

# 현실 제약 조건을 반영한 다중 교차로 신호 최적화

2021/07/29

피민규

# 목차

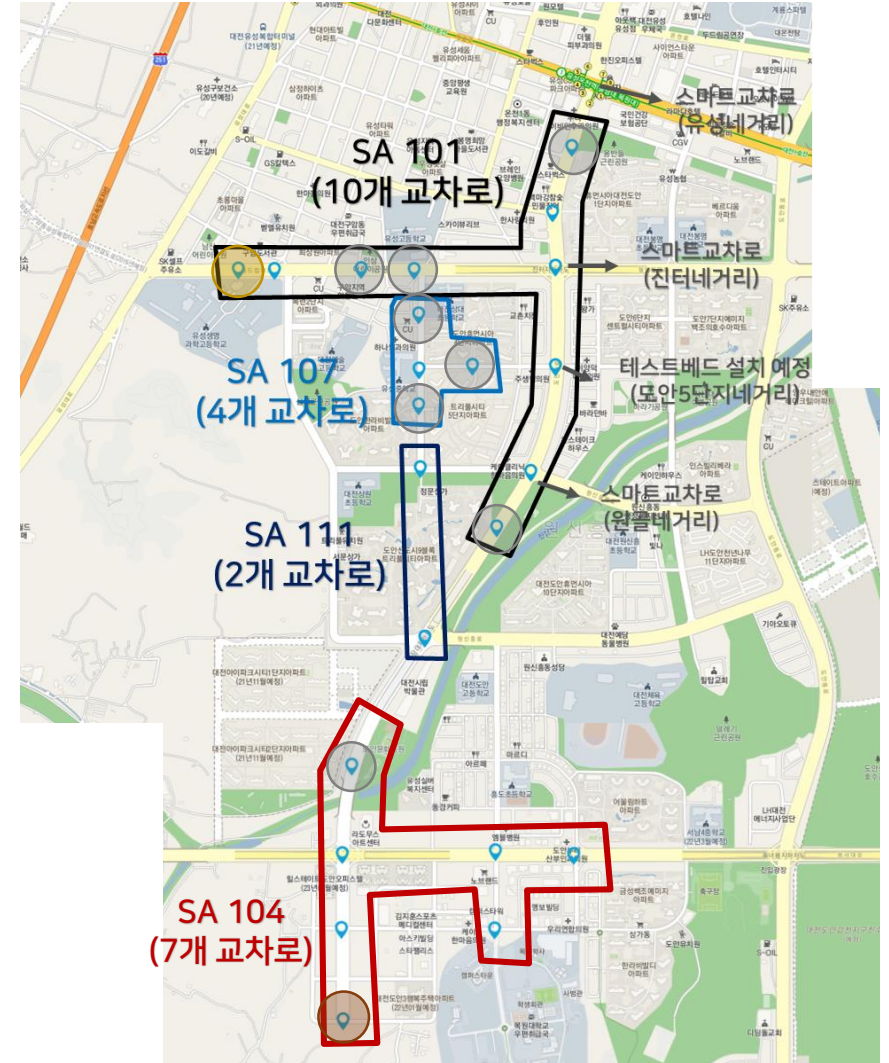
- 실험 환경
- 강화학습 에이전트
- 실험 결과

# 실험 환경

- 도안 지역 실험 대상 교차로
- 시뮬레이션 시간
- 시뮬레이션 수요

# 실험 환경

- 실험 대상 교차로
  - 4개 교차로 군(SA 101, 104, 107, 111)
  - 제약 조건 내 제어 불가능 교차로 10개
    - xxx(단) - 8개(minG, maxG 동일)
    - 구암119안전센터(All green)
    - 28-1번 교차로 - 점멸신호
  - 23개 교차로 중 13개 교차로 제어 실험
    - SA 101 - 인삼골4, 도안1단지4, 진터4, 도안5단지4, 원골4
    - SA 107 - 유성중3
    - SA 111 - 도안9단지4, 상대4
    - SA 104 - 도안4, 도안28번4, 도안지하차도입구4, 도안12단지, 목원대4
- 시뮬레이션 시간 및 수요
  - 학습 - ETRI 24시간 수요
  - 테스트 - 카이스트 2시간 수요(7-9시)

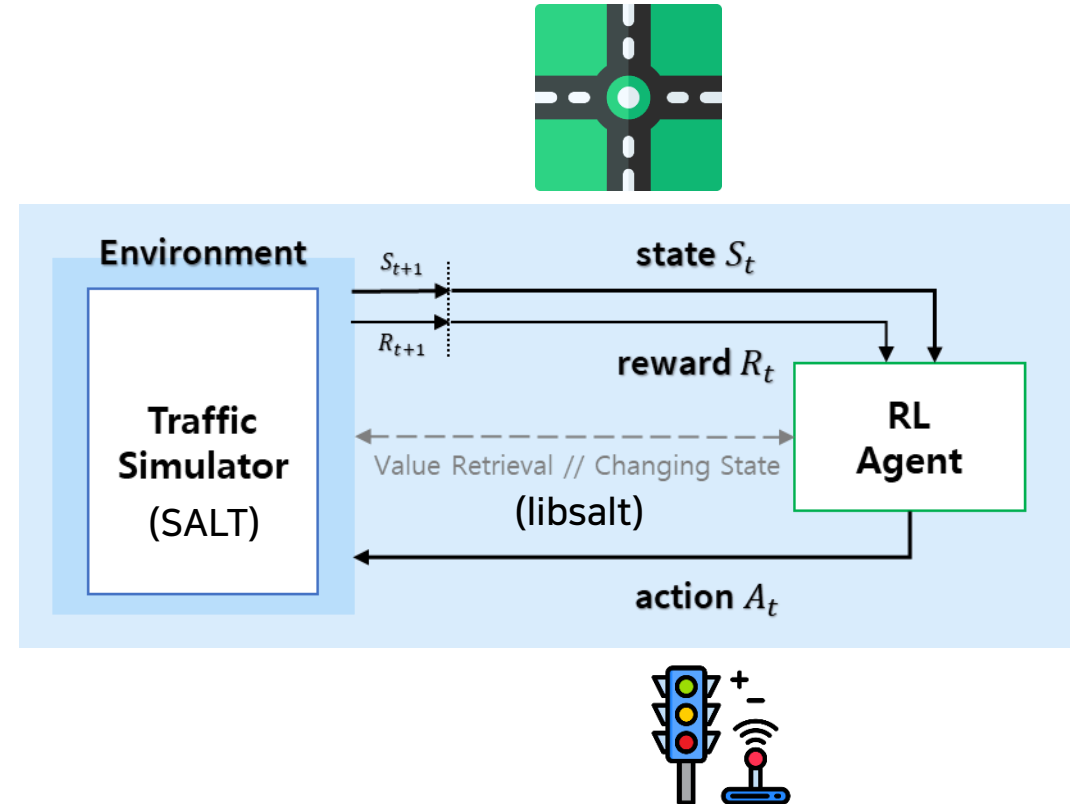


# 강화학습 에이전트

- 강화학습 기반 교통 신호 제어
- DDQN 기반 강화학습 에이전트
- 강화학습 에이전트 설계
  - State
  - Action
  - Reward

# 강화학습 기반 교통 신호 제어

- Environment – 시뮬레이션 환경
- State – 현재 교통 상황
- Action – 신호 제어
- Reward – 교통 혼잡 지표 최소화



# DDQN 강화학습 에이전트

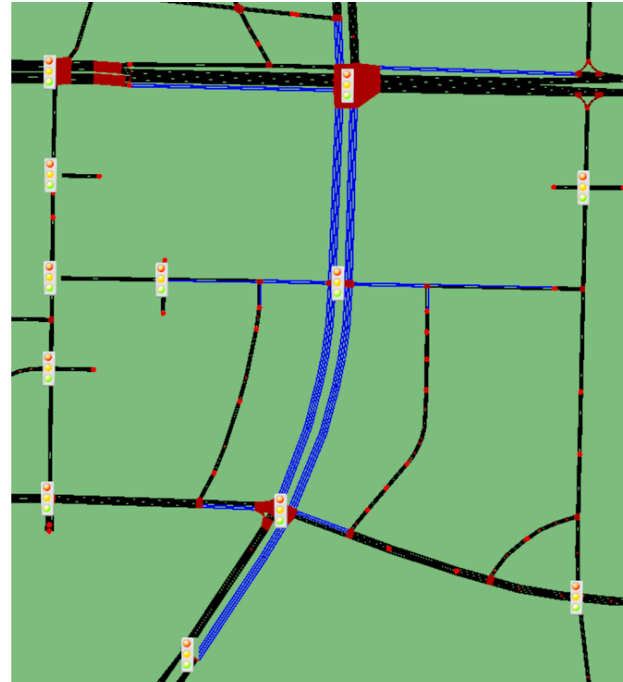
- 총 13개의 agent를 각 교차로 마다 생성
- State
  - 신호 교차로의 진입 차선별 density
- Action
  - 주현시와 나머지 현시(하나 or 여러 개) 선택해서 녹색 시간 증감
- Reward
  - 신호 교차로의 대기열 길이

# 강화학습 에이전트 설계 - State

- 신호 제어 교차로와 인접 노드의 진입 차선까지 state 범위에 포함
  - 주변 교차로의 상태도 볼 수 있는 효과
  - 지도 특성상 진입 차선이 짧은 경우가 있는데, 이런 경우 어느 정도 보완 가능



신호 제어 교차로의 진입 차선



신호 제어 교차로 인접 노드의 진입 차선

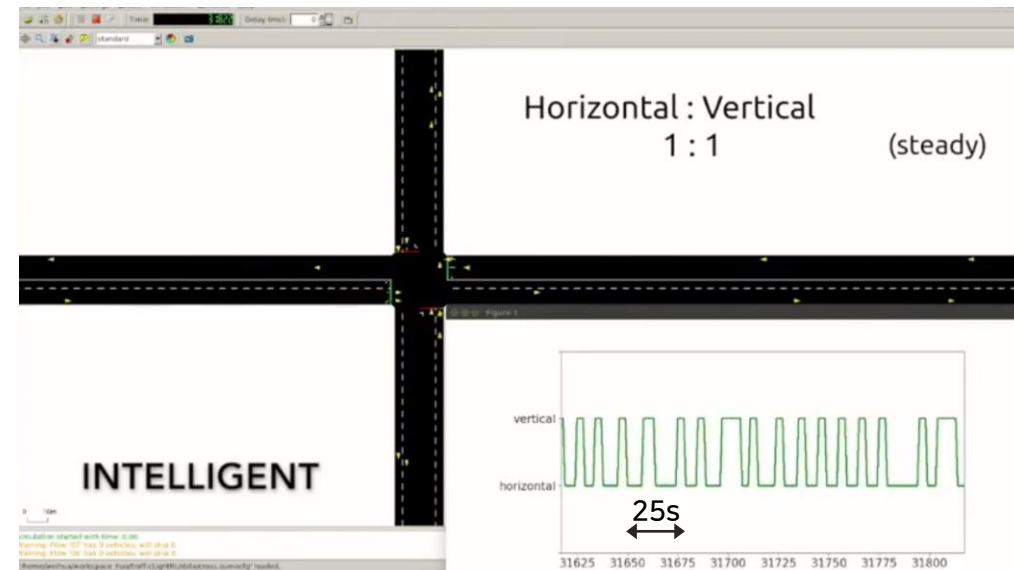


지도 특성상 진입 차선이 너무 짧은 경우



# 강화학습 에이전트 설계 - Action

- 강화학습에서 DQN 계열 알고리즘을 사용할 때, action 은 discrete action으로 설계해야 함
  - 기존 논문들의 discrete action 설계
    - 현시 선택
      - T초마다 기존 현시 중에서 랜덤으로 선택
      - 신호가 유연하다는 장점이 있으나, 기존 신호 순서를 변경하면 표지판 및 예측 출발 문제가 있음
    - 현재 신호 유지 및 변경
      - T초마다 다음 신호로 변경할지 말지 결정
      - 신호 순서를 유지할 순 있으나, 신호를 너무 빈번하게 바꾸는 경우 발생
- 현실에 적용하기 부적합한 action임



# 강화학습 에이전트 설계 - Action

- 제약 조건(현시 순서/주기/최소/최대녹색)을 만족하는 discrete action 설계 필요
- 제약 조건을 만족하는 신호 조합은 교차로마다 다르지만 수백~수백만 가지임

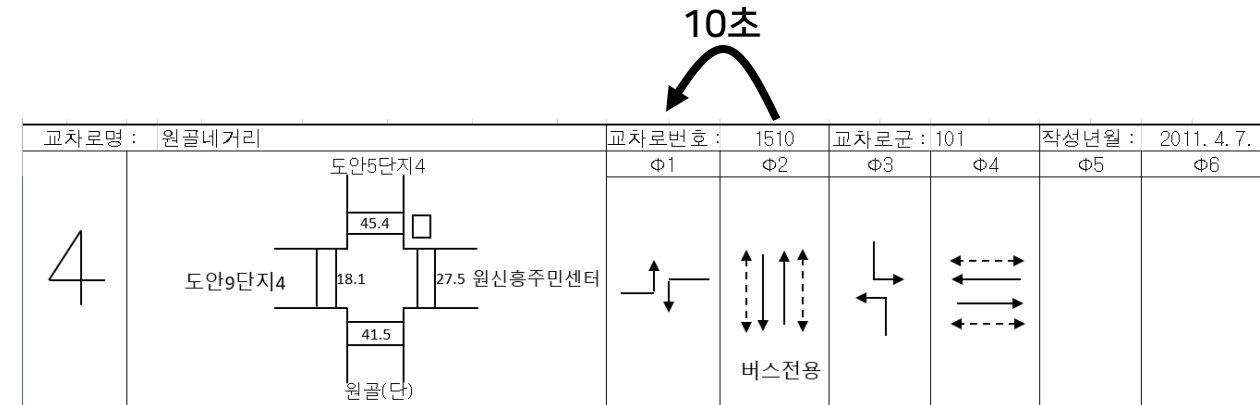
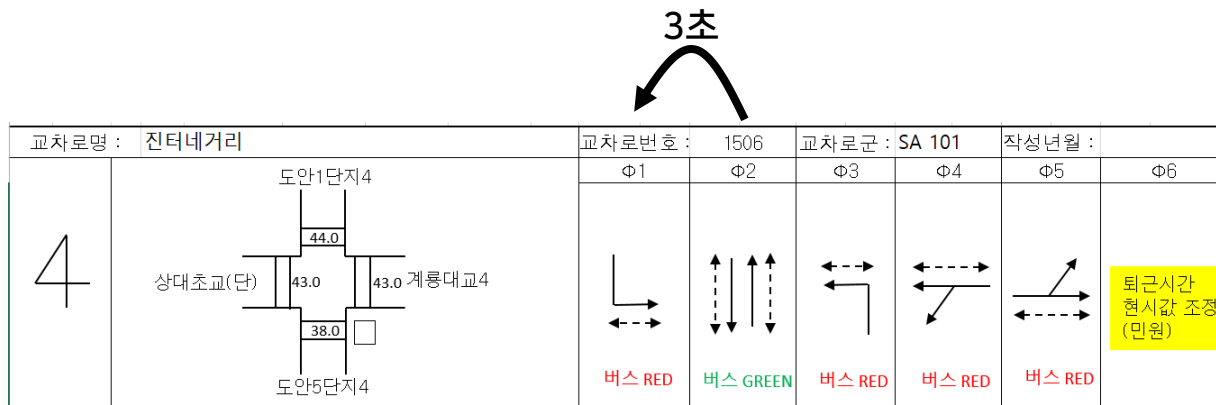
crossName	signalGroup	cycle	offset	minGreen	maxGreen	yellow	action_space
대전체고네거리		100/120/120/120/150/150/150	51/80/80/80/120/120/120	10,27,15,15,10	25,115,45,45,25	3,3,3,3,3	16890/113160/113160/113160/241173/241173/241173
진터네거리	SA 101	180/180/180/180/180/180/180	157/144/144/144/157/157/157	18,54,18,28,25	35,115,40,40,45	4,4,4,4,3	64285/64285/64285/64285/64285/64285/64285
도안1단지네거리	SA 101	180/180/180/180/180/180/180	146/133/133/133/146/146/146	15,28,26,16,34,15	30,85,45,30,60,30	0,0,3,3,4,4	1163637/1163637/1163637/1163637/1163637/1163637/1163637

- Action space가 너무 큰 경우 학습이 어려움(경험해야 할 action이 많기 때문)

→ 제약 조건을 만족하면서 action space를 줄일 수 있도록 설계 필요

# 강화학습 에이전트 설계 - Action

대전시 신호 데이터를 보면, 시간 조정 시(민원으로 인한 조정 or TOD) **주현시**와 **나머지 현시**를 가지고 조정함



TIME PLAN 1						
수준	주기 (초)	ID	연동	시간분할(초)	감응제어	
				RING A. B	압버튼(×)	검지기(○) 검지기(×)
1	180	1	157	22.76,22.32,28		
		2	144	22.76,22.32,28		
		3	144	22.76,22.32,28		
		4	144	22.76,22.32,28		
3	180	5	157	25.73,22.32,28		
		6	157	22.76,22.32,28		
		7	157	22.76,22.32,28		

구분	TOD PLAN 1			TOD PLAN 2			TOD PLAN 3		
	시각	수준	ID	시각	수준	ID	시각	수준	ID
1	00:00	1	1	00:00	1	1	00:00	1	1
2	07:00	2	2	07:00	2	2	09:30	2	3
3	09:30	2	3	09:30	2	3	21:00	3	6
4	17:00	3	5	17:00	3	5			
5	21:00	3	6	21:00	3	6			
6									
7									
8									
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									
16									
주간신호계획			특수일신호계획			MEM			
요일	TOD PLAN	THE PLAN	요일	TOD PLAN	THE PLAN				
일	3	1	1.1	3	1				
월	1	1	3.1	3	1				
화	1	1	5.5	3	1				
수	1	1	6.6	3	1				
목	1	1	8.15	3	1				
금	1	1	10.3	3	1				
토	2	1	12.25	3	1				

TIME PLAN 1						
수준	주기 (초)	ID	연동	시간분할(초)	감응제어	
				RING A. B	압버튼(×)	검지기(○) 검지기(×)
1	180	1	157	20.85,20.55		
		2	144	30.75,20.55		
		3	144	20.85,20.55		
		4	144	20.85,20.55		
3	180	5	157	20.85,20.55		
		6	157	20.85,20.55		
		7	157	20.85,20.55		

구분	TOD PLAN 1			TOD PLAN 2			TOD PLAN 3		
	시각	수준	ID	시각	수준	ID	시각	수준	ID
1	00:00	1	1	00:00	1	1	00:00	1	1
2	07:00	2	2	07:00	2	2	09:30	2	3
3	09:30	2	3	09:30	2	3	21:00	3	6
4	17:00	3	5	17:00	3	5			
5	21:00	3	6	21:00	3	6			
6									
7									
8									
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									
16									
주간신호계획			특수일신호계획			MEM			
요일	TOD PLAN	THE PLAN	요일	TOD PLAN	THE PLAN				
일	3	1	1.1	3	1				
월	1	1	3.1	3	1				
화	1	1	5.5	3	1				
수	1	1	6.6	3	1				
목	1	1	8.15	3	1				
금	1	1	10.3	3	1				
토	2	1	12.25	3	1				

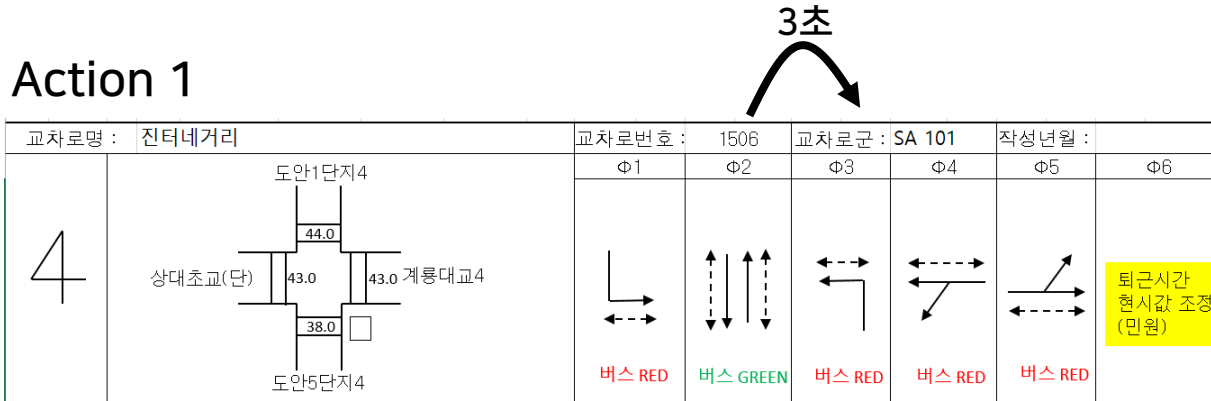
운영DATA B / 제어기 파일은 경 제출하기바랍니다

# 강화학습 에이전트 설계 - Action

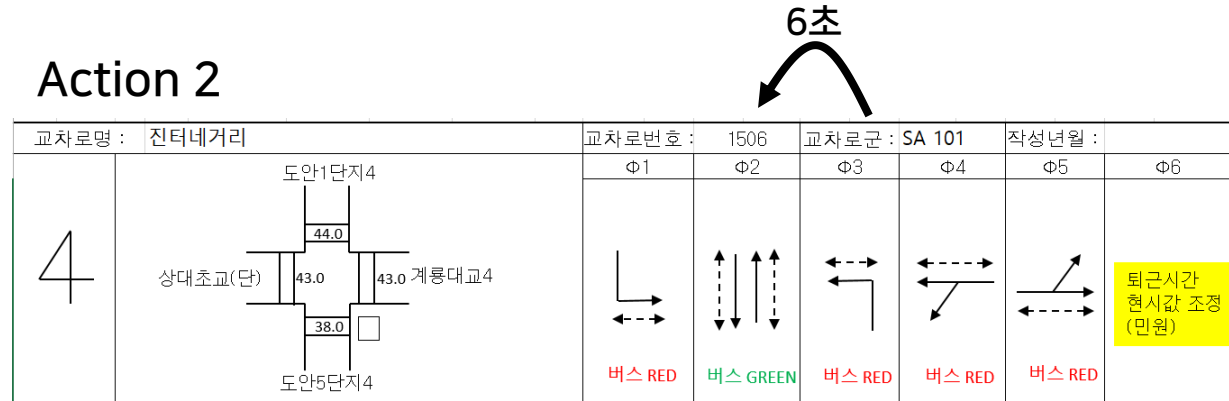
현재 신호에서 주현시와 다른 현시(들)로부터  $n$  or  $2n$ 초씩 조정

(최소/최대 녹색 범위를 벗어나는 경우 action list에서 제외)

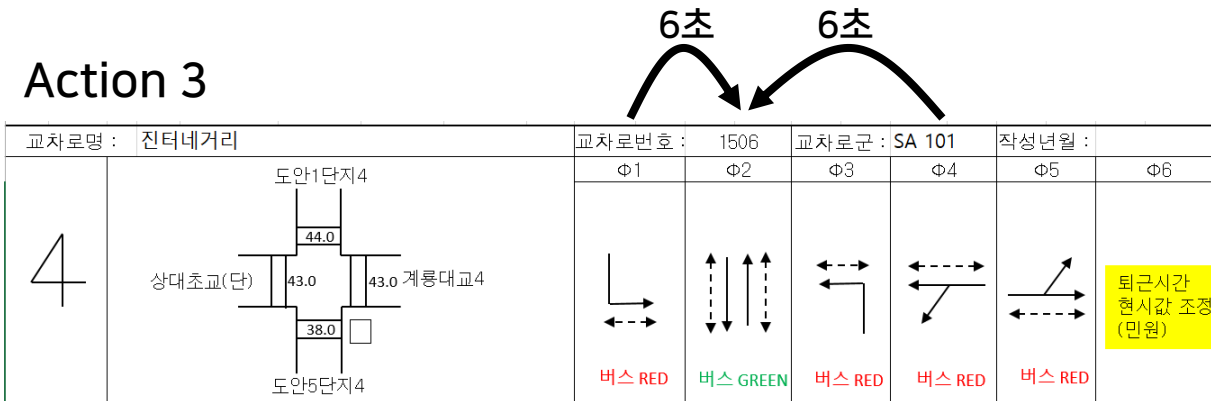
Action 1



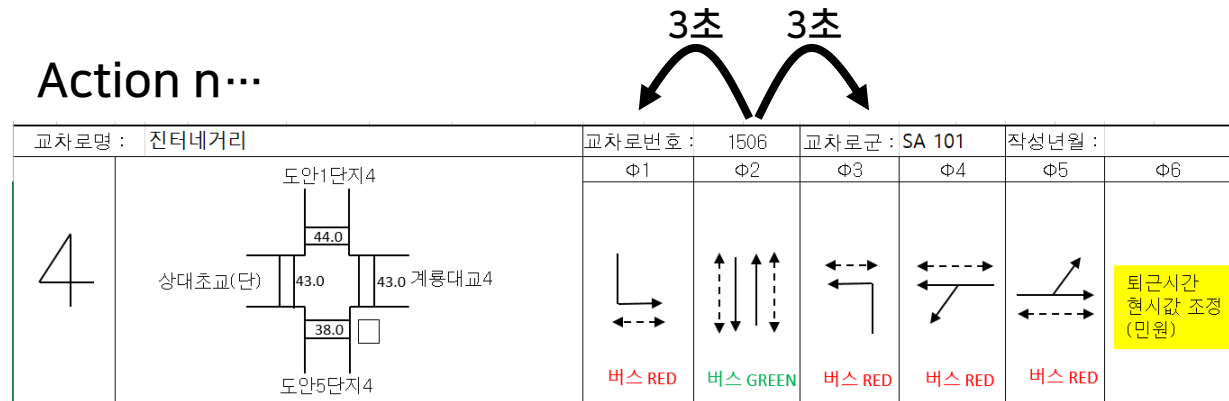
Action 2



Action 3



Action n...



# 강화학습 에이전트 설계 - Reward

- 보상 후보로는 대기열 길이, 대기 시간, 차량 통과 수 등 다양한 지표가 있음
- 그 중 대기열 길이를 보상으로 사용
  - 기존 논문들 분석 결과,
  - Travel time 최소화가 가장 좋긴 하지만, 시뮬레이터가 모든 차량들의 travel time을 추적하고 있어야 함
  - 두 연구<sup>1,2</sup> 에서 대기열 길이와 travel time이 선형 관계에 있다는 것을 보여줌

1) Q. Gan and A. Skabardonis, Arterial Traffic Estimation Using Field Detector and Signal Phasing Data. UC Office of the President: University of California Institute of Transportation Studies, 2019.

2) G. Zheng, X. Zang, N. Xu, H. Wei, Z. Yu, V. Gayah, K. Xu, and Z. Li, "Diagnosing Reinforcement Learning for Traffic Signal Control," 2019.

# 실험 결과

- 학습 결과

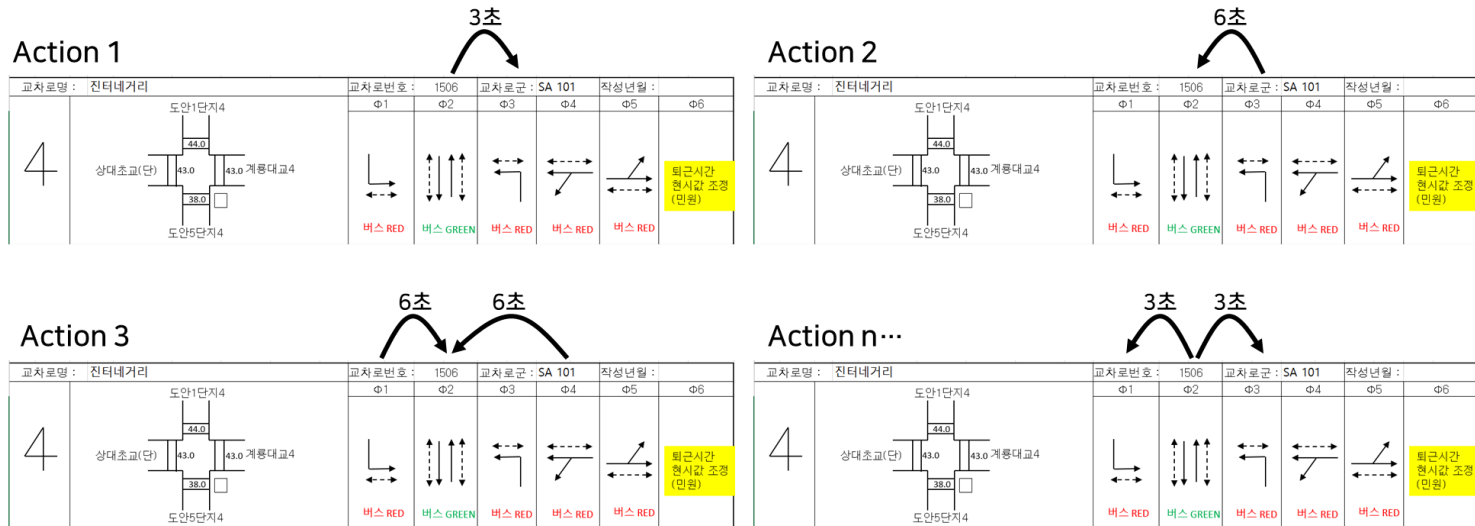
- ETRI 24시간 수요로 시뮬레이션
- 강화학습으로 학습하는 동안 에피소드 별 보상 그래프(4개 교차로군, 각 교차로별)
  - 1에피소드 = 24시간 시뮬레이션

- 테스트 결과

- 카이스트 2시간(7-9시) 수요로 시뮬레이션
- 학습된 모델 중 보상이 가장 높은 모델을 적용하여 동적 신호 제어
- 기존 신호와 비교하여 교차로별 개선도 파악(7-8시는 warm-up 시간이므로, 8-9시 시뮬레이션 결과만 가지고 비교)

# 2개 실험 학습 결과

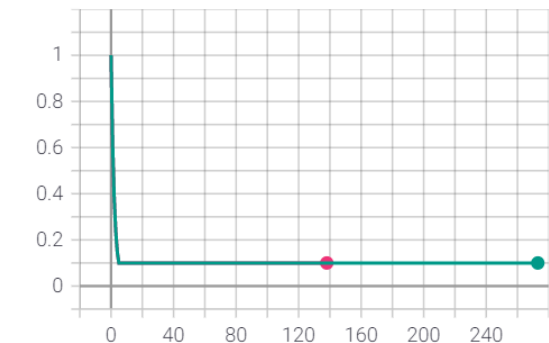
- action 줄 때 2초씩 증감
- action 줄 때 3초씩 증감



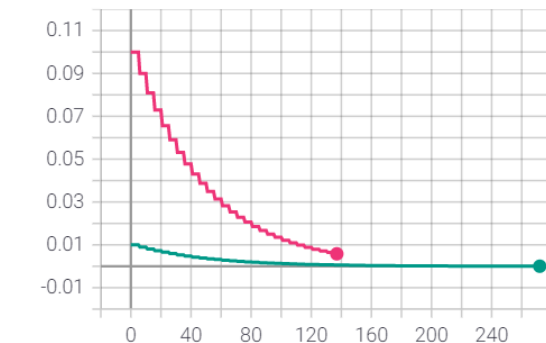
train

Name	Smoothed	Value	Step	Time	Relative
DDQN_SALT_doan_discrete_v3/sw1_at2_07-21_12-06-34	-8554	-8554	180	Wed Jul 21, 22:41:34	10h 31m 32s
DDQN_SALT_doan_discrete_v3/sw1_at3_07-21_00-12-08	-8673	-8673	137	Wed Jul 21, 07:59:56	7h 44m 32s

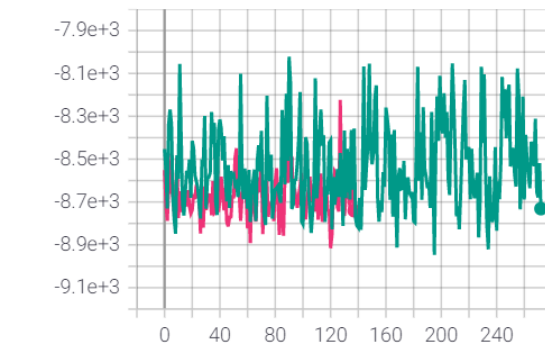
train/epsilon  
tag: train/epsilon



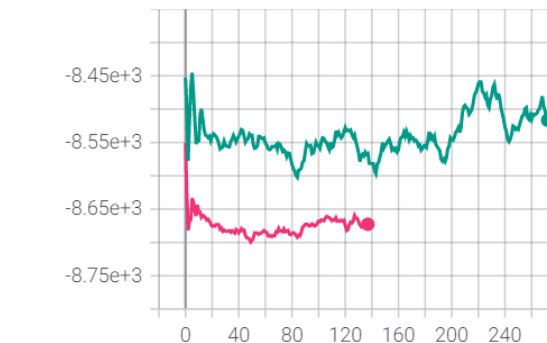
train/lr  
tag: train/lr



train/reward  
tag: train/reward



train/reward\_40ep\_mean  
tag: train/reward\_40ep\_mean



강화학습 관련 파라미터

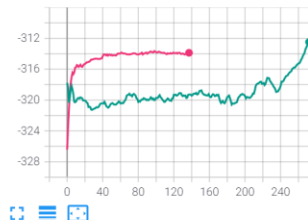
4개 교차로군에 대한 평균 보상

# 2개 실험 학습 결과(각 교차로별 보상)

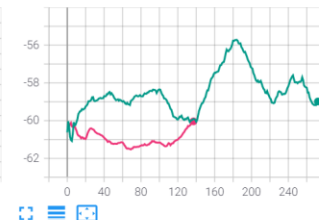
- 2초씩 증감하는게 더 좋은 교차로도 있고, 3초씩 증감하는게 더 좋은 교차로도 있음

train\_agent\_reward\_40ep\_mean

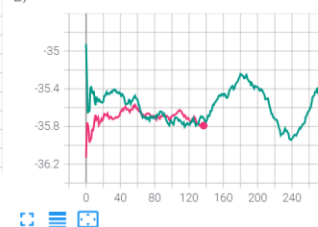
train\_agent\_reward\_40ep\_mean/agent\_0\_목원대네거리  
tag: train\_agent\_reward\_40ep\_mean/agent\_0\_목원대네거리



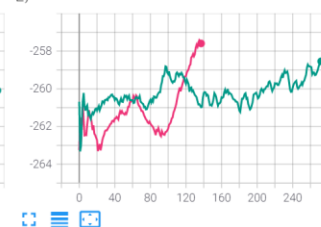
train\_agent\_reward\_40ep\_mean/agent\_1\_유성중삼거리  
tag: train\_agent\_reward\_40ep\_mean/agent\_1\_유성중삼거리



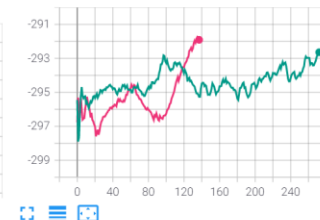
train\_agent\_reward\_40ep\_mean/agent\_2\_도안9단지4(10번)  
tag: train\_agent\_reward\_40ep\_mean/agent\_2\_도안9단지4(10번)



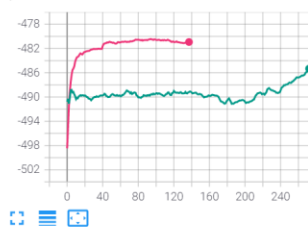
train\_agent\_reward\_40ep\_mean/agent\_3\_도안네거리(24번)  
tag: train\_agent\_reward\_40ep\_mean/agent\_3\_도안네거리(24번)



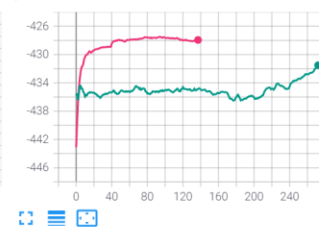
train\_agent\_reward\_40ep\_mean/agent\_4\_도안28번네거리  
tag: train\_agent\_reward\_40ep\_mean/agent\_4\_도안28번네거리



train\_agent\_reward\_40ep\_mean/agent\_5\_도안12단지네거리  
tag: train\_agent\_reward\_40ep\_mean/agent\_5\_도안12단지네거리



train\_agent\_reward\_40ep\_mean/agent\_6\_도안지하차도입구4  
tag: train\_agent\_reward\_40ep\_mean/agent\_6\_도안지하차도입구4



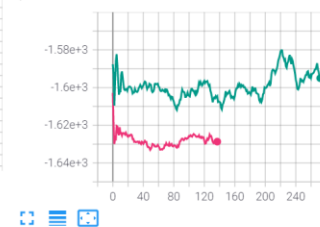
train\_agent\_reward\_40ep\_mean/agent\_7\_진터네거리  
tag: train\_agent\_reward\_40ep\_mean/agent\_7\_진터네거리



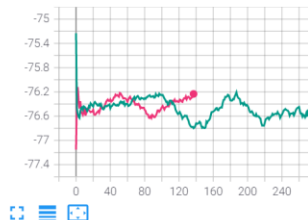
train\_agent\_reward\_40ep\_mean/agent\_8\_인삼골네거리  
tag: train\_agent\_reward\_40ep\_mean/agent\_8\_인삼골네거리



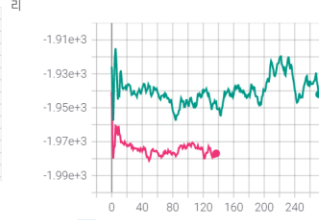
train\_agent\_reward\_40ep\_mean/agent\_9\_도안5단지네거리  
tag: train\_agent\_reward\_40ep\_mean/agent\_9\_도안5단지네거리



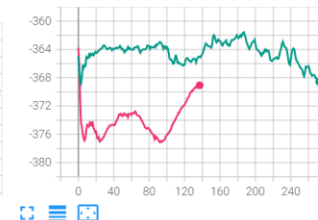
train\_agent\_reward\_40ep\_mean/agent\_10\_상대네거리  
tag: train\_agent\_reward\_40ep\_mean/agent\_10\_상대네거리



train\_agent\_reward\_40ep\_mean/agent\_11\_도안1단지네거리  
tag: train\_agent\_reward\_40ep\_mean/agent\_11\_도안1단지네거리



train\_agent\_reward\_40ep\_mean/agent\_12\_원골네거리  
tag: train\_agent\_reward\_40ep\_mean/agent\_12\_원골네거리



action 줄 때 2초씩 증감  
action 줄 때 3초씩 증감

Name

Smooth

DDQN\_SALT\_doan\_discrete\_v3/sw1\_at2\_07-21\_12-06-34 -8554

DDQN\_SALT\_doan\_discrete\_v3/sw1\_at3\_07-21\_00-12-08 -8673



# 2초씩 증감 테스트 결과 - 개선율 비교

카이스트 수요로 8-9시 시뮬레이션 결과 비교

교차로명	교차로군	차량 통과량 합 (기존신호)	차량 통과량 합 (강화학습제어)	차량 통과량 합 (개선율)	대기열 길이 평균 (기존신호)	대기열 길이 평균 (강화학습제어)	대기열 길이 평균 (개선율)
진터4	SA 101	2505	2538	1.32%	1.482	1.432	3.37%
인삼골4	SA 101	2471	2480	0.36%	2.048	2.036	0.59%
도안5단지4	SA 101	1965	1933	-1.63%	3.113	3.09	0.74%
도안1단지4	SA 101	2825	2670	-5.49%	0.995	0.985	1.01%
원골4	SA 101	951	944	-0.74%	1.796	1.892	-5.35%
목원대4	SA 104	348	349	0.29%	0.37	0.349	5.68%
도안4	SA 104	954.0	951.0	-0.31%	0.769	0.795	-3.38%
도안28번4	SA 104	250	250	0%	0.338	0.333	1.48%
도안12단지4	SA 104	3207	3042	-5.14%	1.405	1.415	-0.71%
도안지하차도입구4	SA 104	2162	2144	-0.83%	1.349	1.303	3.41%
유성중3	SA 107	48	48	0%	0.04	0.031	36.73%
상대4	SA 111	479	483	0.84%	0.585	0.586	-0.17%
도안9단지4	SA 111	389	383	-1.54%	0.473	0.467	1.27%
Total		18554	18215	-1.83%	1.138	1.131	0.62%

# 2초씩 증감 테스트 결과 - 신호 제어 결과

카이스트 수요로 8-9시 시뮬레이션 결과 비교

교차로명	교차로군	차량 통과량 합 (기존신호)	차량 통과량 합 (강화학습제어)	차량 통과량 합 (개선율)	대기열 길이 평균 (기존신호)	대기열 길이 평균 (강화학습제어)	대기열 길이 평균 (개선율)
진터4	SA 101	2505	2538	1.32%	1.482	1.432	3.37%
인삼골4	SA 101	2471	2480	0.36%	2.048	2.036	0.59%
도안5단지4	SA 101	1965	1933	-1.63%	3.113	3.09	0.74%
<div><div>t1_nameactionscurrent_phaseaction_listphasecountmean_rewards</div><div>목원대네거리18[27, 59, 17, 27, 19, 19][0, 2, 0, 0, -2, 0][27, 63, 17, 27, 15, 19]38-0.995526</div><div>유성중삼거리11[32, 43, 39][2, -2, 0][36, 39, 39]57-0.009123</div><div>도안9단지4(10번)3[32, 37, 36, 33][1, -1, 0, 0][34, 35, 36, 33]45-0.093778</div><div>도안네거리(24번)4[37, 44, 20, 32, 31][0, 1, 0, 0, -1][37, 46, 20, 32, 29]38-0.427632</div><div>도안28번네거리4[16, 24, 79, 47][1, 0, -1, 0][18, 24, 77, 47]38-0.491316</div><div>도안12단지네거리22[31, 69, 21, 20, 27][2, -4, 0, 2, 0][35, 61, 21, 24, 27]38-1.357368</div><div>도안지하차도입구40[17, 49, 32, 31, 34][0, 0, 0, 0, 0][17, 49, 32, 31, 34]38-1.237368</div><div>진터네거리7[18, 72, 18, 28, 25][0, -2, 1, 1, 0][18, 68, 20, 30, 25]38-1.553158</div><div>인삼골네거리8[43, 80, 27, 17][2, -6, 2, 2][47, 68, 31, 21]38-0.840526</div><div>도안5단지네거리0[26, 63, 26, 23, 27][0, 0, 0, 0, 0][26, 63, 26, 23, 27]38-1.581053</div><div>상대네거리1[31, 49, 25, 31][0, 1, -1, 0][31, 51, 23, 31]45-0.174667</div><div>도안1단지네거리2[18, 83, 16, 34, 15][-1, 1, 0, 0, 0][16, 85, 16, 34, 15]38-1.073684</div><div>원골네거리18[26, 72, 17, 51][0, -4, 2, 2][26, 64, 21, 55]38-0.636842</div></div>							
상대4	SA 111	479	483	0.84%	0.585	0.586	-0.17%
도안9단지4	SA 111	389	383	-1.54%	0.473	0.467	1.27%
Total		18554	18215	-1.83%	1.138	1.131	0.62%

# 3초씩 증감 테스트 결과 - 개선율 비교

카이스트 수요로 8-9시 시뮬레이션 결과 비교

교차로명	교차로군	차량 통과량 합 (기존신호)	차량 통과량 합 (강화학습제어)	차량 통과량 합 (개선율)	대기열 길이 평균 (기존신호)	대기열 길이 평균 (강화학습제어)	대기열 길이 평균 (개선율)
진터4	SA 101	2505	2503	-0.08%	1.482	1.47	0.81%
인삼골4	SA 101	2471	2528	2.31%	2.048	1.967	3.96%
도안5단지4	SA 101	1965	1948	-0.87%	3.113	3.133	-0.64%
도안1단지4	SA 101	2825	2671	-5.45%	0.995	0.99	0.5%
원골4	SA 101	951	956	0.53%	1.796	1.839	-2.39%
목원대4	SA 104	348	348	0%	0.37	0.401	-8.38%
도안4	SA 104	954	907	-4.93%	0.769	0.793	-3.12%
도안28번4	SA 104	250	255	2%	0.338	0.315	6.8%
도안12단지4	SA 104	3207	3200	-0.22%	1.405	1.324	5.77%
도안지하차도입구4	SA 104	2162	2151	-0.51%	1.349	1.309	2.97%
유성중3	SA 107	48	49	2.08%	0.049	0.04	18.37%
상대4	SA 111	479	475	-0.84%	0.585	0.607	-3.76%
도안9단지4	SA 111	389	386	-0.77%	0.473	0.489	-3.38%
Total		18554	18377	-0.95%	1.138	1.13	0.7%

# 3초씩 증감 테스트 결과 - 신호 제어 결과

카이스트 수요로 8-9시 시뮬레이션 결과 비교

교차로명	교차로군	차량 통과량 합 (기존신호)	차량 통과량 합 (강화학습제어)	차량 통과량 합 (개선율)	대기열 길이 평균 (기존신호)	대기열 길이 평균 (강화학습제어)	대기열 길이 평균 (개선율)																																
진터4	SA 101	2505	2503	-0.08%	1.482	1.47	0.81%																																
인삼골4	SA 101	2471	2528	2.31%	2.048	1.967	3.96%																																
<div><div>tl_name</div><div>actions</div><div>current_phase</div><div>action_list</div><div>phase</div><div>count</div><div>mean_rewards</div><div>목원대네거리</div><div>12</div><div>[27, 59, 17, 27, 19, 19]</div><div>[0, -2, 2, 0, 0, 0]</div><div>[27, 53, 23, 27, 19, 19]</div><div>38</div><div>-0.994737</div><div>유성중삼거리</div><div>0</div><div>[32, 43, 39]</div><div>[0, 0, 0]</div><div>[32, 43, 39]</div><div>57</div><div>-0.010526</div><div>도안9단지4(10번)</div><div>5</div><div>[32, 37, 36, 33]</div><div>[0, -1, 0, 1]</div><div>[32, 34, 36, 36]</div><div>45</div><div>-0.100222</div><div>도안네거리(24번)</div><div>12</div><div>[37, 44, 20, 32, 31]</div><div>[-2, 4, 0, -2, 0]</div><div>[31, 56, 20, 26, 31]</div><div>38</div><div>-0.430789</div><div>도안28번네거리</div><div>11</div><div>[16, 24, 79, 47]</div><div>[2, 0, -2, 0]</div><div>[22, 24, 73, 47]</div><div>38</div><div>-0.495526</div><div>도안12단지네거리</div><div>0</div><div>[31, 69, 21, 20, 27]</div><div>[0, 0, 0, 0, 0]</div><div>[31, 69, 21, 20, 27]</div><div>38</div><div>-1.294474</div><div>도안지하차도입구4</div><div>0</div><div>[17, 49, 32, 31, 34]</div><div>[0, 0, 0, 0, 0]</div><div>[17, 49, 32, 31, 34]</div><div>38</div><div>-1.192105</div><div>진터네거리</div><div>0</div><div>[18, 72, 18, 28, 25]</div><div>[0, 0, 0, 0, 0]</div><div>[18, 72, 18, 28, 25]</div><div>38</div><div>-1.552368</div><div>인삼골네거리</div><div>5</div><div>[43, 80, 27, 17]</div><div>[0, -1, 0, 1]</div><div>[43, 77, 27, 20]</div><div>38</div><div>-0.799474</div><div>도안5단지네거리</div><div>0</div><div>[26, 63, 26, 23, 27]</div><div>[0, 0, 0, 0, 0]</div><div>[26, 63, 26, 23, 27]</div><div>38</div><div>-1.570789</div><div>상대네거리</div><div>0</div><div>[31, 49, 25, 31]</div><div>[0, 0, 0, 0]</div><div>[31, 49, 25, 31]</div><div>45</div><div>-0.178444</div><div>도안1단지네거리</div><div>0</div><div>[18, 83, 16, 34, 15]</div><div>[0, 0, 0, 0, 0]</div><div>[18, 83, 16, 34, 15]</div><div>38</div><div>-1.091579</div><div>원골네거리</div><div>8</div><div>[26, 72, 17, 51]</div><div>[0, -2, 1, 1]</div><div>[26, 66, 20, 54]</div><div>37</div><div>-0.622162</div><tr><td></td><td></td><td>13</td><td>[26, 72, 17, 51]</td><td>[2, -4, 2, 0]</td><td>[32, 60, 23, 51]</td><td>1</td><td>-0.610000</td></tr><tr><td>상대4</td><td>SA 111</td><td>479</td><td>475</td><td>-0.84%</td><td>0.585</td><td>0.607</td><td>-3.76%</td></tr><tr><td>도안9단지4</td><td>SA 111</td><td>389</td><td>386</td><td>-0.77%</td><td>0.473</td><td>0.489</td><td>-3.38%</td></tr><tr><td>Total</td><td></td><td>18554</td><td>18377</td><td>-0.95%</td><td>1.138</td><td>1.13</td><td>0.7%</td></tr></div>										13	[26, 72, 17, 51]	[2, -4, 2, 0]	[32, 60, 23, 51]	1	-0.610000	상대4	SA 111	479	475	-0.84%	0.585	0.607	-3.76%	도안9단지4	SA 111	389	386	-0.77%	0.473	0.489	-3.38%	Total		18554	18377	-0.95%	1.138	1.13	0.7%
		13	[26, 72, 17, 51]	[2, -4, 2, 0]	[32, 60, 23, 51]	1	-0.610000																																
상대4	SA 111	479	475	-0.84%	0.585	0.607	-3.76%																																
도안9단지4	SA 111	389	386	-0.77%	0.473	0.489	-3.38%																																
Total		18554	18377	-0.95%	1.138	1.13	0.7%																																

# 참고) 도안 지역 신호의 제약 조건 만족하는 신호 조합 수

filename	crossName	signalGroup	cycle	offset	minGreen	maxGreen	yellow	action_space
도안18번교차로3.xls	대전체교네거리		100/120/120/120/150/150/150	51/80/80/80/120/120/120	10,27,15,15,10	25,115,45,45,25	3,3,3,3,3	16890/113160/113160/113160/241173/241173/241173
도안6번교차로4.xls	진타네거리	SA 101	180/180/180/180/180/180/180	157/144/144/144/157/157/157	18,54,18,28,25	35,115,40,40,45	4,4,4,4,3	64285/64285/64285/64285/64285/64285/64285
봉명삼거리.xls	도안1단지네거리	SA 101	180/180/180/180/180/180/180	146/133/133/133/146/146/146	15,28,26,16,34,15	30,85,45,30,60,30	0,0,3,3,4,4	1163637/1163637/1163637/1163637/1163637/1163637/1163637
1-1, 1-2번(단).xls	도안1단지(단)	SA 101	180/180/180/180/180/180/180	115/103/103/103/115/115/115	51,60	51,180	0,3	1/1/1/1/1/1/1
11-1번(단).xls	원골(단)	SA 101	180/180/180/180/180/180/180	161/139/139/139/151/151/151	40,53,45	90,53,180	3,0,0	43/43/43/43/43/43/43
5-1번(단).xls	유성교후문(단)(5-1번)	SA 101	180/180/180/180/180/180/180	165/130/155/169/155/165/2	48,80	48,190	0,3	1/1/1/1/1/1/1
5-2번3.xls	상대초교(단)	SA 101	180/180/180/180/180/180/180	165/130/155/169/155/165/2	51,80	51,190	0,3	1/1/1/1/1/1/1
8번4.xls	도안5단지네거리	SA 101	180/180/180/180/180/180/180	157/146/144/144/157/157/157	26,25,25,26,23,23	45,60,60,45,40,40	3,0,3,3,3,3	400265/400265/400265/400265/400265/400265/400265
구암119안전센터3.xls	구암119안전센터삼거리	SA 101	180/180/180/180/180/180/180	0/0/0/0/0/0/0	30,50	75,195	0,4	46/46/46/46/46/46/46
원골네거리.xls	원골네거리	SA 101	180/180/180/180/180/180/180	157/144/144/144/157/157/157	15,37,15,51	45,130,30,85	4,3,3,4	16392/16392/16392/16392/16392/16392/16392
인삼골네거리.xls	인삼골네거리	SA 101	180/180/180/180/180/180/180	2/140/169/169/165/2/2	43,27,27,17	70,160,45,30	3,4,3,3	7448/7448/7448/7448/7448/7448/7448
도안고교_3.xls	도안고교삼거리	SA 102	100/120/120/120/150/150/150	62/72/72/72/130/130/130	33,28,20	55,105,70	0,0,3	210/667/667/667/1167/1167/1167
도안9단지3.xls	도안9단지삼거리	SA 102	100/120/120/120/150/150/150	65/84/84/84/145/145/145	20,21,31	40,140,55	3,3,3	389/525/525/525/525/525/525
16-2번(단).xls	대전체교(단)	SA 102	100/120/120/120/150/150/150	65/75/75/75/110/110/110	10,36,30	90,36,135	3,0,3	25/45/45/45/75/75/75
20번(단).xls	도안고교(단)	SA 102	100/120/120/120/150/150/150	5/15/15/15/58/58/58	32,50	32,180	0,3	1/1/1/1/1/1/1
21번4.xls	흥도초교후문네거리	SA 102	100/120/120/120/150/150/150	5/15/15/15/58/58/58	35,40,15	35,130,45	0,3,3	11/31/31/31/31/31/31
22번4.xls	흥도초교네거리	SA 102	100/120/120/120/150/150/150	5/15/15/15/58/58/58	35,40,15	35,130,45	0,3,3	11/31/31/31/31/31/31
5-3번4.xls	도안목련네거리	SA 102	100/120/120/120/150/150/150	0/0/0/0/60/60/60	25,26,25	45,140,45	3,3,3	305/441/441/441/441/441/441
5-4번3.xls	상대근린공원삼거리	SA 102	100/120/120/120/150/150/150	10/10/10/10/70/70/70	19,24,10,19	40,40,20,140	3,3,3,0	2908/4114/4114/4114/4114/4114/4114
상원삼거리.xls	상원삼거리(9-1,2)	SA 102	100/120/120/120/150/150/150	0/0/0/0/60/60/60	32,32,25	55,130,45	3,3,3	78/426/426/426/504/504/504
계룡대교네거리.xls	계룡대교네거리	SA 103	180/180/180/180/180/180/180	31/18/18/18/31/31/31	25,44,10,34,34	45,95,30,55,55	3,3,3,3,3	59675/59675/59675/59675/59675/59675/59675
신흥들삼거리.xls	신흥들삼거리	SA 103	180/180/180/180/180/180/180	171/50/50/158/171/171/171	10,28,23,14,24	25,145,40,30,40	3,4,3,3,3	83232/83232/83232/83232/83232/83232/83232
원신흥삼거리.xls	원신흥삼거리	SA 103	180/180/180/180/180/180/180	157/30/38/144/157/157/157	35,33,14	60,190,30	3,3,4	442/442/442/442/442/442/442
옥녀봉네거리.xls	옥녀봉네거리	SA 103	180/180/180/180/180/180/180	148/20/170/135/160/158/148	15,53,20,14,25,7	50,125,35,30,35,15	0,4,3,3,3,0	602889/602889/602889/602889/602889/602889/602889
19-1,2번(단).xls	원신흥(단)	SA 103	180/180/180/180/180/180/180	157/23/30/144/157/157/157	50,37,60	105,37,165	3,0,3	34/34/34/34/34/34/34
7-1번(단).xls	도안7단지(단)	SA 103	180/180/180/180/180/180/180	0/168/168/153/2/2/159	50,37,60	105,37,165	3,0,0	34/34/34/34/34/34/34
7-2번3.xls	도안19단지삼거리	SA 103	180/180/180/180/180/180/180	171/40/30/158/166/166/171	35,23,15	60,180,30	3,3,3	416/416/416/416/416/416/416
15-1,2번(단).xls	15-1, 2번	SA 104	180/180/180/180/180/180/180	58/45/45/45/58/58/58	40,51,45	90,51,180	3,0,3	45/45/45/45/45/45/45
24번4.xls	도안네거리(24번)	SA 104	180/180/180/180/180/180/180	98/93/93/93/98/98/98	19,44,20,20,21	60,75,35,55,55	3,4,3,3,3	305764/305764/305764/305764/305764/305764/305764
25번4.xls	도안지하차도입구4	SA 104	180/180/180/180/180/180/180	120/115/115/115/120/120/120	17,30,32,20,34	30,80,55,55,60	3,3,3,4,4	155239/155239/155239/155239/155239/155239/155239
26번4.xls	도안12단지네거리	SA 104	180/180/180/180/180/180/180	120/115/115/115/120/120/120	28,25,21,20,27	50,110,40,35,45	0,3,3,3,3	136780/136780/136780/136780/136780/136780/136780
28-1번3.xls	28-1번	SA 104	180/180/180/180/180/180/180	4/171/171/171/4/4/4	21,54	135,135	3,4	82/82/82/82/82/82/82
28번4.xls	도안28번네거리	SA 104	180/180/180/180/180/180/180	70/60/60/60/70/70/70	15,24,50,47	30,40,125,75	4,3,3,4	7208/7208/7208/7208/7208/7208/7208
목원대4.xls	목원대네거리	SA 104	180/180/180/180/180/180/180	30/25/25/25/30/30/30	27,40,15,27,15,15	27,90,30,27,35,35	0,3,3,0,3,3	6496/6496/6496/6496/6496/6496/6496
유성중(단).xlsx	유성중(단)	SA 107	120	0	26,50	26,140	0,3	1
도안5단지(단).xls	도안5단지(단)	SA 107	120	0	29,50	29,140	0,3	1
유성중삼거리.xls	유성중삼거리	SA 107	120	0	26,27,26	55,65,65	3,0,3	816
휴먼시아4단지(단).xls	휴먼시아4단지(단)	SA 107	120	70	28,50	28,140	0,3	1
4-1번(단).xls	봉명초교(단)	SA 108	150/150/150/150/150/150/150	0/0/0/0/0/0/0	26,40,26,40	26,75,26,75	0,3,0,3	19/19/19/19/19/19/19
도안6단지(단).xls	도안6단지(단)	SA 108	150/150/150/150/150/150/150	0/0/0/0/0/0/0	28,40,28,40	28,70,28,70	0,3,0,3	15/15/15/15/15/15/15
23-1번(단)흥도초교.xls	흥도초교(단)(23-1번)	SA 109	120	100	26,30,26,30	26,50,26,50	0,3,0,3	9
23-2번(단)12단.xls	도안12단지(단)(23-2번)	SA 109	120	100	26,30,26,30	26,50,26,50	0,3,0,3	9
23번3.xls	도안12단지삼거리	SA 109	120	87	22,23	22,190	0,3	1
10번4.xls	도안9단지4(10번)	SA 111	150/150/150/150/150/150/150	5/5/5/5/5/5/5	32,29,27,33	55,60,60,55	3,3,3,3	4820/4820/4820/4820/4820/4820/4820
상대네거리.xls	상대네거리	SA 111	150/150/150/150/150/150/150	0/0/0/0/0/0/0	31,49,20,31	55,80,45,55	3,4,4,3	1540/1540/1540/1540/1540/1540/1540
12번4.xls	원신흥주민센터네거리	SA 125	120/120/120/120/120/120/120	95/95/95/95/95/95/95	27,27,27,27	45,45,45,45	3,3,3,3	
17번3.xls	원신흥초교(단)	SA 125	120/120/120/120/120/120/120	5/5/5/5/5/5/5	28,50	28,140	0,3	1/1/1/1/1/1/1

# 참고) 교차로별 State, Action space

교차로	State space	Action space
목원대4	26	25
유성중3	12	13
도안9단지4	24	16
도안4	31	15
도안28번4	27	15
도안12단지4	37	32
도안지하차도입구4	43	33
진터4	32	31
인삼골4	34	15
도안5단지4	40	32
상대4	25	3
도안1단지4	32	32
원골4	34	19

# 참고) 강화학습 기반 신호 제어 흐름

