

■ 論 文 ■

퍼지추론을 이용한 신호교차로에서의 포화차두시간 분석

An Analysis of Saturation Headway at Signalized Intersections by Using Fuzzy Inference

김 경 환

(경상대학교 도시공학과 교수/
환경및지역발전연구소 소장)

하 만 복

(경상대학교 대학원 도시공학과)

강 덕 호

(경상대학교 대학원 도시공학과)

목 차

- | | |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> I. 서론 II. 퍼지 근사추론 III. 포화차두시간 근사추론모형 구축 <ul style="list-style-type: none"> 1. 영향인자 결정 2. 입·출력변수 각 집합의 멤버쉽함수 결정 | <ul style="list-style-type: none"> 3. 퍼지제어규칙(Fuzzy Rule)의 구축 IV. 모형의 평가 V. 결론 <p>참고문헌</p> |
|---|--|

Key Words : 퍼지추론, 신호교차로, 포화차두시간, 포화교통류율, 용량분석

요 약

신호 교차로에서 포화차두시간에 영향을 미치는 영향인자는 도로조건, 교통조건, 환경조건으로 분류된다. 이러한 요인들의 복합적인 관계가 포화차두시간에 영향을 미친다. 현재 포화교통류율은 이상적인 조건일 때의 포화차두시간을 산출하고, 이를 이용해서 기본 포화교통류율을 구하고, 여기에 좌·우회전, 차로폭, 경사, 중차량 보정계수를 고려함으로써 특정 차로군의 포화교통류율을 산정하고 있다. 포화차두시간에 영향을 미치는 인자들 중에서 정량적으로 나타내기 어려운 인자 즉, 퍼지적 성격을 가진 인자들은 고려하지 않고 있다.

따라서 본 연구에서는 퍼지 근사추론 방법을 이용하여 정성적 인자의 영향을 고려한 모형을 구축하였다. 모형의 입력자료는 강우조건과 주변밝기의 정도, 중차량 구성비의 언어적 표현을 사용하였다. 이러한 변수들에 대하여 설문조사를 통해서 퍼지집합의 멤버쉽함수를 설정하였으며, 이에 기초하여 교차로에서 각 조건별로 포화차두시간을 관측하였다. 이러한 현장 관측치를 바탕으로 퍼지 제어규칙을 설정하고 모형을 구축하였다. 모형의 평가는 추론치와 실측치를 비교함으로써 이루어 졌으며, 결정계수인 R^2 와 평균절대오차(MAE)와 평균제곱오차(MSE)를 사용하여 분석한 결과 본 모형의 설명력이 높은 것으로 평가되었다. 본 연구의 과정에서 강우에 의한 교통용량 감소는 중차량 구성비가 클수록 주변밝기의 정도가 나쁠수록 더욱 큰 것으로 나타났으며 그 감소율은 5.3%에서 21.8%에 이르는 넓은 범위의 값을 보였고, 주변밝기 정도에 따른 교통용량 감소는 4.7~7.5% 수준으로 나타났다.

I. 서론

오늘날 우리사회의 차량증가는 많은 교통문제들을 발생시키고 있다. 2001년 12월을 기준으로 국내 운전면허증 소지자가 거의 2000만 명에 이르렀고, 차량의 보급은 거의 1300만대에 이르렀다. 그러나 교통시설 및 운영은 이를 따르지 못하고 있는 실정이다. 이로 인해 곳곳에서 차량 정체와 지체가 발생하고 있다. 그 중에서 교차로에서의 교통 처리에 따른 문제가 더욱 심각하다. 도심부 교통류에 있어서 차량 정체 및 지체는 교차로에 의해서 발생한다. 교차로에서의 정확한 용량분석은 교통운영에 매우 중요하며 용량분석의 가장 중요한 변수는 교차로 내에서의 포화차두시간이다.

신호 교차로에서 포화차두시간을 산정하는 기본이론은 신호가 녹색으로 바뀌어 교차로의 정지선에 대기하고 있던 연속된 차량이 출발할 때 차두시간이 점점 감소하여 5-6대의 차량이 통과한 후 일정한 차두시간을 유지하면서 교차로를 통과한다. 이를 포화차두시간(Saturation Head-way)이라고 한다. 이는 도로조건, 교통조건, 환경조건에 따라 차이를 보이고 있다. 그러나 도로용량편람은 회전교통, 차로폭, 접근로 경사, 중차량에 대하여 보정하여 특정차로군의 포화교통류율을 산정하고 있다. 환경조건 중 강우나 주변 밝기의 정도 등이 고려될 수 있으며 중차량 구성비 등은 관측에 의한 비율이 아닌 언어적 표현으로도 고려될 수 있다.

따라서 본 연구는 퍼지 근사추론을 이용해서 애매한 성질을 가진 강우 및 주변 밝기 정도의 환경적 요인을 고려하고 중차량 구성비의 언어적 표현을 사용하여 포화차두시간을 산출하는데 그 목적이 있다.

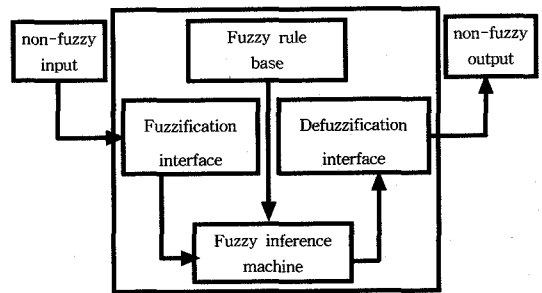
II. 퍼지 근사추론

퍼지이론은 1965년 Zadeh 교수에 의해 제안된 이래 1974년 Mamdani 교수가 증기기관의 제어에 적용하여 실용화의 가능성을 보여준 이후 그 응용범위가 급속히 확대되어 현재에는 Fuzzy Control, Fuzzy Memory Device, Pattern인식, Fuzzy Computer, 전문가 System 등 다방면에 적용되고 있다. 이 중에서 Fuzzy Control의 응용이 가장 활발하다. 그 이유는 Fuzzy Control의 기본이 되는 퍼지이론이 중

래의 Logical System보다 인간의 사고와 자연어의 개념에 더욱 가까우므로 제어대상의 수학적 기술이 어렵거나, 제어에 필요한 정보가 정성적이거나 부정확 또는 명료하지 않은 경우에 적합하기 때문이다.

퍼지 근사추론은 4단계 과정으로 이루어진다. 이는 퍼지화부(Fuzzification), 추론부(Fuzzy inference), 규칙부(Fuzzy rule base), 비퍼지화부(Defuzzification)로 구성된다.

퍼지근사추론 과정을 도식화하면 <그림 1>과 같다.



<그림 1> 퍼지 근사추론 과정

퍼지화부(Fuzzification)는 입력벡터를 퍼지추론을 행할 수 있는 퍼지집합으로 변환하는 과정으로 임의의 벡터 $X = [x_1, x_2, x_3, x_4, \dots, x_n]^T \in U$ 를 U 내부의 퍼지 집합 A 로 전환하는 과정을 수행한다. 규칙부는 퍼지 추론의 근거가 되는 규칙으로 구성되어 있다. 규칙은 if-then 형태로 이루어지는데 다음과 같이 나타낼 수 있다.

rule 1 : IF x is P_1 and y is B_1
and z is U_1 then a is Q_1

rule n : IF x is P_n and y is B_n
and z is U_n then a is Q_n

퍼지규칙은 조건부(If)와 결론부(Then)의 형식을 가지며 조건부의 조건을 만족하는 입력값이 들어올 때 결론부의 명제를 실현시킨다. 대체로 조건부와 결론부는 각각 입력공간과 출력공간의 일정한 영역을 나타낸다. 따라서 퍼지규칙은 입력공간의 특정영역을 출력공간의 특정영역으로 변화시키는 기능을 가지며, 이로 인해서 퍼지추론의 비선형 변환을 가능하게 한다. 이러한 규칙을 얻는데는 전문가의 지식으로부터

추출하는 방법과 측정된 데이터를 이용하는 방법이 있다.

추론부는 퍼지화된 입력자료와 퍼지규칙을 이용해서 출력공간의 퍼지집합으로 변환하는 과정이다. 이는 퍼지개념에 기초를 둔 인간의 의사결정을 모형화할 수 있다.

비퍼지화는 퍼지화의 역기능을 갖는 장치이다. 즉 퍼지집합으로 표시되는 퍼지값으로부터 보통의 수치값을 얻는 변환장치이다. 따라서 퍼지논리에 의한 추론결과는 언어적인 표현이므로 이는 비퍼지화 과정을 거쳐야 한다. 비퍼지화에 사용되는 방법으로는 합성된 출력부 퍼지집합의 최대값을 사용하는 방법과 각 최대값들의 평균값을 이용하는 방법, 무게 중심법 등이 있다.

III. 포화차두시간 근사추론모형 구축

1. 영향인자 결정

신호교차로에서 포화차두시간에 영향을 주는 인자는 도로 조건, 교통조건, 신호조건, 환경조건으로 구분할 수 있다.

본 연구에서는 퍼지 근사추론을 적용하기 위해 정량적 성격을 가진 인자보다 정성적 성격을 가진 인자를 우선해서 선택하였다. 따라서 환경조건에 의한 인자 중 강우 조건과 주변밝기의 정도 외 교통조건에 관한 인자 중 중차량 구성비를 선택하여 분석하였다. 중차량 구성비의 경우 현장 관측에 의한 구성비의 %값이 아닌 언어적 표현을 사용할 수 있도록 퍼지변수화하였다.

강우에 의해 받는 영향에 대한 정량적 정보는 매우 부족한 실정이다. 그러나 강우에 의한 영향이 존재한다는 것은 사실이다. 일반적으로 강우에 의한 교통용량의 감소는 10%에서 20%정도로 밝혀져 있다(Mc Shane, 1998). 그러나 이보다 더 높은 수치도 가능하다. 악천후 자료를 수집하는데 있어서 적어도 3가지의 실질적인 문제가 있다. 첫째는 강우의 임의성으로 인해 조사원들의 확보가 어려우며, 둘째는 악조건으로 인해 자료를 수집하기가 어렵고 정확도에도 영향을 미친다. 셋째는 넓은 범위에 걸쳐서 강우 파라메타를 정량화하기가 어렵다.

주·야 시간대 즉, 주변환경의 밝기의 정도에 대한 영향은 Berry와 Gandhi(1973)에 의해 Evanston, Illinois에 위치한 교차로를 대상으로 조사되었으며

〈표 1〉 주·야간별 포화교통류율

구분	이동류	차로폭 (m)	포화 교통류율 (pcphgpl)		비고
			주간	야간	
1	직진	3.5	1,771	-	Branston.D의 연구
2	직진	2.9	1,757	1,658	
3	직진	3.2	1,767	1,661	
4	직진	4.2	2,007	1,917	
5	직진	4.2	2,092	1,897	
맑은 날	직진	-	1,659	1,532	Berry.D와 Gandhi.P의 연구
강우시	직진	-	-	1,399	
강설시	직진	-	1,418	1,403	

Branston(1979)에 의해 런던에 위치한 교차로를 대상으로 조사되었다. 이들 연구의 결과인 〈표 1〉에서 보는 바와 같이 야간의 포화교통류율이 주간 포화교통류율보다 각각 8%와 6% 감소하는 것으로 밝혀졌다.

기본 포화교통류율은 소형차(승용차)를 기준으로 하지만 실제 교통류는 각종 차량이 혼입되어 있어 이를 중차량 보정계수로 보정함으로써, 기본 포화교통류율을 실 교통량과 같은 단위로 환산한다. 이 보정계수는 승용차 이외의 모든 중차량의 혼입을 고려한 평균 승용차환산계수 1.8을 사용하고 식(1)에 의해 산정되나 대형차의 구성비(P)를 알고 있어야 한다.

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + P(E_{HV} - 1)} \tag{1}$$

2. 입·출력변수 각 집합의 멤버쉽함수 결정

전절에서 결정된 3개의 영향인자와 출력변수인 포화차두시간에 대해 설문조사를 실시하여 퍼지집합의 멤버쉽함수를 설정하였다. 이에 앞서 각 입력변수 및 출력변수에 대한 퍼지집합 멤버를 정하는데 기초가 되는 자료를 제시하였다.

1) 강우조건

교차로에서의 차량 운행시 강우조건은 〈표 2〉의 기상청 예보업무편람(기상청, 1997)에 기초하여 강우 정도를 구분하였다. 강우량 150mm/hr를 기준으로 0-100%로 환산하여 〈그림 2〉와 같이 3개의 퍼지집합으로 설정하였다.

〈표 2〉 강우강도의 구분

강우	강우량(mm/hr)	비고
비 매우 조금	5	
비 다소 조금	5~20	
비 다소 많음	20~80	
비 많음	80 ~150	주의보 기준
비가 매우 많음	150 이상	경보 기준



〈그림 2〉 강우조건 설정기준(강우량 150mm/hr 기준)

2) 주변밝기의 정도

주·야 시간대에 따른 밝기의 정도는 조도(lux)를 이용하여 나타내었다. 어떤 물체에 광속이 투사되면 그 면이 밝게 비추어지며, 이와 같이 밝게 비추어지는 정도를 표시하는데 조도를 사용한다. 조도는 어떤 장소와 수광면이 받는 빛의 양을 말하며 이 조도는 입사광속이며 수광면의 광속밀도(lx/m²)로 나타낸다.

본 연구에서는 주간의 경우에는 천공광에 의해 밝기의 정도를 구분하고(〈표 3〉 참조), 야간의 경우에는 인공광 즉, 조명등에 의해 밝기의 정도를 구분하여(〈표 4〉 참조) 나타내었다.

주변밝기의 설정 기준으로는 맑은 날을 0%로, 낮

〈표 3〉 천공광에 의한 지상의 조도(김정수, 2001)

구분	조도(lx)
맑은날	50,000
보통맑은날	30,000
구름이긴 어두운 날	15,000
비오날	9,000

〈표 4〉 야간의 공간 밝기(lx)의 정도(윤혜림, 2002)

구분		조도(lx)
광장 공원 통로	지하 상점가	3,000-200
	아케이드 상점가	1700-125
	상점가	120-20
	교통관련 광장	75-10
	시가지 통로 및 주요장소	30-10
	주택지 통로	15-10

의 비오는 날과 야간의 상점가를 50%로 환산하여 설정하였다.

3) 중차량 구성비

본 연구에서의 중차량 구성비는 포화차두시간이 발생하는 대기행렬상의 첫 번째 차량 위치에서 마지막 차량까지의 승합차 및 화물차의 구성비를 말한다. 신호교차로에서 중차량의 최대 혼입율은 50%까지 발생할 수 있다고 가정하였으므로(건교부, 1992) 이에 기초하여 설정기준을 0-50%로 하여 3개의 퍼지집합을 설정하였다.

4) 포화차두시간

본 연구에 적용되는 포화차두시간의 집합 설정은 문헌조사를 통해서 포화차두시간의 최소 값과 최대값을 기준으로 하여 5개의 퍼지집합을 결정하였다.

이상에서 결정된 영향인자와 포화차두시간의 퍼지변수들을 정리하면 〈표 5〉와 같다.

여기에서 입력변수인 강우조건의 퍼지변수에서 '강우량이 적다'는 '맑음' 상태와 '흐림' 상태를 포함하는 것으로 정의하였다.

입·출력변수의 각 집합에 대한 멤버쉽함수를 설정하기 위하여 설문조사를 실시하였으며 설문조사는 전문가 50명을 대상으로 실시하였다. 설문조사 결과에 의한 입·출력 변수 각 집합의 멤버는 〈표 6〉과 같다.

〈표 5〉 퍼지 입·출력변수의 분류

영향인자	입·출력 변수	퍼지 집합		
		Small	Medium	Large
영향인자	강우 조건	강우량이 적다. 강우량이 중간이다. 강우량이 많다.	Small Medium Large	
	주변 밝기의 정도	주변밝기의 정도가 좋다. 주변밝기의 정도가 보통이다. 주변밝기의 정도가 나쁘다.	Good Medium Bad	
	중차량 구성비	중차량 구성비가 작다. 중차량 구성비가 보통이다. 중차량 구성비가 크다.	Small Medium Large	
출력변수	포화차두 시간	포화차두시간이 매우 짧다. 포화차두시간이 짧다. 포화차두시간이 보통이다. 포화차두시간이 길다. 포화차두시간이 매우 길다.	Very Short Short Medium Long Very Long	

〈표 6〉 입·출력변수 각 집합의 멤버

입력변수		출력변수	
강우조건(강우량, mm/hr) ¹⁾		포화차두시간	
적다(Small)	0%-13% (0-19)	매우 짧다. (Very Short)	1.6s -1.8s
중간이다(Medium)	3%-59% (5-85)		
많다(Large)	33%-100% (46-150)		
주변 밝기의 정도(lx) ²⁾		짧다. (Short)	1.7s -2.1s
좋다(Good)	0%-40% (50000-17200)		
보통이다(Medium)	30%-70% (25400-71)	보통이다. (Medium)	1.9s -2.4s
나쁘다(Bad)	60%-100% (96-0)		
중차량비		길다. (Long)	2.3s -2.8s
적다(Small)	0%-10%		
보통이다(Medium)	7.5%-25%	매우 길다. (Very Long)	2.6s -3.0s
크다(Large)	20%-50%		

주 : 1) 강우량 150mm/hr를 100%로 산정
2) 조도 50,000lx를 0%로 산정

퍼지집합은 전체의 집합 형태에 따라 이산형과 연속형의 멤버쉽함수를 가질 수 있다. 연속형의 퍼지변수는 함수로 나타내어지며, Triangular 형태의 멤버쉽함수와 Trapezoidal 형태의 멤버쉽함수의 형태가 많이 사용된다.

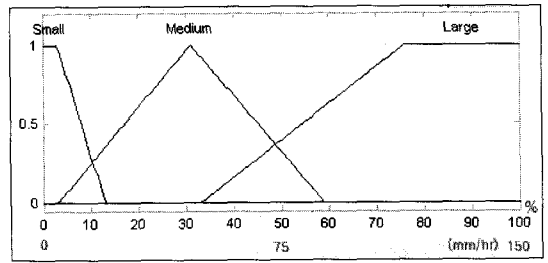
Triangular 형태의 멤버쉽함수는 식(2)와 같이 정의하며,

$$f(x : a, b, c) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b}, & b \leq x \leq c \\ 0, & c \leq x \end{cases} \quad (2)$$

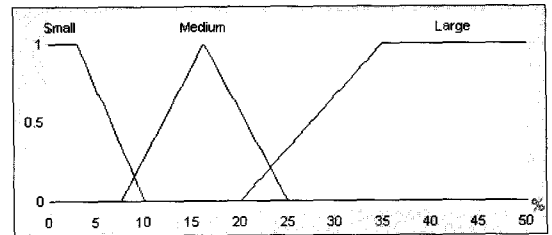
Trapezoidal 형태의 멤버쉽함수는 식(3)과 같이 정의한다.

$$f(x : a, b, c, d) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ 1, & b \leq x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c}, & c \leq x \leq d \\ 0, & d \leq x \end{cases} \quad (3)$$

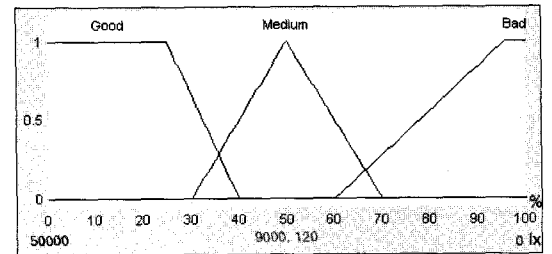
본 연구에서는 Triangular 형태의 멤버쉽함수가 사용되었으며 본 연구에서 최종적으로 설정된 입출력변수 각 집합의 멤버쉽함수는 〈그림 3〉과 같다.



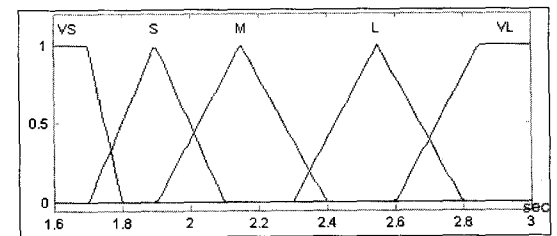
(a) 강우조건



(b) 중차량 구성비



(c) 주변 밝기의 정도



(d) 포화차두시간

〈그림 3〉 입출력변수 각 집합의 멤버쉽함수

3. 퍼지제어규칙(Fuzzy Rule)의 구축

퍼지제어규칙 결정방법으로 전문가의 경험 및 제어 지식을 도입하는 방법을 선택하였다. 이는 많은 경우에 있어서 복잡한 시스템의 조작지식을 일반 제어기로는 구현할 수 없는 경우에 매우 효과적인 방법이다. 전문가의 제어에 관한 전문지식과 경험을 정성적인 언어로 표현하고 논리화함으로써 제어규칙을 얻게 된다. 본 연구에서의 퍼지제어규칙은 앞에서 결정된

〈표 7〉 환경조건

구분	환경조건	
조건 1	강우량이 적다	주변밝기의 정도가 좋다.
조건 2		주변밝기의 정도가 중간이다.
조건 3		주변밝기의 정도가 나쁘다.
조건 4	강우량이 중간이다	주변밝기의 정도가 중간이다.
조건 5		주변밝기의 정도가 나쁘다.
조건 6	강우량이 많다	주변밝기의 정도가 중간이다.
조건 7		주변밝기의 정도가 나쁘다.

멤버쉽함수와 관련된 각 조건별로 현장조사 및 자료 수집과 분석을 통해서 설정되었다. 자료수집을 위한 환경조건은 선정된 영향인자의 퍼지집합에 의해 〈표 7〉과 같이 결정되었다.

환경조건 입력 퍼지변수들의 조건 중 '강우량이 중간이다-주변밝기의 정도가 좋다', '강우량이 많다-주변밝기의 정도가 좋다'는 성립되지 않는 것으로 간주하여 이들 조건은 조사조건에서 제외시켰다. 따라서 강우조건과 주변 밝기의 정도에 따른 조건으로 7가지의 조건을 설정하고, 중차량 구성비에 따른 조건으로 3가지의 퍼지집합을 결합함으로써 총 21가지 조건으로 나누어서 자료를 수집하였다.

1) 자료수집 환경

본 연구는 자료조사 지역을 진주시를 대상으로 하였으며, 진주시내에 설치되어 있는 신호교차로를 대상으로 대기행렬이 충분하고, 시거가 양호한 평지에서 차로폭 3m 이상이고 회전교통에 의해 방해받지 않는 직진교통을 관측할 수 있는 교차로를 연구대상으로 선정하였으며 이들은 〈표 8〉과 같다.

〈표 8〉 연구대상 교차로

교차로명		접근로	차로 수	차로폭 (m)	비고
지점 1	한국방송통신대학앞	Southbound	3	3	직진 1차로
지점 2	한일 병원앞	Northbound	4	3.5	직진 2차로
지점 3	도동초등학교앞	Southbound	4	3	직진 2차로

2) 자료수집 결과 및 분석

자료 수집의 환경은 앞에서 언급한 바와 같이 퍼지

변수들의 조건에 맞게 설정하였으며 총 21가지의 조건을 설정하여 조사하였다. 이는 퍼지 제어규칙의 수와 동일하다.

자료수집은 2003년 2월에서 6월까지 4개월간 각 조건별로 30개 이상의 자료가 수집되었다(2003년은 강우가 많아 강우조건에 따른 자료를 수집하기가 용이하였음). 그 결과는 〈표 9〉와 같으며 CASE 8(강우조건: Small, 주변밝기: Bad, 중차량비: Medium)의 포화차두시간은 다소 과소 추정된 것으로 간주된다.

전반적으로 볼 때 강우에 의한 교통용량 감소는 중차량 구성비가 클수록 주변밝기의 정도가 나쁠수록 더욱 큰 것으로 나타났으며 그 감소율은 5.3%에서 21.8%에 이르는 넓은 범위의 값을 보였다. 주변 밝기 정도에 따른 교통량 감소는 4.7~7.5% 수준으로 나타났다.

위 수집된 결과를 강우조건을 기준으로 비교 분석하면 다음과 같다.

〈표 9〉 각 조건별 자료수집 결과

구분	입력변수			평균 포화차두시간 (sec)	포화교통용량 (vphgpl)
	강우 조건	주변밝기의 정도	중차량비		
1	Small	Good	Small	1.72	2,093
2			Medium	1.90	1,895
3			Large	2.02	1,782
4		Medium	Small	1.78	2,022
5			Medium	1.96	1,837
6			Large	2.07	1,739
7		Bad	Small	1.86	1,935
8			Medium	1.91	1,885
9			Large	2.12	1,698
10	Medium	Medium	Small	1.80	2,000
11			Medium	2.07	1,739
12			Large	2.17	1,658
13		Bad	Small	1.90	1,894
14			Medium	1.98	1,818
15			Large	2.22	1,621
16	Large	Medium	Small	1.91	1,884
17			Medium	2.07	1,739
18			Large	2.31	1,558
19		Bad	Small	2.29	1,572
20			Medium	2.44	1,475
21			Large	2.65	1,358

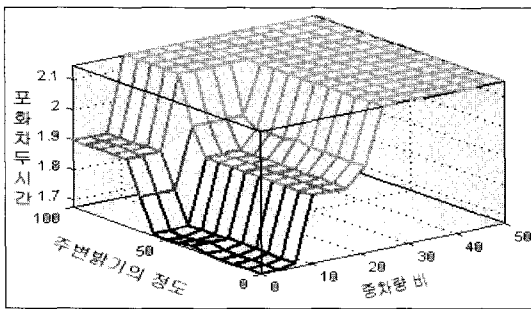
(1) 강우조건이 Small일 때

먼저 '강우량이 적다'를 기준으로 주변밝기의 정도 및 중차량 구성비와 포화차두시간의 관계를 분석하였다.

'강우량이 적다'라는 것은 맑음과 흐림을 포함하는 정도로서 강우량 150mm/hr를 기준으로 0-13% (0mm/hr-19mm/hr)를 일컫는다. 이를 기준으로 두 입력변수와 출력변수와의 관계를 나타내면 다음 <표 10>과 같다.

<표 10> '강우량이 적다'일 경우 포화차두시간

주변밝기의 정도 \ 중차량비	좋다	보통이다	나쁘다
작다	Very Short	Very Short	Short
중간이다	Short	Short	Medium
크다	Medium	Medium	Medium



(2) 강우조건이 Medium일 때

퍼지집합인 '강우량이 중간이다'는 것은 강우량 150mm/hr를 기준으로 3-59% (5mm/hr-85mm/hr) 일때를 일컫는다. 이러한 조건일 때 주변밝기의 정도 및 중차량 구성비와 포화차두시간의 관계를 살펴보면 <표 11>과 같다.

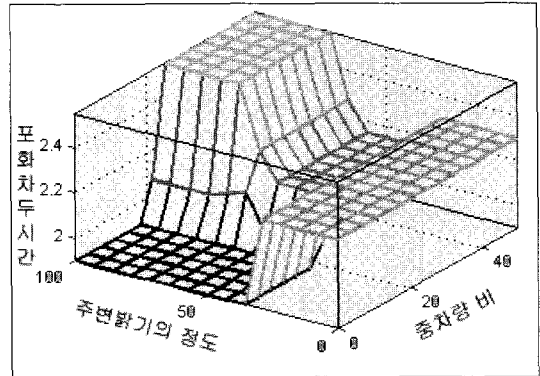
<표 11>에서 강우조건이 Medium일 때 주변밝기의 퍼지집합인 '주변밝기가 좋다'는 발생하지 않으므로 None으로 설정하여 분석하였다.

(3) 강우조건이 Large일 때

퍼지집합인 '강우량이 많다'는 것은 강우량 150mm/hr 기준으로 33-100% (46mm/hr-150mm/hr)일 때를 일컫는다. 이러한 조건일 때 주변밝기의 정도 및 중차량 구성비와 포화차두시간의 관계를 살펴보면 <표 12>와 같다.

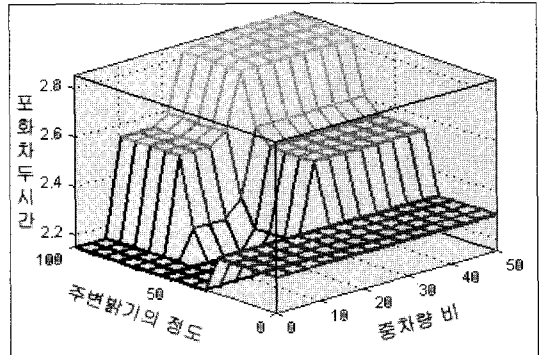
<표 11> '강우량이 중간이다'일 경우 포화차두시간

주변밝기의 정도 \ 중차량비	좋다	보통이다	나쁘다
작다	None	Short	Short
중간이다	None	Short	Medium
크다	None	Medium	Medium



<표 12> '강우량이 많다'일 경우 포화차두시간

주변밝기의 정도 \ 중차량비	좋다	보통이다	나쁘다
작다	None	Medium	Medium
중간이다	None	Medium	Medium
크다	None	Long	Very Long



<표 12>에서 강우량이 Large일 때 주변밝기의 퍼지집합인 '주변밝기가 좋다'는 발생하지 않으므로 None으로 설정하여 분석하였다.

3) 퍼지제어규칙의 정립

퍼지제어규칙은 입력 퍼지변수와 출력 퍼지변수와 의 관계정립을 통해 이루어진다. 이는 퍼지규칙의 기

본개념인 if-then 형태로 구성하고 조건부인 if에는 3개의 입력변수를 넣고, 결론부인 then에는 출력변수인 포화차두시간을 넣는다.

결정된 21개의 퍼지제어규칙의 예는 다음과 같으며 이들을 표로 나타내면 <표 13>과 같다.

R1 : IF 강우조건 is Small and 주변밝기의 정도 is Good and 중차량 구성비 is Small then 포화차두시간 is Very Small

R21 : IF 강우조건 is Large and 주변밝기의 정도 is Bad and 중차량 구성비 is Large then 포화차두시간 is Very Long

IV. 모형의 평가

본 연구에서 설정된 퍼지 근사추론 모형의 적합성

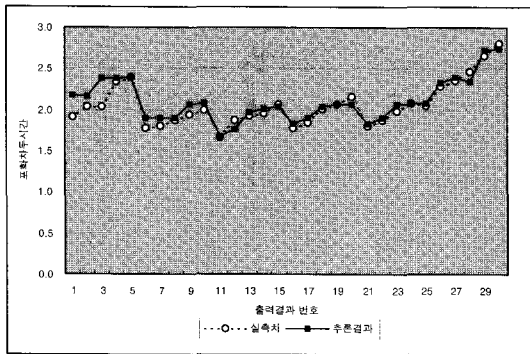
평가는 검증자료의 분석을 통해 수행되었다. 검증자료는 강우조건과 주변밝기 정도의 분포를 고려하여 수집되었으며 6개의 CASE로 구분되었다. 각 CASE의 주기별로 중차량 구성비가 관측되었으며 주기별로 관측된 중차량 구성비는 그 분포(0%, 10%대, 20%대, 30%대, 50%대)를 고려하면서 빈도수가 높은 구성비를 중심으로 5개 이상의 자료를 하나의 그룹으로 그룹화하였다. 각 그룹에 속하는 관측값들의 중차량 구성비 평균값이 이를 구분하는 값으로 채택되고 이들의 관측 포화시간의 평균값을 포화차두시간 실측치로 하였다.

본 연구에서의 퍼지 추론모형에 의해 도출된 출력공간 퍼지집합의 비퍼지화를 위한 기법으로 무게 중심법을 사용하였다. 이를 식으로 표현하면 식(4)와 같다.

$$u_0 = \frac{\sum_{j=1}^n \mu(u_j) \cdot u_j}{\sum_{j=1}^n \mu(u_j)} \quad (4)$$

<표 13> 퍼지제어규칙(Fuzzy Rule)

규칙	입력변수			출력변수
	강우조건	주변밝기의 정도	중차량 구성비	포화 차두시간
1	Small	Good	Small	Very Short
2	Small	Good	Medium	Short
3	Small	Good	Large	Medium
4	Small	Medium	Small	Very Short
5	Small	Medium	Medium	Short
6	Small	Medium	Large	Medium
7	Small	Bad	Small	Short
8	Small	Bad	Medium	Medium
9	Small	Bad	Large	Medium
10	Medium	Medium	Small	Short
11	Medium	Medium	Medium	Short
12	Medium	Medium	Large	Medium
13	Medium	Bad	Small	Short
14	Medium	Bad	Medium	Medium
15	Medium	Bad	Large	Medium
16	Large	Medium	Small	Medium
17	Large	Medium	Medium	Medium
18	Large	Medium	Large	Long
19	Large	Bad	Small	Medium
20	Large	Bad	Medium	Long
21	Large	Bad	Large	Very Long



〈그림 4〉 실측치와 추론결과의 비교

이러한 방법에 의해서 각 CASE별 입력변수의 값들을 이용한 퍼지 근사추론 모형의 실측치와 추론결과의 비교는 〈그림 4〉 및 〈표 14〉와 같다. 〈그림 4〉에서 보는 바와 같이 CASE 1를 제외한 나머지 CASE들의 경우 퍼지 근사추론 모형을 통해서 도출된 결과값이 관측치에 매우 근접함을 볼 수 있다.

모형의 예측력 분석을 위해 결정계수인 R^2 와 평균절대오차(MAE) 그리고 평균제곱오차(MSE)의 통계적 분석을 통하여 모형의 적합도와 모형의 오차 및 분산정도를 측정하였으며 그 결과는 〈표 15〉과 같다. 본 모형의 설명력이 높은 것으로 평가된다.

〈표 14〉 포화차두시간의 실측치와 추론결과의 비교

구분		중차량 구성비					
CASE	조건		0%	16%	25%	33%	50%
		실측치	추론결과	실측치	추론결과	실측치	추론결과
CASE 1	○ 주변밝기 : 65%(84lx) ○ 강우조건 : 53%(76mm/hr)	실측치	1.91s	2.04s	2.04s	2.34s	2.39s
		추론결과	2.18s	2.16s	2.38s	2.38s	2.39s
CASE 2	○ 주변밝기 : 80%(48lx) ○ 강우조건 : 0%(0mm/hr)	실측치	1.78s	1.80s	1.87s	1.94s	2.00s
		추론결과	1.90s	1.90s	1.90s	2.06s	2.08s
CASE 3	○ 주변밝기 : 10%(41000lx) ○ 강우조건 : 0%(0mm/hr)	실측치	1.67s	1.87s	1.93s	1.95s	2.06s
		추론결과	1.68s	1.76s	1.97s	2.01s	2.03s
CASE 4	○ 주변밝기 : 48%(10000lx) ○ 강우조건 : 5%(7mm/hr)	실측치	1.78s	1.84s	2.01s	2.06s	2.16s
		추론결과	1.83s	1.9s	2.04s	2.07s	2.07s
CASE 5	○ 주변 밝기 : 40%(17000lx) ○ 강우조건 : 0%(0mm/hr)	실측치	1.8s	1.87s	1.98s	2.08s	2.05s
		추론결과	1.83s	1.9s	2.06s	2.08s	2.08s
CASE 6	○ 주변 밝기 : 95%(12lx) ○ 강우조건 : 72%(108mm/hr)	실측치	2.29s	2.36s	2.47s	2.65s	2.81s
		추론결과	2.32s	2.39s	2.34s	2.73s	2.74s

〈표 15〉 모형의 예측력 평가결과

구분	검정결과
R^2	0.885016
평균제곱오차(MSE)	0.012424
평균절대오차(MAE)	0.080345

V. 결론

현재의 포화교통류율 산정은 이상적인 조건일 때의 포화차두시간으로부터 기본 포화교통류율을 구하고, 여기에 좌·우회전, 차로폭, 경사, 중차량 보정계수를 고려함으로써 특정 차로군의 교통류율을 산정하고 있다. 포화차두시간에 영향을 미치는 인자들 중에서 정량적으로 나타내기 어려운 인자 즉, 퍼지적 성격을 가진 인자들은 고려되지 않고 있다.

따라서 본 연구에서는 퍼지 근사추론 방법을 이용하여 정성적 인자의 영향을 고려할 수 있는 모형을 구축하였다. 모형의 입력자료는 강우조건과 주변밝기의 정도, 중차량 구성비의 언어적 표현을 사용하였다. 이러한 변수들에 대하여 설문조사를 통해서 퍼지집합의 멤버를 설정하였으며, 이렇게 설정된 멤버를 기초로 교차로에서 각 조건별로 포화차두시간을 관측하였

다. 이러한 현장 관측치를 바탕으로 퍼지제어규칙을 설정하고 모형을 구축하였다.

본 연구에서 제시된 퍼지 근사추론 모형의 예측력은 검증자료를 이용한 실측치와 추론치를 비교함으로써 평가되었다. 결정계수 R^2 와 오차 및 분산정도를 나타내는 척도인 평균절대오차(MAE)와 평균제곱오차(MSE)가 각각 0.885016, 0.080345, 0.012424로 나타나 본 모형의 설명력이 높은 것으로 평가된다. 본 연구에서의 연구대상교차로는 이상적인 기하조건을 갖춘 교차로로 이 연구에서 개발된 모형을 이용하여 추론된 포화교통류율에 기하조건 보정계수를 고려함으로써 현실적인 포화교통류율을 산정할 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구 과정에서 강우에 의한 교통용량 감소는 중차량 구성비가 클수록 주변밝기의 정도가 나쁠수록 더욱 큰 것으로 나타났으며 그 감소율은 5.3%에서 21.8%에 이르는 넓은 범위의 값을 보였다. 주변밝기 정도에 따른 교통량 감소는 4.7~7.5% 수준으로 나타났다.

참고문헌

1. 건교부(1992), "도로용량편람 연구조사 제 3단계 중간 보고서", 한국 건설 기술연구원, 교통개발 연구원, pp.6.1~6.81.
2. 건교부(2001), "도로용량편람", 사단법인 대한교통학회.
3. 기상청(1997), 예보업무편람.
4. 김용석(1994), "포화구간설정 및 포화 교통류율 변화에 관한 연구", 아주대학교 석사학위논문.
5. 김정수·윤영선·박중호·고기영 공저(2001), "건축 조명 계획론", 광문각.
6. 도철웅(2001), "교통공학 원론(上)", 청문각.
7. 박성현(1998), "현대 실례 계획법", 민영사.
8. 오영태·심대영(1992), "도시부 신호 교차로의 기본용량 및 기하구조 보정계수", 대한교통학회지 제10권 제2호, 대한교통학회, pp.5~24.
9. 유지성·오창수 공저(1999), "현대 통계학", 박영사.
10. 윤혜림 譯(2002), "그림으로 해설한 조명 실무 디자인", 성안당.
11. 이광용·오길록 공저(1997), "퍼지이론 및 응용 I, II", 홍릉과학 출판사.
12. 이승화(1989), "교차로 용량분석을 위한 교통류 특성 기초조사", 대한교통학회지 제7권 제2호 pp.89~111.
13. Al-Ghamdi A. S.(1978), "Entering Headway for through Movement at Urban Signalized Intersections", TRR, pp.42~47.
14. Berry D. and P. Gandhi(1973), "Headway Approach to Intersection Capacity", Highway Res, 453, pp.65~61.
15. Branston D.(1979), "Some Factors Affection the Capacity of Signalized Intersections", Traffic Engineering and Control Vol. 20, pp.390~396
16. Hines J. W.(1997), "Matlab Supplement to Fuzzy and Neural Approaches in Engineering", John Wiley & Sons, Inc.
17. Lee J. and R. L. Chen(1986), "Entering Headway at Signalized Intersections in a Small Metropolitan Area" TRR 1091, pp. 117~126.
18. McSHane W. R., R. P. Roess and E. S. Prassas(1998), "Traffic Engineering", Prentice Hall, p.579.
19. Teodorovic D. and K. Vukadinovic(1998), "Traffic Control and Transport Planning: A Fuzzy Sets and Neural Networks Approach", Kluwer Academy Publishers
20. Transportation Research Board(2000), "Highway Capacity Manual".

✉ 주 작 성 자 : 김경환

✉ 논문투고일 : 2003. 11. 20

논문심사일 : 2003. 12. 24 (1차)

2004. 1. 8 (2차)

심사판정일 : 2004. 1. 8

✉ 반론접수기한 : 2004. 6. 30