

# 아스팔트용 고강도 앵커시스템의 인발강도식 검토에 관한 기초적 연구

## A Fundamental Study on the Pullout Strength Equation of High Strength Anchor for Asphalt Pavement

Jaemin Choi<sup>a,1</sup>, Seungyong Lee<sup>b,\*</sup>, Kitae Sung<sup>b,2</sup>, Youngdoo Han<sup>c,3</sup>

<sup>a</sup> Eumseong Water Supply Office, Jungangro 50,, Eumseong-gun, Chungbuk, Republic of Korea

<sup>b</sup> Department of Civil Engineering, Korea National University of Transportation, 50 Daehak-ro, Chungju, Republic of Korea

<sup>c</sup> Center Synthesis Safety Technique Institute, 427 Heungan-daero, Dongan-gu, Anyang-si, Republic of Korea

### ABSTRACT

In order to investigate the basic performance of the high strength anchor for asphalt road subjected to tensile load, the static pullout test was carried out and the pullout strength of the asphalt anchor was analyzed. In the pullout test, the depth of anchor, depth of pavement, diameter of anchor, type of anchor, experimental temperature, epoxy type and amount of anchor were used as test variables. As a result, the steel strength of asphalt anchor was 1.08 times higher than that of conventional concrete anchor, therefore it is considered appropriate to use the steel strength formula of concrete anchor for asphalt anchor. Compared with the proposed formula, the pullout load obtained from the test of the asphalt anchor was within  $\pm 10\%$ . The ratio of the projected area of the asphalt anchor is similar as that of the concrete anchor.

### KEYWORDS

asphalt anchor  
concrete anchor  
pullout load  
projected area  
stud bolt

인발하중을 받는 아스팔트 도로용 고강도 앵커의 강도특성에 관한 기초 성능을 규명하기 위해 앵커 매립깊이, 포장두께, 앵커 직경, 앵커 종류, 실험 온도, 에폭시 종류, 그룹인발 수량 등을 실험변수로 하여 정적 인발실험을 실시하고, 아스팔트 앵커의 인발강도에 대하여 분석을 실시하였다. 그 결과 아스팔트 앵커의 강재강도는 기존 콘크리트 앵커의 강재강도식을 적용하면 1.08배 이상의 안전율을 확보할 수 있으므로 콘크리트 앵커 강재강도식을 사용하여도 무관한 것으로 나타났다. 아스팔트 앵커의 실험을 통해 얻은 인발하중을 제안식과 비교하면 약  $\pm 10\%$  이내의 오차로 근사치를 나타내고 있다. 이로부터 아스팔트 앵커의 경우에도 콘크리트 앵커와 동일한 투영면적의 비가 성립될 수 있을 것으로 판단된다.

아스팔트 앵커  
콘크리트 앵커  
인발하중  
투영면적  
전산볼트

© 2017 Society of Disaster Information All rights reserved

\* Corresponding author. Tel. 82-43-841-5189. Fax. 82-43-841-5180.  
Email. sylee@ut.ac.kr

1 Tel. 82-10-2472-2189. Email. mini5959@naver.com

2 Tel. 82-10-3434-2935. Email. ktsung@ut.ac.kr

3 Tel. 82-10-9012-0245. Email. gksenyd@naver.com

### ARTICLE HISTORY

Received Apr. 6, 2017

Revised Apr. 25, 2017

Accepted Sep. 26, 2017

## 1. 서론

아스팔트 도로에서 사용되는 정착용 앵커는 충분한 정착력 확보가 어렵기 때문에 안정적인 정착력을 필요로 하는 구조부재의 경우에는 아스팔트 도로를 일부 제거하고, 콘크리트 기초를 매립하여 그 위에 구조부재를 정착시키는 경우가 일반적이다. 이러한 경우에는 일정한 콘크리트 경화시간의 소요, 거푸집 폐기물의 발생, 철근배근 등으로 인한 시공비 증가 및 사용 중인 도로의 경우 통행에 지장을 주게 된다.

한편 후설치 앵커의 경우 부착강도가 매우 낮아 약한 충격에도 쉽게 뽑히는 현상이 발생하며, 재시공에 따른 유지관리 비용이 많이 소요된다. 또한 기존의 정착용 앵커의 대부분은 지반이나 콘크리트에 정착시키는 것이 주를 이루고 있다. 반면에 아스팔트에 직접 정착용 앵커를 시공하게 되면 시공비용 및 유지관리비용을 크게 절감할 수 있는 장점이 있으나, 정착력의 확보가 우선되어야 하는 문제점이 있다. 기존 정착용 앵커에 관한 연구는 지반이나 콘크리트에 정착시키는 경우에 대한 연구 (Ick Hyun Kim et al, 2004; Kwang Myong Lee et al, 2009; Jung Bum Jang et al, 2008; Sung Kyun Paek et al, 2001; Min Tae Kim et al, 2013)가 주를 이루고 있으며, 아스팔트에 직접 정착용 앵커를 설치하는 경우에 대한 연구결과는 거의 없는 실정이다.

따라서 본 연구는 별도의 콘크리트 기초 없이 아스팔트 표면에서 보조기층까지 천공하고 에폭시를 주입한 후 너트앵커를 정착시키는 고강도 앵커시스템의 구조성능을 검증할 목적으로 수행되었다. 고강도 앵커의 매립깊이, 앵커직경, 아스팔트 포장두께 및 도로 표면온도를 변수로 하여 구조성능 실험을 실시하여 아스팔트 앵커를 활용한 정착시스템 구축에 필요한 기초 자료를 제시하고자 하였다.

## 2. 실험

### 2.1 재료

앵커시스템은 Table 1에 나타난 것과 전산볼트와 너트형 커플러로 구성되어 총 4종류의 시리즈로 구분하였으며, 전산볼트의 인장특성을 Table 2에 나타내었다. 앵커시스템은 M12, M16 및 M20 전산볼트를 사용하여 하부 정착부를 구성하였고, 상부 너트형 커플러는 충분한 전단강도가 확보될 수 있도록 직경에 따라 D20, D25, D30A 및 D30B 시리즈로 구분하였다. 각 앵커 시스템에 사용된 전산볼트는 D20 시리즈는 M12, D25 및 D30A 시리즈는 M16 그리고 D30B는 시리즈 M20 이다.

Table 1. Types of anchor system



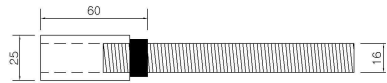



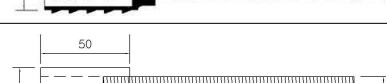

Division	Drawing	Photograph
D20 Series		
D25 Series		
D30A Series		
D30B Series		

Table 2. Mechanical properties of stud bolts

Stud Bolts	Yielding Load (kN)	Tensile Load (kN)
M12	49.26	55.46
M16	120.63	112.00
M20	199.08	224.80

### 2.2 실험 변수

아스팔트용 고강도 앵커시스템의 구조성능을 파악하기 위하여 앵커시스템을 구성하는 커플러 직경과 전산볼트의 직경 및 길이, 아스팔트 포장두께, 아스팔트 표면온도 그리고 앵커시스템 구성수량 등을 변수로 하여 총 66종의 앵커시스템에 대해 현장 인발강도실험을 실시하였다.

실험변수는 커플러 직경 20 mm(D20), 25 mm(D25), 30 mm(D30A, D30B)에 각각 볼트 직경 M12, M16, M20의 전산볼트를 사용하였고, 전산볼트 길이는 80 mm(L80), 150 mm(L150), 200 mm(L200), 250 mm(L250), 300 mm(L300), 350 mm(L350)로 다양하게 구성하였다. 아스팔트 포장두께의 차이에 따른 영향을 분석하기 위해 포장두께를 150 mm(T150), 200 mm(T200) 및 250 mm(T250)로 하였으며, 아스팔트 표면온도의 차이에 따른 영향을 분석하기 위하여 20±5℃(MT) 및 -10±5℃(LT)의 온도조건에서 실험을 실시하였고, 에폭시본드 종류도 2종류(A, B)로 하였으며, 앵커시스템의 구성수량을 1개인 단일앵커(P)와 2개(GP2), 3개(GP3) 및 4개(GP4)의 그룹앵커로 실험을 실시하였다.

### 2.3 실험 방법

아스팔트용 고강도 앵커시스템에 대한 인발강도실험을 위하여 실제 아스팔트 도로에 앵커시스템을 시공하였다. 시공순서는 햄머드릴로 천공한 후, 에어펌프로 먼지를 제거하고, 저점도 에폭시를 주입한 후 고무망치를 이용하여 앵커시스템을 타입하여 Fig. 1과 같이 설치하였다.

앵커시스템 시공현황은 Fig. 2 및 Fig. 3과 같다. 인발강도실험은 직접 현장에서 200 kN 용량의 오일재과 로드셀을 반력프레임에 고정시키고, 힌지를 장착한 후 오일펌프를 통해 10 mm/min 속도로 정적하중을 가력하여 실험을 실시하였다. 도로의 평탄성 여부를 고려하기 위하여 2개의 변위계를 양쪽대칭으로 반력프레임에 설치하였다.

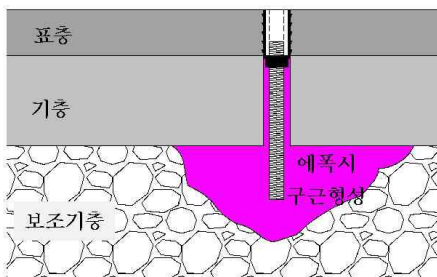


Fig. 1. High strength anchor system

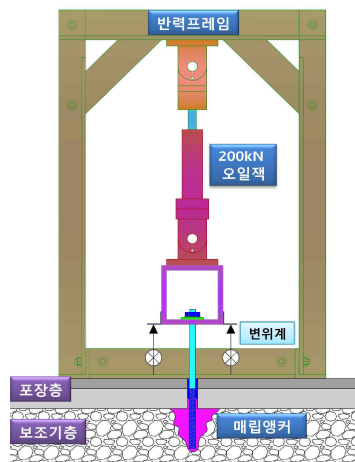


Fig. 2. Test set up

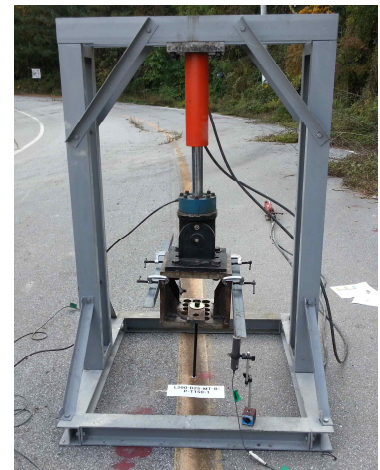


Fig. 3. Photo of pullout test

### 3. 결과분석 및 고찰

#### 3.1 앵커시스템의 파괴모드

고강도 앵커시스템에 대한 정적인발실험 결과로부터 얻어진 최종파괴 형태를 Fig. 4에 나타내었다. Fig. 4으로부터 앵커시스템의 파괴는 에폭시 파괴, 볼트 전단파괴 및 아스팔트 파괴로 세 가지 파괴모드 양상을 나타냄을 알 수 있다. 에폭시 파괴는 보조기층에 확산된 에폭시 구근이 앵커주변에서 전단파괴 되어 앵커주변에 부착된 에폭시만이 남아 있는 파괴형태이며, 볼트 전단파괴는 하부에 매립된 전산볼트가 파괴되어 최대하중에 도달한 경우이고, 아스팔트 파괴는 보조기층에 형성된 에폭시 구근이 그대로 남아있는 상태에서 상부 아스팔트를 파괴하면서 최대하중에 도달한 경우이다.

D20 시리즈 앵커시스템은 충분한 정착길이가 확보된 상태에서는 대부분 볼트 전단파괴로 최대하중에 도달하였다. 그리고 앵커를 그룹으로 정착시킨 GP2, GP3 및 GP4 시리즈의 경우에는 보조기층에 형성된 에폭시 구근이 그대로 남아 있는 아스팔트파괴 모드로 최대하중에 도달하였다. D25 시리즈는 에폭시파괴와 볼트 전단파괴의 두 가지 파괴모드로 나타났으며, 충분한 전산볼트 직경이 확보된 D30 시리즈의 경우에는 에폭시 파괴모드로 파괴되었다. 이로부터 앵커시스템의 직경에 따라 정적인발 파괴모드의 유형이 변화하는 것을 확인할 수 있다.

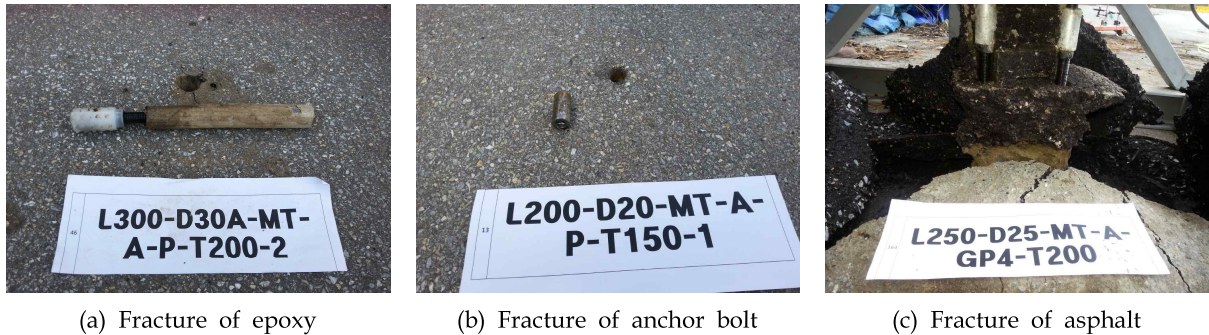


Fig. 4. Examples of fracture type

#### 3.2 인장을 받는 앵커의 강재강도

인장력을 받는 단일앵커나 그룹앵커의 공칭강도는 식 (1)과 같다(Korea Concrete Institute, 2010; Korea Concrete Institute, 2012). 이는 앵커 재질과 앵커 치수를 근거로 계산한 식이며, 아스팔트에 매립되어 있는 앵커 인발시 에폭시나 아스팔트가 파괴되기 전에 전산볼트가 파괴되는 경우와 같다고 할 수 있다.

$$N_{sa} = nA_{se}Nf_{uta} \quad (1)$$

여기서,  $n$ 는 볼트수량,  $A_{se}$ 는 볼트 단면적,  $Nf_{uta}$ 는 볼트인장강도를 나타낸다. 인장력을 받는 앵커에 대해 재료실험 및 현장실험으로 구한 인발하중을 정리하면 Table 3과 같다. 여기서, M12 및 M16 전산볼트 모두 현장실험값이 재료실험값보다 약 8% 이상 안전율을 확보하고 있는 것으로 나타났다. 이는 인발하중이 앵커의 전산볼트 외에도 아스팔트 마찰력과 에폭시 접착강도에도 영향을 받기 때문으로 판단된다. 또한 M16 전산볼트의 경우 아스팔트 온도  $20\pm 5^{\circ}\text{C}$ 에서는 모두 에폭시가 파괴되었지만, 아스팔트 인장하중이 평균적으로 증가하는  $-10\pm 5^{\circ}\text{C}$ 에서는 전산볼트가 파단된 것으로 나타났다.

Table 3. Pullout load for type of anchor bolt fracture

Division	Pullout load from material tests (kN) (a)	Pullout load from field tests (kN) (b)	Ratio(%) (b)/(a)
L200-D20-MT-A-P-T150-2	55.46	61.10	110.2
L250-D20-MT-A-P-T200-1	55.46	62.70	112.8
L250-D20-MT-A-P-T200-2	55.46	62.80	113.4
L300-D20-MT-A-P-T250	55.46	59.90	108.8
L300-D25-LT-A-P-T200	112.00	128.20	114.5
L250-D25-LT-B-P-T200	112.00	130.10	116.2
L300-D25-LT-A-P-T250	112.00	127.40	113.8
L200-D30A-LT-A-P-T150	112.00	129.50	115.6
L350-D30A-LT-A-P-T200	112.00	127.90	114.2
L250-D30A-LT-A-P-T200	112.00	129.70	115.8
L250-D30A-LT-B-P-T200	112.00	128.80	115.0
L300-D30A-LT-A-P-T250	112.00	127.20	113.6

### 3.3 에폭시파괴로 인한 인발강도

인장력을 받는 앵커의 인발강도를 결정함에 있어 기존 콘크리트용 앵커의 경우 선설치 앵커와 후설치 앵커로 나누어진다. 선설치 앵커의 경우 명확한 계산식이 나와 있는 반면, 후설치 앵커의 경우 제5백분위수를 기초로 하여야 한다고 제시되어 있다(Korea Concrete Institute, 2012). 따라서 본 논문에서는 아스팔트 앵커의 인발강도를 산정하기 위해 실험값을 기준으로 에폭시의 접착강도 및 앵커직경과 아스팔트앵커의 시공 후 인발하였을 때 실제 에폭시 구균이 형성된 아스팔트앵커 접착면적을 이용하여 비교 분석을 실시하였다.

도로표면으로부터 보조기층 50 mm까지 시공된 앵커들 중 에폭시 파괴로 인발된 앵커의 하중값의 상관관계를 Fig. 5에 나타내었으며, 이로부터 강도감소계수  $\alpha$ 의 보정값을 얻을 수 있다.

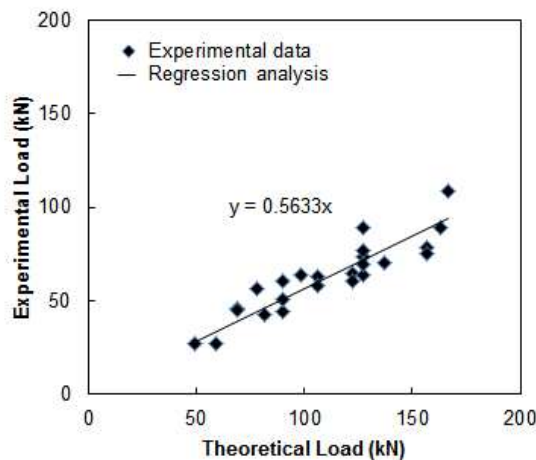


Fig. 5. Calculation of strength reduction factor

아스팔트 앵커의 뽑힘강도  $N_{AP}$ 는 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$N_{AP} = \sigma_b H_a \pi D_a \alpha \beta \quad (2)$$

여기서,  $H_a$ 는 실제 구근이 형성된 에폭시 높이,  $D_a$ 는 앵커헤드부의 직경,  $\sigma_b$ 는 에폭시 접착강도,  $\alpha$ 는 강도감수계수,  $\beta$ 는 아스팔트 표면온도에 따른 강도감소계수이다. 이 식에서  $\beta$ 를 구하기 위해서는 다양한 온도조건하에서의 실험이 필요하지만 본 논문에서는 아스팔트 표면온도  $20 \pm 5^\circ\text{C}$ 인 경우에 대해서만 검토하여  $\beta=1$ 로 하였다. 또한 앵커 매립깊이가 보조기층의 50 mm 지점을 초과한 경우, 앵커의 인발강도는 증가하지만 상대적으로 정착길이 증가량에 비해 보강효과가 떨어지며 경제성 및 시공성 측면에서 불합리하다 판단되어 검토에서 제외하였다.

식 (2)에 강도감수계수(0.5633의 추제선식을 나타내고 있으나, 안전율을 고려하여  $\alpha=0.45$  적용)를 적용하여 아스팔트 앵커 실험을 통해 얻은 인발하중을 제안식과 비교 검토하면 Table 4와 같다. 표에서 모든 실험체의 실험결과가 계산식에 비해 103%~159%의 범위에서 안전율을 확보하고 있는 것으로 나타났다.

Table 4. Calculated and experimental pullout load for type of epoxy fracture

Division	Length of anchor (mm)	Embedment depth of epoxy (mm)	Calculated pullout load (kN) (a)	Experimental pullout load (kN) (b)	Ratio(%) (b)/(a)
L250-D25-MT-B-P-T200-2	250	60	22.0	26.8	122
L250-D25-MT-B-P-T200-1	250	100	36.8	42.5	116
L200-D25-MT-A-P-T150-1	200	110	40.5	60.1	149
L200-D25-MT-B-P-T150-1	200	110	40.5	43.9	109
L200-D25-MT-B-P-T150-2	200	110	40.5	50.7	125
L200-D25-MT-A-P-T150-2	200	130	47.8	62.6	131
L300-D25-MT-A-P-T250	300	130	47.8	57.7	121
L250-D25-MT-A-P-T200-1	250	150	55.1	64.8	118
L250-D25-MT-A-P-T200-2	250	150	55.1	60.1	109
L300-D25-MT-B-P-T250	300	200	73.5	88.8	121
L250-D30A-MT-B-P-T200-1	250	60	26.5	27.3	103
L250-D30B-MT-A-P-T200-1	250	70	30.9	46.1	149
L250-D30B-MT-A-P-T200-2	250	70	30.9	45.1	146
L300-D30B-MT-A-P-T250	300	80	35.2	56.2	159
L200-D30B-MT-A-P-T150-1	200	100	44.1	63.4	144
L200-D30A-MT-A-P-T150-2	200	130	57.3	73.4	128
L200-D30A-MT-B-P-T150-1	200	130	57.3	64.1	112
L200-D30A-MT-B-P-T150-2	200	130	57.3	89.0	155
L300-D30A-MT-A-P-T250	300	130	57.3	69.3	121
L200-D30B-MT-A-P-T150-2	200	130	57.3	77.0	134
L200-D30A-MT-A-P-T150-1	200	140	61.8	70.6	114
L250-D30A-MT-A-P-T200-1	250	160	70.6	78.6	111
L250-D30A-MT-B-P-T200-2	250	160	70.6	75.3	107
L250-D30A-MT-A-P-T200-2	250	170	75.0	109.0	145

### 3.4 인장력을 받는 앵커의 아스팔트 파괴강도

인장력을 받는 앵커의 아스팔트 파괴강도의 계산식은 인장력을 받는 앵커의 콘크리트 파괴강도식을 응용하여 산정할 수 있다. 콘크리트 파괴면의 투영면적은  $A_{Nco} = 9h_{ef}^2$ 로 구해지는데, 이는 콘크리트용 앵커에만 해당하기 때문에 아스팔트 앵커에는 적용할 수 없다. 그러므로 아스팔트 파괴면의 투영면적을 산정하기 위해 그룹인발 앵커의 실험결과값을 참고로 하여  $A_{Nc}$  값에 실험값을  $x$ 를 취하고, 실험을 통해 얻은 2~4개 그룹앵커의 인발하중값으로부터 역산하여 0.337의 아스팔트 앵커의 실험 산정값을 얻을 수 있다. 이를 통해 인장력을 받는 아스팔트 앵커의 파괴강도식의 기초가 되는 인장을 받는 단일앵커 파괴면의 투영면적( $A_{Nao}$ )은 식 (3)과 같으며, Fig. 5(b)의 평면도에서 추정된 식을 참고하여 이해할 수 있다.

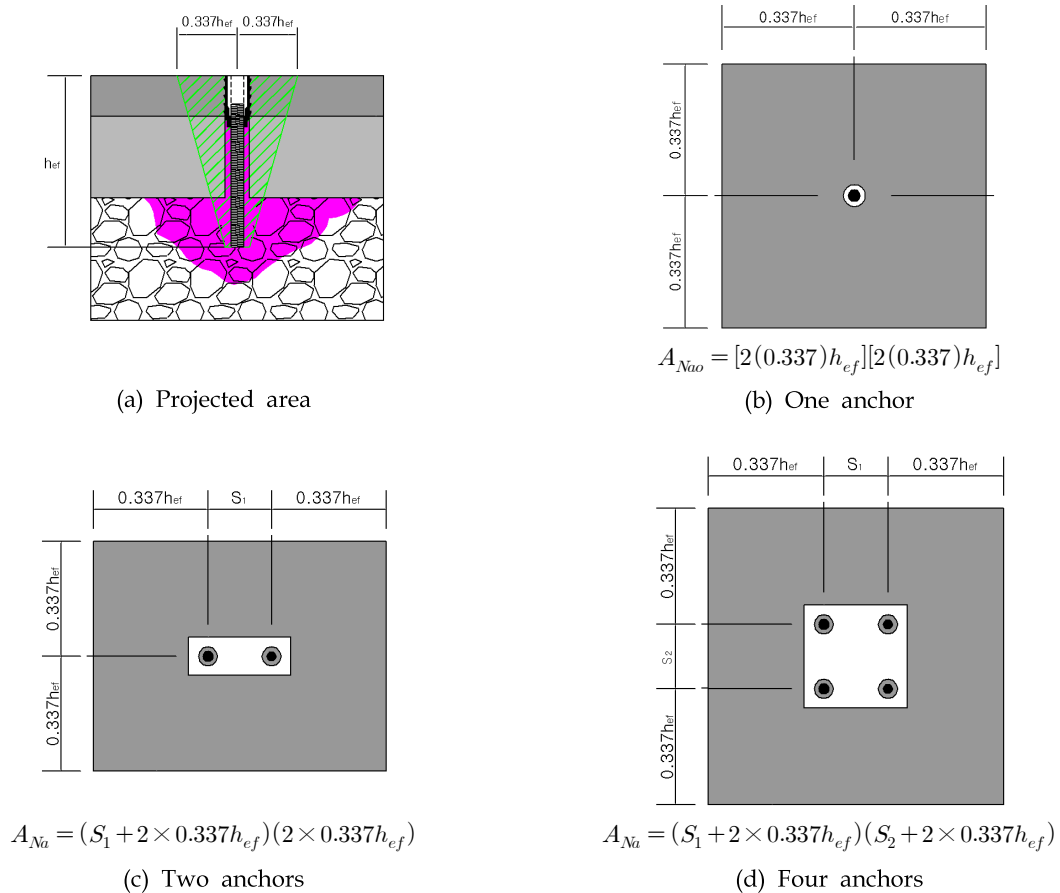


Fig. 6. Calculation of projected area due to anchor quantity

$$A_{Nao} = 0.4543h_{ef}^2 \quad (3)$$

여기서,  $h_{ef}$ 는 앵커의 유효매립깊이이다. 이로부터 인장력을 받는 앵커의 단일 또는 그룹 아스팔트 파괴강도  $N_{Aag}$ 는 식 (4)와 같이 나타낼 수 있으며, 인장을 받는 앵커에서 콘크리트 파괴체의 투영면적인  $A_{Na}$ 의 값은 앵커수량에 따라 Fig. 6를 참고하여 구할 수 있다.

$$N_{Aag} = \frac{A_{Na}}{A_{Nao}} N_{AP} \quad (4)$$

식 (4)를 사용하여 아스팔트 앵커 실험을 통해 얻은 인발하중을 제안식과 비교하면 Table 5 및 Fig. 6과 같다. 이로부터 아스팔트 파괴강도에서 실험값과 본 논문에서 제안한 이론식과의 비는 약  $\pm 10\%$  이내의 오차로 근사치를 나타내고 있다. 이로부터 아스팔트 앵커의 경우에도 콘크리트 앵커와 동일한 투영면적의 비가 성립될 수 있을 것으로 판단된다.

Table 5. Calculated and experimental pullout load for type of asphalt fracture

Division	Amount of anchor	Calculated pullout load (kN) (a)	Experimental pullout load (kN) (b)	Ratio(%) (b)/(a)
L250-D25-MT-A-P-T200-1	1	64.60	64.80	100.3
L250-D25-MT-A-GP2-T200	2	103.00	104.70	101.7
L250-D25-MT-A-GP3-T200	3	141.30	139.20	98.5
L250-D25-MT-A-GP4-T200	4	164.10	161.90	98.7

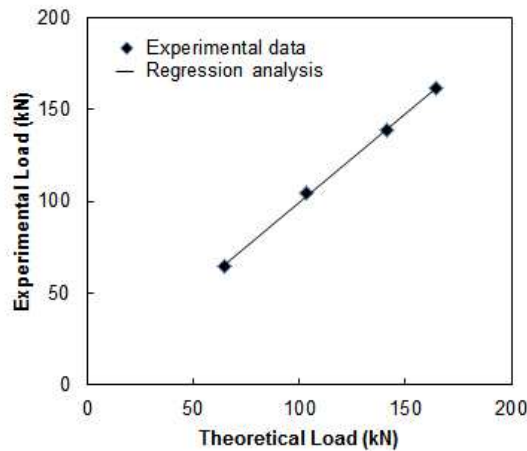


Fig. 7. Comparison of experimental and calculated data

#### 4. 결론

인장하중을 받는 아스팔트 도로용 고강도 앵커의 강도특성에 관한 기초 성능을 규명하기 위해 앵커 매립깊이, 포장두께, 앵커 직경, 앵커 종류, 실험 온도, 에폭시 종류, 그룹인발 수량 등을 실험변수로 하여 정적 인발실험을 실시하고, 아스팔트 앵커의 인발강도에 대하여 분석한 결과 얻어진 결론은 다음과 같다.

(1) 아스팔트 앵커의 강제강도는 기존 콘크리트 앵커 강제강도식을 적용하면 1.08배 이상의 안전율을 확보할 수 있으므로 콘크리트 앵커의 강제강도식을 사용하여도 무관한 것으로 나타났다.

(2) 아스팔트 앵커의 인발강도는 앵커의 부착면적에 에폭시 접착강도와 강도감소계수 0.45를 곱한 실험식으로 제안할 수 있으며, 계산결과가 103%~159%의 범위에서 안전율을 확보하고 있는 것으로 나타났다.



(3) 아스팔트 앵커 실험을 통해 얻은 인발하중을 제안식과 비교하면 약  $\pm 10\%$  이내의 오차로 근사치를 나타내고 있다. 이로부터 아스팔트 앵커의 경우에도 콘크리트 앵커와 동일한 투영면적의 비가 성립될 수 있을 것으로 판단된다.

## 감사의 글

이 논문은 2016년 한국교통대학교 지원을 받아 수행하였음.

## References

- Ick Hyun Kim, Dong Uk Choi, Sung Chul Chun, Deuk Won Lee and Moon Hee Yang (2004). "Comparison of test results of anchors with design strength." Proceedings of the Korea Concrete Institute, Vol. 16, No. 1, pp.71-95.
- Jung Bum Jang, Yong Pyo Suh and Jong Rim Lee (2008). "A study on the evaluation of concrete breakout strength for cast-in-place anchor with crack." Journal of the Korean Society of Civil Engineers, Vol. 24, No. 3A, pp.647-652.
- Korea Concrete Institute (2012). Concrete design code and commentary, pp.463-498.
- Korea Concrete Institute (2010). Design method and examples for concrete anchor(2nd edition), pp.23-67.
- Kwang Myong Lee, Chin Yong Lee, Sang Hwa Jung and Seul Woo Choi (2009). "Tensile and shear test method for post-installed mechanical anchors embedded in concrete." Proceedings of the Korea Concrete Institute, Vol. 21, No. 1, pp.97-98.
- Min Tae Kim, Sok Hwan Choi, Chang Bin Joh, Byung Suk Kim and Jung Woo Lee (2013). "The breakout strength of anchors under tension according to the embedment length and edge distance." Proceedings of the Korea Concrete Institute, Vol. 25, No. 1, pp.353-354.
- Sung Kyun Paek, Ho Seop Kim, Young Soo Yoon and Sang Yoon Kim (2001). "Fracture behavior of cast-in-place headed anchors to concrete." Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance Inspection, Vol. 5, No. 3, pp.141-152.