

실시간 신호제어를 위한 신경망 적용 지체최소화 주기길이 설계모형 개발

이 정 윤 한국도로교통협회 선임연구원

김 진 태 교통개발연구원 책임연구원

장 명 순 한양대학교 교통공학과 교수

1. 서론

국내 도심부 신호교차로 중 주요교차로(CI, Critical Intersection)의 교통신호제어시스템은 단일시간 단일교차로 제어의 일반신호기로 시작하여 1980년대 전자교통신호체계의 도입으로 시간대별 신호제어가 가능하게 되었다. 현재에는 1990년대에 시작된 실시간신호제어기(COSMOS, Cycle Offset Split Model of Seoul) 방식에 대한 연구에 힘입어 실시간으로 교통대응 신호제어가 가능하게 되었다.

국내 실시간신호제어시스템은 주요교차로의 검지체계에서 산출되는 포화도 정보 및 실시간 신호운영자료를 토대로 차기 주기길이를 설계하고 있다. 이러한 국내 실시간신호제어시스템의 주기길이 설계모형에 의해 설계되는 차기 주기길이는 교통량이 증가하면 주기길이도 증가한다는 주기길이 결정 기본원리를 따르고 있으나 해

당 주기길이 설계모형으로 결정되는 주기길이가 과연 지체최소화 주기인지 검토가 요구된다. 또한 국내 실시간신호제어시스템의 주기길이 설계모형에는 운영자 결정 변수가 있어 차기 주기길이 설계가 비효율적일 수 있으므로 운영자 결정 변수를 제외한 주기길이 설계모형 개발이 필요하다.

본 연구의 목적은 (1) 국내 실시간신호제어시스템의 주기길이 설계모형을 검토하고, (2) 운영자 결정 변수를 제외한 주기길이 설계모형을 개발하는 것이다.

본 연구에서는 실시간신호제어시스템의 주기길이 설계모형을 개발하는데 있어 신호시간설계 전략 중 “임계차로군의 v/c (volume-to-capacity ratio) 균등화 전략”과 “임계차로군의 서비스수준 균등화 전략”은 연구 범위에서 제외하고 “지체도 최소화전략”을 기준으로 연구한다. 또한 보호좌회전만을 고려하고 좌회전금지

와 비보호좌회전은 연구범위에서 제외하며 독립 교차로로 연구범위를 제한한다.

II. 문헌 및 이론적 고찰

본 연구의 문헌 및 이론적 고찰에서는 (1)국내 실시간신호제어시스템의 주기길이 설계모형, (2)신 호 시 간 설 계 전 략 , (3)Corridor Simulation(CORSIM) 모의실험, (4)경험적 탐색방법(Heuristic Searching Methods), (5)인공 신경망(Neural Network) 이론을 고찰한다.

1. 국내 실시간신호제어시스템의 주기길이 설계모형

국내에서 사용 중인 실시간신호제어시스템은 교통정보를 검지기로부터 추출하여 단기미래 신호시간을 실시간으로 갱신하는 시스템이다. 실시간신호제어시스템은 교통상황 측정지표에 따라 매 주기별로 신호주기를 결정 및 갱신한다. 시스템에서 사용하는 교통상황 측정지표는 (1)평균포화도(ADS)와 (2)최대포화도(MDS)이다. 평균포화도는 각 접근로의 직진 이동류의 포화도를 평균한 값이며, 최대포화도는 각 접근로의 직진 이동류의 포화도 중 최대 값이다. 이 두 지표 중 하나를 상황에 따라 현장 운영자가 선택하여 사용하도록 제시되고 있고 이렇게 설계되는 실시간 신호제어의 주기길이는 포화도가 증가할 수록 주기길이도 증가하며 정상상태에서 교통량이 증가함에 따라 주기길이는 증가한다는 주기 길이 결정 기본 방향에 따르는 것이다. 실시간

신호제어에서 사용되고 있는 주기길이 설계모형은 식(1)과 같다.

$$C_{n+1}^r = 100 \times a \times (v/c)_n + C_n - f(C_n) \quad (1)$$

여기서,

a = 상수 (운영자 결정변수, 기본 값 : 최대포화도 사용시 0.6, 평균포화도 사용시 0.75)

$(v/c)_n$ = n번째 주기에서의 최대포화도 또는 평균포화도

C_n = n번째 주기길이

C_{n+1}^r = n+1번째 주기에 요구되는 주기길이

$f(C_n)$ = n번째 주기를 기준으로 n+1번째 주기를 보정하기 위한 보정함수

이 때, 보정함수($f(C_n)$)에 사용되는 파라미터의 값은 특정한 지침이 없이 신호제어 운영자의 현장경험에 의거하여 설정하도록 제시하고 있다.

실시간신호제어시스템에서는 주기길이의 증분을 정하여 산정된 차기주기길이를 보정하며, 사용되는 주기길이 증분은 현장운영자가 결정한다. 예를 들어 필요한 n+1번째 주기길이(C_{n+1}^r)와 n번째인 현재 주기길이(C_n)의 차이(절대치)가 주기증분(ΔC)보다

$$(1) \text{ 클 시 : } C_{n+1} = C_n \pm \Delta C$$

$$(2) \text{ 작을 시 : } C_{n+1} = C_{n+1}^r$$

위와 같이 n+1번째 주기길이를 보정하며 보정된 주기길이가 최소주기길이보다 작지 않고, 최대주기길이보다는 크지 않도록 다시 보정한다.

급격한 주기길이 변화로 발생할 수 있는 교통

류 내 충격을 예방하기 위하여 실시간신호제어 시스템은 이처럼 주기변화수준을 제한하고 있으며 이 제약에 따라 비포화시 긴 주기길이가 관측될 수 있다.

2. 신호시간 설계 전략

신호교차로에서의 신호시간 설계전략으로 Webster(1958)가 전체 현시에서의 임계차로군의 포화도(v/c , volume-to-capacity ratio)를 균등화하는 전략을 제시하였다.

Webster(1958)는 차량 균일도착을 가정하여 적정 신호주기를 산정하는 모형을 제시하였고 각 임계현시별 포화도를 기준으로 적정주기시간을 분할하여 현시시간을 설계할 것을 제시하였다. Webster(1958)의 신호운영변수 설계모형은 산술식을 활용한 것으로 적용이 용이한 것이 장점이다. 그러나 이러한 방법으로 산정된 주기 및 현시길이는 교차로에서의 지체도를 최소화시키기 어려운 단점이 있다. 이러한 단점을 극복하기 위해 발전된 전산기술을 활용하여 교차로 이용 차량의 지체도를 최소화하는 신호 운영변수설계 전산모형이 1980년대에 소개되었다.

지체도 최소화 신호설계 전산모형은 지체도 추정모형과 최적의 해를 찾는 학습조사모형을 활용하여 반복시행착오과정을 거쳐 최적 신호주기길이를 도출한다(Courage and Wallace, 1991). 대표적인 전산모형으로는 Signal Operation Assistant Program(SOAP), Traffic Network Study Tools(TRANSYT)와 SYNCHRO 등이 있으며 지체도뿐만 아니라 연

료소모율, 정지횟수 등을 최소화 지표에 포함하여 신호시간설계를 수행할 수 있다 (Courage and Wallace, 1991). 그러나 이러한 지체도 최소화 전략으로 설계된 신호시간은 교차로 주방향과 부방향의 교통량 차이가 클 시 부방향 교통류가 높은 지체를 경험할 수 있는 위험이 있다 (HCM, 2000).

HCM(2000)은 지체도 최소화 전략으로 설계된 신호시간은 교차로 주방향과 부방향의 교통량 차이가 클 시 부방향 교통류가 높은 지체를 안을 수 있다는 불균형적인 운영상태를 극복하기 위하여 각 접근로 임계차로군의 서비스수준(LOS, level of service)을 균등화하는 전략의 적용을 언급하고 있다. 이러한 서비스수준 균등화 전략은 SOAP2K, MaxGreen 전산모형을 통해서 구현이 가능하다.

실시간 신호제어 시스템이 사용하는 현시길이 설계전략은 v/s (교통량 대 포화교통류율의 비)를 균등화하는 전략이며 이는 접근로 임시 주정차 차량, 포장파손, 긴급공사 등으로 인한 포화교통류율의 변화를 실시간으로 반영하여 신호시간을 설계하는 장점이 있다. 실시간 신호제어 시스템에서의 현시길이는 주기길이를 v/s 를 기준으로 분배한다. 따라서 실시간 신호제어 시스템에서 사용하는 신호운영변수의 효율성은 신호주기에 의해 좌우된다.

3. Corridor Simulation(CORSIM) 모의 실험

CORSIM은 미연방도로국(FHWA)의 미시적

인 교통시뮬레이션 모형으로 Traffic Software Integrated System(TSIS)의 핵심적인 부분이며, 고속도로나 고속화도로에 적용되는 Freeway Simulation(FREESIM) 모형과 간선 가로망의 시뮬레이션에 널리 이용되고 있는 Network Simulation(NETSIM) 모형이 통합된 모형이다.

이 모형은 사용자 측면에서 사용자 지정인자(user defined factor)들을 많이 제공함으로써 상황에 따라 모형을 조정(calibration)하기에 상당히 용이하게 설계되어 있다. NETSIM의 경우, 교차로의 신호시간 설계기능은 없으며 교통 상황에 대한 모의실험만이 가능하다.

CORSIM은 매우 신뢰할 수 있는 모의실험 분석도구로 검증되고 수용되어왔다. 실제로 박병규(2001), Randy와 Courage(1998) 및 Chundury와 Wolshon(2003)은 CORSIM으로부터 얻은 모의실험 자료가 통계적으로 현장 자료에 필적함을 연구결과를 통해 보여 주었다.

4. 경험적 탐색방법 (Heuristic Searching Methods)

경험적 탐색방법은 경험적 정보(Heuristic Information)를 이용하여 탐색작업을 빠르게 진행시키는 방법이라 할 수 있겠다.

Genetic Algorithms(GA)과 Hill Climbing Methods(HM)는 최적 값을 찾기 위한 경험적 탐색방법(Heuristic Searching Methods)이다.

GA는 자연계에 있는 생물의 진화과정에 있어서, 어떤 세대를 형성하는 개체들의 집합, 즉 개

체군 중에서 환경에 대한 적합도가 높은 개체가 높은 확률로 살아남아 재생할 수 있게 되며, 이때 교배(crossover) 및 돌연변이(mutation)로서 다음 세대의 개체군을 형성하게 된다는 생물의 진화과정을 인공적으로 모델링하여 최적해를 찾아가는 알고리즘이다. GA는 전역최적지점(Global Optimal Point)에 가까운 값을 찾을 수 있다는 장점을 가지는 반면, 그 실행 시간이 오래 걸린다는 단점을 가지고 있다.

HM은 명시적인 목표 조건 대신에 자료 구조에 대한 함수가 있고, 이 함수가 최대 혹은 최소가 되는 자료 구조를 찾고자 할 때 사용하는 경험적 탐색방법이다. 이는 인접한 점으로 이동하면서 최적 점을 탐색하는 방법이기도 하다. HM은 탐색시간이 짧다는 장점을 가지는 반면 지역최적치 문제, 고원문제, 능성문제를 가지고 있다.

이와 같은 GA와 HM의 장단점을 고려하여 GA와 HM을 결합하여 사용하는 것이 Hybrid Genetic Algorithms(HGA)의 하나이다.

5. 인공 신경망 이론

인공 신경망(Neural Network)은 인간을 비롯한 동물들이 가지고 있는 뇌세포의 연결구조에 대한 연구 결과에 근거한다. 이는 뇌에 존재하는 생물학적 신경세포와 그것들의 연결 관계를 단순화시키고 수학적으로 모델링하여 뇌가 나타내는 지능적 형태를 구현해 보고자 하는 것이다.

신경망은 경험에 의해 학습하고, 학습을 통해 결과를 도출한다. 신경망 모형의 결과 값은 일반

모형처럼 입력 값을 제시하면 단순히 파라미터와 변수들에 의해 도출되는 것이 아니라 신경망 모형 안의 뉴런과 연결강도와의 상호 작용을 통하여 입력 값에 대해 적절히 반응하여 도출된다.

III. 국내 실시간신호제어시스템의 주기길이 설계모형 검토

본 연구에서는 국내 실시간신호제어시스템의 주기길이설계모형을 검토하기 위하여 (1)현재 모형에 의해 설계되는 주기길이와 지체최소화 전략을 사용하여 설계되는 주기길이를 비교검토하였고, (2)현재 모형에서 주기길이 설계 시 변수로 사용되는 현재 주기길이와 포화도 관계에서 목적운영포화도(Target operational volume-to-capacity)를 추출하여 모형의 신호주기 설계특성을 검토하였다.

1. 검토방법

1) 현재 모형의 주기길이와 지체최소화 주기길이 비교검토

지체도를 최소화하는 전략을 토대로 설계된 주기길이와 국내 실시간신호제어시스템에서 설계되는 주기길이를 비교하기 위해 본 연구에서는 (1)가상 교차로(가상의 기하구조)와 (2)가상 교통상황을 설정하여 교통상황의 변화에 따라 설계되는 주기길이를 검토하는 모의실험을 수행하였다. 지체최소주기길이 산정은 TRANSYT과 SYNCHRO모형을 이용하였다. 분석에 적용된 가상교차로는 접근로별 2차로로 구성하였고 연

구의 효율성을 위하여 좌회전 및 우회전 교통류를 제외하여 직진움직임만을 고려하였다.

모든 접근로별 교통량은 동일하다고 가정을 하였고 이러한 가정은 주기시간 설계모형의 비교실험에 유효하다. 각 접근로에서의 기본 포화 교통류율은 도로용량편람(2001)의 차로당 2,200 대/시로 설정하였으며, 분석대상 교차로의 현시운영은 2현시운영으로 설정하였다. 모든 현시에서 (1)황색시간은 3.0초, (2)출발손실시간(도철웅, 1999)은 2.3초, (3)진행연장시간(도철웅, 1999)은 2.0초, (4)최소주기시간 60초, (5) 최대주기시간 130초로 설정하였다.

교차로의 총 교통량은 모의실험 시간에 따라 변화를 주었다. 모의실험시간 시점인 0초에 3,800 대/시(접근로당 950 대/시)로 설정하고 모의실험시간이 600초 경과 시마다 1,000 대/시(접근로당 250 대/시)씩 증가시켜 교차로 총 교통량이 8,800 대/시(접근로당 2,200 대/시)가 되는 시간을 모의실험 종점으로 설정하였다.

각각의 모형에 의해 결정되는 주기길이는 10의 배수가 되도록 증가시켰으며, 이에 의해 모의 실험시간 경과를 10초단위로 분석하였다.

2) 현재 주기길이 설계모형의 신호주기 설계특성 검토

국내 실시간신호제어시스템의 주기설계모형에 내재되어 있는 목적운영포화도(Target operational volume-to-capacity ratio)를 도출하여 국내 실시간신호제어시스템의 주기설계 모형의 특성을 분석하였다. 목적운영포화도는

신호시간이 설계될 때 설계자가 목적하는 교차로 내 (접근로가 아님) 포화수준을 의미한다. 본 연구에서는 기 설정된 각각의 현재 주기길이 상황에서 포화도(MDS 또는 ADS)를 0.5에서 1.0 까지 0.1씩 증가시켜 보았다.

이렇게 설정된 현재 주기길이와 포화도의 관계에서 실시간신호제어시스템의 주기설계모형에 의하여 설계되는 주기시간을 산정하였고, 그 변화를 통하여 목적운영포화도를 추출하여 신호 주기 설계특성을 검토하였다.

2. 검토결과

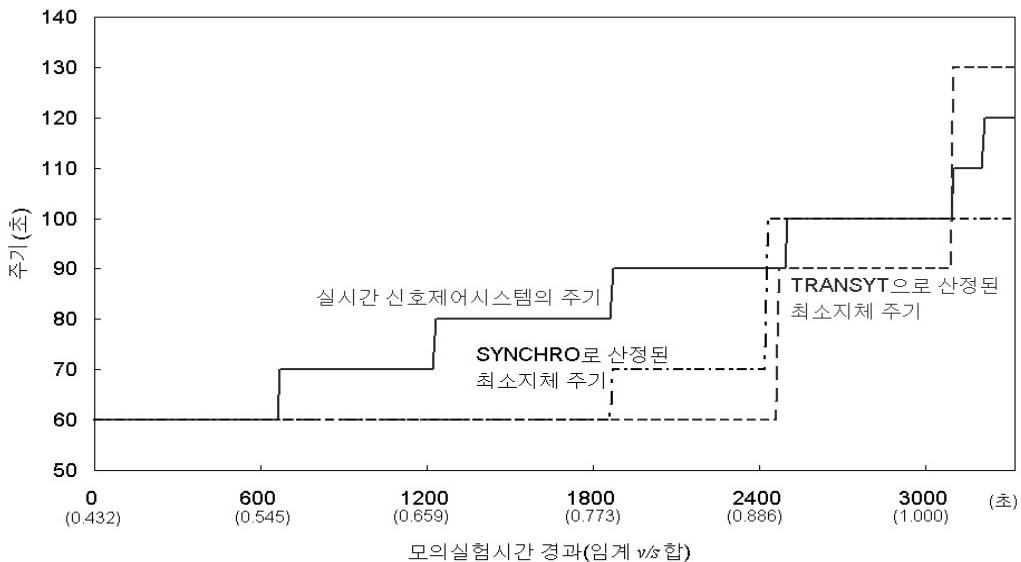
1) 현재 모형의 주기길이와 지체최소화 주기길이 비교검토

모의실험 결과를 토대로 교통상황(모의실험

시간에 따라 교통량 증가)에 따라 변화하는 (1) 국내 실시간신호제어시스템의 주기설계모형에 의하여 설계된 주기길이, (2)동일한 조건하에서 TRANSYT과 SYNCHRO 에 의해 설계된 지체최소 주기길이를 [그림 1]에 도식화하여 비교하였다.

교통량의 변화(증가)에 따라 국내 실시간신호제어시스템의 주기시간은 증가한다. 이는 교차로의 포화수준이 높아질수록 주기시간이 증가한다는 실시간신호제어시스템의 취지에 따른다. 그러나 이러한 주기는 지체최소화 신호주기와 다름이 [그림 1]에 나타난다.

실시간신호제어시스템의 주기길이 설계모형에 의해 설계되는 주기길이는 점진적으로 완만하게 변화하는 반면 TRANSYT과 SYNCHRO에 의해 설계된 지체최소화 신호주기는 교차로



[그림 1] 모의실험시간 경과에 따른 실시간신호제어시스템, TRANSYT, SYNCHRO에 의해 설계된 주기길이의 변화

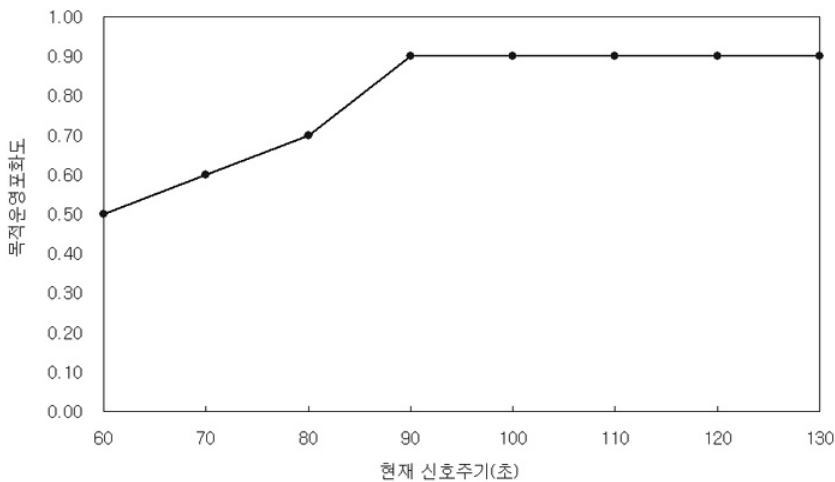
포화도가 0.9이상으로 증가할 시 (모의실험시간 2,400초 이상일 경우) 급격히 증가하는 것이 관측되었다. 실시간신호제어시스템의 주기길이 설계모형은 (1) 교차로 운영상태가 근포화(포화도가 0.9~1.0, [그림 1]에서 v/s 가 0.886~1.000) 일 경우 비교적 교차로의 지체수준을 최소화하는 주기를 설계하나, (2) 교차로 운영포화도가 0.9이하([그림 1]에서 v/s 가 0.886이하)인 상황에서는 지체도를 최소화하지 못하는 주기길이를 설계하는 것으로 검토되었다.

2) 현재 주기길이 설계모형의 신호주기 설계특성 검토

앞서 이루어진 비교검토에서 현재 주기길이가 적을수록 현존 모형에 의해 설계되는 주기길이는 지체최소화 주기길이와 크게 상이하다는 검토결과를 얻었다. 이에 본 연구에서는 현존 모형

의 주기설계 목적운영포화도를 확인하기 위하여 국내 실시간신호제어시스템에 내재되어 있는 목적운영포화도를 추출하기 위한 모의실험을 수행하였다. 그 결과는 <표 1>과 같다. 이 모의실험에서는 신호주기(n 번째)길이를 토대로 교통상황에 따라 설계되는 차기($n+1$ 번째)요구주기길이를 산정하였다. 이러한 n 번째와 $n+1$ 번째의 주기길이가 동일하게 되는 상황에서의 교차로 포화도가 목적운영포화도이다. 이 목적운영포화도 보다 교차로 포화도가 높을 시에는 주기가 증가하며 낮을 시에는 주기가 감소한다. 실시간 신호제어 시스템에 내재된 목적운영포화도와 주기길이(n 번째)와의 관계를 도식화하여 [그림 2]에 제시하였다.

<표 1>과 [그림 2]에서 나타나듯이 신호주기가 90초 이상일 경우에는 목적운영포화도가 0.90을 유지하며 변화가 없다. 이는 신호주기가 90초 이상일 경우 교차로 내(접근로가 아님) 포화도가



[그림 2] 국내 실시간신호제어시스템의 목적운영포화도

〈표 1〉 국내 실시간신호제어시스템의 주기길이 설계모형에 내재된 목적운영포화도

구분	주기 (초)	포화도 (v/c)	보정 함수 값	상수 (a)	차기요구주기	목적운영 포화도
상황 1	60	0.5	30	0.6	60	0.5
		0.6	30	0.6	66	
		0.7	30	0.6	72	
		0.8	30	0.6	78	
		0.9	30	0.6	84	
		1.0	30	0.6	90	
상황 2	70	0.5	36	0.6	64	0.6
		0.6	36	0.6	70	
		0.7	36	0.6	76	
		0.8	36	0.6	82	
		0.9	36	0.6	88	
		1.0	36	0.6	94	
상황 3	80	0.5	42	0.6	68	0.7
		0.6	42	0.6	74	
		0.7	42	0.6	80	
		0.8	42	0.6	86	
		0.9	42	0.6	92	
		1.0	42	0.6	98	
상황 4	90	0.5	54	0.6	66	0.9
		0.6	54	0.6	72	
		0.7	54	0.6	78	
		0.8	54	0.6	84	
		0.9	54	0.6	90	
		1.0	54	0.6	96	
상황 5	100	0.5	54	0.6	76	0.9
		0.6	54	0.6	82	
		0.7	54	0.6	88	
		0.8	54	0.6	94	
		0.9	54	0.6	100	
		1.0	54	0.6	106	
상황 6	110	0.5	54	0.6	86	0.9
		0.6	54	0.6	92	
		0.7	54	0.6	98	
		0.8	54	0.6	104	
		0.9	54	0.6	110	
		1.0	54	0.6	116	
상황 7	120	0.5	54	0.6	96	0.9
		0.6	54	0.6	102	
		0.7	54	0.6	108	
		0.8	54	0.6	114	
		0.9	54	0.6	120	
		1.0	54	0.6	126	
상황 8	130	0.5	54	0.6	106	0.9
		0.6	54	0.6	112	
		0.7	54	0.6	118	
		0.8	54	0.6	124	
		0.9	54	0.6	130	
		1.0	54	0.6	136	

0.90을 유지함을 의미한다. 그러나 신호주기가 90초 미만일 경우에는 목적운영포화도가 0.90보다 낮아진다.

낮은 목적운영포화도는 비효율적인 신호운영을 의미한다. 이러한 경우 교차로 내(접근로가 아님) 포화도가 0.90보다 작아짐을 의미하며, 이는 차량에 의해 사용되지 않는 신호시간이 10%이상인 것을 뜻한다. 예를 들어 주기가 60초이며 교차로 포화도가 0.51인 경우(목적운영포화도는 0.50), 신호주기시간의 49%가 차량에 의하여 사용되고 있지 않음에도 불구하고 교차로포화도(0.51)가 목적운영포화도(0.50)보다 커 주기가 증가하는 현상이 발생한다.

IV. 국내 실시간신호제어시스템의 주기길이 설계모형 개발

1. 연구방법

지체도를 최소화하는 전략을 토대로 실시간 신호제어를 위한 주기길이 설계모형을 개발하기 위해서는 다양한 교통상황에 따른 지체도 최소화 주기길이 자료가 필요하다. 다양한 교통상황에 따른 최적 신호주기 자료를 마련하는 방법에는 다음과 같은 방법이 있다.

- (1) 모의실험을 통해 자료를 수집하는 방법
- (2) 현장에서 자료를 수집하는 방법

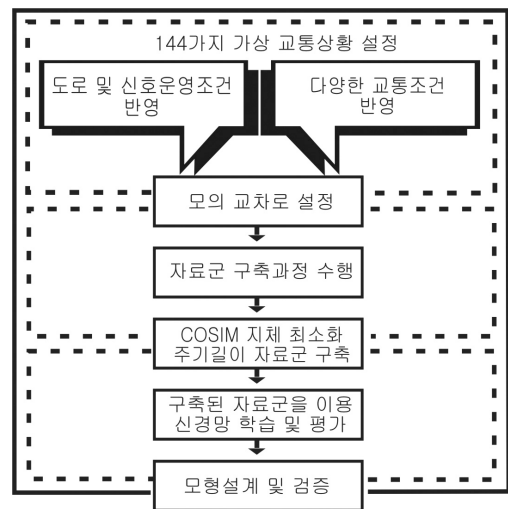
그러나 현장자료의 수집은 조사자의 의도에 따라 교통상황을 변화시키거나 신호주기를 변화시키며 자료를 수집하는데 어려움이 있고 또한 자료수집 효율성과 교통안전성 측면에서 실제로

수행하는데 무리가 있다.

따라서 본 연구에서는 모의실험을 통한 자료수집 방법을 사용하였고 이를 위해 다양한 교통상황(신호제어조건, 교통조건)을 설정하였으며 이를 토대로 지체최소화 주기길이 자료를 수집하기 위하여 평가모형(CORSIM)과 경험적 탐색방법(Hybrid Genetic Algorithms)을 혼합 적용하였다.

본 연구에서는 이렇게 구축된 자료를 통해 신경망을 이용한 지체최소화 신호주기길이 설계모형을 개발하였다. 모형개발을 위한 전체적인 연구수행 흐름은 다음의 [그림 3]과 같다.

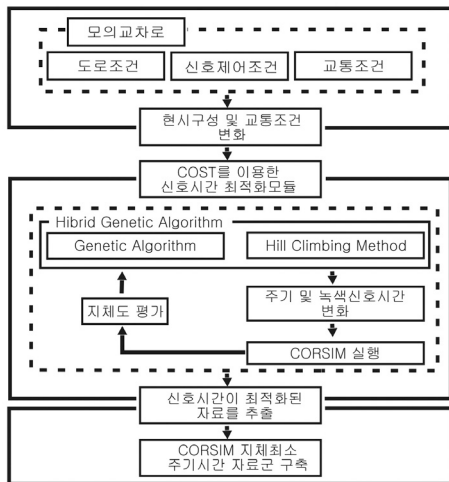
본 연구에서는 모의실험을 위해 비주얼베이지 6.0을 이용하여 CORSIM으로 시뮬레이션(교차로 평가)을 수행하고, 이와 함께 HM(Hill Climbing Method)을 이용하여 지역해(local solution)를 도출하고 GA(Genetic Algorithm)



[그림 3] 모형개발을 위한 연구 흐름

를 이용하여 광역해(global solution)를 찾아가는 HGA(Hybrid Genetic Algorithm)로 신호시간을 최적화시켜 녹색현시 길이와 이에 해당하는 CORSIM 지체최소 주기길이를 산출하는 CORSIM Optimum Searching Tool(COST)을 개발하였다.

본 연구에서는 COST를 이용하여 미리 설정된 각각의 가상 교통상황에 대한 신호시간을 최적화시켜 CORSIM 지체최소 주기길이 자료를 구축하였다. 모의실험을 통한 자료군 구축 과정은 다음의 [그림 4]와 같다.

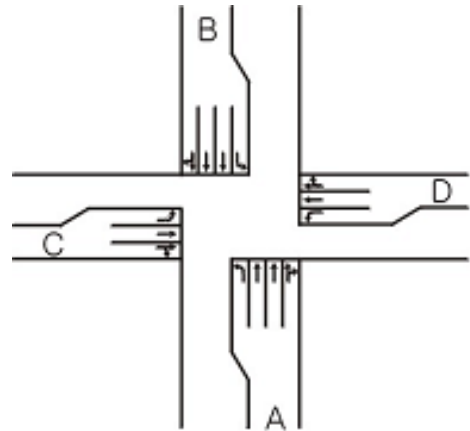


[그림 4] 자료군(Database) 구축 과정

상황을 반영하기 위해 도로조건, 신호제어조건, 교통조건을 변화시켰다.

(1) 도로조건

교차로의 각 접근로는 주도로의 경우 좌회전 전용차로를 포함하여 4차로, 부도로의 경우 좌회전 전용차로를 포함하여 3차로로 구성하였다. 그 외의 조건은 이상적인 조건(차로폭 3m 이상, 경사가 없는 접근부, 정지선 상류부 75m이내에 버스 정류장 없음, 정지선의 상류부 75m 이내에 노상 주·정차 시설 없음, 정지선의 상류부 60m 이내에 진·출입부 없음)을 따른다고 가정하였다 (도로용량편람, 2001). 교차로의 도로조건은 [그림 5]와 같다.



[그림 5] 교차로의 도로조건

2. 모의실험 및 자료군 구축

1) 모의실험을 위한 가상교차로 설정

모의실험 수행을 위한 가상교차로는 주도로 7차로, 부도로 5차로로 설정하였고 다양한 교통

(2) 신호제어조건

신호제어조건은 설계 시 보행자를 고려하지 않았고 좌회전 형태는 보호좌회전방식으로 설정하였으며 현시구성은 Dual-Ring 체계를 바탕으로 설정하였다.

현시구성 1 (기본현시구성)	현시구성 2 (5, 6현시 교체)
현시구성 3 (7, 8현시 교체)	현시구성 4 (5, 6 및 7, 8현시 교체)

* 모의실험 후에 네 가지 현시구성 중 지체가 가장 작은 현시구성 하나만 자료로 사용됨.

[그림 6] 교차로의 현시구성

또한 주기길이는 최소 60초에서 최대 180초로 설정하였고 모든 현시에서 황색시간은 3.0초, 출발손실시간은 2.3초, 진행연장시간은 2.0초로 설정하였다. 본 연구에서 사용한 신호 현시구성은 다음의 [그림 6]과 같다.

(3) 교통조건

교통조건에서 이용차종은 승용차 100%, 주·정차활동 차량 및 진·출입 차량과 횡단 보행자 교통이 없는 이상적인 조건으로 가정하였다.

이때 각 접근로의 기본 포화교통류율은 도로용량편람(2001)의 차로당 2,200 대/시로 설정하였다.

교통조건은 주도로와 부도로의 교통량 비율을 60:40으로 설정하였고 (1)교차로의 총 교통량, (2)주도로 및 부도로의 중방향 비율, (3) 각 접근로의 좌회전 교통량 비율을 변화시켰다.

교차로의 총 교통량은 4,420 대/시, 5,200 대/시, 5,980 대/시, 6,760 대/시, 7,280 대/시, 7,540 대/시로 변화시켰고 주도로 및 부도로의 중방향 비율은 50:50, 55:45, 60:40으로 변화시켰으며 좌회전 교통량의 비율은 10%에서 20%로 변화시켰다.

이 모든 교통조건을 고려하였을 때 주기의 임계 v/s 합은 0.486~0.985사이에서 변한다. 교통조건을 변화시킬 때 다음의 <표 2>에 나타내었다.

〈표 2〉 교통조건의 변화

구분	교차로 총교통량 (대/시)	주도로 및 부도로의 중방향 비율(%:%)	좌회전 교통량 변화율(%)	임계차로군의 v/s 합
교 통 조 건 변 화	4,420	50:50	10	0.486
			20	0.555
		55:45	10	0.513
			20	0.566
		60:40	10	0.539
			20	0.577
	5,200	50:50	10	0.572
			20	0.653
		55:45	10	0.603
			20	0.666
		60:40	10	0.634
			20	0.679
	6,760	50:50	10	0.658
			20	0.751
		55:45	10	0.694
			20	0.866
		60:40	10	0.729
			20	0.781
	6,760	50:50	10	0.744
			20	0.849
		55:45	10	0.784
			20	0.866
		60:40	10	0.825
			20	0.883
7,280	50:50	10	0.801	
		20	0.914	
	55:45	10	0.844	
		20	0.933	
	60:40	10	0.888	
		20	0.951	
7,540	50:50	10	0.829	
		20	0.947	
	55:45	10	0.875	
		20	0.966	
	60:40	10	0.920	
		20	0.985	

2) 자료의 추출 및 정리

연구방법에서의 [그림 4]와 같은 과정으로 앞서 설정된 가상교차로에서의 신호제어조건 변화(현시구성 4가지)와 교통조건 변화(36가지)에 따른 144가지의 교통상황을 모의실험하였다.

여기서 각각의 교통상황에 따른 주기길이는 GA(Genetic Algorithm)와 HM(Hill Climbing Method)을 이용하여 CORSIM의 신호시간을 최적화하여 추출한 CORSIM 지체최소 주기시간이다([그림 4] 참조).

이와 함께 모의실험 결과에서 네 가지 현시구성([그림 6] 참조) 중 각각의 교통조건을 지체를 최소화시키는 현시구성을 추출한 결과 36가지의 자료로 요약되었다. 정리된 자료의 수는 <표 3>과 같다.

CORSIM과 HGA를 이용한 모의실험 결과물에서 각각의 교통상황에 대한 CORSIM 지체 최소화 주기길이를 함께 [그림 6]의 현시구성 1을 기준으로

$$\begin{aligned} & \cdot \text{이동류별 } v/s \\ & (v/s)_i \end{aligned} \quad (2)$$

여기서 $i = \text{Dual-Ring}$ 의 현시번호

· 주도로와 부도로의 임계 직진 v/s 합

$$\sum_{i=1}^2 [Max((v/s)_{2i}, (v/s)_{2i+4})] \quad (3)$$

· 주도로와 부도로의 임계 좌회전 v/s 합

$$\sum_{i=1}^2 [Max((v/s)_{2i-1}, (v/s)_{2i+3})] \quad (4)$$

· Dual-Ring의 좌우베리어 임계 현시군 조합의 v/s 합(Single-Ring에서의 임계 v/s 합을 의미함.)

$$\sum_{i=1}^2 [Max(\sum_{j=2i-1}^{2i} (v/s)_j, \sum_{k=2i+3}^{2i+4} (v/s)_k)] \quad (5)$$

여기서 $j, k = \text{Dual-Ring}$ 의 현시번호를 추출하였다.

CORSIM 지체최소화 주기길이를 함께 추출된 위의 4가지 변수는 새로운 주기길이 설계모형 개발에 사용될 입력변수로서 CORSIM 지체 최소화 주기길이를과의 관계를 검토하기 위하여 추출하였다.

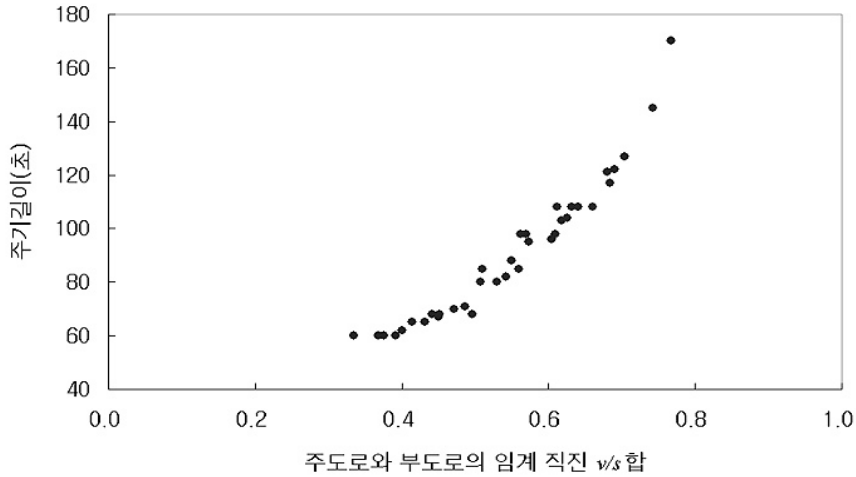
(1) 주도로와 부도로의 임계 직진 v/s 합과 주기길이의와의 관계

생성된 자료군에서 CORSIM의 주기길이를

<표 3> 추출된 자료 수

모의실험 교통상황의 수	추출된 자료 수	소거된 자료 수	유효자료 수
144	144	108	36

모의실험 교통상황의 수



[그림 7] 주도로와 부도로의 임계 직진 v/s합에 따른 주기길이

주도로, 부도로의 임계 직진 v/s합의 관계를 살펴보았다.

[그림 7]에서 보듯이 주도로와 부도로의 임계 직진 v/s합이 증가함에 따라 주기길이가 증가함을 보이고 있다.

(2) 주도로와 부도로의 임계 좌회전 v/s합과 주기길이와의 관계

생성된 자료군에서 주도로와 부도로의 임계 좌회전 v/s합과 CORSIM 지체최소화 주기길이와의 관계를 살펴보았다.

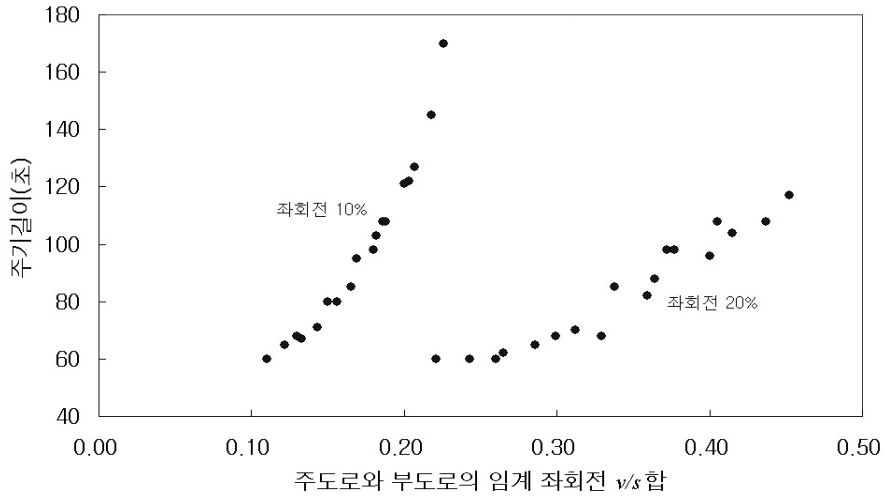
[그림 8]에서 보듯이 주도로와 부도로의 임계 좌회전 v/s합이 증가함에 따라 주기길이가 증가함을 보이고 있고 좌회전 비율의 변화(10%, 20%)에 영향을 받아 주기길이의 증가 추세가 양분화 되는 것으로 분석되었다. 이는 CORSIM 지

체최소화 주기길이의 증가가 좌회전 교통류보다는 직진 교통류에 의해 더 큰 영향을 받기 때문인 것으로 분석되었다.

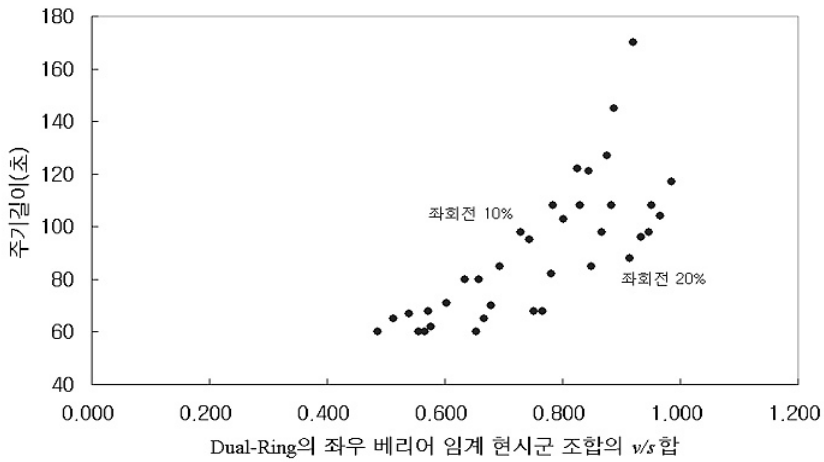
(3) 좌우베리어 임계 현시군 조합의 v/s합과 주기길이와의 관계

생성된 자료군에서 Dual-Ring의 좌우베리어 임계 현시군 조합의 v/s합과 CORSIM 지체최소화 주기길이와의 관계를 살펴보았다.

[그림 9]에서 보듯이 좌우베리어 임계 현시군 조합의 v/s합이 증가함에 따라 주기길이가 증가함을 보이고 있고 좌우베리어 임계 현시군 조합의 v/s합 또한 좌회전 v/s를 포함하고 있어 좌회전 비율의 변화(10%, 20%)에 영향을 받아 주기길이의 증가 추세가 양분화 되는 것으로 분석되었다. 그러나 주기 증가 추세에서 양분화 되는



[그림 8] 주도로와 부도로의 임계 좌회전 v/s합에 따른 주기길이



[그림 9] 좌우베리어 임계 현시군 조합의 v/s합에 따른 주기길이

정도가 '주도로와 부도로의 임계 좌회전 v/s합과 주기길이와의 관계' 보다 크지 않음을 보이고 있다. 이는 좌우베리어 임계 현시군 조합의 v/s합에 포함된 좌회전 v/s가 반드시 주도로 및 부

도로의 임계 좌회전 v/s는 아니며, 또한 직진 v/s에 합해져 그 영향이 상쇄되어 적어지기 때문인 것으로 분석되었다.

3. 모형개발 및 검증

본 연구에서는 모형을 개발함에 있어 인공 신경망을 이용한다. 인공 신경망은 입력 값과 목적 값에 따라 학습시키는데 많은 시간이 소요되지만 학습이 완료된 후에는 입력 값이 주어짐에 따라 빠른 시간 내에 즉각적으로 반응 할 수 있기 때문에 실시간신호제어시스템에 적용하는데 있어 유용하다고 할 수 있다.

본 연구에서는 앞서 추출된 36개의 자료 중 30개의 자료로 미리 설정된 신경망 모형을 학습시켰고 6개의 자료는 신경망 모형 검토에 사용하였다. 신경망은 Turbo-C 2.0을 이용하여 전산화하였다.

1) 모형설정

본 연구에서의 인공 신경망 모형은 다층 신경망을 사용하였고, 학습규칙으로는 일반화된 델타 규칙(오류역전파 알고리즘), 활성화함수로는 시그모이드 함수를 사용하였다. 기본적으로 입력 변수에 따라 크게 4가지모형으로 설정하였고 이 입력변수에 따른 4가지 모형은 다음과 같다.

- (1) 주도로와 부도로의 임계 직진 v/s합, 주도로와 부도로의 임계 좌회전 v/s합으로 이루어진 2가지 입력변수 모형
- (2) Dual-Ring의 좌우베리어 임계 현시군 조합의 v/s합으로 이루어진 1가지 입력변수 모형
- (3) 앞의 (1)과 (2)모형의 3가지 입력변수 모형
- (4) 각 이동류의 v/s로 이루어진 8가지 입력변수 모형

입력변수의 설정에 있어 신경망의 경우 회귀 분석과는 달리 입력변수들간의 상관관계의 존재가 결과 값에 큰 영향을 미치지 않으므로 입력변수를 위와 같이 설정하였다.

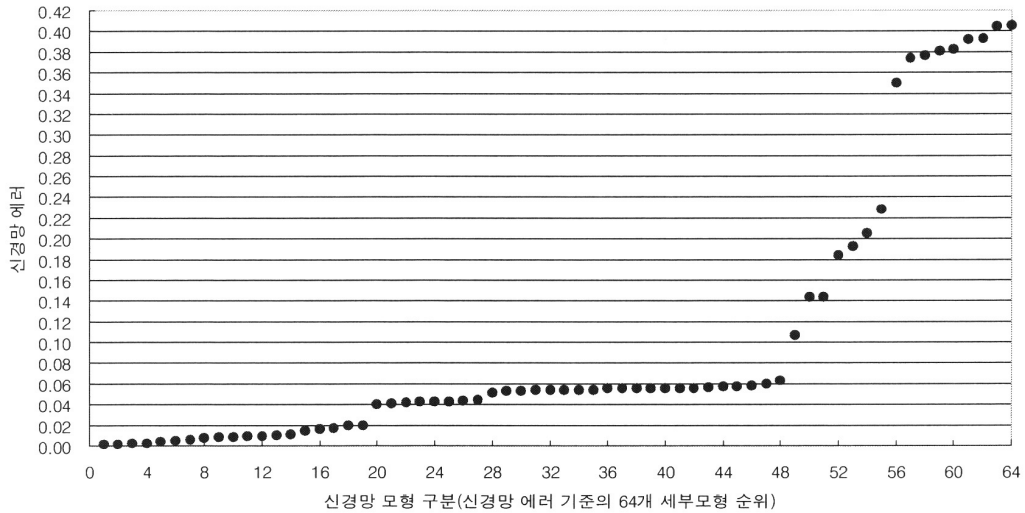
다층 신경망 모형은 입력 자료에 대하여 은닉층 수, 은닉층 뉴런 수, 학습반복 횟수, 학습계수 등 네트워크 구조를 어떻게 설정하느냐에 따라 학습정도가 달라진다. 따라서 본 연구에서는 입력변수에 따른 4가지 모형에 대해 각각 은닉층 수가 1개의 경우와 2개의 경우, 은닉층 뉴런수가 4개와 8개의 경우, 학습계수가 0.5와 0.9의 경우, 모멘텀 계수가 0.7과 0.9의 경우로 나누어 모형을 총 64가지 모형으로 세분화하여 설정하였다. 또한 학습반복 횟수는 신경망의 에러가 더 이상 감소하지 않는 시점까지 반복하여 학습시켰다.

2) 최적 신경망 모형 결정

본 연구에서 최적 신경망 모형의 결정은 (1)학습된 자료에 대한 신경망 에러를 기준으로 학습이 잘된 신경망 모형들을 선정하고, (2)이렇게 선정된 신경망 모형들 중에서 학습되지 않은 자료군을 가장 잘 예측하는 모형을 찾아내는 방법을 사용하였다.

본 연구에서 설정된 64개의 세부모형들에 대해 신경망 에러 크기를 기준으로 모형을 정렬하고 이에 대한 신경망 에러의 분포를 도식화 하였다. 신경망 에러 크기를 기준으로 모형을 정렬하여 그 분포를 도식화 하면 [그림 10]과 같다.

[그림 10]을 보면 19개의 신경망 세부모형이 0.00에서 0.02의 신경망 에러 값, 29개의 신경망 세부모형이 0.04에서 0.06사이의 신경망 에



[그림 10] 64개 세부모형의 신경망 에러(신경망 에러 값 크기 기준으로 정렬)

러 값, 7개의 신경망 세부모형이 0.10에서 0.24 사이의 신경망 에러 값, 9개의 신경망 세부모형이 0.34에서 0.40사이의 신경망 에러 값을 보이고 있어 신경망 에러 값 기준으로 크게 4개의 군으로 분류됨을 알 수 있다.

각각의 신경망 에러 값으로 볼 때 신경망 에러 값이 0.02보다 작을 경우 평균적으로 주기길이에 대한 신경망이 갖는 에러 크기는 3.7초보다 작고, 신경망 에러 값이 0.04보다 클 경우 주기길이에 대한 신경망이 갖는 에러 크기는 7.3초보다 크다.

이는 주기길이를 5초 또는 10초 단위로 증감시킨다고 볼 때 신경망 에러 값이 0.00에서 0.02사이의 값을 갖는 모형이 비교적 학습률이 높은 것으로 분석된다.

따라서 본 연구에서는 신경망 에러 값이 0.00에서 0.02사이의 값을 갖는 19개의 신경망 세부

모형만을 다음의 ‘최적 신경망 모형 검토’의 분석대상으로 채택하고 나머지 45개의 신경망 세부모형은 분석대상에서 제외시켰다.

앞서 학습된 자료에 대해 잘 학습된 것으로 검토된 19개의 세부모형들을 비학습된 교통조건에서의 주기길이자료와 각각의 신경망 모형에 의해 추정된 주기길이 간의 오차를 산출하는 통계량을 사용하여 상호 비교·검토를 통해 최적모형을 선택하였다.

예측 오차에 근거한 모형 선택기준 통계량은 Mean Absolute Relative Error(MARE), Mean Absolute Error(MAE), Root Mean Square Error(RMSE), %Root Mean Square Error(%RMSE), R-Square(R^2)를 사용하였다.

비학습된 6개의 자료에 대한 19개의 신경망 세부모형에 의해 추정된 주기길이 간의 오차를

〈표 4〉 각각의 모형들의 추정 값에 대한 통계량

세부모형번호	MARE	MAE	RMSE	%RMSE	R ²
1	0.049	4.000	5.508	0.069	0.899
2	0.052	3.833	6.721	0.084	0.850
3	0.075	6.500	9.755	0.122	0.683
4	0.043	3.500	4.378	0.055	0.936
5	0.052	4.167	5.276	0.066	0.907
6	0.080	5.667	10.033	0.125	0.665
7	0.071	5.500	7.130	0.089	0.831
8	0.063	4.833	7.153	0.089	0.830
9	0.061	5.167	6.964	0.087	0.839
10	0.080	7.000	9.399	0.117	0.706
11	0.064	5.500	7.649	0.095	0.805
12	0.046	3.667	5.477	0.068	0.900
13	0.046	3.833	4.813	0.060	0.923
14	0.074	6.333	9.345	0.117	0.709
15	0.058	4.500	6.096	0.076	0.876
16	0.056	4.667	6.083	0.076	0.877
17	0.061	5.667	9.345	0.117	0.709
18	0.054	4.500	5.817	0.073	0.887
19	0.058	4.333	5.916	0.074	0.884

산출하는 통계량을 구해 보면 〈표 4〉와 같다.

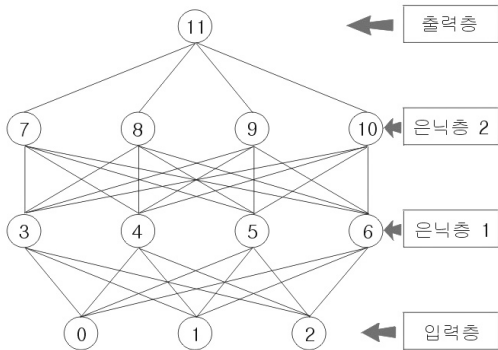
〈표 4〉와 같이 비학습된 교통조건에서의 주기 길이자료와 각각의 신경망 모형에 의해 추정된 주기길이 간의 오차를 산출하는 통계량을 구해 본 결과 주도도로와 부도로의 임계 직진 v/s 합, 주도도로와 부도로의 임계 좌회전 v/s 합, Dual-Ring의 좌우베리어 임계 현시군 조합의 v/s 합 (Single-Ring에서의 임계 v/s 합) 이 세 가지 입

력변수를 사용하고 은닉층이 2개, 각 은닉층의 뉴런 수는 4개이며 학습계수와 모멘텀계수를 각각 0.9, 0.7로 학습시킨 신경망 모형(세부모형번호, 4)이 가장 적합한 것으로 분석되어 이를 최적 신경망 모형으로 선택하였다.

최적 신경망 모형으로 선택된 모형의 신경망 형태를 도식화하면 다음의 [그림 11]과 같고 각각의 뉴런의 연결 가중치는 〈표 5〉와 같다.

〈표 5〉 각각의 뉴런의 연결 가중치

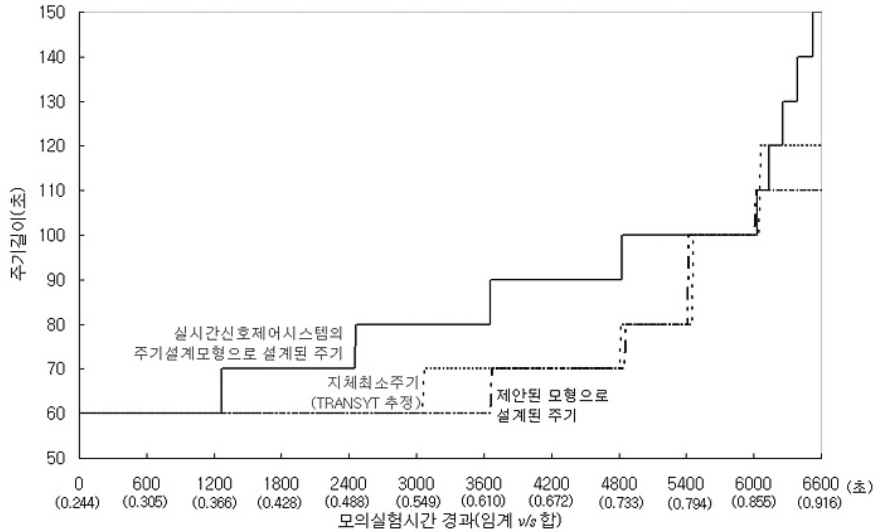
시점 뉴런번호	중점 뉴런번호	연결 가중치	시점 뉴런번호	중점 뉴런번호	연결 가중치
0	3	-3.434654	4	7	-13.662257
	4	5.118397		8	-2.853535
	5	4.348544		9	-7.256155
	6	-2.273924		10	-1.095857
1	3	-9.166617	5	7	11.038061
	4	-7.811914		8	2.209664
	5	-7.058890		9	15.728405
	6	6.842148		10	2.812482
2	3	-0.013605	6	7	-1.798849
	4	1.773397		8	-0.083053
	5	-13.169988		9	19.905931
	6	-0.760762		10	-4.771973
3	7	-2.103043	7	11	-0.917207
	8	0.494323	8	11	1.635849
	9	-2.242659	9	11	-5.202517
	10	-6.475132	10	11	5.016364



[그림 11] 최적모형으로 선택된 신경망 모형의 형태

3) 모형검증

본 연구에서는 모형 검증을 위해 자료 수집을 위해 앞서 설정했던 가상교차로에서 교통조건을 변화 시켜 새로운 교통조건을 설정하였다. 이렇게 설정된 교차로에 대해 시간 변화에 따라 일정량의 교통량을 증가시켰으며, 이때 국내 실시간신호제어시스템의 주기설계모형과, TRANSYT 및 본 연구에서 개발된 신경망 주기설계 모형에 의해 모의실험시간 경과에 따라 설계되는 주기길이의 변화를 비교하였다.



[그림 12] 모의실험시간 경과에 따른 각각의 모형의 주기길이 변화

새로운 교통조건은 주도로와 부도로의 교통량 비율을 55:45, 주도로 및 부도로의 중방향 비율을 53:47, 좌회전 비율을 15%로 설정하였으며 초기 교차로 총 교통량을 모의실험시간 시점인 0초에 2,000 대/시로 설정하고 모의실험시간이 600초 경과 시마다 500 대/시씩 증가시켜 교차로 총 교통량이 7,500 대/시(TRANSYT의 v/c가 1.00이 넘는 시점)가 되는 시간을 모의실험 종점으로 설정하였다.

각각의 모형에 의해 설계되는 주기길이는 10의 배수가 되도록 증가시켰으며 이에 의해 모의실험시간 경과를 10초단위로 분석하였다. 모의실험시간 경과에 따라 각각의 모형에 의해 설계되는 주기길이 변화를 [그림 12]에 도식화하였다.

[그림 12]에서 보듯이 실시간신호제어시스템의 주기길이 설계모형은 교통량이 적은 교차로

상황에서 지체최소화를 전략으로 하는 TRANSYT 모형에 비해 상당히 큰 주기길이를 설계함을 보이고 있다. 반면에 본 연구에서 개발한 신경망 모형은 TRANSYT모형과 비교적 유사한 주기길이 설계 패턴을 보이고 있다.

V. 결론 및 향후 연구과제

국내 실시간신호제어시스템에서는 주요교차로의 각 접근로별 직진 이동류의 최대 또는 평균포화도와 현재 주기길이를 변수로 차기 주기길이를 설계한다. 국내 실시간신호제어시스템의 주기길이 설계모형을 검토한 결과 (1)교차로의 운영상태가 비포화일 경우 지체최소화 주기길이보다 큰 주기길이를 설계하는 것으로 검토되었고, (2)교차로의 현재 신호주기가 90초 이

상일 경우 목적운영포화도가 0.90을 유지하는 반면 현재 신호주기가 90초 미만일 경우 목적운영포화도가 0.90보다 작아지는 것으로 검토되었다. 따라서 이 주기길이를 배분하여 설정된 녹색시간 또한 비효율적일 수밖에 없음을 알 수 있다.

본 연구는 이러한 점을 고려, 신경망을 이용하여 운영자 결정변수를 제외한 국내 실시간신호제어시스템을 위한 지체최소화 주기길이 설계모형을 개발하였다. 이를 위해 다양한 교통조건들을 반영한 가상의 교통상황을 설정하였고, CORSIM과 HGA를 이용한 모의실험을 수행하였다. 모의실험 결과로부터 추출된 CORSIM 지체 최소화 주기길이 자료군을 이용하여 총 64가지의 인공 신경망 모형을 설정하여 학습시켰고 자료군의 주기길이와 신경망 모형에서 산출된 주기길이의 오차를 비교하여 최적 신경망 모형을 도출하였다.

본 연구에서 개발한 신경망 모형의 형태는 입력층, 2개의 은닉층, 출력층으로 이루어진 다층신경망이고, 입력층의 뉴런 수는 3개, 은닉층의 뉴런 수는 각각 4개, 출력층의 뉴런 수는 1개로 이루어져 있으며, 입력자료는 주도로와 부도로의 임계 직진 v/s합, 주도로와 부도로의 임계 좌회전 v/s합, Dual-Ring의 좌우베리어 임계 현시군 조합의 v/s합 (Single-Ring에서의 임계 v/s합) 이 세 가지이고 출력자료는 각 입력자료에 해당하는 주기길이이다.

모형검증을 위해 자료수집 시 설정된 모의 교차로에서 교통상황을 변화시켰고, 교차로 총 교통량이 증가함에 따른 국내 실시간신호제어시스

템, TRANSYT 및 본 연구에서 개발된 신경망 모형에 의해 설계되는 주기길이를 비교하는 모의실험을 수행하였다.

그 결과 본 연구에서 개발된 신경망 모형은 현존 국내 실시간신호제어시스템이 짧은 현재 주기길이에서 비포화시 낮은 목적운영포화도로 인해 지체최소화 주기길이보다 긴 주기길이를 설계하는 것과는 달리 지체최소화 주기길이와 유사한 패턴으로 주기길이를 설계한다는 결과를 도출하였다 ([그림 12] 참조).


또한 부가적으로 TRANSYT에 의해 설계된 지체최소화 주기길이와 CORSIM 평가모듈을 활용하여 설계된 지체최소화 주기길이의 유사한 경향을 확인할 수 있었다.

본 연구에서 개발된 국내 실시간신호제어시스템을 위한 주기길이 설계 신경망 모형은 좌회전 금지와 비보호좌회전 신호운영방식을 고려하지 않았다.

또한 신호와 관련된 연구 특성상 현장 자료를 수집하는데 어려움이 있어 전산 simulator를 이용하여 교통상황을 모의실험을 하였기 때문에 현장 특성 반영에 한계가 있었다.

따라서, 다음과 같은 향후 보완 연구과제를 제시하도록 한다.

첫째, 본 연구에서 개발한 모형에 좌회전금지 와 비보호좌회전 신호운영방식을 적용할 수 있는 보완연구가 필요하며

둘째, 본 연구에서 제시한 모형에 대해 실질적인 현장자료를 토대로 한 검토연구가 필요하다. 

참고문헌

1. Webster, F.V. (1958), "Traffic Signal Setting", Road Research Technical Paper 39, London, U.K..
2. Courage, K.G. and Wallace, C. (1991), "TRANSYT -7F User Guide", Transportation Research Center, University of Florida, FL, Gainesville, U.S.A..
3. Courage, K.G. and Wallace, C. (1991), "The Most Reference Manual", Transportation Research Center, University of Florida, FL, Gainesville, U.S.A..
4. Transportation Research Board, (2000), "Highway Capacity Manual", Special Report 209, 3rd edition", National Research Council, Washington, DC, U.S.A..
5. 서울시정개발연구원(2002), "신신호 시스템 검증 및 평가를 위한 학술용역(1차)".
6. 도로교통안전관리공단, 서울시정개발연구원 (2001), "신신호시스템 기능개선 및 종합발전계획 수립".
7. 서울시정개발연구원(2003), "신신호시스템 검증·평가"
8. 도철웅 (1999), "교통공학원론(상)", 청문각.
9. 이상원 (1993), "학습하는 기계 신경망", Ohm사.
10. Federal Highway Administration (2001), "TSIS User's Guide", Virginia, U.S.A..
11. Showers, R. H. and K. G. Courage (1998), "CORSIM Treatment of Gap Acceptance and Delay". Presented at 77th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, D.C..
12. Chundury, s. and B. Wolshon (2003), "Evaluation of the CORSIM Car-Following Model Using GPS Field Data". In Transportation Research Record 1710, TRB, National Research Council, Washington, D.C., pp 114-121.
13. Byungkyu Park (2001), "A Framework for Traffic Simulation Model Validation Procedure Using CORSIM as a Test-Bed", 2001 International Symposium on Advanced Highway Technology, pp 61-67.
14. 건설교통부 (2001), "도로용량편람", 대한교통학회.