
 論 文

大韓造船學會論文集
 第 33 卷 第 4 號 1996年 11月
 Transactions of the Society of
 Naval Architects of Korea
 Vol. 33, No. 4, November 1996

예인 전차의 미소 속도 변화가 모형선 저항계측에 미치는 영향

김호진*, 박영하*, 김재성**, 김효철**

Effect of Speed Fluctuation of Towing Carriage on Measurement of Ship Resistance

by

H.J.Kim*, Y.H. Park*, J.S. Kim** and H. Kim**

요 약

서울대학교 공과대학이 보유하고 있는 선형시험수조의 모형선 예인 전차를 개인용 전산기에서 온 라인으로 제어 할 수 있도록 속도제어 시스템을 개량한 바 있다. 이 시스템을 활용하여 전차의 속도의 정밀한 제어가 가능하게 되었다. 이를 활용하여 선형시험수조에 존재하게 되는 잔류 및 정재파와 같은 현상으로 인하여 모형선의 대수속도가 전차의 예인을 위하여 설정한 속도와 미소한 차이를 가지게 되는 것으로 가상하여 전차의 운전속도를 조정하고 모형선을 예인하여 저항 성능에 미치는 차이를 실험적으로 확인하고자 하였다.

Abstract

Recently speed control system of the towing carriage have been modified by applying a personal computer in the Ship Model Towing Tank of Seoul National University. With this system the carriage speed could be controled precisely in coincidently with a prescribed speed diagram to evaluate the effect of slight towing speed fluctuation caused by some residual current or standing waves which have believed as trivial phenomena in the towing tank. It is found that the slight speed fluctuation of the carriage could lead to serious error in measurement of resistance test of a ship.

발 표 : 1996년도 대한조선학회 춘계연구발표회('96.4.19)

접수일자 : 1996년도 5월 28일, 재접수일자 : 1996년 10월15일

* 학생회원, 서울대학교 조선해양공학과 석사과정

** 정회원, 서울대학교 조선해양공학과

1. 서론

선형시험수조에서는 정지된 유체 중에서 모형선을 정속으로 예인하고 모형선에 걸리는 전저항을 계측하여 해석함으로써 선박의 저항성능을 확인하는 것을 목적으로 하고 있다. 특히 근래에 이르러서는 상용 수조에서 실험으로부터 실선의 저항을 추정하는 경우의 추정정도가 1%이내의 정확도를 유지하는 것이 요구되고 있는 실정이다.

이와 같이 높은 실험정도가 요구됨에 따라서 모형선 예인 전차의 대지속도를 정밀하게 제어하려는 노력이 일차적으로 이루어진바 있으며 각종의 물리량을 계측함에 있어서도 정도의 향상에 노력하게 되었다. 제어기술의 발전에 힘입어 강성도를 확보하기 위하여 큰 중량으로 설계된 예인 전차의 대지 속도를 정밀하게 제어할 수 있게 되었다. 또 계측장비의 발전도 눈부시게 이루어져 특히 스트레인 게이지 방식인 경우에는 계측정도가 크게 향상되게 되었을 뿐만 아니라 전산기의 발달은 각종 계측기의 전기적인 출력신호를 거의 동시에 계수화하여 수치자료로 확보할 수 있게 되었다.

그러나 모형선에 작용하는 힘을 계측하는 일은 선체와 유체사이에서 나타나는 유체력을 계측하는 일로서 유체력의 원인이 되는 대수유속의 엄밀한 확보가 필요함을 알 수 있게 되었다. 실제로 선형 시험수조에서는 수온의 차이로 인한 자연적인 대류현상, 모형선의 반복적 예인 시험으로 인한 모형선 전진 방향으로의 전진 유동의 형성, 유동의 교란으로 인한 장주기 정재파의 발생 등이 나타나고 있어서 이들은 모형선의 대수속도에 오차를 가져오는 원인이 되고 있으나 이들을 정확하게 예측하거나 계측하는 일은 대단히 어려운 일이다.

최근에 이루어진 모형선 예인전차의 개인용 전산기를 이용한 제어기술의 도입으로 서울대학교 공과대학 조선해양공학과 선형시험수조에서는 예인전차의 속도제어가 운전자가 원하는 형태로 이루어질 수 있게 되었다. 이와 같은 기술을 활용하여 모형선을 일정속도에 미소한 가속도를 중첩시켜 예인하는 경우이던가 또는 일정속도에 주기적 변동성분이 존재하는 경우를 가산하여 전차를

제어하고 이 상태에서 얻어진 결과로부터 전차의 미소한 속도 변화가 계측정도에 미치는 영향을 알아보고자 하였다.

2. 모형선 예인전차의 정밀제어

서울대학의 모형선 예인전차는 실험상태에서 최대 32 ton의 중량을 가지며 통상적으로 시험속도 3 m/sec이하에서 운전되고 있다. 이 전차는 4대의 직류전동기를 직렬로 연결하고 사이리스터 제어방식으로 제어되고 있다. 제어 회로에서는 전차 속도를 지령하는 신호와 예인전차의 차륜에 직결된 직류전동기로 직류발전기를 동시구동하고 얻어진 전기적인 출력을 속도지령신호의 비교하여 오차를 줄여 가는 Negative Feed Back Control System을 채택하고 있다.

이와 같은 제어시스템에서 속도지령신호로 사용될 전압신호 곡선을 개인용전산기의 신호발생 프

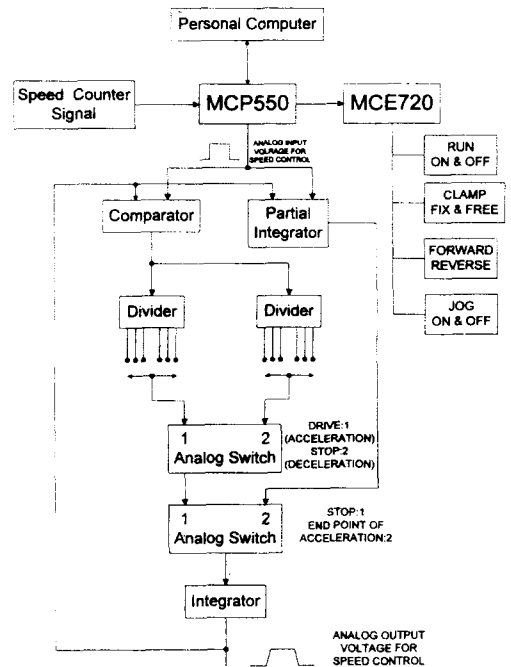


Fig.1 Carriage operating analog signal generating circuit

로그로 형성하고 이를 A/D-D/A 기능을 갖는 MCP550 Card 로부터 속도계어 전압신호로 변환하고 이를 기존의 가감속도지령 전압신호와 합성하여 전차의 운전제어 신호를 형성하였다. 또한 550 card 는 A/D-D/A 기능뿐만 아니라 수치화된 측정값의 입출력 기능과 자료의 전송 및 프로그램 기능을 보유하고 있어서 전차의 운전과 실험계측 전반을 전산기에 의하여 자동운전이 가능하도록 하였다. 이와 같은 전차의 자동운전 신호를 합성하기 위한 시스템은 Fig.1과 같다.

실험계측과 전차운전상황은 전산기의 모니터 화면상에서 항상 확인 할 수 있도록 하였으며 운전 조작을 마우스를 이용하여 화면상에서 할 수 있도록 하였다. 대표적인 실험 계측 상태를 보이면 Fig.2와 같다.

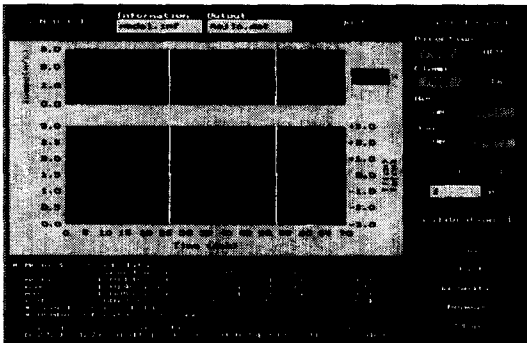


Fig.2 Example of monitor screen for carriage control

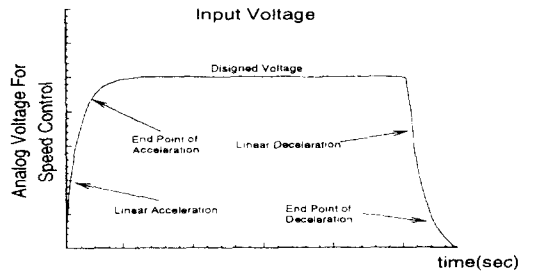
3. 실험조건의 설정과 실험

모형선 예인 전차의 예인 속도는 대지속도를 기준으로 설정되고 제어되고 있으나 앞에서 살핀바와 같이 수조내에 잔류 또는 장주기 정재파가 발생되어 있는 경우에는 유체의 입자가 속도성분을 가지게 되므로 모형선과 유체사이에는 상대유속이 변화하게 되고 그 값은 계측오차의 원인으로 나타날 수 있다. 이것을 실험적으로 조사하기 위하여 예인전차를 일정속도로 운전하는 경우와 전차속도에 가속도성분이 검출되는 경우 및 주기적 변동성분이 있는 경우를 설정하고 이들 각각의 조건에서

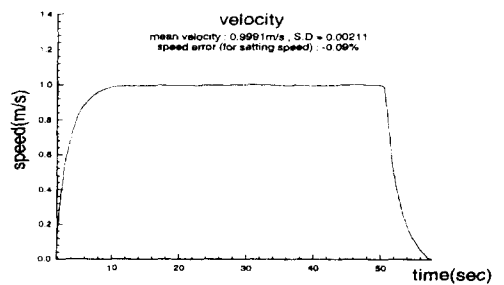
실험을 실시하여 전차 속도의 미소변화로 인한 영향을 확인하고자 하였다.

3.1 정속 운전인 경우

모형선을 일정한 속도 (1 m/sec)로 달리게 하고 전차의 속도와 검출되는 측정 값의 정도를 조사하여 계측의 기준을 설정하고자 하였다. 전차의 운전은 Fig.1에 주어진 제어 회로에서 전차의 운전에서 일정속도가 주어지도록 속도제어용 아날로그 전압 신호 곡선을 형성하고 이를 사용하여 전차를 운전하고 전차의 실제주행 속도를 계측하고 이를 지령신호와 비교하여 Fig.3에 보였다.



(a) Control signal for carriage operation



(b) Output speed signal of carriage operation

Fig.3 Comparison of carriage speed control signal with output speed signal

Fig.3 에 보인 예인전차의 출력신호는 개인용

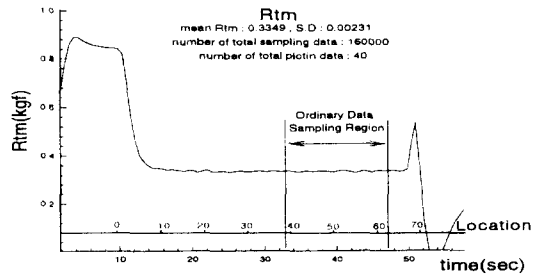
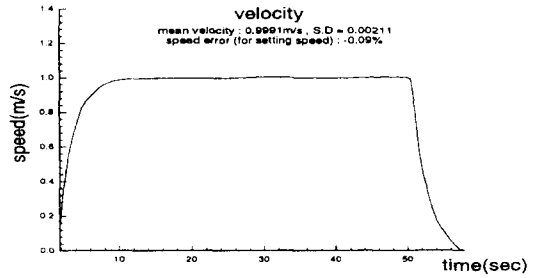
전산기에 설치되어 있는 MCP 550 card를 사용하여 전차의 차륜을 구동하는 직류전동기에 직렬로 연결된 직류모터로부터 발생된 직류 전압을 검출한 결과이다. 통상의 실험에서는 전차의 속도, 저항, 선수 및 선미의 트림을 계측하게 되므로 4개의 계측채널이 필요하게 된다. 계측기로부터 출력되는 이들 신호는 MCP550 카드에서 아날로그 양이 계수화 되어 언어지게 된다. 이때 계수화는 40000Hz이므로 0.1초의 계측으로 4000개의 계수화된 출력을 얻을 수 있으며 0.4초이면 4개의 계측신호를 4000번 계측 할 수 있다. 이들 신호의 평균값을 택하면 전기적 잡음의 영향으로 보이는 높은 진동수 대역의 출력으로 인한 영향이 제외된 출력을 확보할 수 있게 된다.

이와 같은 제어시스템에서 속도지령신호로 사용될 전압신호 곡선을 개인용전산기의 신호발생 프 이과같은 방법으로 계측시간 중의 출력을 구하고 이를 통계적으로 처리 하여 신뢰할 수 있는 출력 신호를 확보하였다.

언어진 결과에 따르면 설정된 속도 1.0 m/sec 이었으나 계측시의 조건에서 실제로 얻어지는 대 지 속도는 0.9991 m/sec이었음이 확인 되었다. 이때의 속도의 계측값들은 표준 편차가 0.00211 이어서 속도의 안정성이 매우 높은 것으로 판단되었다. 따라서 실험상태에서 계측되어 얻어지는 속도를 전차의 실제속도로 사용하면 설정속도와 다소의 차이가 있더라도 신빙성이 있는 결과가 얻 어 질 것으로 예상되었다. 전차의 출발로부터 저항동력계의 출력을 MCP550카드로부터 받으면 Fig.4의 결과가 얻어지게 된다.

이 결과에 따르면 전차의 속도가 정속에 도달한 초기 구간에서 모형선 클램프를 풀어주게되면 전 차 속도로서는 일정속도에 도달하였으나 모형선 주위의 유동은 아직 정상상태에 이르지 못하였기 때문에 신뢰할 수 없는 결과가 계측될 수 있을 것 임을 판단할 수 있다.

Fig.4에서 신뢰할 수 있는 측정값을 주는 계측 자료를 택하기에 적절한 위치를 확인하기 위하여 모형선 클램프를 풀어 준 이후의 저항값을 계측 data set 수를 바꾸어 가며 평균과 표준편차를



조사하면 Table 1의 결과가 얻어지게 된다. 예인속도가 1m/sec일때에 계측하여진 이 결과에 따르면, 모형선 주위에 유동이 안정되어 신뢰할 만한 출력을 주는 표본 구간을 선정하기 위하여 여러 구간별 데이터를 조사하여 보면 클램프를 풀어준 직후에 얻어지는 data set의 표준편차는 0.1 이상이 되며 데이터의 양이 많아짐에 따라서 줄어드는 것을 확인 할 수 있다. 또 data set을 클램프를 개방한후 일정시간 경과한 위치에서 선택하게 되면 data set의 분산이 적어져서 표준편 차가 0.001수준으로 나타나게 됨을 알수 있다. 위의 조사로부터 결론지어보면 data set의 크기를 늘리는 경우 무조건 신빙도가 높아지는 것은 아님을 확인할 수 있다. 따라서 data set에는 신뢰도가 높은 위치와 크기가 존재하는 것으로 생각할 수 있다. 신뢰도에 대한 판단기준을 data set별 평균값의 차이가 0.5% 이내이고 data set의 표준편차가 0.002인 것으로 설정하면 신뢰할 수 있는 data set는 클램프를 개방한 후 20개의 data를 버리고 그 이후 20개의 data를 택할 때 임을 확인할 수 있다.

시험 속도 1.00 m/sec에서 관측된 data 를 분석한 앞에서의 결과에 따라 유효한 data를 선정 하는 기준으로서 클램프를 풀어준 후 20set의

data를 버리고 그 후 20set의 data를 택하는 방법을 사용하기로 하였다. 이와 같은 방법이 유효하다고 생각하는 것은 전차의 대지속도가 정확하고 대수속도와 대지속도가 동일하다고 생각하는데 근거한다. 그런데 여러 가지 요인에 의하여 대수속도에는 변동요인이 있으므로 그 영향을 알아보기 위하여 모형선 예인전차에 속도변화가 인위적으로 주어지는 경우에 대하여 실험을 실시하고 정속시험시와 같은 data 처리 방식을 사용할 때 어떤 형태로 계측 값이 해석되어 오차를 주게 되는지를 알아보려고 하였다.

Number of data set 5개	Location	1-5	11-16	21-25	31-35	41-45	51-55
	Mean	0.5885	0.3386	0.3333	0.3348	0.3338	0.3345
	S.D	0.15293	0.00306	0.00174	0.00143	0.00171	0.00366
Number of data set 10개	Location	1-10	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60
	Mean	0.4716	0.3379	0.3336	0.3347	0.3341	0.3355
	S.D	0.15939	0.00324	0.00153	0.00135	0.00174	0.00323
Number of data set 20개	Location	1-20	6-25	11-30	21-40	31-50	41-60
	Mean	0.4048	0.3445	0.3356	0.3342	0.3343	0.3345
	S.D	0.13106	0.01606	0.00350	0.001549	0.001577	0.002612
Number of data set 35개	Location	1-35	6-40	11-45	16-50	21-55	26-60
	Mean	0.3745	0.3382	0.3352	0.3346	0.3342	0.3347
	S.D	0.10508	0.00831	0.00278	0.00222	0.00203	0.00221

3.2 가속도 성분이 있는 경우

모형선 예인 전차의 속도가 1m/s로 안정화되었다고 판단되는 위치에 미소한 속도 변화를 일으키는 0.003 m/s^2 의 일정가속도를 줄 수 있는 제어신호를 기존의 정속운전 제어 신호에 추가시켜 Fig. 5에 보인 제어신호 곡선을 얻었다. 이와 같은 제어신호로 전차를 운전하며 계측된 저항시험 곡선을 함께 표기함으로써 제어신호의 변경 부분과 그에 따르는 저항계측 값의 변화를 알아보기 쉽게 표기 하고자 하였다.

Fig. 5의 결과를 보면 모형선 예인 전차에 제어신호가 입력된 후 전차가 약 3 초 이후로부터 반응하여 가속하게 되며 그에 따라서 저항 값도 약 4.6 초 이후로부터 변화하는 것으로 나타나고 있다.

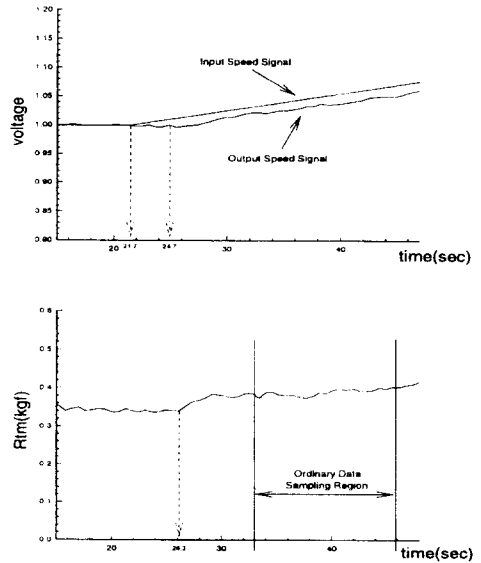


Fig. 5 Effect of acceleration of model on resistance test

이와같이 입력신호에 반응하여 전차가 가속되기까지의 시간차이가 나타나는 것은 전차의 중량이 크기 때문인 것으로 생각된다. 또 저항값이 다시금 일정한 시간차이를 두고 나타나는 것은 전차가 가속되기 시작하였어도 선체주위의 유동은 준정상상태에 도달하는데 일정한 위상차이가 필요한데 기인되는 현상이다. 만일 전차에 가속성분이 존재하는 것을 인식하지 못한 상태에서 실험이 이루어져서 일정속도 1m/s에 대해 미소가속도 0.003 m/s^2 가 중첩되어진 상태로 모형선 예인실험이 이루어 졌다고 하자. 이 경우 앞에서 조사한 결과와 같이 clamp를 풀어준 후 계측되는 20개의 data set을 버리고 그 이후 20개의 data set을 택하는 실험방법을 택하게 되면 그 결과는 7.37%의 오차를 포함하게 되는 것을 알 수 있다.

이와 같이 선형시험에 있어서는 원인이 분명하지 아니한 요인에 의하여 전차의 속도가 아니라 대수속도를 기준으로 하는 경우에는 가속도 성분이 남아 있게되는 경우가 흔히 있음으로 실험에 있어서는 세심한 주의가 필요하게 됨을 알 수 있다.

3.3 주기적 속도변화가 있는 경우

선형시험수조와 같이 길이에 비해 수심이 얇은 수역에서 반복적으로 실험을 실시하게 되면 수조 내에 장주기의 정재파가 발생하게 된다. 일본 IHI의 선형시험수조에서는 파고 10 mm 이상이 고 주기가 60초인 정재파가 관측된바 있으며 서울대학의 수조에서는 3.0mm 정도의 정재파가 흔히 관측되고 있다. 이와 같은 정재파는 쉽사리 없어지지 아니하고 수조 내에 남아 있게 된다. 전술한 정재파로 인하여 유체입자는 타원운동을 하게 되며 그의 궤적을 포텐셜유동에 의해 근사계산을 하여 보면 모형선 전진방향으로의 속도가 5mm/s 이상이 되는 것을 확인할 수 있고 이는 속도 1m/s로 설정된 전차에 대해 0.5%이상의 주기적 변동성분이 됨을 알 수 있다. 따라서 선형시험 수조에서의 실험에서는 예인속도에 유체입자의 타원 운동으로 인한 속도 변화가 증첩되어 대수 속도가 얻어지게 된다. 이와 같은 속도의 주기적 변화가 저항에 미치는 영향을 알아보기 위하여 1m/s로 설정된 속도 지령 신호에 정속의 1%와 5%에 해당하는 진폭을 가지는 사인함수에 따라 변동하는 성분을 증첩시켜 새로운 제어 신호를 합성하였다. Fig. 6에는 이들 두가지의 지령신호로 전차를 운전하고 그와 같은 상태에서 계측된 저항 시험 결과를 함께 표기하였다.

Fig.6 의 결과에 따르면 저항의 계측값이 매우 큰 진폭으로 진동하고 있다. 주기적 가속상태에서 얻어진 저항값은 속도 지령곡선의 미분곡선 즉 가속도 곡선과 밀접한 관계를 가지는 것으로 나타나고 있다. 따라서 이와 같은 사실을 인식하지 못한 상태에서 통상의 실험에서와 같이 기계적으로 자료를 선택하여 해석하게 되면 가속운동중의 관성력이 계측량에 포함되게 되어 오차가 되므로 계측 오차가 매우 크게 나타날 것으로 예상된다. 예컨대 이 자료를 바탕으로 하여 정속운전 상태와 동일하게 해석법을 적용하면 Table 2에서와 같이 큰 오차가 포함되어 계측되는 것을 확인할 수 있다.

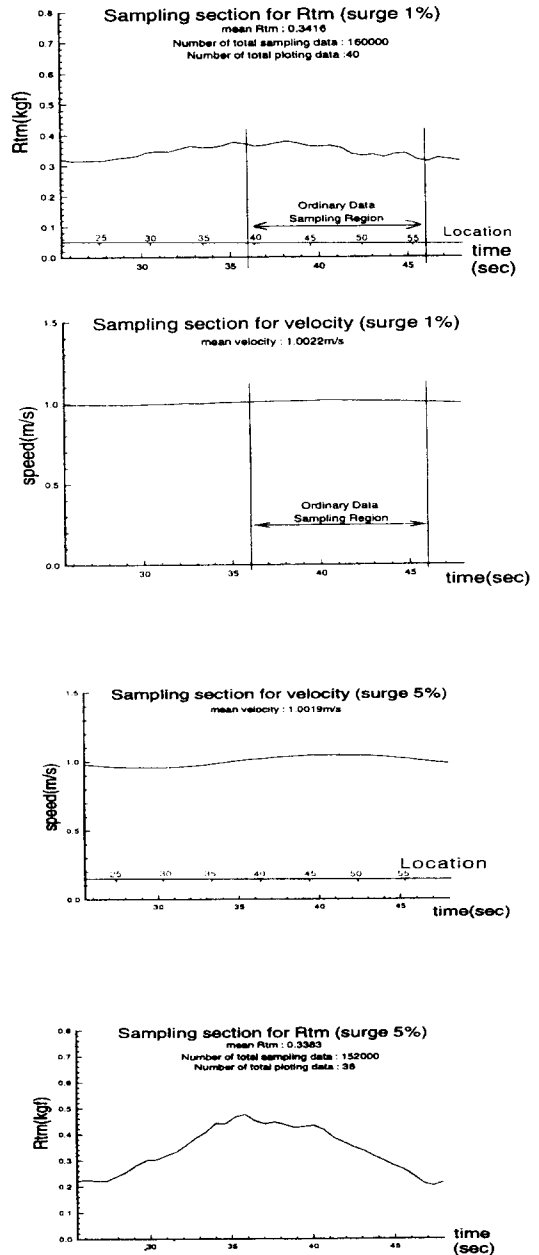


Fig. 6 Effect of sinusoidal fluctuation of towing speed on resistance test

Number of data set 5개	Location	1-5	11-15	21-25	31-35	41-45	51-55
	Mean	0.4784	0.4149	0.2320	0.2922	0.4549	0.3719
	S.D	0.03676	0.02580	0.01960	0.02086	0.01443	0.02718
	Error	41.41	22.66	-31.40	-13.62	34.47	9.95
Number of data set 10개	Location	1-10	11-20	21-30	31-40	41-50	51-60
	Mean	0.4646	0.3654	0.2284	0.3387	0.4448	0.3263
	S.D	0.02972	0.05643	0.01516	0.05564	0.01521	0.0528
	Error	37.36	8.01	-32.46	0.11	31.50	-3.52
Number of data set 20개	Location	1-20	6-25	11-30	21-40	31-50	41-60
	Mean	0.4150	0.3534	0.2969	0.2835	0.3917	0.3856
	S.D	0.06706	0.08849	0.07996	0.06855	0.06695	0.07087
	Error	22.68	4.48	-12.22	-16.17	15.81	13.99
Number of data set 35개	Location	1-35	6-40	11-45	16-50	21-55	26-60
	Mean	0.3441	0.3308	0.3314	0.3342	0.3423	0.3492
	S.D	0.09888	0.08532	0.08627	0.08875	0.08921	0.08221
	Error	1.74	-2.19	-2.02	-1.18	1.18	3.23

다른 한편으로 변동성분의 주기를 알아낼 수 있는 경우에는 하나의 변동 주기 중에 계측된 데이터의 전체를 평균하면 그 값은 0.3383kgf로 나타나서 1m/sec의 정속상태로 실험하여 얻어지는 결과에 상당히 가까운 저항값을 주는 것을 확인할 수 있다.

4. 결론

본론과 같은 실험에 대하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

가. 서울대학교의 선형시험수조에서 모형선 예인전차의 속도제어를 개인용 전산기의 지원을 받아 예인속도의 정밀제어는 물론이고 주기적 변동 속도 성분이나 가감속성분을 중첩하여 운전하는 것이 가능하도록 개선하였다.

나. 예인전차를 일정속도로 예인할때와 가속도 성분을 중첩시켜 속도에 미소변화를 주어 운전함으로써 속도의 미소한 변화가 저항성능 계측에 어떠한 영향을 주게 되는 지를 실험적으로 확인하였다.

다. 선형시험수조에서 항시 존재하고 있는 다양한 상대유속에 변동 요인에 세심한 주의를 기울이지 않으면 커다란 계측오차가 나타날 수 있음을 보였다.

참 고 문 헌

- [1] 김재성, 이상홍, 장진호, 김효철, "개인용 전산기를 활용한 모형선 예인전차의 제어와 계측법의 개선에 관한 연구", 대한조선학회 춘계연구발표회
- [2] Fukase.M., "Effect of Standing Wave on a Measurement of Resistance (in Japanese)", JTTC Committee Meeting , 1973.7
- [3] Jinaka,N., "Effect of Residuary Acceleration in a Self Propulsion Test (in Japanese)", JTTC Committee Meeting , 1976.12.
- [4] Watanabe,T. Kawasaki,M , " Current in a Towing Tank(in Japanese)",JTTC Committee Meeting , 1966.
- [5] Tasaki.K. , "A Memo on the Effect of Residuary Current on the Resistance Test and Self Propulsion Test(in Japanese)",JTTC Committee Meeting, 1968. 8.