

# 한국형 표준전동차 종합제어장치(TCMS)의 신뢰성 소프트웨어 개발 기술

## Reliability software design techniques of the Train Control and Monitoring System(TCMS) for the Standard type K-EMU

한성호<sup>1</sup>, 안태기<sup>2</sup>, 이수길<sup>2</sup>, 이관섭<sup>3</sup>, 최규형<sup>3</sup>

Soung-Ho Han, Tae-Ki Ahn, Su-Gil Lee, Kwan-Sup Lee, Kyu-Hyoung Choi

**Key Words :** Train Control and Monitoring System(종합제어장치), Safety Critical Software Engineering Tool(고안전성 소프트웨어개발 툴)

### Abstract

The train control and monitoring system (TCMS) is an on board computer system in railway vehicles performing the control, supervisory and diagnostic functions of the complete train system. This system replaces a lot of hard-wired relays and minimizes the necessary vehicle wiring thus increasing the reliability of the train. It is also one of more important equipment on vehicle to implement much higher safety and reliability train system.

We studied a software design technique of TCMS using a CASE tool that is a kind of safety critical software engineering tool (SCADE). This tool has mainly four functions such as the graphical editor, the document maker, the automatically code generator, and the test simulator. The several functions of TCMS are implemented in this software easily programmed using a functional block diagram and a graphic programming language. We applied to automatically generated TCMS modules on the SCADE each functional block for the Standard type EMU in Korea. We performed the combination test using TCMS simulator and the running test in Seoul subway 7 Line. We proved that this technique is more useful for the software design of TCMS in urban transit

### 1. 서 론

최근 도시철도차량분야는 마이크로프로세서 성능 및 통신 인터페이스기술의 급격한 발전에 힘입어 실시간 영역에서의 열차자동/무인 운전

제어 기술 및 고 수준 승객서비스 지원 등 열차 운행에 관한 최신제어기술의 적용이 활발히 연구되고 있다[1,2]. 특히, 열차의 주제어장치로서 차량시스템을 편성단위로 종합관리하는 종합제어장치(TCMS: Train Control and Monitoring System)는 차량의 성능을 궁극적으로 책임지고 있어 높은 신뢰도 및 안전성을 확보한다.

TCMS는 기존의 하드웨어 릴레이 방식으로 처

\*1 정회원, 한국철도기술연구원 선임연구원

\*2 정회원, 한국철도기술연구원 주임연구원

\*3 정회원, 한국철도기술연구원 책임연구원

리되던 제어로직의 상당부분을 소프트웨어 제어 모듈로 대체함으로써 전기 회로의 단순화를 가져왔을 뿐만 아니라 이에 따른 차량내 기기의 고장빈도를 감소시켜줌으로써 차량 시스템 신뢰도를 향상시켜 준다.

또한 차량제어의 핵심장치인 추진 및 제동장치 등과 같은 차상 주요 기기에 대한 제어 및 감시기능 하며 유지보수 및 검수기능을 갖고 있어 차량의 안전운행과 유지관리의 효율성을 확보할 수 있다. 따라서, TCMS의 소프트웨어개발에 있어서 무엇보다도 중요한 것은 어떠한 형태로든 구조적 또는 기능적 오류가 발생해서는 안 되며, 이를 위해 기존의 단순한 프로그래밍 접근법이 아닌 보다 체계적이고 유지보수관리가 용이한 신뢰성 소프트웨어 엔지니어링 기법의 접근이 필요하다.

최근 이러한 기술들이 산업분야에서 활발히 연구되고 있으며 사용자의 목적 및 개발환경과 요구분석, 설계, 구현, 검증 등을 단계별로 체계적으로 구현할 수 있는 CASE 툴(computer aided software engineering tool)기술이 대표적이다. 이 기술은 적용범위에 따라 소프트웨어 분석 및 검증을 위한 도구, 모델링 설계 및 구축 도구, 객체지향 분석·설계 도구, 실시간 데이터베이스 조정 도구 등 사용자의 목적에 따라 다양하게 적용되고 있다[3].

본 연구에서는 신뢰성 및 안전성을 보장하는 TCMS의 소프트웨어 개발을 위해 Safety Critical 프로그래밍 전용의 CASE tool인 SCADE를 적용하였다. 이 툴은 다중그래픽편집기능, 자동소스 코드생성기능, 시뮬레이터기능으로 구성되어 있으며 현재 항공기, 헬리콥터, 원자력발전소 보호장치, 고속철도 지상신호제어장치(TVM430), 홍콩지하철 등 고도의 신뢰성을 요구하는 산업분야에 적용되고 있다[3].

또한 이 기술을 이용하여 한국형 표준화·국산화 연구개발의 일환으로 제작된 표준 전동차(4량 편성)용 종합제어장치개발에 실제 적용하였다. 특히, TCMS 시뮬레이터를 제작하여 차량탑재 이전단계에서 충분한 조합시험을 실시함으로

써 완성차시험을 단축할 수 있었으며 서울시 지하철 7호선에서 본선 시운전을 실시함으로써 실노선에서의 시스템 신뢰성을 입증 할 수 있었다. 따라서, 이 기술의 적용결과 TCMS개발에 이 기술을 적용한 결과 시스템의 안전성과 신뢰성 확보가 입증되었으며 개발기간의 단축 및 유지보수비용의 축소 효과를 얻을 수 있었다.

## 2. 도시철도차량 종합제어장치(TCMS)

### 2.1 TCMS의 구성 및 기능

TCMS는 편성제어컴퓨터(train computer), 차량제어컴퓨터(car computer), 모니터장치(display unit) 및 기타 부수 장치로 그림 1과 같이 구성되며 고전압장치, 추진제어장치, 제동장치, 보조전원장치 등과 입·출력신호 및 통신프로토콜을 통해 제어 및 감시 기능을 수행한다[4,5].

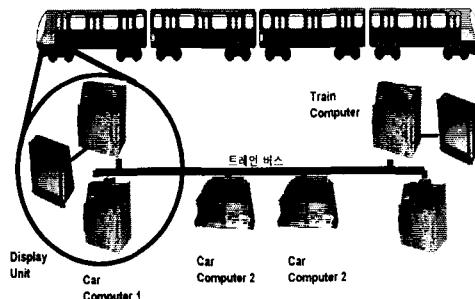


Fig. 1 System configuration of TCMS

TCMS의 각 컴퓨터가 수행하는 주요기능들은 제어 및 감시 대상 기기의 종류에 따라 각각의 소프트웨어 모듈로 구분된다. 판토그라프, 소비전력량 등의 제어·감시기능을 처리하는 고전압제어모듈, 제동장치의 제동지령 및 감시기능용 제동제어모듈, 추진제어장치의 역행제어 및 감시용 견인제어모듈, 보조전원장치 및 냉각장치의 제어·감시용 보조전원제어모듈, 주·보조 공기압축기장치의 기동제어 및 감시기능을 처리하는 공기압축기제어모듈 등 세부기능별로 20개의 각 모

들로 구성된다.

각 기능별 주요모듈과 세부모듈을 표 1에 정리하였다.

**Table 1 Module list of each Functions**

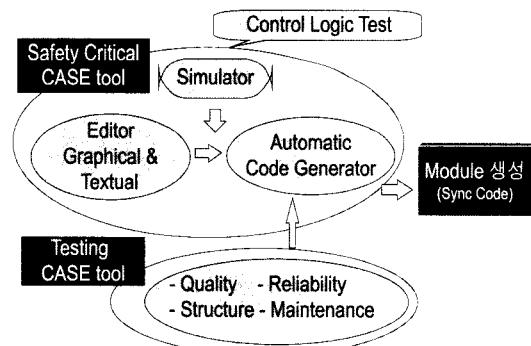
기능구분	주요 모듈명	세부 모듈명
운전명령제어	운전모드제어	DRC, DRM
	HCR제어	HCC, HCM
	데드밴제어	DMC, DMM
	속도계산	VEC
출입문제어	운전모드입출력	MCC, MCM
	출입문제어	DCCONTROL, DCCM, DCCC
	출입문안내	DIC
고 척 압	퀴토그라프	ESPD, ESPU,
	상승/하강	ESEP
	보조공기압축기	ESAC
주 진	VVVF제어/감시	VFCC, VVVF
보조전원	보조전원장치(SIV)	SIVM
	밧데리제어감시	BACC, BACM
공기압축기	공기압축기제어	COC, COM
	ATC지원	ACC
	ATO지원	AOC, AOM
신호보안장치 지원기능	TWC열번지원	TNC, TWCM, TWM
	제동제어/감시	BCC, BCM
	HVAC제어	HVC, HVCM
제동	방송장치	PAC, PAM
	표시기장치	PIC, PISCM
	무선장치	TRCPM
승객서비스장치	승객경보	PMCC, PMCM
	승객하중	OLC, OLM
	마스터클럭	MK
기타기능	차륜경보장	WDC, WDM
	정지속도검지	ZVR
	조명제어	LCCC, LCCM
검수지원	차상검수	PDT, INSPEC

## 2.2 TCMS 신뢰성 소프트웨어 개발 기법

도시철도차량용 TCMS의 소프트웨어 개발은 고도의 신뢰성이 요구되며 규모 또한 방대하므로 설계단계와 제작 및 유지보수 측면에서 분

매 체계적인 기법을 적용하는 것이 바람직하다. 최근 소프트웨어 공학분야에 활발하게 도입되고 있는 CASE tool은 사용자에게 소프트웨어의 요구분석, 설계, 구현의 전반적인 지원과 개발의 자동화 및 컴퓨터와 그래픽기능의 활용, 생산성 향상을 위한 공학기법 등을 제공한다. 또한 소프트웨어 개발기간의 단축 및 개발비용의 절감과 생산성 향상, 고품질의 시스템개발을 지원하며 유지보수의 용이함과 비용절감을 가능하게 한다[3].

도시철도차량용 TCMS의 소프트웨어개발에 있어서 CASE tool의 적용은 크게 세 가지 범위에서 고려된다. 즉 설계 및 제작단계에서의 모듈기능별 제어로직의 구현, 작성된 소스코드의 기능 검증을 위한 시뮬레이션과 구조적 오류검증, 마지막으로 이를 쉽게 수정 보완하고 문서화 할 수 있는 유지보수기능이다.



**Fig. 2 Procedure of S/W engineering using tool**

이상의 세 가지 단계별 CASE tool의 적용에 따른 기능별 모듈 생성 절차를 그림 2에 나타내었다. 구현하고자 하는 각 모듈의 제어로직은 그래픽편집기 또는 텍스트 편집을 통해 입력되어 그래픽심벌 또는 라이브러리 함수를 토대로 불러온다. 또한, 자동코드생성기능을 통해 소스코드(ANSI C)수준을 생성하며, 시뮬레이터기능을 이용하여 모듈의 제어기능을 검증한다. 또한 소스코드 수준에서의 프로그램의 신뢰성 검증을 위해 검증용 툴인 Logiscope를 이용하여 소프트웨어의 품질, 신뢰도, 구조 등을 분석하고 유지

보수측면에서의 텍스트의 복잡도, 유사성 등을  
측정하며 이를 수정·보완하고 관리한다.

### 3. TCMS S/W 모듈생성 및 신뢰성 검증

### 3.1 모듈생성을 위한 제어로직 구현

기본설계단계에서 요구분석에 따른 기능이 설  
정되고 이에 따른 입출력신호와 통신프로토콜이  
완성되면 모듈의 분류와 설계가 가능해 진다. 모  
듈별 제어로직의 구현방법은 두 가지가 있는데  
그래픽 편집기를 이용하여 구현하는 방법과 텍  
스트 편집기로 입력하는 방법이다. 이를 모듈들  
은 연관성에 따라 계층적 구조를 갖게되며 자주  
사용되는 특수 기능들은 블록함수 단위로 심별  
화가 가능하므로 라이브러리로 처리하여 사용할  
수 있다.

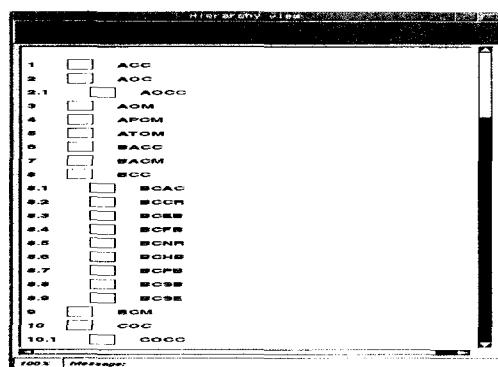
그림 3은 기능별로 구현된 모듈을 SCADE 통합환경에서 전체적으로 보여주고 있으며 그림 4는 각 모듈의 연관성을 확인할 수 있는 계층적 구조를 보여준다.

Preference	Name	Style	Ref
✓ Options	ACC	L	ACC
✓ Inputs	AOC	L	AOC
✓ Outputs	AOCC	L	AOCC
✓ Wires	AOM	L	AOM
✓ Acid/Alkalies	APCM	L	APCM
✓ Equivalents	ATOM	L	ATOM
✓ Chemical Stocks	BACC	L	BACC
✓ Chemical Stocks	BACM	L	BACM
✓ Catalysts	BCAC	L	BCAC
✓ Control Units	BCC	L	BCC
✓ Types	BCCR	L	BCCR
✓ Page States	BCEB	L	BCEB
✓ Global Variables	BCFB	L	BCFB
✓ Shared Variable States	BCHB	L	BCHB
	BCM	L	BCM
	BCNR	L	BCNR

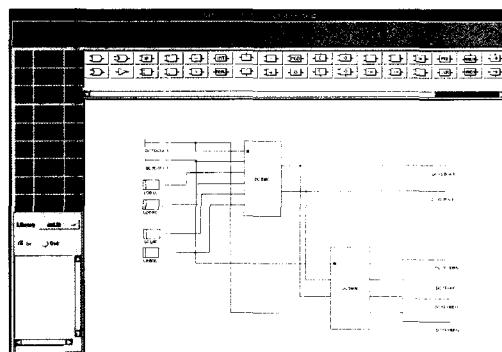
**Fig. 3 Modules implemented by SCADE**

전체 TCMS 제어기능 가운데 출입문제어와 관련한 DCCC 모듈을 그래픽 편집기로 구현한 모습을 그림 5에 나타내었다. 차량의 모든 출입문 개폐기능은 편성제어컴퓨터(TC)와 차량제어컴퓨터(CC)를 통해 각 차량별로 이루어진다. 이 모듈

은 차량제어 컴퓨터의 고장시에도 정상적인 출입문개폐가 이루어질 수 있도록 하는 출입문 백업기능을 수행한다. 따라서 비상출입문제어함수(DCEMC)와 비상출입문감시함수(DCEMM)와 이와 관련된 임·출력 파라미터로 표현된다.



**Fig. 4 Hierarchy view of modules**



**Fig. 5 Graphical input of DCCC module**

### 3.2 모듈기능 및 소스코드의 신뢰성 테스트

작성된 각 모듈은 독립된 기능을 수행하도록 구현되었으나 실제는 입·출력이 서로 연관되어 동작한다. 따라서 구현된 모듈의 기능을 검증하기 위해서는 관련 입출력 환경을 구성해 주어야 제대로 기능을 수행하는지의 여부가 파악된다. 이는 개발자 측면에서 볼 때 상당히 복잡하고 번거로운 문제가 되며 프로그램 개발기간의 지연요소가 된다. 그러나 본 연구에서는 별도의 프로그램 추가 작업 없이 각 학수의 기능만을 독

립적으로 테스트 할 수 있는 시뮬레이터 기능을 사용한다. 이는 제어로직 구현과 디버깅을 동시에 처리하게 되므로 개발기간의 단축과 기능구현의 정확성을 높일 수 있다.

그림 6은 작성된 제어로직을 토대로 자동 생성된 DCCC모듈의 ANSI C 소스코드 리스트를 보여주며, 생성된 소스코드는 그림 7과 같은 시뮬레이터기능을 이용하여 제어로직 시퀀스의 정상동작여부를 시간영역에서 검증할 수 있다.

```

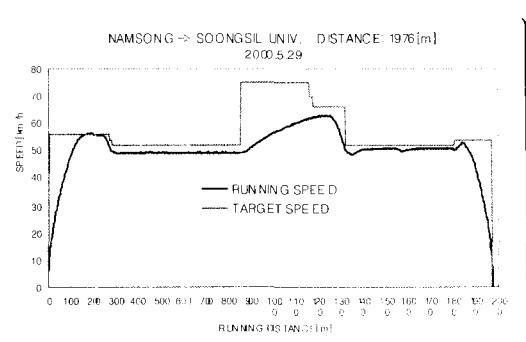
24
25
26
27
28
29 ==
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39 ==>
40
41
42
43
44
45
46
47
48
49
50
51
52
53
54
55
56
57
58
59
60
61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82
83
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100
101
102
103
104
105
106
107
108
109
110
111
112
113
114
115
116
117
118
119
120
121
122
123
124
125
126
127
128
129
130
131
132
133
134
135
136
137
138
139
140
141
142
143
144
145
146
147
148
149
150
151
152
153
154
155
156
157
158
159
160
161
162
163
164
165
166
167
168
169
170
171
172
173
174
175
176
177
178
179
180
181
182
183
184
185
186
187
188
189
190
191
192
193
194
195
196
197
198
199
200
201
202
203
204
205
206
207
208
209
210
211
212
213
214
215
216
217
218
219
220
221
222
223
224
225
226
227
228
229
230
231
232
233
234
235
236
237
238
239
240
241
242
243
244
245
246
247
248
249
250
251
252
253
254
255
256
257
258
259
259
260
261
262
263
264
265
266
267
268
269
269
270
271
272
273
274
275
276
277
278
279
279
280
281
282
283
284
285
286
287
288
289
289
290
291
292
293
294
295
296
297
298
299
300
301
302
303
304
305
306
307
308
309
309
310
311
312
313
314
315
316
317
318
319
319
320
321
322
323
324
325
326
327
328
329
329
330
331
332
333
334
335
336
337
338
339
339
340
341
342
343
344
345
346
347
348
349
349
350
351
352
353
354
355
356
357
358
359
359
360
361
362
363
364
365
366
367
368
368
369
370
371
372
373
374
375
376
377
378
378
379
380
381
382
383
384
385
386
387
388
389
389
390
391
392
393
394
395
396
397
398
399
399
400
401
402
403
404
405
406
407
408
409
409
410
411
412
413
414
415
416
417
418
419
419
420
421
422
423
424
425
426
427
428
429
429
430
431
432
433
434
435
436
437
438
439
439
440
441
442
443
444
445
446
447
448
449
449
450
451
452
453
454
455
456
457
458
459
459
460
461
462
463
464
465
466
467
468
469
469
470
471
472
473
474
475
476
477
478
479
479
480
481
482
483
484
485
486
487
488
489
489
490
491
492
493
494
495
496
497
498
499
499
500
501
502
503
504
505
506
507
508
509
509
510
511
512
513
514
515
516
517
518
519
519
520
521
522
523
524
525
526
527
528
529
529
530
531
532
533
534
535
536
537
538
539
539
540
541
542
543
544
545
546
547
548
549
549
550
551
552
553
554
555
556
557
558
559
559
560
561
562
563
564
565
566
567
568
569
569
570
571
572
573
574
575
576
577
578
578
579
580
581
582
583
584
585
586
587
588
589
589
590
591
592
593
594
595
596
597
598
599
599
600
601
602
603
604
605
606
607
608
609
609
610
611
612
613
614
615
616
617
618
619
619
620
621
622
623
624
625
626
627
628
629
629
630
631
632
633
634
635
636
637
638
639
639
640
641
642
643
644
645
646
647
648
649
649
650
651
652
653
654
655
656
657
658
659
659
660
661
662
663
664
665
666
667
668
669
669
670
671
672
673
674
675
676
677
678
678
679
680
681
682
683
684
685
686
687
688
689
689
690
691
692
693
694
695
696
697
697
698
699
700
701
702
703
704
705
706
707
708
709
709
710
711
712
713
714
715
716
717
718
719
719
720
721
722
723
724
725
726
727
728
729
729
730
731
732
733
734
735
736
737
738
739
739
740
741
742
743
744
745
746
747
748
749
749
750
751
752
753
754
755
756
757
758
759
759
760
761
762
763
764
765
766
767
768
769
769
770
771
772
773
774
775
776
777
778
778
779
779
780
781
782
783
784
785
786
787
788
788
789
789
790
791
792
793
794
795
796
797
797
798
799
799
800
801
802
803
804
805
806
807
808
809
809
810
811
812
813
814
815
816
817
818
819
819
820
821
822
823
824
825
826
827
828
829
829
830
831
832
833
834
835
836
837
838
839
839
840
841
842
843
844
845
846
847
848
849
849
850
851
852
853
854
855
856
857
858
859
859
860
861
862
863
864
865
866
867
868
869
869
870
871
872
873
874
875
876
877
878
878
879
879
880
881
882
883
884
885
886
887
888
888
889
889
890
891
892
893
894
895
896
897
897
898
899
899
900
901
902
903
904
905
906
907
908
909
909
910
911
912
913
914
915
916
917
917
918
919
919
920
921
922
923
924
925
926
927
928
929
929
930
931
932
933
934
935
936
937
938
939
939
940
941
942
943
944
945
946
947
948
948
949
949
950
951
952
953
954
955
956
957
958
959
959
960
961
962
963
964
965
966
967
968
969
969
970
971
972
973
974
975
976
977
978
978
979
979
980
981
982
983
984
985
986
987
987
988
988
989
989
990
991
992
993
994
995
996
997
997
998
999
999
1000
1000
1001
1002
1003
1004
1005
1006
1007
1008
1009
1009
1010
1011
1012
1013
1014
1015
1016
1017
1018
1019
1019
1020
1021
1022
1023
1024
1025
1026
1027
1028
1029
1029
1030
1031
1032
1033
1034
1035
1036
1037
1038
1039
1039
1040
1041
1042
1043
1044
1045
1046
1047
1048
1049
1049
1050
1051
1052
1053
1054
1055
1056
1057
1058
1059
1059
1060
1061
1062
1063
1064
1065
1066
1067
1068
1069
1069
1070
1071
1072
1073
1074
1075
1076
1077
1078
1078
1079
1079
1080
1081
1082
1083
1084
1085
1086
1087
1088
1088
1089
1089
1090
1091
1092
1093
1094
1095
1096
1096
1097
1097
1098
1099
1099
1100
1101
1102
1103
1104
1105
1106
1107
1108
1109
1109
1110
1111
1112
1113
1114
1115
1116
1117
1118
1119
1119
1120
1121
1122
1123
1124
1125
1126
1127
1128
1129
1129
1130
1131
1132
1133
1134
1135
1136
1137
1138
1139
1139
1140
1141
1142
1143
1144
1145
1146
1147
1148
1149
1149
1150
1151
1152
1153
1154
1155
1156
1157
1158
1159
1159
1160
1161
1162
1163
1164
1165
1166
1167
1168
1169
1169
1170
1171
1172
1173
1174
1175
1176
1177
1178
1178
1179
1179
1180
1181
1182
1183
1184
1185
1186
1187
1187
1188
1188
1189
1189
1190
1191
1192
1193
1194
1195
1195
1196
1196
1197
1197
1198
1199
1199
1200
1201
1202
1203
1204
1205
1206
1207
1208
1209
1209
1210
1211
1212
1213
1214
1215
1216
1217
1218
1219
1219
1220
1221
1222
1223
1224
1225
1226
1227
1228
1229
1229
1230
1231
1232
1233
1234
1235
1236
1237
1238
1239
1239
1240
1241
1242
1243
1244
1245
1246
1247
1248
1249
1249
1250
1251
1252
1253
1254
1255
1256
1257
1258
1259
1259
1260
1261
1262
1263
1264
1265
1266
1267
1268
1269
1269
1270
1271
1272
1273
1274
1275
1276
1277
1278
1278
1279
1279
1280
1281
1282
1283
1284
1285
1286
1287
1287
1288
1288
1289
1289
1290
1291
1292
1293
1294
1295
1295
1296
1296
1297
1297
1298
1299
1299
1300
1301
1302
1303
1304
1305
1306
1307
1308
1309
1309
1310
1311
1312
1313
1314
1315
1316
1317
1318
1319
1319
1320
1321
1322
1323
1324
1325
1326
1327
1328
1329
1329
1330
1331
1332
1333
1334
1335
1336
1337
1338
1339
1339
1340
1341
1342
1343
1344
1345
1346
1347
1348
1349
1349
1350
1351
1352
1353
1354
1355
1356
1357
1358
1359
1359
1360
1361
1362
1363
1364
1365
1366
1367
1368
1369
1369
1370
1371
1372
1373
1374
1375
1376
1377
1378
1378
1379
1379
1380
1381
1382
1383
1384
1385
1386
1387
1387
1388
1388
1389
1389
1390
1391
1392
1393
1394
1395
1395
1396
1396
1397
1397
1398
1399
1399
1400
1401
1402
1403
1404
1405
1406
1407
1408
1409
1409
1410
1411
1412
1413
1414
1415
1416
1417
1418
1419
1419
1420
1421
1422
1423
1424
1425
1426
1427
1428
1429
1429
1430
1431
1432
1433
1434
1435
1436
1437
1438
1439
1439
1440
1441
1442
1443
1444
1445
1446
1447
1448
1448
1449
1449
1450
1451
1452
1453
1454
1455
1456
1457
1458
1459
1459
1460
1461
1462
1463
1464
1465
1466
1467
1468
1469
1469
1470
1471
1472
1473
1474
1475
1476
1477
1477
1478
1478
1479
1479
1480
1481
1482
1483
1484
1485
1486
1487
1487
1488
1488
1489
1489
1490
1491
1492
1493
1494
1495
1495
1496
1496
1497
1497
1498
1499
1499
1500
1501
1502
1503
1504
1505
1506
1507
1508
1509
1509
1510
1511
1512
1513
1514
1515
1516
1517
1518
1519
1519
1520
1521
1522
1523
1524
1525
1526
1527
1528
1529
1529
1530
1531
1532
1533
1534
1535
1536
1537
1538
1539
1539
1540
1541
1542
1543
1544
1545
1546
1547
1548
1548
1549
1549
1550
1551
1552
1553
1554
1555
1556
1557
1558
1559
1559
1560
1561
1562
1563
1564
1565
1566
1567
1568
1569
1569
1570
1571
1572
1573
1574
1575
1576
1577
1577
1578
1578
1579
1579
1580
1581
1582
1583
1584
1585
1586
1587
1587
1588
1588
1589
1589
1590
1591
1592
1593
1594
1595
1595
1596
1596
1597
1597
1598
1599
1599
1600
1601
1602
1603
1604
1605
1606
1607
1608
1609
1609
1610
1611
1612
1613
1614
1615
1616
1617
1618
1619
1619
1620
1621
1622
1623
1624
1625
1626
1627
1628
1629
1629
1630
1631
1632
1633
1634
1635
1636
1637
1638
1639
1639
1640
1641
1642
1643
1644
1645
1646
1647
1648
1648
1649
1649
1650
1651
1652
1653
1654
1655
1656
1657
1658
1659
1659
1660
1661
1662
1663
1664
1665
1666
1667
1668
1669
1669
1670
1671
1672
1673
1674
1675
1676
1677
1678
1678
1679
1679
1680
1681
1682
1683
1684
1685
1686
1687
1688
1688
1689
1689
1690
1691
1692
1693
1694
1695
1696
1697
1697
1698
1698
1699
1699
1700
1701
1702
1703
1704
1705
1706
1707
1708
1709
1709
1710
1711
1712
1713
1714
1715
1716
1717
1718
1719
1719
1720
1721
1722
1723
1724
1725
1726
1727
1728
1729
1729
1730
1731
1732
1733
1734
1735
1736
1737
1738
1739
1739
1740
1741
1742
1743
1744
1745
1746
1747
1748
1748
1749
1749
1750
1751
1752
1753
1754
1755
1756
1757
1758
1759
1759
1760
1761
1762
1763
1764
1765
1766
1767
1768
1769
1769
1770
1771
1772
1773
1774
1775
1776
1777
1778
1779
1779
1780
1781
1782
1783
1784
1785
1786
1787
1788
1788
1789
1789
1790
1791
1792
1793
1794
1795
1796
1797
1797
1798
1798
1799
1799
1800
1801
1802
1803
1804
1805
1806
1807
1808
1809
1809
1810
1811
1812
1813
1814
1815
1816
1817
1818
1819
1819
1820
1821
1822
1823
1824
1825
1826
1827
1828
1829
1829
1830
1831
1832
1833
1834
1835
1836
1837
1838
1839
1839
1840
1841
1842
1843
1844
1845
1846
1847
1848
1848
1849
1849
1850
1851
1852
1853
1854
1855
1856
1857
1858
1859
1859
1860
1861
1862
1863
1864
1865
1866
1867
1868
1869
1869
1870
1871
1872
1873
1874
1875
1876
1877
1878
1878
1879
1879
1880
1881
1882
1883
1884
1885
1886
1887
1888
1888
1889
1889
1890
1891
1892
1893
1894
1895
1896
1897
1897
1898
1898
1899
1899
1900
1901
1902
1903
1904
1905
1906
1907
1908
1909
1909
1910
1911
1912
1913
1914
1915
1916
1917
1918
1919
1919
1920
1921
1922
1923
1924
1925
1926
1927
1928
1929
1929
1930
1931
1932
1933
1934
1935
1936
1937
1938
1939
1939
1940
1941
1942
1943
1944
1945
1946
1947
1948
1948
1949
1949
1950
1951
1952
1953
1954
1955
1956
1957
1958
1959
1959
1960
1961
1962
1963
1964
1965
1966
1967
1968
1969
1969
1970
1971
1972
1973
1974
1975
1976
1977
1978
1978
1979
1979
1980
1981
1982
1983
1984
1985
1986
1987
1988
1988
1989
1989
1990
1991
1992
1993
1994
1995
1996
1997
1998
1999
1999
2000
2001
2002
2003
2004
2005
2006
2007
2008
2009
2010
2011
2012
2013
2014
2015
2016
2017
2018
2019
2020
2021
2022
2023
2024
2025
2026
2027
2028
2029
2030
2031
2032
2033
2034
2035
2036
2037
2038
2039
2039
2040
2041
2042
2043
2044
2045
2046
2047
2048
2048
2049
2049
2050
2051
2052
2053
2054
2055
2056
2057
2058
2059
2059
2060
2061
2062
2063
2064
2065
2066
2067
2068
2069
2069
2070
2071
2072
2073
2074
2075
2076
2077
2078
2078
2079
2079
2080
2081
2082
2083
2084
2085
2086
2087
2088
2088
2089
2089
2090
2091
2092
2093
2094
2095
2096
2097
2097
2098
2098
2099
2099
2100
2101
2102
2103
2104
2105
2106
2107
2108
2109
2109
2110
2111
2112
2113
2114
2115
2116
2117
2118
2119
2119
2120
2121
2122
2123
2124
2125
2126
2127
2128
2129
2129
2130
2131
2132
2133
2134
2135
2136
2137
2138
2139
2139
2140
2141
2142
2143
2144
2145
2146
2147
2148
2148
2149
2149
2150
2151
2152
2153
2154
2155
2156
2157
2158
2159
2159
2160
2161
2162
2163
2164
2165
2166
2167
2168
2169
2169
2170
2171
2172
2173
2174
2175
2176
2177
2178
2178
2179
2179
2180
2181
2182
2183
2184
2185
2186
2187
2188
2188
2189
2189
2190
2191
2192
2193
2194
2195
2196
2197
2197
2198
2198
2199
2199
2200
2201
2202
2203
2204
2205
2206
2207
2208
2209
2209
2210
2211
2212
2213
2214
2215
2216
2217
2218
2219
2219
2220
2221
2222
2223
2224
2225
2226
2227
2228
2229
2229
2230
2231
2232
2233
2234
2235
2236
2237
2238
2239
2239
2240
2241
2242
2243
2244
2245
2246
2247
2248
2248
2249
2249
2250
2251
2252
2253
2254
2255
2256
2257
2258
2259
2259
2260
2261
2262
2263
2264
2265
2266
2267
2268
2269
2269
2270
2271
2272
2273
2274
2275
2276
2277
2278
2278
2279
2279
2280
2281
2282
2283
2284
2285
2286
2287
2288
2288
2289
2289
2290
2291
2292
2293
2294
2295
2296
2297
2297
2298
2298
2299
2299
2300
2301
2302
2303
2304
2305
2306
2307
2308
2309
2309
2310
2311
2312
2313
2314
2315
2316
2317
2318
2319
2319
2320
2321
2322
2323
2324
2325
2326
2327
2328
2329
2329
2330
2331
2332
2333
2334
2335
2336
2337
2338
2339
2339
2340
2341
2342
2343
2344
2345
2346
2347
2348
2348
2349
2349
2350
2351
2352
2353
2354
2355
2356
2357
2358
2359
2359
2360
236
```

는 TCMS와 연계되는 타 기기의 입·출력신호와 통신인터페이스를 실 시간으로 제공하며 고장시나리오에 따른 차량의 상태조건을 자동으로 만들어 볼 수 있는 TCMS시뮬레이터를 제작하였다. 이 시뮬레이터는 10량 편성단위의 조합시험을 실시할 수 있으며 각종 다양한 인터페이스 기능을 갖추고 있고 다른 차량시스템의 제어장치에도 활용할 수 있도록 고안하였다. 또한 필요에 따라 실제 장치와 함께 연계한 조합시험도 가능하다. 그림 9는 시뮬레이터를 이용한 조합시험 모습을 나타낸 것이다.



**Fig. 9 Combination test using TCMS simulator**

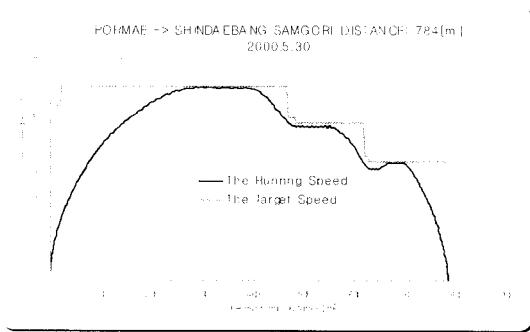
표준전동차의 본선시운전은 서울시 도시철도공사(SMRT)가 운영하고 있는 서울시 지하철 7호선 미개통구간(보라매↔청담) 약 14.778[km]에서 실시하였으며 노선설비에 대하여 살펴 보면 표 3에 나타내었다. 이 구간은 서울시가 7호선 2단계 개통(2000년 8월 예정)을 위해 사운전을 실시하고 있으며 본 차량은 이를 열차다이아에 편성되어 시험하였다. 표준전동차 자동운전제어 주행시험 결과를 속도-거리곡선으로 표현되는 속도 프로파일 형태로 그림 10과 그림 11에 나타내었다.



**Fig. 10 The speed profile of the New Seoul 7 line (NAMSONG→SOONGSIL UNIV.)**

**Table 3 Informations of the new 7 line**

역명	상 행(서→동)		하 行(동→서)	
	거리(m)	폐색수	거리(m)	폐색수
보라매↔ 신대방삼거리	784	3	793	6
신대방삼거리 ↔ 장승배기	1,152	5	1,158	4
장승배기↔ 상도	941	3	938	3
상도↔송설대	908	5	906	4
송설대↔남성	1,973	8	1,976	5
남성↔이수	1,011	5	1,021	6
이수↔내방	1,042	7	1,030	5
내방↔ 고속터미널	2,204	8	2,206	7
고속터미널↔ 반포	916	4	919	4
반포↔논현	846	5	845	5
논현↔학동	994	7	994	6
학동↔ 강남구청	899	4	898	5
강남구청↔ 청담	1,108	5	1,105	6



**Fig. 11 The speed profile of the New Seoul 7 line (PORAMAE→SHINDAEBANG SAMGORI)**

그림 12는 개발된 TCMS를 탑재한 표준전동차가 7호선 본선에서 시험운행하고 있는 모습을 보여주고 있다.

## 5. 결 론

본 연구는 전동차의 안전운행 및 주행성능에 있어서 가장 중요한 역할을 담당하는 TCMS의 소프트웨어개발기법을 소개하였다. 이 기법의 도입으로 복잡하고 망대한 양의 TCMS 소프트웨어를 체계적으로 관리할 수 있게 되었으며, 전체 모듈에 대한 라이브러리를 구축함으로써 향후 개발되는 다양한 시스템의 기능들도 용이하게 적용할 수 있게 되었다.



**Fig. 12 Picture of Korea EMU in Line 7**

또한, 표준전동차 조합시험과 서울시 7호선 본선시운전을 실시함으로써 시뮬레이션뿐만 아니라 실증시험을 통한 장치의 신뢰성을 검증할 수 있었다. 따라서, 표준전동차에 적용된 CASE tool을 이용한 개발기법은 코드의 설계 및 구현단계에서 정적, 동적분석을 통한 품질 검증을 실시함으로써 신뢰성을 확보하였으며 전체 시스템 개발기간을 30% 절감하는 효과를 얻을 수 있었다. 이러한 개발방법은 도시철도차량 뿐만 아니라 경량전철이나 고속철도 등 다른 차량시스템에도 적용이 가능하며 시스템엔지니어링 측면에서 볼 때 국내 기술에 의한 철도차량용 CASE tool의 개발이 절실히 요구된다.

## 참 고 문 헌

1. K.J. Gemmeke, "Experiences with the implementation of the train communication network", Computers in Railways IV, Vol.1, pp253~267, 1994.
2. Motoo Kusakari, Masaharu Sakuma, Eisuke Isobe, Tadashi Takaoka, "On-Board Train Information Control Network Systems", Hitachi Review Vol.40, No.4 pp303~308, 1991.
3. G. Legoff, P.Sainton, "Using Synchronous Language for Signalling".
4. 서울특별시 도시철도공사, "서울시 지하철 5호선 (336량) 전차정비지침서", 제4권-VII장, 1995.
5. 서울특별시 도시철도공사, "서울시 + 지하철 7, 8호선(226량) 전차정비지침서", 제3권-VII, 1996.
6. Peter Pudney and Phil Howlett, "Optimal Driving Strategies for a Train Journey with Speed Limits", J. Austral. Math. Soc. Ser. B36, pp38-39, 1994
7. P.G.Howlett and P.J.Pudney, "Energy-Efficient Train Control", Springer, pp215-228, 1995
8. Chang.C.S and Sim.S.S, "Optimising train movements through coast control using genetic algorithms", IEE proc. Electr. Power. Vol.144, No.1, pp65-73, 1997.
9. Shiu-Jer Huang 외, "Fuzzy Control of Automatic Train Operation System" International Journal of Modelling and Simulation, Vol 17, No2, 1997