

## 도로 침하에 따른 아스팔트 파손에 대한 연구

강인원\* · 조상훈\* · 심철우\* · 김동철\*\*

\*조선대학교 산업안전공학과 · \*\*충북대학교 안전공학과

## A case study for the asphalt damage with the subsidence

In-Won Kang\* · Sang-Hoon Cho\* · Chul-Woo Sim\* · Dong-Chul Kim\*\*

\*Department of Industrial Safety Engineering Chosun University

\*\*Department of Safety Engineering Chungbuk University

### Abstract

This example was able to focus on the long usage of the pavement that it was merely through the oxidation of the asphalt pavement which it could contact with on the road in the industrial housing complex and correlation regulation of the asphalt subsidence with the load in basic Infra of the configuration. The problem in conjunction with the subsidence (transformation) was interpreted as a problem of the subsidence of each pavement layer to lead the subsidence of the road or the transformation to packaging side asphalt pavement, but the traffic number of times of the heavy vehicle highlights for main problems with the road where is concentrated. In the case of general asphalt paving, it thinks it exposes light, and to study a general phenomenon for the asphalt transformation and a cause for a pavement construction method and the property of material used for pavement and a complement method by the case study at this time of the compound with the heavy vehicle traffic that it can become clear that small success transformation occurs at a point in time when 1-2 years more pass, and a fatigue rift occurs by ultraviolet rays, the oxidation with the contact with the air afterwards, and described beginning to use by the above.

**Keywords : Asphalt Subsidence**

### 1. 서론

본 사례는 산업 단지 내 도로에서 접할 수 있는 아스팔트 포장면의 산화와 하중에 따른 아스팔트 침하의 상관관계 규정을 통해 단지 구성의 기본 인프라가 되는 포장면의 장기 사용에 초점을 맞추었다. 포장면 아스팔트 포장에서의 침하(변형)와 관련된 문제는 도로의 침하를 주도하는 포장층 각층의 침하 또는 변형의 문제로 해석되었으나, 정체구간이 집중되는 도로와 더불어

어 중차량의 통행 횟수가 주된 문제점으로 부각되고 있다. 일반적인 아스팔트 포장의 경우 사용 개시 후 1-2년이 지나는 시점에 소성 변형이 발생되며 그 이후 자외선, 공기와의 접촉에 따른 산화로 인해 피로 균열이 발생하는 것으로 나타나고 있다. 이번 사례 연구에서는 아스팔트 변형에 대한 일반적인 현상 및 원인을 조명해보고 포장 시공 방법 및 포장에 쓰이는 재료들의 특성 및 보완 방법에 대해 연구해 보고자 한다.

† 교신저자: 강인원, 광주광역시 동구 서석동 375번지 조선대학교 제2공학관 3층 산업안전공학과

M · P: 010-5201-8157, E-mail: kiw76@naver.com

2012년 7월 20일 접수; 2012년 8월 30일 수정본 접수; 2010년 8월 30일 게재확정

## 2. 도포 포장재의 종류와 물성에 따른 계절적 변화

### 2.1 도로포장용 아스팔트 종류

국내 수요의 90% 이상을 차지하고 있는 포장용 아스팔트는 총 4가지로 나누어 볼 수 있으며 이중 실제 도로포장에 사용되는 아스팔트는 침입도 기준 85-100(AP-3), 60-70(AP-5) 2종류가 있다. 하지만 실제 우리나라의 기후 환경적 상태를 고려하면 소성변형에 내구성이 높은 아스팔트 사용이 요구된다.

### 2.2 아스팔트 포장 재료의 물성 특성

#### 2.2.1 컨시스턴시 특성(Consistency Character)

아스팔트는 열가소성 재료로서 임의의 온도에서 유동성을 갖는 컨시스턴스 특성을 가지고 있으며 이러한 특성은 온도 변화에 따른 아스팔트의 경화 변화 정도를 나타내는 물성으로 재료의 감온성을 파악하는데 중요한 물성이다. 만약 아스팔트의 감온성이 커지면, 그에 따른 결과로 아스팔트 포장은 저온에서 온도 균열을 발생시킬 가능성이 높아진다. 현재 아스팔트의 컨시스턴시를 측정할 수 있는 여러 가지 시험법들이 있으며 포장의 균열 저항성을 판단하는데 사용된다.

#### 2.2.2 강성 특성(Stiffness Character)

아스팔트의 구조적 특성을 나타내는 강성(스티프니스)은 하중 재하 시간과 온도의 함수로 응력과 변형 사이의 관계로 나타낸다.

또한 응력과 변형 그리고 온도 사이의 관계는 아스팔트 또는 혼합물의 레올리지(점탄성) 거동으로써 표현되기도 한다. 일반적으로 아스팔트 포장이 60℃ 근처의 공용 온도 일 때는 소성변형에 저항하기 위해 포장의 표층 재료에 사용하는 아스팔트의 스티프니스를 증가시키는 것이 바람직하고, 포장의 공용 온도가 저온일 때는 저온 균열에 저항시키기 위해 아스팔트의 스티프니스를 감소시키는 것이 바람직하다. 따라서 해당 아스팔트의 선정에 있어서도 저온에서는 상대적으로 낮은 스티프니스를 갖으며, 고온에서는 높은 스티프니스가 발휘되는 아스팔트를 선정하는 것이 이상적이다. 이 외에 포장의 손성변형 저항성을 향상시키기 위해서는 혼합물의 구성 요소 중에서 90% 이상을 차지하는 골재의 품질 관리와 배합 설계 등이 적절하게 실시되어야 하며, 다음으로 아스팔트의 스티프니스에 대한 기준이 고

려되어야 한다. 반면에 포장의 저온 균열 저항성을 향상시키기 위해서는 골재와 골재 사이의 결합과 완충 역할을 하는 아스팔트의 스티프니스가 우선적으로 관리되어야 한다.

<Table 1> 도로포장용 아스팔트 현황(국내 수요용)

종류	제품명	세부설명
아스팔트 시멘트	AP-3 AP-5	실제 도로포장에 사용되는 아스콘의 혼합과정에서 골재를 결합시키는 Binder 역할
컷백 아스팔트	MC-1	도로포장 각 층간의 접착을 좋게 하기 위하여 사용되며, 상온에서 액체 상태로 증표면에 살포
개질 아스팔트	슈퍼플라트	아스팔트 포장도로의 소성변형 저항성, 균열저항성 및 후기공용성 등을 향상시키기 위하여 고분자 개질제(SBS) 및 첨가제를 물리 화학적으로 혼합
항우수성 아스팔트	-	수분에 의한 골재와 아스팔트의 박리현상을 최소화시키기 위해 Anti-Stripping 첨가제를 주입함으로써 아스팔트의 성능을 높인 제품

<Table 2> 국내 수요용 아스팔트의 규격

시험 및 검사항목	품질한계치	
	AP-3	AP-5
침입도, 25℃, 100g, 5ch:0.1mm	80초과-100이하	60초과-80이하
밀도(15℃)g/cm <sup>2</sup>	1,000 이상	
인화점, COC: ℃	260 이상	
인화점: ℃	42.0-50.0	44.0-52.0
신도(15℃) : cm	100이상	
톨루엔가용분 : 무게 %	99이상	
박막가열 후 질량 변화율 : 무게 %	0.6이하	0.6이하
침입도비(원침입도대비) %	50이상	50이상
증발후의 침입도비 : %	110이하	
동점도, 120,150,180℃: cSt	시험표에 부기	

<Table 3> Franklin식을 이용한 포장재의 계절적 특성

구분	국내설계기준 상대강도계수	탄성계수(Kg/cm <sup>2</sup> )		
		국내 설계 기준 조건	겨울철	여름철
표층	0.157	21,342	152,965	2,978
기층	0.110	20,836	107,550	7,783
보조기층	0.034	832	832	832
비고	* 온도(각 층 내부 온도 조건) - 설계 기준 온도 : 20℃ - 겨울철 예상온도 : -10℃(표층), -5℃(기층) - 여름철 예상온도 : 50℃(표층), 35℃(기층)			

### 3. 아스팔트 침하 Case별 현상 및 원인분석

#### 3.1 소성변형(Permanent Deformation)

아스팔트 포장의 소성변형은 주로 차량의 반복 하중에 의해 차륜 통행부에서부터 변형이 시작되어 점진적으로 확장 발생되는 것으로 통과부 중심부는 움푹 파이며 측면은 밀림이 발생되어 융기하는 모양으로 나타나는 파손이다. Dawley(1990)는 이러한 소성변형을 크게 다음과 같이 3가지의 형태로 구분하였다.

- 1) 표면 소성변형 : 교통과 온도에 의해 아스팔트 혼합물 내의 골재 입자의 아스팔트 손실에 의한 패임 형태
- 2) 구조적 소성변형 : 교통 하중에 의해 표층 뿐만 아니라 기층, 보조 기층, 노상에서 발생하는 패임 형태
- 3) 불안정 소성변형 : 교통량 과다, 고온 현상 지속, 교차로의 정지 하중 등에 의해 아스팔트 포장층의 혼합물이 측방향으로 유동하면서 발생하는 패임 형태

이 중에서 다음의 <Figure 1>과 같이 가장 일반적으로 나타나는 소성변형은 아스팔트 혼합물의 유동에 의해 발생하는 불안정 소성변형이 주를 이루고 있으며 SHRP(1993)의 연구에 따르면, 소성 변형은 2가지의 주요 원인으로 발생된다. 첫 번째는 연약한 노상층에 반복적인 하중으로 침하가 발생하는 것으로, 아스팔트의 재료적인 문제가 아닌 교통량에 의한 문제이며, 두 번째는 연약한 아스팔트 혼합물에 의해 표층에서 주로 발생하는 것으로, 아스팔트 혼합물의 재료적인 문제인 것으로 나타난다. 아스팔트 포장의 소성변형을 유발하는 이러한 두가지의 원인은 모두 아스팔트 혼합물을 구성하는 재료의 물성과 밀접한 관련이 있는 전단 변형이므로, 변형을 억제하기 위해서는 아스팔트를 구성하는 혼합물의 저항성을 키우면 된다.



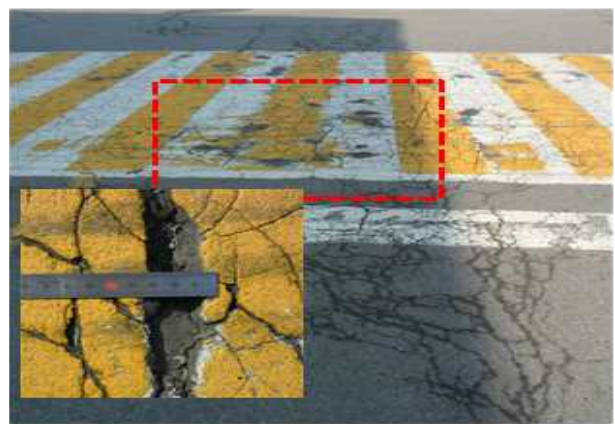
<Figure 1> 주 출입로의 피로균열

#### 3.2 중차량 통행 횟수에 따른 침하-피로 균열(Fatigue Crack)

중차량 통행에 따른 균열은 상습 전체 구간 또는 과 통행 구간에 걸쳐 블록 형태로 나타나며 그 원인은 골재 성분 및 노상층의 연약 기반에 기인한다고 할 수 있으며 대부분이 거북등(Turtle Back) 균열로 진행되는 것으로 알려져 있다. Figure 2, 3과 같은 교차로, 중차량의 주요 길목에서 일반적으로 나타나는 피로 균열은 발생 초기에는 단일한 방향성을 띠며 균열이 발생되며 시간의 경과에 따라 표층(포장면) 전체로 확대되어 균열이 진행된다. 아스팔트 포장의 피로균열은 주로 상온 영역에서 발생하는 것으로 알려져 있으며, 이를 방지하기 위한 방법으로는 교통하중으로 표층에서 표층 하부로 발생하는 응력을 차단(저항)할 수 있도록 포장체의 두께를 증가 시켜 구조를 보완하는 방법이 일반적으로 사용되고 있다. 또한 다른 방안으로는 포장면의 성격에 따라 상온 영역에서 스티프니스를 갖는 아스팔트 및 혼합물을 선정하여 표층 하부로 전달되는 응력을 차단하여 변형에 저항할 수 있도록 한다.



<Figure 2> 주출입로의 피로균열



<Figure 3> 교차로의 피로균열

### 3.3 저온 균열(Low Temperature Crack)

아스팔트의 포장도로는 하, 동절기 주·의 온도 편차에 따라 수축, 이완 작용에 의해 균열이 발생하며 기온 강하와 아스팔트의 경화시에 포장 평면 압력이 가로, 세로 방향으로 균열을 발생시키는 것으로 교통량, 차량의 이동과 관계없이 외부 환경 요인에 의해 발생하는 대표적인 포장 파손 형태로 횡방향으로 발생하며 균열은 6-30m 간격으로 발생하는 것을 특징으로 들 수 있다. 이러한 아스팔트 포장의 저온 균열은 주로 겨울철에 발생하며, 주·야간 기온의 변화에 따라 포장 층의 상부에서는 심한 온도 편차를 나타나고 하부에서는 상대적으로 완만한 온도 편차가 나타나면서, 포장 깊이에 따라 온도 구배가 반복적으로 교차되는 현상이 나타난다. 이에 따라 포장 층의 상부에서는 온도 변화에 따라 인장과 압축이 반복되는 현상이 포장 층 하부에 비해 훨씬 활발히 진행된다. 특히 저온 균열은 이러한 포장 층 내의 온도 분포의 불균형 현상이 반복되면서 포장 층의 상부로부터 균열이 발생하여 포장 층의 하부로 전진되는 균열로 정의되고 있으며, 온돈 균열(Temperature Crack)이라 부르기도 한다.



<Figure 4> 횡단보도의 온도균열



<Figure 5> 도로 중앙선의 온도균열

### 3.4 중복 포장에 따른 균열 (Overlapping Area Crack)

기존 포장도로에 발생되어 있는 균열을 봉합하지 않고 그 상부에 덧씌우기 포장을 하는 경우 상부에 윤택층에 의한 전단력 발생으로 덧씌우기 층의 균열이 발생된다. 특히 덧씌우기 시공시 혼합 골재의 입경이 커서 기 발생된 균열의 내부를 완전히 채울 수 없어 기존 포장층과 신규 포장층 사이의 공극이 발생되며 윤택층과 충격하중의 반복에 의한 포장 층으로부터 신규 포장층의 균열이 점진적으로 진행되며 이때 발생하는 균열은 복합균열로 발달되어 평탄성 저하 및 수분의 침투로 인해 표층의 침하를 발생시킨다.



<Figure 6> 중복포장을 통한 표층 탈락



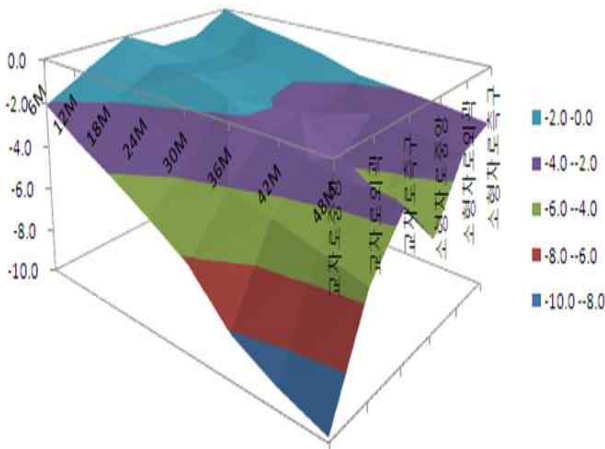
<Figure 7> 침하부 중복포장에 의한 Crack 및 침하



## 4. 아스팔트 변형에 따른 문제점 고찰 및 대책

### 4.1 시간의 경과-도로 성격에 따른 도로 포장면 변화 분석

시간의 경과와 도로의 주된 성격에 따른 포장면 변화(침하)에 대해 실 사례를 조사해본 결과 하기 Figure 8과 같은 데이터를 얻을 수 있었다. 데이터를 살펴보면 상기에 나열한 Case별 사례와 비슷한 결과를 얻을 수 있었다. 이 데이터는 산업단지 내 한 사업장의 도로 포장 후 침하량의 결과를 바탕으로 포장 후 4년간의 경과를 나타낸 것으로 중차량의 통행이 많은 교차로와 소형차로(2차선 도로)를 대상으로 각 1개 지점에 대해 Point를 정한 후 시행하였다. 교차로의 경우 일 평균 5Ton 화물기준 720번의 차량 통행이 발생하며, 소형차로의 경우 1Ton 이하 차량이 일평균 300회 이하의 통행량이 있는 곳이다.



<Figure 8> 시간-도로 성격에 따른 침하량 조사

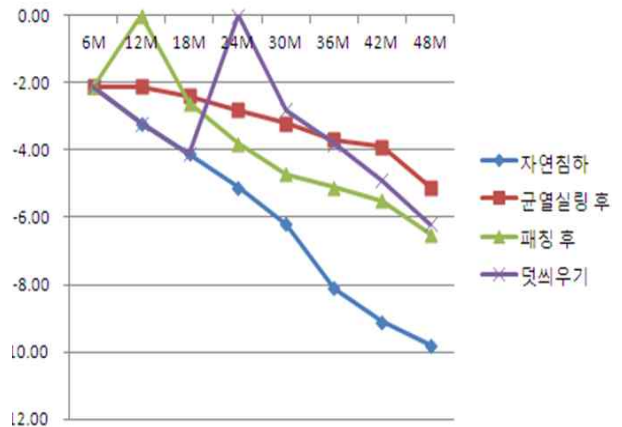
### 4.2 장기 사용을 위한 포장 유지 방법 고찰

아스팔트 포장은 시공 후부터 계속되는 교통하중과 재료의 산화 등의 노후화 조건으로 인해 포장면의 침

하, 갈라짐 등의 현상들이 발생하며 이는 안전한 도로 사용에 지장이 되므로 유지 보수를 시행하게 된다. 일반적으로 알려진 유지 보수 방법으로는 균열부에 대한 실링, 패칭, 절삭, 덧씌우기, 재포장 등이 있으며 이러한 방법 등은 도로 포장면의 공요기간을 고려하여 시행된다. 도로 수명 기간 동안의 유지보수 방법으로 최근 주목을 받고 있는 균열 보수 방법으로는 한국도로공사 ASTM D6690으로 채택되어 고속도로 공사용 건설 재료 품질 및 시험기준을 통과한 콘크리트 및 아스팔트 포장용 줄눈 및 균열 보수제가 있으며 미국 County의 2차선도로의 마일당 비용에 기초한 비교 분석 결과에도 유지보수의 효과가 있는 것으로 나타나고 있다.

#### 4.2.1 도로 침하와 증상에 따른 유지 보수 방법과 수명 연구

상기 4.2항에서 기술되어 있는 각 도로 증상별 유지 보수 방법을 통해 도로의 공용수명 연장에 대한 연구를 진행해 보았다. 아래 Figure 9와 같이 1, 2기 발생 시에는 간단한 균열 실링과 패칭을 통해 포장면의 침하를 지연 시킬 수 있다는 사실을 알아보았다. 이는 균열부의 산화를 지연시킴과 동시에 수분 침투로부터 표층과 중층간, 중층과 기층간의 안정된 층 형성을 유지시키는 결과를 나타낸 것이다.



<Figure 9> 유지 보수에 따른 침하량 변화

<Table 4> 공용수명 및 증상에 따른 유지 보수 방법

구분	Performance period				
	초기(1기)	초중기(2기)	중기(3기)	중장기(4기)	말기(5기)
증상	장비포장시 연결부발생	중균열에 따라 발생하는 균열	1,2기 방치시 발생되는 균열	지반침하초기현상 으로 불함효과감소	도로수명을 다한 상태
방법	균열실링, 패칭		덧씌우기	덧씌우기, 재포장	

4.2.2 포장면 침하 단계별 유지 보수비용 분석

<Figure 9>에서 나타난 그래프를 보면 유지 보수에 따른 지반 침하는 초기 대응 방법에 따라 50% 이상의 차이를 보이는 것을 볼 수 있다. 그래서 동일한 조건의 전제 조건으로 면적 100m<sup>2</sup> 이상, 기존 15cm를 포설했을 때 각 비용을 분석해보고 경제성을 살펴보면 아스팔트 포장면의 관리에 따른 노후화를 저감 시키는 활동이 중요한 것을 확인할 수 있다. Table 5의 비용분석은 일반화의 오류를 피하기 위해 다른 여건은 고려하지 않았으며 재포장 100% 기준으로 퍼센트로 나타내었다.

포장 주기의 경우도 특정 지역 도로를 기준으로 작성되었다.

<Table 5> 유지보수 단계별 단가율

구분	주기	단가율(%)	비고
재포장	5년	100	
덧씌우기	3-5년	79	
패칭	6월-3년	100	
셀링	1-2년	14	m <sup>2</sup> 당 시공단가

5. 결론

본 사례 연구에서는 기층 위에 놓이는 포장재와 중차량의 도로 통행량에 따른 침하량의 관계에 대해 산업단지 내 사업장 Case의 사례를 알아보고 이에 따른 침하의 영향과 대책을 찾아보았다. 본 연구에서 제안된 방법을 통해 실제 도로 노후화를 저감 시키는 영향을 해석적으로 검토하여 실제 포장에 적용, 타당성을 사례 지역의 해석으로 검증하였으며 산업 단지내 사업장에 적용하여 지속적인 신뢰성 검증을 통해 본 사례 연구 결과를 입증하였다. 본 사례연구에 대해 결과를 분석하고 비교한 결과를 종합하면 다음과 같다.

1) 포장 단면의 침하에 따른 변형은 실사용 현장에서의 주변 환경에 많은 영향을 받는 것으로 파악되었으

며 주어진 경계 조건 범위를 정성, 정량화 할 수 있다.

2) 도로 포장 전 테스트 구간에 노상, 노반에 일정 하중의 차량이나 물리를 주행시켜 윤택중에 의한 침하량을 측정하여 지지력이나 시공의 균열성을 시험하는 가속 시험(프루프 롤링)을 함으로써 향후 발생이 예상되는 문제점에 대해 사전 조사 및 검토가 필요하다.

3) 본 사례 연구는 실사용 현장에서 인프라 사용의 장기공용성에 대한 방안들을 제시한 것으로 다양한 활동을 통해 자원재활용과 더불어 투자비 절감에 효과적인 전달을 줄 수 있을 것으로 보인다.

Reference

- [1] 건설교통부, 도로설계 편람, 2000
- [2] 김현태, “표층고결된 연약지반위에 포장도로의 침하 안정관리 사례” 대한토목학회 학회지 2002.5
- [3] 최준성, “연약지반의 압밀침하에 의한 도로포장설계의 영향분석” 한국도로학회 학술논문발표논문집 2005
- [4] (주)SK, hppt://www.skasphalt.com/, SK 아스팔트 판매제품 현황
- [5] 박성환, “도로기초의 Rutting 예측에 미치는 응력의존 탄성계수와 포와송비의 영향”
- [6] 서양석, “아스팔트 포장 단면설계의 개선방안 연구”, 1999
- [7] 한국도로공사, 고속도로공사용 건설재료 품질 및 시험기준(10차개정) 2010.5
- [8] 주식회사 그린팔트 Homepage 기술자료
- [9] 최정훈, “포장가속시험을 이용한 유한요소해석의 소성변형 예측모델 평가 연구”, 2008
- [10] Dawley et al, “소성변형의 형태”, 1990
- [11] 정규동, “아스팔트 포장의 재활용 기술 현황”, 한국도로포장공학회 학회지
- [12] 이지스건설, “도로보수용 균열봉합재의 특성”, “균열보수용 도로봉합재의 물성”
- [13] The FHWA(U.S.A), “도로수명기간동안의 유지보수의 효과“

### 저 자 소 개

강 인 원



현, 순천제일대학 산업안전관리과 시간강사, 서울과학기술대학교 안전공학과 석사졸업, 조선대 산업안전공학과 박사수료, 주요 관심 분야는 인간공학, 건설안전 등이다.

주소: 광주광역시 동구 서석동 375번지 조선대학교 산업안전공학과

심 철 우



현, 조선대학교 산업공학과 시간강사, 대학원 산업안전공학과 박사과정을 수료하였으며, 주요 관심분야는 안전공학, 인간공학이다.

주소: 광주광역시 동구 서석동 375번지 조선대학교 산업안전공학과

조 상 훈



현, 조선대학교 산업공학과 시간강사, 조선대학교 산업안전공학과 박사 수료, 주요관심분야는 산업안전이다.

주소: 광주광역시 동구 서석동 375번지 조선대학교 산업안전공학과

김 동 철



현, 한경대학교 안전공학과 겸임교수, 서울과학기술대 안전공학과 석사졸업, 충북대학교 안전공학과 박사수료, 산업안전기사, 건설안전기사(주)한솔저자 외 다수 출간, 주요관심 분야 전기안전, 건설안전 등이다.

주소: 경기도 안양시 만안구 석수로 길 40 LG럭키아파트 3동 1101호