합검지 방식	세계최초
탈빙판도그래프	코일전 성능경량 구조	국내최초

표 1은 기존 열차들과 비교해서 한국형 탈빙열차의 주요 구성품들의 우수성을 나타낸 것이다.

3. 탈빙열차 투입노선 및 분석시나리오 설정

탈빙열차의 특징은 우선, 개발하고자 하는 차량의 최고속도가 180km/h급이라는 점과, 최근 환경문제에 대한 관심을 반영하여 디젤이 아닌 전기를 동력으로 하는 차량에 초점을 맞추고 있다.

기존선 전구간에 대한 탈빙열차의 투입효과(TPS 분석에 따른 속도 향상 및 수요유인 효과)는 이미 선행연구에서 개략적으로 분석된 바가 있으며, 본 연구에서는 연구를 효율적으로 추진하고 그 결과의 신뢰성을 제고시키기 위해서 연구 대상노선을 한정할 필요가 있다. 탈빙열차 투입가능 노선의 검토는 13개 주요 간선을 대상으로 노선별 특성을 검토하여 현실적으로 탈빙열차의 투입이 가능한 노선을 우선 선정하였다. 최종적으로 탈빙열차 투입되어야 할 노선은 탈빙열차 투입을 위한 기존선의 개량을 최소화(투자비용의 최소화)할 수 있어야 하고, 그 효과가 충분히 발휘될 수 있는 노선으로 제시되어야 한다.

3.1 탈빙열차 투입시기

현재, 탈빙열차 개발사업이 정상적으로 진행될 경우 2006년 말까지 시험차량이 완성되어, 2007년 상반기 시험차량 시운전시험(6월-12월)을 거쳐 차량성능 시험이 완료될 예정이며, 차량제작은 차량제작에 대한 요구로부터 약 1년 정도의 순수제작기간이 필요하기 때문에 2009년에는 실제 노선에 투입하는 것이 가능하다.

또한, 탈빙열차의 투입은 새로운 서비스 제공에 따른 철도 차종이 추가되는 개념이 아니라 기존의 새마을을 업그레이드하는 개념이기 때문에 현재의 차량운행계획을 고려하여 특정 노선보다는 열차운행의 집중점을 고려하여 투입할 필요가 있다. 표 2와 같이 새마을의 내용년수 경과에 따른 단순 폐차계획을 보면 2008년 이후부터 크게 발생하고 있어 탈빙열차의 투입은 2009년 이후에 투입하는 것이 바람직하다.

〈표 2〉 내용연수 경과에 따른 장래 새마을 및 무궁화 동차 폐차 계획

연도별	'05년	'06년	'07년	'08년	'09년	'10년	비고
보유량	470	461	449	445	435	369	
폐차 계획	새마을 동차	-	-	10	66	24	
	무궁화 동차	9	12	4	-	-	
계	9	12	4	10	66	24	

3.2 탈빙열차 투입가능 노선의 선정

본 연구에서 개발하는 탈빙열차가 운행될 노선은 선행연구에서 검토한 조건과 동일하게 다음과 같은 사항을 충족하는 노선을 우선적으로 고려하였다.

- 전철화 사업이 시행되었거나 예정된 구간
- 현재 운행되고 있는 열차의 최대속도보다 높은 선로제한속도가 적용되는 구간

현재 개발되고 있는 열차는 환경친화적인 전기를 동력으로 하는 차량이므로 전철화 사업이 시행된 구간에만 운행될 수 있다. 또한, 선로의 제한속도가 열차의 성능보다 높은 구간의 경우는 현재 비효율적으로 운행되고 있다는 점을 고려한다면 탈빙열차는 이러한 구간에서 먼저 도입되는 것이 바람직하다. 이 외에도 고속철도가 운행하는 구간, 탈빙열차 투입을 위한 시설투자비가 최소화되는 구간, 현재의 열차운행계획 등이 고려되어야 한다.

장래 철도노선의 개량계획을 포함하여, 위에서 제시된 기준을 충족하는 시점을 고려하여 투입가능 노선을 선정한다. 2003년의 연구에서 탈빙열차 투입가능노선은 경부선, 호남선, 전라선, 중앙선, 장항선, 태백선, 충북선, 경춘선, 영동선, 경전선으로 제시된 바 있다.

장래 개량계획의 변경으로 인해서 현재 탈빙열차의 상용화가 가능한 2009년 이후에 개통시기가 변경된 노선으로는 먼저 전라선의 전구간 복선전철화 사업이 2010년까지 예정되어 사업시기가 연기되었다. 중앙선의 제천-도담, 덕소-원주 구간의 복선전철 사업이 각각 1년씩 개통이 연기되었으며, 원주-제천 복선전철화 사업은 2016년까지, 영주-영천 구간의 전철화 사업이 2022년까지 예정되어 있다. 장항선의 천안-은양은천 복선전철화 사업과 은양은천-대야간 복선전철 단선철도 건설 사업이 2008년까지 예정되어 있으며, 전철화 사업은 2016년까지 예정되어 있다. 태백선의 제천-입석리 구간 복선전철 사업이 2011년까지 예정되어 있으며, 경전선 삼랑진-진주 구간의 복선전철화 사업은 2012년까지 예정되어 있다. 전반적으로 사업시기가 늦추어졌으며, 위에서 언급하지 않은 노선은 변동이 없거나 2009년 이전에 사업이 완료되는 경우이다. 단계별 철도사업의 추진계획에 일부 변동이 발생하였지만 큰 틀에서는 변동사항이 없고, 사업시기에만 일부 변화가 있으므로 선행연구에서 설정한 탈빙열차의 투입노선 을 본 연구에서도 그대로 활용한다. 모든 노선에 대한 검토가 필요하지만 분석노선의 범위가 넓어 본 연구에서는 이 중에서 경부선, 호남선, 전라선, 중앙선, 경전선의 5개 노선에 대해서 먼저 검토하고 나머지 노선은 5차년도에 분석을 시행한다.

3.3 효과검토를 위한 시나리오 설정

본 연구에서는 탈빙열차만을 대상으로 설정하는 것이 아니라 탈빙기능이 없는 EMU 차량에 대한 분석도 수행한다는 것이다. 따라서, 분석대안은 다음과 같이 투입차량과 인프라 개선 유무를 기준으로 하여 4가지 대안에 대해서 분석을 시행한다. 또한, 투입노선도 경부선, 호남선, 전라선, 경전선, 중앙선의 5개 노선에 대해서 분석하며, 열차의 투입은 현재 새마을이 운행하고 있는 기종점에 투입하는 것으로 하였다.

중앙선의 경우 현재 청량리-안동 구간에 새마을이 운행하고 있으며, 장래 개량계획을 감안하면 영주-영천 구간의 전철화가 장기사업으로서 2022년까지 예정되어 있다. 그러나, 열차운행계획 측면에서 청량리-영주 구간에 한정하여 열차를 투입하는 것은 비효율적이므로 본 연구에서는 영주-안동 구간의 전철화 사업이 조기에 시행된다는 가정하에 분석하였다. 즉, 분석구간은 서울-부산, 용산-목포(광주), 용산-여수, 서울-마산(진주), 청량리-안동으로 설정하였으며, 분석대안은 표 3과 같다.

〈표 3〉 분석 시나리오 설정

Infra 대안 열차 대안	현재의 선로조건	최소한의 선로조건 개량 (분기기 교체, ATP 도입, 전차선 개량 등)
새마을	○	-
180km/h급 EMU	○ (대안 1)	○ (대안 2)
180km/h급 TTX	○ (대안 3)	○ (대안 4)

- 대안1: 인프라 개선 없이 180km/h급 EMU 차량의 투입
- 대안2: 인프라 개선 후 180km/h급 EMU 차량의 투입
- 대안3: 인프라 개선 없이 180km/h급 TTX 차량의 투입
- 대안4: 인프라 개선 후 180km/h급 TTX 차량의 투입

4. 시나리오 별 시간단축 효과 검토결과

〈표 4〉 중앙선 TPS 분석 결과 (대안4)

구간	Distance [km]	Time [Min]	Velocity [km/h]	Energy [Kwh]	Regen. Energy [Kwh]
CheongNyangRi-YangPyeong	52.9	26.81	118.4	700.75	621.52
YangPyeong - WonJu	55.8	28.76	116.41	763.61	637.05
WonJu - JeCheon	46.7	23.27	120.41	689.68	485.99
JeCheon - DanYang	23.5	12.91	109.21	252.56	289.97
DanYang - PungGi	26.9	14.32	112.73	358.46	269.05
PungGi - YeongJu	13.5	8.33	97.26	109.7	162.19
YeongJu - Andong	36.9	19.88	111.36	491.35	433.7
TOTAL	256.2	140.28	109.58	3366.12	2899.47

대안1은 새마을과 동일한 조건에서 운행하는 것으로 가정하였으며, 대안3은 킬링효과를 고려하여 구배와 곡률반경에 따른 제한속도를 설정하였다. 대안2와 대안4는 최고속도를 180km/h로 설정하여 분석하였다. 중앙선 분석시에 판대-원주 구간은 개량선로자료로 하였고, 나머지는 기존자료로 분석하였으며, 통과역 제한속도는 고려하지 않았다.

〈표 5〉 경부선 TPS 분석 결과 (대안4)

구간	Distance [km]	Time [Min]	Velocity [km/h]	Energy [Kwh]	Regen.Energy [Kwh]
Seoul-YongSan	3.2	2.43	78.94	75.08	77.79
YongSan-YoungDeungPo	5.9	3.69	95.91	115.66	102.17
YoungDeungPo-SuWon	32.4	13.57	143.22	389.6	327.85
SuWon-Pyeongtaek	33.4	14.39	139.29	353.24	328.98
Pyeongtaek-Cheonan	21.7	9.1	143.12	266.71	200.8
Cheonan-Jochiwon	32.7	14.45	135.75	457.82	412.56
Jochiwon-Shintanjin	22.6	10.6	127.97	310.8	267.59
Shintanjin-Daejeon	14.4	7.3	118.36	212.41	185.4
Daejeon-Youngdong	45.3	20.21	134.49	584.92	447.69
Youngdong-Gimcheon	42.2	20.29	124.82	419.37	419.21
Gimcheon-Gumi	22.9	10.82	126.98	294.94	282.11
Gumi-Waegwan	19.3	8.96	129.29	241.37	230.46
Waegwan-Daegu	27.1	12.43	130.83	332.97	291.14
Daegu-Dongdaegu	3.2	2.43	79.02	80.6	62.58
Dongdaegu-Cheongdo	35.5	15.94	133.64	406.58	332.46
Cheongdo-Miryang	19.8	9.23	128.76	248.4	260.27
Miryang-Gupo	43.6	17.93	145.87	517.65	474.28
Gupo-Pusan	16.8	8.28	121.79	235.29	214.1
TOTAL	442	219.03	121.08	5543.42	4917.43

〈표 7〉 대안별 TPS 분석 결과 종합

노선	차종	거리 (km)	시간(분)	속도 (km/h)	단축률 (%)
경부선 (서울-부산)	새마을 기준	441.7	276.4	95.9	-
	대안1 EMU기준		251.6	105.4	9.9
	대안2 EMU180		245.8	107.8	12.5
	대안3 TTX기준		232.3	114.1	19.0
	대안4 TTX180		219.1	121.0	26.2
호남선 (용산-목포) (용산-광주)	새마을 기준	410.9	263.1	93.7	-
	대안1 EMU기준		236.4	104.3	11.3
	대안2 EMU180		230.1	107.1	14.3
	대안3 TTX기준		216.0	114.1	21.8
	대안4 TTX180		201.2	122.5	30.7
전라선 (용산-여수)	새마을 기준	440.3	306.4	86.2	-
	대안1 EMU기준		280.2	94.3	9.4
	대안2 EMU180		271.1	97.4	13.0
	대안3 TTX기준		252.3	104.7	21.4
	대안4 TTX180		231.8	114.0	32.2
경전선 (서울-진주) (서울-마산)	새마을 기준	495.5	349.4	85.1	-
	대안1 EMU기준		317.0	93.8	10.2
	대안2 EMU180		309.6	96.0	12.9
	대안3 TTX기준		293.9	101.1	18.9
	대안4 TTX180		275.1	108.1	27.0
중앙선 (청량리-안동)	새마을 기준	255.7	189.1	81.1	-
	대안1 EMU기준		175.9	87.2	7.5
	대안2 EMU180		163.0	94.1	16.0
	대안3 TTX기준		159.4	96.3	18.7
	대안4 TTX180		140.3	109.4	34.8

5. 결 론

틸팅열차의 기존선 투입에 있어서 우리나라와 같이 노선에 곡선부가 많고 장기적인 관점에서 개량계획이 있는 노선의 경우, 곡선통과 속도를 향상시켜 노선의 운행시간을 단축시키고 평균속도를 향상하는데 킬링기능이 탑재된 차량이 상당히 효과적이다. 또한, 선형개량이 진행되고 있는 노선의 경우 선로를 효율적으로 활용하기 위해서는 현재 운행하고 있는 차량보다 최고속도가 높은 고성능의 차량투입이 필요하다. 현재 개발이 진행중인 킬링열차는 이러한 두가지 측면을 모두 충족시

킬 수 있는 대안으로 판단된다.

본 연구에서는 최근의 기존선 고속화 관련계획의 검토, 킬링열차의 특성 및 노선특성 분석을 통해서 킬링열차를 투입할 5개 노선을 우선적으로 선정하여 인프라 개선 조건과 투입차량의 종류에 따라서 4개 대안을 설정하여 투입효과를 분석하였다. 분석 결과 우리나라 기존철도의 선형조건상 킬링기능이 있는 TTX의 투입효과가 큰 것으로 분석되었으며, 일부 인프라를 개선하는 경우 그 효과는 더욱 커지는 것으로 분석되었다.

〔참 고 문 헌〕

- [1] 한성호, "시스템통합 및 연계기술개발", 철도기술개발사업 보고서, 2005. 7
- [2] 21세기 국가철도망 구축 기본계획 수립 연구, 2004, 한국철도시설공단
- [3] 2004년 전기업무자료, 철도청
- [4] 킬링차량 운행에 따른 기존선 속도향상 효과분석과 기존철도 운임체계 개선방안 연구, 2003, 한국철도기술연구원
- [5] 킬링열차 운행을 위한 기술·경제적 타당성 연구, 2001, 한국철도기술연구원
- [6] 호남선 전철화 타당성조사 및 기본계획(제1권 타당성조사), 2001, 한국철도기술연구원
- [7] 기존선의 고속화를 위한 시스템에 관한 연구, 1997~2000, 한국철도기술연구원
- [8] 장항선 고속철도 직결운행과 킬링열차 운행타당성 기초조사, 2000, 한국철도기술연구원

〈표 6〉 호남선 TPS 분석 결과 (대안4)

구간	Distance [km]	Time [Min]	Velocity [km/h]	Energy [Kwh]	Regen.Energy [Kwh]
Seoul - YongSan	3.2	2.43	78.94	75.08	77.79
YongSan - YoungDeungPo	5.9	3.69	95.91	115.66	102.17
YoungDeungPo - Suwon	32.4	13.36	145.50	409.73	346.06
Suwon - Pyeongtaek	33.4	13.81	145.12	375.90	349.09
Pyeongtaek - Cheonan	21.7	9.10	143.12	266.71	200.80
Cheonan - Jochiwon	32.7	14.37	136.52	456.59	411.30
Jochiwon - Shintanjin	22.6	10.22	132.63	333.41	287.76
Shintanjin - Seodaejeon	15.4	7.49	123.34	222.95	199.91
Seodaejeon - Dugue	19.7	9.47	124.76	281.29	224.12
Dugue - Nonsan	25.4	11.89	128.19	332.76	346.65
Nonsan - Ganggyeong	9.9	5.34	111.14	185.29	166.00
Ganggyeong - Iksan	27.2	11.89	137.28	367.34	318.32
Iksan - Gimje	17.7	7.76	136.85	249.36	214.01
Gimje - Jeongeup	25.8	10.78	143.64	315.57	273.84
Jeongeup - Jangseong	32.4	13.07	148.74	427.50	346.33
Jangseong - Songjungri	21.9	9.26	141.92	268.91	249.46
Songjungri - Naju	15.8	7.18	132.00	225.31	219.43
Naju - Iro	38.4	18.87	122.07	585.39	508.22
Iro - Mokpo	12.6	6.68	113.24	241.00	161.39
TOTAL	414.1	204.67	121.40	5735.75	5002.67