

# 에폭시 아스팔트 혼합물의 에폭시 화학 조성에 따른 양생수준 예측

조신행\* · 김낙석\*\*

Jo, Shin Haeng\*, Kim, Nakseok\*\*

## A Study on Curing Level Prediction Model for Varying Chemical Composition of Epoxy Asphalt Mixture

### ABSTRACT

The curing of epoxy asphalt mixture depends on the chemical reaction of epoxy resin and the curing agent. The curing level of epoxy asphalt mixture needs to be predicted in order to decide traffic opening time and to establish further construction plans. In this study, chemical analysis of the prediction model was executed to expand the applicability of the previous prediction model. Consequently, the curing level prediction model of epoxy asphalt concrete mixture was proposed using the concentration ratio and the acid value ratio. According to the results of outdoor curing experiments, the final prediction model showed that the correlation coefficient is greater than 0.971. Precise prediction results of different composition epoxy asphalt were obtained by reflecting the chemical composition ratios in the curing level prediction model.

**Key words** : Epoxy asphalt, Chemical kinetics, Curing level, Traffic opening time, Prediction model

### 초록

에폭시 아스팔트 혼합물은 에폭시 수지와 경화제의 화학반응이 진행되어 양생시간을 거쳐 성능 발현이 이루어진다. 에폭시 아스팔트의 양생수준은 후속공정의 진행과 교통개방 및 공정계획의 수립에 절대적인 영향을 미치므로 정확한 예측모델의 개발이 중요하다. 본 연구에서는 기존 예측식에 사용되는 인자들의 화학적 의미 분석을 통하여 에폭시 수지의 농도와 경화특성을 반영하여 기존식보다 확대된 적용 범위를 갖는 양생수준 예측식을 제시하였다. 실외양생 실험과 비교 결과 상관계수가 0.971 이상으로 나타나 조성이 다른 에폭시 아스팔트 혼합물의 온도와 시간에 따른 양생수준을 예측할 수 있는 것으로 나타났다.

**검색어** : 에폭시 아스팔트, 화학반응속도론, 양생수준, 교통개방, 예측식

## 1. 서론

사회의 발전은 차량의 대형화와 교통량의 증가를 동반하여 도로는 더 많은 하중에 노출되게 되었다. 이로 인해 도로 포장에 파손 없이 유지되기 위해 보다 높은 성능의 재료를 필요로 하게 되었으며, 아스팔트 포장에도 고분자 개질제를 첨가하여 아스팔트 혼합물을 보강하는 방법이 적용되어 왔다. 그러나 고분자 물질의 단순 첨가를 통한 성능 개선은 한계에 직면하게 되었으며 이를 극복하고자 화학적 반응을 이용한 반응형 아스팔트 바인더에 대한 관심이 높아지고 있다.(Lee, 2005) 에폭시 아스팔트 포장은 에폭시 수지와 경화제를 아스팔트 바인더와 혼합하여 사용하는 대표적인 반응형 아스팔트 포장으로 1967년 미국 캘리포니아주의 San Mateo 교량에 적용된 이후 주로 장경간 교면포장 등 높은 수준의 재료 물성을 필요로 하는 곳에 사용되고 있다([www.chemcosystems.com](http://www.chemcosystems.com)).

\* 경기대학교 토목공학과 박사후연구원, 공학박사 (kyonggi University · roadcreator@gmail.com)

\*\* 정희원 · 교신저자 · 경기대학교 토목공학과 교수, 공학박사 (Corresponding Author · Kyonggi University · nskim1@kgu.ac.kr)

Received December 17, 2014/ revised December 29, 2014/ accepted February 17, 2015

에폭시 아스팔트 포장은 화학적 경화반응을 통해 혼합물의 성능을 매우 높은 수준으로 끌어올릴 수 있으나, 화학반응이 이루어지기 위한 양생기간이 필요하다. 온도 하강 직후 교통개방이 가능한 일반 아스팔트 포장과 달리 목표로 하는 설계 강도에 도달할 때까지 화학반응을 위한 기간이 필요하며, 일정 양생수준에 도달한 후 교통개방을 실시하여야 포장의 내구성을 확보할 수 있다. 에폭시 아스팔트 혼합물의 양생수준은 에폭시 바인더내의 에폭시기의 반응 정도를 의미하며, 이를 확인하기 위해 에폭시 아스팔트 바인더내의 화학성분을 분석하는 방법은 Yu et al. (2009) 등의 연구가 있었으나 비용과 시간이 많이 소요 될 뿐 아니라 현장에 적용하기 어려운 점이 있다. Baek et al. (2012), Jo et al. (2013)은 에폭시 아스팔트 혼합물의 온도별 양생경향을 분석하여 화학반응속도론과 비선형 커브피팅(곡선맞춤)을 사용하여 에폭시 아스팔트 혼합물의 양생수준을 예측하고 이를 교통개방 시점의 결정에 활용할 수 있는 연구를 수행하였다.

에폭시 아스팔트 포장은 에폭시 수지의 함량이 높으면 성능이 향상되지만 경제성 확보가 어려운 단점이 있다. 고가의 에폭시 아스팔트 포장은 장경간 교량의 교면포장 등 제한적 용도에만 사용될 수밖에 없으므로 용도에 맞게 에폭시 수지의 사용량을 조절하여 경제성을 확보하고자 하는 방안이 사용된다. 에폭시 수지의 함량이 변하면 포장의 성능 변화 뿐 아니라 양생 특성이 변화하게 되며 이를 현장에 적용하기 위해서는 양생기간의 예측이 필요하다. 본 연구에서는 에폭시 아스팔트 바인더의 화학적 조성이 변화함에 따라 에폭시 아스팔트 혼합물의 양생경향 특성을 분석하고 이를 바탕으로 화학적 이론을 접목하여 화학적 조성 변화에 따른 에폭시 아스팔트 혼합물의 양생수준 예측식을 제시하고자 한다. 제시된 예측식을 통해 에폭시 수지 함량을 변화시켜 다양한 용도로 에폭시 아스팔트를 활용하는데 도움을 주고자 한다.

## 2. 에폭시 아스팔트 바인더의 특성

에폭시 아스팔트 혼합물의 바인더는 2액 반응형으로 주재인 에폭시 수지(A제)와 아스팔트 바인더, 경화제가 혼합되어 있는 부재료(B제)로 구성되어 있다. 이 바인더는 화학적 반응을 통해 만들어지는 열경화성 바인더로서 높은 탄성과 점성을 가지며 내화학성과 내구성이 매우 뛰어난 재료이다. 에폭시 아스팔트 혼합물은 바인더에 의한 영향으로 성능의 발현을 가져오므로 에폭시 아스팔트 혼합물의 특성을 이해하기 위해선 바인더에 대한 이해가 필요하다.

### 2.1 바인더의 구성성분

#### 2.1.1 주재

에폭시 수지는 화학적인 단위로서 에폭시 결합을 갖고 있는

수지를 총칭 한다. 에폭시 수지는 경화제와 반응하여 경화반응이 일어나야 사용 가능한 물질로 매우 다양한 응용분야에 사용되는 고분자 화학물질 이다. 하지만 경화제와의 반응을 일으키기 위해 단순 혼합만으로는 현장 적용이 어려워 시공성과 원가 등을 개선하기 위해서 에폭시 수지의 배합내의 다른 물질을 첨가하여 사용하기도 한다.

#### 2.1.2 경화제

경화제는 에폭시 수지와 화학적 반응을 일으켜 3차원의 열경화성 물질을 구성하게 된다. 경화물의 성질, 가사시간, 점도, 경화온도, 경화시간, 발열 등 경화제의 종류에 따라 차이를 보이게 된다. 특히 경화시간의 경우 에폭시 수지의 경화 특성으로 포설 이후에도 에폭시 반응이 진행되어 에폭시 아스팔트 혼합물의 최종적인 성능 발현은 시공 후에도 충분한 양생시간을 필요로 하는 특성이 있다.

본 연구에 사용된 경화제의 종류는 산무수물(acid anhydride)로 경화제 중 비교적 높은 경화온도(100°C 이상)를 필요로 한다. 산무수물계 경화제는 가사시간이 길고 점도가 낮으며 자극도 적다. 특히 고온 안정성과 열변형 온도가 높아 고온에서의 물리적 성능이 우수하기 때문에 에폭시 아스팔트 바인더에 사용하기에 적합하다 (Lee, 2009).

## 3. 에폭시 함량 수준에 따른 양생수준 예측식

기존 연구(Jo et al., 2013)에 의해 제시된 에폭시 아스팔트 혼합물의 양생수준 예측식은 단일 조성의 에폭시 아스팔트 혼합물에 적용된다. 이는 특정 에폭시 아스팔트 혼합물의 온도에 따른 양생속도를 실측하고 이를 바탕으로 비선형 커브피팅을 사용하여 예측식을 수립하는 방법이기 때문이다. 에폭시 아스팔트 혼합물의 양생속도는 에폭시 수지의 종류, 경화제의 종류, 에폭시 수지의 양 그리고 기타 첨가제 등의 다양한 요인들의 복합적 작용에 의해 결정되며, 물질 특성에 따라 속도상수를 비롯한 반응 메커니즘이 달라진다(Huang, 2011). 용도에 따라 에폭시 아스팔트 바인더는 수지의 함량과 경화제의 특성을 조절하여 사용됨으로 이를 반영할 수 있는 양생수준 예측식을 제시하기 위해 에폭시 아스팔트 바인더의 기초 특성을 Table 1과 같이 정리하였다.

Table 1은 에폭시 수지인 A제, 경화제와 아스팔트 바인더가 혼합되어 있는 B제의 혼합비율을 조정 한 세 가지 종류의 에폭시 아스팔트 바인더의 배합비율을 정리한 것이다. 배합비율은 사용 용도에 따라 목표 성능을 발현하기 위해 실험적으로 제조사에서 제시한 값이다. Table 1의 에폭시 당량은 에폭시 수지의 평균분자량을 1분자당 에폭시기의 수로 나눈 값으로 에폭시 수지의 종류에 따른 특성을 나타내는 값이다. 에폭시 함량은 전체 에폭시 아스팔트

바인더에서 에폭시 수지가 차지하는 비율을 의미한다. 에폭시 수지의 함량이 달라짐에 따라 경화제의 양생속도를 조절할 필요가 있으며, 이를 위해 경화제의 산가(Acidity)를 조정하였다. 일반적으로 에폭시 함량이 높을수록 산가가 높은 경화제를 사용하여 반응을 원활히 하게 된다(Lee, 2009).

에폭시 아스팔트 혼합물 생산 후 운반시간을 모사하기 위해 120°C에서 1시간 보관 후 다짐을 실시하고 별도의 양생이 없는 상태의 마찰안정도를 초기 마찰안정도라고 하며, 이는 현장 포설 직후의 마찰안정도를 모사하는 것이다. 최종 마찰안정도는 에폭시 반응이 완료된 상태로 실험실에서는 60°C 오븐에서 4일 동안 양생한 후 측정된 마찰안정도이다. 에폭시 아스팔트 바인더의 종류에 따른 초기 마찰안정도와 최종 마찰안정도는 Table 2와 같다. 에폭시 아스팔트 바인더에 아스팔트 바인더 함량이 높을수록 초기 마찰안정도는 증가한다. 에폭시 수지는 반응 전에는 점도가 낮기 때문에 에폭시 수지가 많은 바인더의 경우 초기 마찰안정도는 작으나 반응 후에는 65,000 N 이상의 마찰안정도를 나타내게 된다.

**3.1 양생속도에 영향을 미치는 인자**

에폭시 아스팔트 바인더는 열경화성 수지로서 경화반응 후에

**Table 1. Mixing Ratio of Epoxy Spahlt Binder**

Item	Weigh Ratio (A:B)	Epoxy Equivalent (mol/eq)	Acidity (mg KOH/g)	Epoxy Content (%)
Type-2910	100 : 290	185	180	37
Type-5210	100 : 520	185	160	27
Type-8810	100 : 880	185	120	20

**Table 2. Marshall Stability for the Kind of Epoxy Asphalt Concrete**

Item	Initial Stability (N)	Final Stability (N)
Type-2910	6,500	65,000
Type-5210	10,000	46,000
Type-8810	12,000	21,500

**Table 3. Curing Level due to the Power of Prediction Model (Type-2910, 60°C curing)**

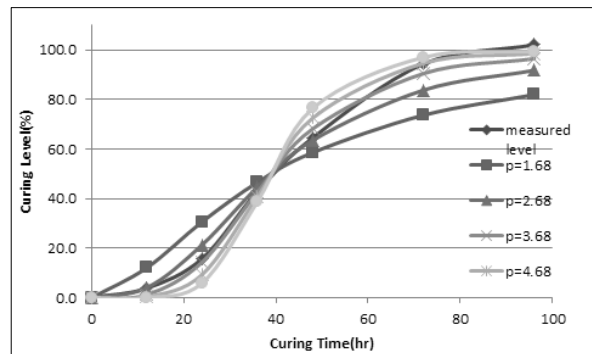
Time (hr)	Measured Curing Level	p=1.68	p=2.68	p=3.68	p=4.68	p=5.68
0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
12	3.9	12.1	4.1	1.3	0.4	0.1
24	15.8	30.7	21.4	14.4	9.4	6.0
36	43.0	46.7	44.7	42.7	40.8	38.9
48	64.6	58.6	63.6	68.2	72.6	76.5
72	94.4	73.7	83.8	90.5	94.6	97.0
96	102.1	82.0	91.8	96.5	98.5	99.4

기존의 상태로 돌아갈 수 없는 비가역 반응으로 Boudart (1968)가 정리한 비가역 반응에 대한 반응속도식의 규칙을 따르게 된다. 화학반응속도는 속도상수와 온도, 농도의 함수로 나타낼 수 있으며 동일한 물질의 경우 결국 온도와 농도의 함수가 된다. Eq. (1)은 Jo et al. (2013)에서 제시된 양생수준 예측식의 기본 모형으로 수식의 각 인자가 반응속도에 미치는 영향을 분석하기 위해 변수인자를 임의로 변화시켜 그 양상을 분석하였다.

$$y = \frac{-100}{1 + (\frac{t}{t_0})^p} + 100 \tag{1}$$

- 여기서,  $y$  : 양생수준(%)
- $t$  : 양생시간(hr)
- $t_0$  : 변곡시간(온도인자)
- $p$  : 거듭제곱

Eq. (1)의 거듭제곱은 Type-2910의 경우 선행연구에서 온도별 양생 후 실측된 마찰안정도로부터 커브피팅을 사용해 얻어진 값은 3.68이며, 이를 ±1.0, ±2.0 하여 계산한 것이 Table 3이다. Fig. 1은 이를 도식화 한 것으로 양생시간의 변화 없이 변곡시간을 중심으로 곡선의 증가 양상이 변화하는 것으로 나타났다.



**Fig. 1. Curing Level Curve due to the Power of Prediction model**

Table 4. Curing level of temperature factor(Type-2910, 60°C curing)

Time (hr)	Measured Curing Level	t <sub>0</sub> =19	t <sub>0</sub> =29	t <sub>0</sub> =39	t <sub>0</sub> =49	t <sub>0</sub> =59
0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
12	3.9	15.6	3.7	1.3	0.6	0.3
24	15.8	70.3	33.3	14.3	6.7	3.5
36	43.0	91.3	68.9	42.7	24.3	14.0
48	64.6	96.8	86.5	68.2	48.1	31.9
72	94.4	99.3	96.6	90.5	80.5	67.5
96	102.1	99.7	98.8	96.5	92.2	85.7

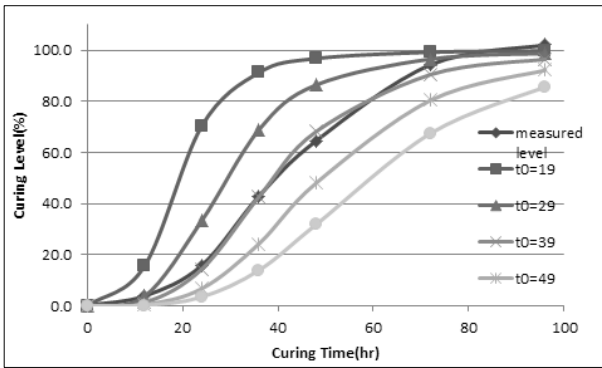


Fig. 2. Curing Level Curve of Temperature Factor of Prediction Model

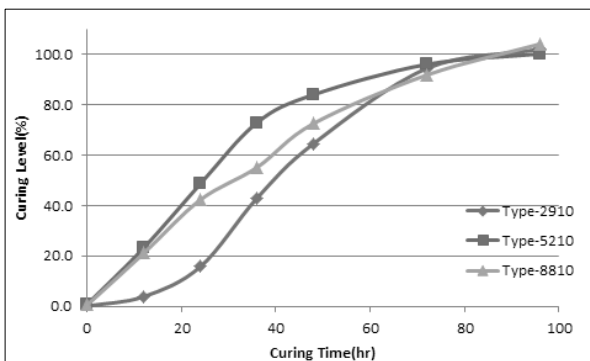


Fig. 3. Measured Curing Level of Epoxy Asphalt Concrete (at 60°C)

다른 인자는 고정하고 온도인자에 해당하는 변곡시간( $t_0$ )을 19~59까지 변화시킬 경우 계산된 양생률은 Table 4와 같고 이를 도식화한 것이 Fig. 2이다. 변곡시간이 증가할수록 최종 양생시간이 늦춰지는 것을 알 수 있었다.

Fig. 3은 60°C에서 에폭시 바인더 종류별 실제 양생발현경향을 보여주고 있다. Type-2910과 Type-5210는 로지스틱 곡선과 비슷한 양상을 보이고 있다. 또한 최종 양생시간은 모든 종류의 에폭시 아스팔트 혼합물이 유사한 것으로 나타났다.

### 3.2 바인더의 화학 조성 변화에 따른 양생수준 예측식

본 연구에서 검토한 에폭시 아스팔트 바인더는 에폭시 수지의 농도와 경화제의 산가 변화만 다를 뿐 화학 반응의 형태는 동일하다. 화학반응의 질량작용의 법칙에 따르면 일정 온도에서의 화학반응 속도는 반응하는 물질의 농도의 곱에 비례한다(Fogler, 2011). 농도 지수는 반응물이 생성물로 변화되는 비율의 개념으로 반응차수로 사용되어 농도에 따른 반응속도를 표현 할 수 있으며 로지스틱 곡선에서의 거듭제곱( $p$ )은 화학반응식의 반응차수와 대응됨을 알 수 있다. 따라서 반응속도는 경화제의 영향을 받으므로 산부수물 경화제의 산가가 높을수록 반응이 빨라지게 된다. 이를 반영하고자 에폭시 아스팔트 바인더별 거듭제곱( $p_i$ )을 기준이 되는 Type-2910의 거듭제곱에 산가비를 곱하여 Eq. (1)과 같이 구한다. 온도 또한 에폭시 아스팔트 혼합물의 반응속도를 결정하는 인자로 경화제의 산가비를 온도인자에 곱해줌으로써 경화제 특성에 따른 반응속도의 변화를 반영 하였다. 변화된 온도인자( $p_i$ )는 Eq.(2)와 같다.

$$p_i = p_s \times \psi \quad (2)$$

여기서,

$$\psi : \text{산가비} \left( \frac{Av_i}{Av_s} = \frac{\text{바인더의 경화제 산가 (mg KOH)}}{\text{기준바인더의 경화제 산가 (mg KOH)}} \right)$$

$p_s$ : 기준 양생수준 예측식의 거듭제곱

Eqs. (1) and (2)를 통해 에폭시 수지의 농도와 경화제의 산가를 기준 Jo et al. (2013)의 예측 모델에 반영하여 정리한 것이 Eq. (3)이다.

$$y(t) = 100 - \frac{100}{1 + \left( \frac{t_{n-1}^* + t_n}{10 + (\eta \times \psi) 10502e^{-0.1 \times T}} \right)^{(3.68\psi)}} \quad (3)$$

여기서,  $y(t)$  :  $t$ 시간에서의 양생수준(%)

Table 5. Prediction Factor of Epoxy Asphalt Concrete

Item	Concentration Ratio ( $\eta$ )	Acidity Ratio ( $\psi$ )	Temperature Factor ( $t_0$ )	Power ( $p$ )
Type-2910	1.00	1.0	$10 + 10502e^{-0.1 * T}$	3.68
Type-5210	0.74	0.89	$10 + 6965e^{-0.1 * T}$	3.27
Type-8810	0.52	0.67	$10 + 3679e^{-0.1 * T}$	2.45

Table 6. Verification of the Prediction Model

Curing Days	Type-5210			Type-8810		
	Curing Level (%)	Predicted Stability (N)	Measured Stability (N)	Curing Level (%)	Predicted Stability (N)	Measured Stability (N)
Initial	1.0	10,361	10,368	0.0	12,000	11,320
day 1	7.1	12,559	13,726	7.4	12,701	14,026
day 2	20.9	17,519	20,050	29.9	14,842	15,406
day 3	41.1	24,810	27,336	55.0	17,224	17,325
day 4	45.9	26,513	29,093	60.3	17,729	16,988
day 5	65.3	33,522	34,801	76.3	19,247	20,035
day 6	76.9	37,672	38,089	84.3	20,010	21,173

- $t_{n-1}^*$  : 수정시간(hr)
- $t_n$  : 온도 유지시간(hr)
- $T$  : 양생온도(°C)
- $\eta$  : 농도비
- $\psi$  : 경화 특성값 (산가비)

에폭시 아스팔트 바인더의 종류별 예측식을 제시하기 위해 농도비, 산가비, 온도인자 그리고 거듭제곱을 계산하여 Table 5에 정리하였다. 이를 Eq. (3)에 대입하여 각 바인더 종류별 양생률을 계산하고 마찰안정도를 예측하여 실외 양생 실험 결과와 비교 검증하였다. Type-5210과 Type-8810을 사용한 에폭시 아스팔트 혼합물의 마찰안정도를 예측한 결과는 Table 6과 같으며 이를 도식화 한 것은 Figs. 4 and 5이다.

특히 Type-5210의 경우 양생에 따른 변화 경향이 실측값과 예측값이 일치하였으며, 마찰안정도 또한 상당히 유사하게 나타났음을 알 수 있다. Type-8810의 경우는 에폭시 수지의 함량이 낮아서 가경된 로지스틱곡선과 차이가 있는 양생경향을 나타내기 때문에 변화 경향이 일치하지는 않으나 마찰안정도는 비슷한 값을 보이고 있다. 본 연구를 통해 제시된 에폭시 아스팔트 혼합물의 양생수준 예측식을 다른 에폭시 아스팔트 혼합물에 적용하기 위해서는 Table 5에 제시된 상수값들을 실험을 통해 구하고 경화제 특성값을 반영하면 적용이 가능하다.

Fig. 6에 나타난 것과 같이 농도와 산가와 같은 화학 조성 특성을 반영하지 않을 경우에 비해  $R^2$ 가 Type-5210은 0.970에서 0.995로, Type-8810의 경우 0.871에서 0.971로 높아지는 것으로 나타났다.

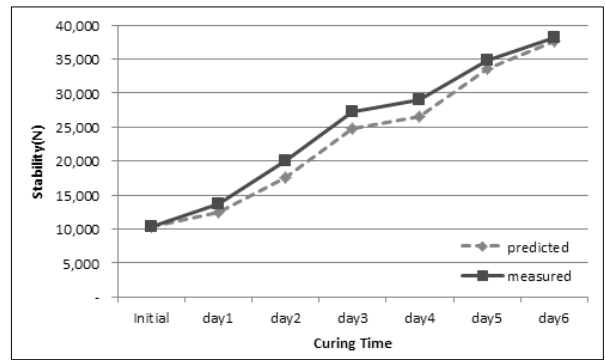


Fig. 4. Comparison of Prediction Result of Type-5210

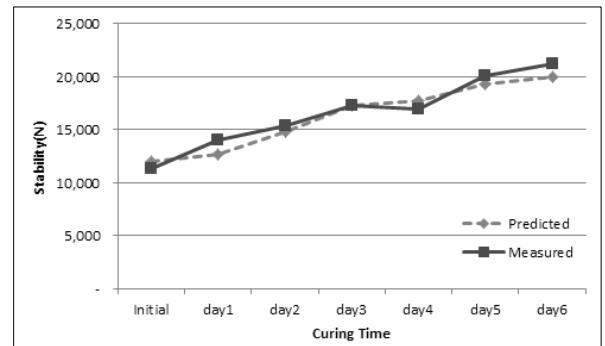


Fig. 5. Comparison of Prediction Result of Type-8810

기준이 되는 Type-2910과 화학조성의 차이가 클수록 양생 경향이 달라지기 때문에 양생예측도 오차가 커지나 농도비와 산가비를 예측모델에 반영함으로써 보다 정확한 예측이 가능하였다.

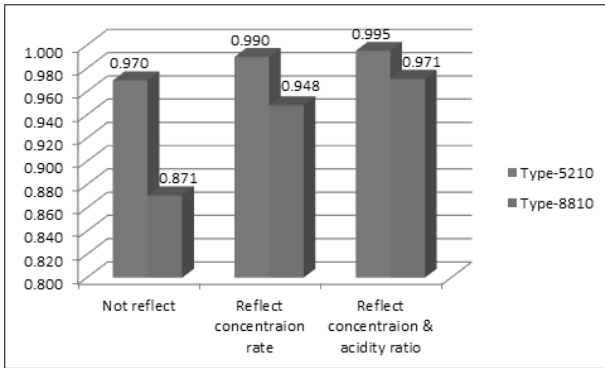


Fig. 6. R<sup>2</sup> of Prediction Model With/Without Chemical Composition

#### 4. 결론

에폭시 아스팔트 혼합물을 다양한 용도로 사용하기 위해서는 에폭시 함량의 조정이 필요하다. 이때 화학조성의 변화로 인한 에폭시 아스팔트 혼합물의 양생 경향이 변화하게 된다. 에폭시 아스팔트 바인더의 에폭시 농도와 반응속도 조절에 관여하는 경화제의 산가비를 반영하여 에폭시 함량 변화에 따른 에폭시 아스팔트 혼합물의 양생수준으로 예측하고자 하였다. 수립된 예측식의 검증 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 에폭시 아스팔트 혼합물의 적용범위를 다양화하기 위해서는 용도에 맞도록 에폭시 함량을 조절하여야 한다. 에폭시 아스팔트의 화학조성이 변화됨에 따라 양생 메커니즘에도 변화가 발생한다. 에폭시 아스팔트의 양생경향에 영향을 미치는 주요 요소로 에폭시의 농도와 경화제의 산가가 있으며 이를 예측식에 반영함으로써 화학조성이 다른 에폭시 아스팔트 혼합물의 양생 수준을 보다 정확히 예측할 수 있다.
- (2) 로지스틱 모형을 이용한 기존 예측식에 각각의 인자의 변화에 따른 예측 결과의 변화 양상을 분석하여 화학적 영향 요소를 예측식에 반영하였다. 속도인자에 농도비와 산가비를 곱하고 반응차수에 해당하는 거듭제곱에 산가비를 반영함으로써 화학 조성 변화에 따른 에폭시 아스팔트 혼합물의 양생 경향을 나타

낼 수 있었다.

- (3) 제시된 예측모델의 검증을 위해 실의 양생 실험을 통한 실측 결과와 비교하였다. 비교결과 기존 예측식에 비해 제시된 예측 모델의 R<sup>2</sup>가 Type-5210의 경우 0.970에서 0.995로 Type-8810의 경우 0.871에서 0.971로 높아져 보다 예측의 정확도가 높아진 것을 알 수 있었으며, 기존 제품과 화학조성의 변화가 클수록 제안된 것과 같이 농도와 산가의 반영을 통한 예측식의 보정이 필요한 것을 알 수 있었다.

#### References

Baek, Y. J., Jo, S. H., Park, C. W. and Kim, N. S. (2012). "A development of strength prediction model of epoxy asphalt concrete for traffic opening." *International Journal of Highway Engineering*, Korean Society of Road Engineers, Vol. 32, No. 6D, pp. 599-605 (in Korean).

Boudart, M. (1968). *Kinetics of chemical process*, Elsevier Science & Technology Books, pp. 13-16.

Fogler, H. S. (2011). *Elements of chemical reaction engineering 4<sup>th</sup>*, Peason Education Korea Co.,Inc, pp. 54-57.

Huang, G. C. and Lee, J. K. (2011). "Cure kinetics and dynamic mechanical properties of an epoxy/polyoxypropylene diamine system." *Polymer.*, The Polymer Society of Korea, Vol. 35, No. 3, pp. 196-202 (in Korean).

Jo, S. H. and Kim, N. S. (2013). "A development of prediction model for traffic opening time of epoxy asphalt pavement using nonlinear curve fitting." *Journal of Korea Society of Disaster Information.*, Korean Society of Disaster Information, Vol. 9, No. 3, pp. 324-331 (in Korean).

Lee, C. H. (2009). *Handbook of epoxy formulation*, Kyowoosa, pp. 64-65 (in Korean).

Lee, S. H. (2005). *Hanbook of modified & special asphalt pavement*, Goomibook inc, pp. 12-13 (in Korean). Available at: [www.chemcosystems.com](http://www.chemcosystems.com).

Yu, J., Cong, P., Wu, S. and Cheng, S. (2009). "Curing behavior of epoxy asphalt." *Journal of Wuhan University of Technology-Mater.*, Wuhan University, Vol. 24, No. 3, pp. 462-465 (in Chinese).