



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

碩 士 學 位 論 文

단면증대 무근 콘크리트 기둥의
성능평가

濟州大學校 産業大學院

建 築 工 學 科

金 允 熙

2014 年 06 月

단면증대 무근 콘크리트 기둥의 성능평가

Evaluation of capacity of concrete
jacketed non-reinforced concrete column

指導教授 高 東 佑

金 允 熙

이 論文을 工學 碩士學位 論文으로 提出함.

2014 年 06 月

金允熙의 工學 碩士學位 論文을 認准함

審査委員長 _____ (印)

委 員 _____ (印)

委 員 _____ (印)

濟州大學校 産業大學院

2014 年 06 月

목 차

목 차	1
그림목차	3
표 목 차	5
A B S T R A C T	7
제 1 장 연구배경 및 목적	1
1.1 연구의 배경	1
1.2 연구의 내용	5
1.3 연구의 목적	6
제 2 장 기존연구 고찰	7
2.1 표면거칠기 관련 연구	7
2.2 단면증대 부재 관련 연구	11
2.3 기존연구와의 차별성	13
2.4 단면증대 보강사례	14
2.4.1 기둥의 단면증대 보강사례	14
2.4.2 현행 기존단면증대공법의 소요비용	17
제 3 장 콘크리트 표면거칠기의 평가	19
3.1 표면거칠기의 정량화	19
3.1.1 KS기준의 규격	19
3.1.2 정의 및 기호	20
3.1.3 기존연구에서 표면거칠기의 정량화	24

3.1.4	본 연구에 적용한 거칠기 지표	25
3.2	표면거칠기 측정	27
3.2.1	표면거칠기 측정기 제작	27
3.2.2	표면거칠기 측정결과	30
제 4 장	단면증대 무근콘크리트기둥의 성능평가	34
4.1	실험 계획	34
4.1.1	실험 변수	34
4.1.2	실험체 제작	35
4.1.3	배합 설계(재료)	37
4.1.4	계측 계획	38
4.2	원형공시체의 거동분석	39
4.2.1	압축압축하에서 콘크리트의 거동 고찰	39
4.2.2	일축압축하에서 보강된 원형공시체의 기계적 특성	42
4.3	단면증대된 짧은기둥의 거동 특성	45
4.3.1	실험 방법	45
4.3.2	최대하중 분석	46
4.3.3	거칠기에 따른 축성능 분석	49
4.3.4	변형률 분석	53
4.3.5	파괴양상비교 (응력전달과 계면)	55
제 5 장	결론 및 향후과제	57
5.1	요약 및 결론	57
5.2	향후과제	58
	참 고 문 헌	59
	부 록	61

그림 목 차

그림 1.1	금호아시아나 사옥	2
그림 1.2	수직증축허용 관련 기사	2
그림 1.3	연구과정	5
그림 2.1	신, 구콘크리트 접합면의 미세균열연구	7
그림 2.2	광학적 방법 또는 3D스캐너를 이용한 표면거칠기 측정장치	10
그림 2.3	Bett외 2인의 논문에서 실험변수 [B.J.Bett외 2인, 1988]	11
그림 2.4	압축시험기	12
그림 2.5	기둥의 단면증대를 위한 실제 현장 시공순서	15
그림 3.1	산술평균거칠기(Ra)를 구하는 방법	21
그림 3.2	최대높이(Ry)를 구하는 방법	21
그림 3.3	10점평균기울기(Rz)를 구하는 방법	22
그림 3.4	요철평균기울기(Sm)를 구하는 방법	23
그림 3.5	국부 산봉우리의 평균 간격(S)를 구하는 방법	24
그림 3.6	표면조도를 평가하는 그래프	25
그림 3.7	표면거칠기 그래프	26
그림 3.8	표면거칠기 측정 장치 도면	28
그림 3.9	표면거칠기 측정 방법	29
그림 3.10	표면거칠기 유형 분석	32
그림 4.1	기둥실험체의 크기	36
그림 4.2	기둥실험체의 계측계획	36
그림 4.3	일축 압축하에서의 콘크리트의 압축파괴 형상	40
그림 4.4	일축압축을 받는 콘크리트의 응력-변형률 곡선	41
그림 4.5	공시체 실험	42
그림 4.6	기준부재의 공시체의 응력-변형률 그래프	43
그림 4.7	보강부재의 공시체의 응력-변형률 그래프	44
그림 4.8	실험 셋팅	45

그림 4.9	최대하중을 구하는 식	46
그림 4.10	선형추세선 분석결과 그래프	50
그림 4.11	하중-변형률 그래프	54
그림 4.12	실험체 파괴양상	56

표 목 차

표 1-1 단면증대공법	3
표 2-1 Julio외 2인의 실험결과	9
표 2-2 표면거칠기 표준비용 산출	17
표 2-3 거칠기처리 표준비용 산출일위대가표	18
표 3-1 거칠기이력을 정량화지표에 따라 측정하여 비교한 표	31
표 3-2 표면거칠기 측정결과표(H)	33
표 3-3 표면거칠기 측정결과표(E)	33
표 4-1 내부코어 배합비 (m ³ 당 중량비 N)	37
표 4-2 외부코어 배합비 (m ³ 당 중량비 N)	37
표 4-3 기존부재의 공시체 실험 결과표	43
표 4-4 보강부재의 공시체의 실험 결과표	44
표 4-5 실험결과 나타난 최대하중 분석	48
표 4-6 거칠기에 따른 축성능 비교	49

Evaluation of capacity of concrete jacketed non-reinforced concrete column

Yun-Hee Kim

*Department of Construction and Environmental Engineering
Graduate School of Industry
Jeju National University*

Supervised by Professor Dong-Woo Ko

Summary

Recently, the needs for structural remodeling, which include the change and move of structural elements, have increased in Korea. This induce the increasing axial capacities of vertical elements like column and wall. A method for increasing axial capacity is very limited, and RC jacketing method is used widely in Korea. One of the biggest problems of this kind of elements are cracking of repair material, and repair material debonding from the concrete substrate. There are few researches about mechanisms and characteristics bond between existing concrete and repair materials. This mainly due to the lack of understanding and guide lines of the surface roughness of substrate.

This study quantified the surface roughness of the chipped specimen by using self-made measurement jig for measuring surface profile, and compression test for non-reinforced concrete columns. Experimental values are the ratio of the area between retrofitted column and existing column, and the preparation of surface roughness. The ratios (area of retrofitted column / area of existing column) are 2.25 and 4, and the surfaces are chipped (hand-chipped and electric – hammer - chipped)

and non-chipped. The conclusion is as follows.

(1) The analysis of the surface roughness profile through the instrument shows that the Arithmetic mean deviation, maximum height and relative height are almost similar but there exists poor correlation between the profile length and the average mean period of profile roughness.

(2) The comparison of the maximum load shows that the axial performance decreased by 15% maximum compared to the expected maximum load under the RC jacketing method and the maximum strength of chipped specimens increased by about 4% compared to the case non-chipped specimens.

(3) The comparison of the correlation between 5 surface roughness indexes (Arithmetic mean deviation, maximum height, relative height of profile length and mean period of profile roughness) and the maximum strength through the linear trend analysis shows that the profile length and the maximum R^2 strength is 0.26, much larger than the other surface roughness index (0.057 - 0.138), meaning that the profile length holds the largest correlation with the roughness ability of the member under the axial load.

(4) The horizontal expansion appeared based on the Poisson ratio by the elastic movement up to 40% of the maximum load. Then, it depended on the internal damage and cracks of the specimen and the distortion rate by the vertical expansion dramatically increased around 80% of the maximum load.

제1장 연구배경 및 목적

1.1 연구의 배경

지난 30여년간 우리나라의 국토개발 방향은 신규 택지개발 또는 기존 도시 구역에 대한 재개발이 주를 이루어 오다가, 최근 들어 기존 건물의 골조는 그대로 두고 편의성과 내구연한을 증가시키는 리모델링에 대한 논의가 활발하게 이루어지고 있다. 이와 같은 리모델링의 결과 건축기술의 발전과 더불어 종전의 설비 또는 마감재를 리모델링하는 소극적 리모델링에서 벗어나, 층수의 증가 또는 기존 구조시스템의 변동까지 아우르는 적극적인 리모델링으로 변화하고 있다.

금호아시아나 사옥 그림 1-1의 경우 기존 지하 7층 지상 20층의 건물을 지하 8층 지상 29층으로 증축하였을 뿐만 아니라, 주된 횡력저항 시스템인 코어의 위치를 양측코어에서 중앙코어로 변형시키는 등 구조적인 큰 변화를 주어 2008년에 리모델링 되었다. 이와 같이 구조적으로 큰 변화를 주는 건물의 리모델링에서는 주된 수직부재의 위치가 변하거나, 부재의 크기가 변하게 되어 단면증대 공법을 사용하는 것이 불가피하다.

특히, 주택법 제2조등의 법령에 따라 2014년 4월 25일부터는 공동주택은 최대 3개층까지 수직증축이 허용되고, 세대수 또한 기존 세대수 대비 15%까지 증가시킬 수 있도록 법이 바뀐에 따라 구조적 변경까지 적용되는 공동주택 리모델링 수요는 현재보다 더욱 증가할 것으로 기대되고 있다 [그림 1-2].

이와 같은 구조적인 보강을 포함하게 될 리모델링 수요 증가가 예상됨에 따라, 리모델링 과정에서 투입되는 인력과 비용의 절감요인을 찾고 분석해야 할 필요성 또한 대두 되고 있다.



그림 1-1 금호아시아나 사옥

아파트 리모델링시 수직증축 허용한다

분당 등 1기 신도시 혜택
신축 주택 양도세 한시 감면
종합 부동산 대책 오늘 발표

경기 성남시 분당 등 지은 지 20여년이 넘는 1기 신도시 아파트에 대해 리모델링 시 수직증축이 허용될 전망이다. 또 신축 주택의 양도소득세와 생애 최초 주택의 취득세 감면 등이 추진된다. 31일 관련 부처 등에 따르면 정부는 1일 오후 발표하는 종합 부동산 대책에 이 같은 내용을 포함한 것으로 알려졌다.

아파트 리모델링 수직증축은 기존 아파트에 3~4층을 추가로 지어 일반에 분양할 수 있게 하는 것으로 아파트 거래 활성화에 도움이 될 것으로 전망된다. 정부는 지금까지는 아파트

층수를 늘리는 리모델링은 건물 안전에 위협을 줄 수 있다며 수직증축을 반대했었다. 건설산업연구원 등 전문가 단체들과 주민들은 15층 이상 단지에서 3개 층 정도의 수직증축은 안전에 이상이 없다며 줄기차게 수직증축을 요구했었다.

국토부 관계자는 "수직증축을 허용해도 완벽한 안전진단을 전제로 허용할 것"이라며 "분당 등 1기 신도시를 비롯해 기존 아파트 거래 활성화에 실질적인 도움이 될 것"이라고 말했다.

그러나 대책에는 시장에서 줄기차게 요구해 온 총부채상환비율(DTI)과 담보대출인정비율(LTV) 등 금융 규제 완화는 이미 1000조원을 넘는 가계대출을 자극할 수 있어 제외된 것으로 전해졌다.

대책은 또 보편적 주거복지 달성을 위한 박근혜 대통령의 공약 이행

방안과 주택거래 정상화를 위한 부동산 세제 완화 방안, 하우스푸어·렌트푸어 대책 등을 담을 예정이다. 업계에서는 당초 예상보다 강도 높은 수준의 대책이 나올 것으로 보고 있다.

다주택자 양도세 증과, 분양가 상한제 등 과거 집값 급등기에 도입됐던 규제는 계속 정비해 나간다는 방침이다. 미분양 주택뿐 아니라 신축주택의 양도세를 한시 감면해 주는 방안도 유력하게 거론된다. 생애 최초 주택구입자에 대해 올해 말까지 한시적으로 취득세를 면제해 주고 국민주택기금 대출 이자도 3% 초반대로 낮춰 줄 방침이다. 전세자금 대출 이용 자격을 완화하고 저소득 임차 가구에 대해서는 주택 바우처를 제공할 계획이다.

세종 류찬희 선임기자 chant@seoul.co.kr

세종 이두걸 기자 douz@seoul.co.kr

▶관련기사 16면

(15.6*11.6)cm

그림 1-2 수직증축허용 관련 기사

구조물의 성능을 향상시키는 리모델링 방법은 크게 횡력에 대한 구조물의 성능을 증대시키는 방법과 증가된 연직하중에 대한 성능을 증대시키는 방법으로 나눌 수 있다.

횡력에 대한 구조물의 성능을 증대시키기 위해서는 횡력에 의해 각 부재에 추가로 작용하는 전단력과 휨모멘트에 대한 저항성능을 향상시켜야 한다. 이를 위해 각 부재의 연성을 증대시키는 방법을 취하게 되는데, 탄소섬유, FRP보강, 철판보강 등이 대표적인 연성증대 공법이다.

그리고, 수직증축 또는 건물의 구조적인 변화가 발생할 경우, 수직부재에는 전단력과 휨모멘트 뿐만 아니라, 축력의 증가도 불가피하게 발생한다. 수직부재에 작용하는 축력이 증가하는 것은 부재의 단면을 증대시키는 방법 또는 강재보강법이 주로 사용되고 있으나, 철근콘크리트 건물에 주로 사용되는 보강 공법들이 어떤 부재력에 효과적인지 표 1-1에 정리 하였다.

표 1-1 단면증대공법

부 재	단면증대	강재보강	철판보강	탄소섬유보강
압 축 력	○	△	×	×
전 단 력	○	○	△	△
모 멘 트	○	○	○	○

단면증대공법을 적용한 부재에서 가장 이상적인 것은 기존부재와 보강된 부재가 서로 일체화 거동을 하는 것이다. 두 재료가 일체화 거동을 하기 위해서는 기존부재와 보강된 부재가 접하는 면에서 발생하는 전단응력과 축응력이 원활하게 전달되어야 한다. 기존부재와 새롭게 증대된 부재 사이에 일체거동을 묘사하기 위해 가장 많이 수행된 분야는 토목분야의 도로교상판과 토핑된 부분이 일체화 거동을 하기 위해 필요한 면처리 기법에 대한 연구가 많이 수행된 바 있다.

그러나, 건물의 단면증대된 부재에서 발생하는 접합면의 처리에 대한 연구는 거의 수행된 바 없으며, 표면의 처리방법에 따른 응력전달효과에 대한 연구도 거의 이루어지지 않았다.

이로 인해, 현재 실무에서는 표면거칠기에 대한 기여를 무시하고, 장부 철근을 배근하여 기존콘크리트와 증대된 새로운 콘크리트 사이에 발생하는 전단력에 저항하도록 설계하고 있다.

이는 과도한 장부철근의 배근을 초래하고 있으며, 이로 인해 시공 과정에서도 장부철근을 기존콘크리트에 정착시키는 번거로움이 발생하고, 장부철근을 정착하는 과정에서 기존 부재에 손상도 발생할 가능성이 있다.

따라서, 단면증대 보강된 기둥의 접합면에서 발생하는 역학적 거동을 파악하기 위한 연구를 통해 압축력이 주로 발생하는 기둥의 효과적인 보강방법에 대한 연구를 수행함으로써, 가장 경제적으로 단면증대공법을 적용할 수 있는 방법을 모색할 필요성이 있다.

1.2 연구의 내용

압축력에 주로 저항하는 단면증대된 기둥에서 기존 콘크리트면의 거칠기 정도에 따른 응력전달 및 저항 메커니즘을 분석하기 위해 다음과 같은 과정을 거쳐 수행하였다 [그림 1-3].

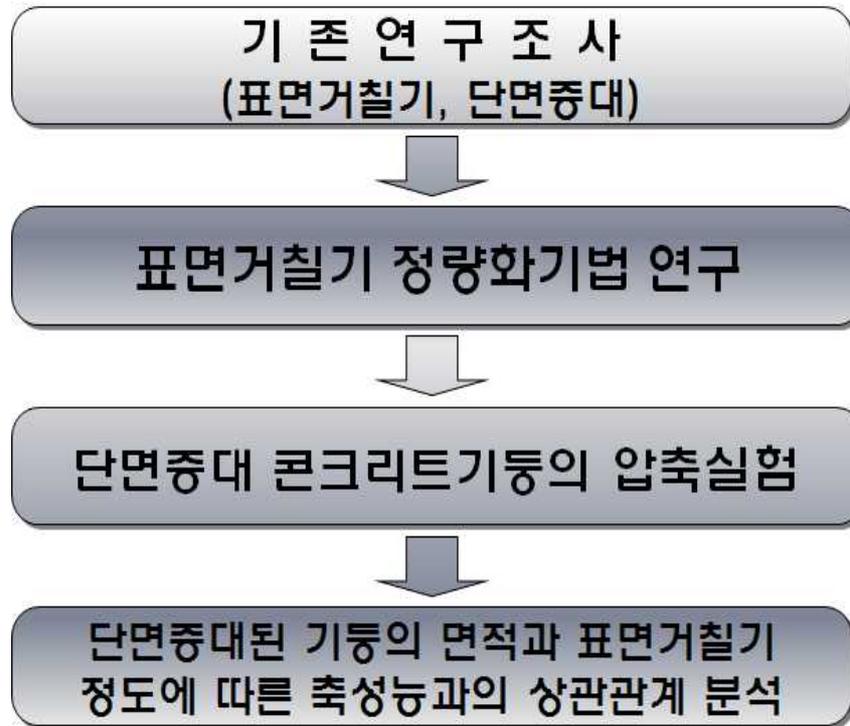


그림 1-3 연구과정

이와 같은 연구내용을 본 논문에서는 다음과 같이 정리하였다. 제 1장에서는 연구의 목적 및 배경과 필요성에 대하여 살펴보고, 제 2장에서는 표면거칠기와 단면증대 부재에 관련한 국내·외 연구동향을 살펴보고, 기존연구에 대한 문제점과 한계에 대해서도 언급할 것이다.

제 3장에서는 기존연구에서의 표면거칠기의 정량화에 대하여 살펴보고, 기존 연구를 바탕으로 하여 콘크리트 표면거칠기에 대한 측정과 정량화에 대해 평가를 하였다.

제 4장에서는 표면거칠기 측정 및 단면증대된 무근콘크리트 기둥의 압축실험을 수행하여 표면거칠기에 대한 압축력 저항성을 분석하고, 압축응력하에서의 콘크리트 거동에 대하여 분석하였다.

제5장에서는 3장과 4장에 서술된 내용을 정리하여 단면증대된 콘크리트 기둥의 압축성능에 대해 정리하고 결론을 도출하였다.

1.3 연구의 목적

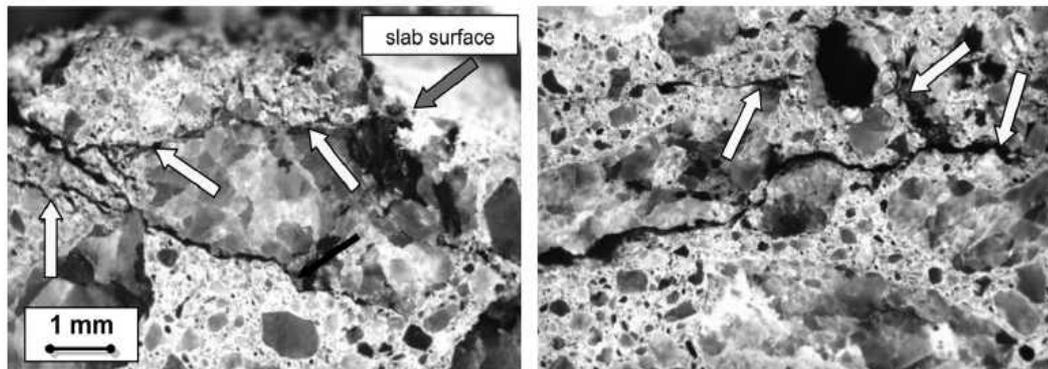
본 연구에서는 단면증대 보강된 무근콘크리트 기둥에 대한 압축강도실험을 수행함으로써, 단면증대된 기둥의 단면크기, 기존콘크리트면의 표면거칠기 정도에 따른 단면증대된 기둥의 성능을 평가하여 향후, 건축물의 수직부재에서 단면증대 공법을 적용하기 위한 시방서를 작성하는데 기초자료로 활용하고자 한다.

제2장 기존연구 고찰

2.1 표면거칠기 관련 연구

표면거칠기에 대한 연구는 기계공학분야에서 기계들 사이의 마찰을 줄여 기계 구동상 효율을 높이기 위한 방안으로 표면거칠기를 측정하고, 평가하는 기준을 적용하여 왔다. 그러나, 건축 및 토목 부분에서는 구조물의 표면 거칠기에 대한 특별한 연구가 수행되지 않다가 최근 들어 부재 사이의 접합성능을 평가하기 위한 방법으로 여러 가지 방법이 제시된 바 있다.

1989년 R.A. Bass의 2인[Bass의 2인, 1989]은 기존콘크리트와 새로운 콘크리트 사이의 전단력 전달성능을 파악하기 위하여 기존콘크리트와 새로운 콘크리트 사이의 장부철근의 양을 변수로 설정하여 실험적 연구를 수행한 바 있다. Bissonnette의 4인[Bissonnette의 4인, 2006]은 콘크리트를 제거할 때 부착력과 미세균열의 영향 등에 대해 연구한 바 있고 [그림 2-1], ACI 364위원회[ACI, 2002]에서는 조면처리시 사용한 장비의 규모에 따른 슬래브면의 미세균열의 발생 정도, 기존연구에서 나타난 기존콘크리트와 새로운 콘크리트의 접합성능 등을 분석하여 콘크리트의 보수과정에서 수행하는 조면처리를 최소화하고 이를 평가하기 위한 방법을 제시하였다.



a) Slab prepared with a 30-lb breaker

b) Slab prepared with a 45-lb breaker

그림 2-1 신, 구콘크리트 접합면의 미세균열연구

표면의 거칠기와 이의 역학적 특성에 대한 연구는 다음과 같다.

Tair[Tair외 4인, 2000]는 콘크리트구조물에서 손상된 부분을 보강하고, 구조물의 내력을 증진시키기 위해 단면을 보강 또는 보수하는 과정에서, 기존재료와 새로운 재료 사이의 부착성능을 극대화하기 위해 수행하는 표면처리를 정량화하기 위한 새로운 방법을 거칠기각(Roughness Gradient)으로 제시하였다.

Tair는 이 논문에서 단순히 파손 시킨 콘크리트면, 핸드치핑에 의한 면처리, 전동햄머에 의한 면처리를 수행한 면에 대해 texture-meter를 이용한 표면이력을 조사하여 거칠기면에 대해 평가하였다. 거칠기면을 평가한 기준은 표면이력의 진폭, 표면이력길이, 그리고 거칠기각이었으며, 이들 실험체에 대해 부착실험을 수행하여 거칠기 평가법에 따른 부착강도와 비교하여 거칠기각이 표면거칠기를 나타내기 가장 좋은 지표임을 보여 주었다.

폴란드의 Garbacz외 2인[Garbacz외 2인, 2013]은 콘크리트 구조물을 단면증대 보강을 함에 있어 기존부재와 새롭게 보강된 재료 사이의 부착력에 대한 상관관계를 파악하기 위해 콘크리트 거칠기를 정량화하기 위한 연구를 수행한 바 있다. 이들은 여러가지 표면거칠기 수준을 반영하기 위해 기존에 사용되는 여러가지 면처리 방법을 도입하고, 표면거칠기를 정량화하기 위해 레이저 프로파일미터, 기계적인 프로파일미터, 현미경을 사용하는 방법 등을 이용하여 표면거칠기를 관찰하였다. 이들은 이 연구를 통해 부착강도와 표면거칠기 지수와의 상관관계에 대해 정리하였다.

Julio외 2인[Julio외 2인, 2004]은 콘크리트 표면의 거칠기를 점차 증가시키면서 두 콘크리트면 사이의 부착력이 얼마나 증가하는지 연구하였다. 총 25개의 경사진 전단실험체와 25개의 직접인장실험체를 제작하여 실험을 수행하였다.

이를 위해 각 실험체의 표면을 와이어브러쉬, 샌드블라스, 잭햄머를 이용한 치핑 등을 수행 하였다. 실험 결과, 샌드블러스트 작업을 한 실험체가 전단실험에서는 가장 부착력이 높았으며, 직접인장실험은 현장에서 부착강도를 평가하는데 적절함을 보여주었다. 그리고, 타설전에 기존부재에 물을 뿌리는 조치는 부착강도에 큰 영향을 미치지 않음을 실험적으로 보여주었다 <표 2-1>.

표 2-1 Julio외 2인의 실험결과

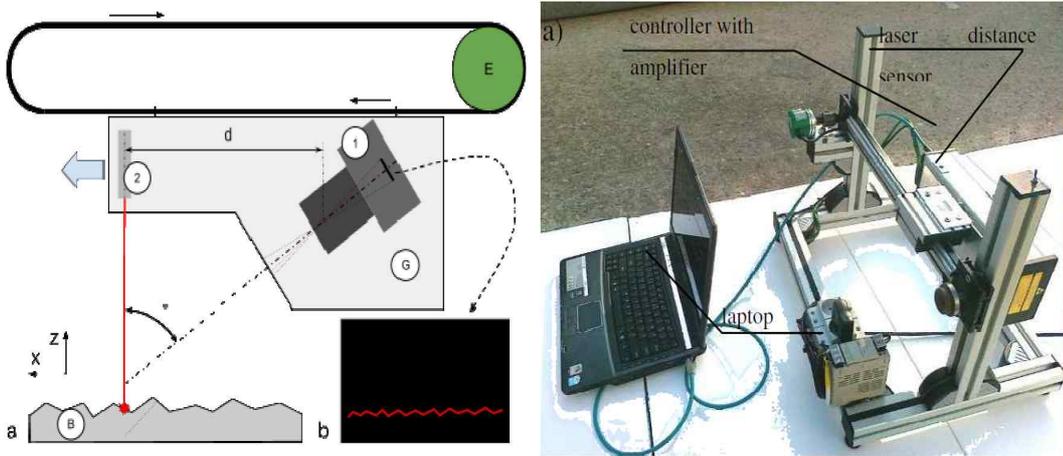
Slant shear test results

Situations considered	Substrate surface treatment	Bond strength in shear (MPa)	Variation coefficient (%)
1	As-cast against steel formwork	1.30	33.85
2	Wire-brushing	10.67	8.90
3	Partially chipped	6.24	20.67
4	Partially chipped and pre-wetted	6.64	13.10
5	Sand-blasting	14.13	8.56

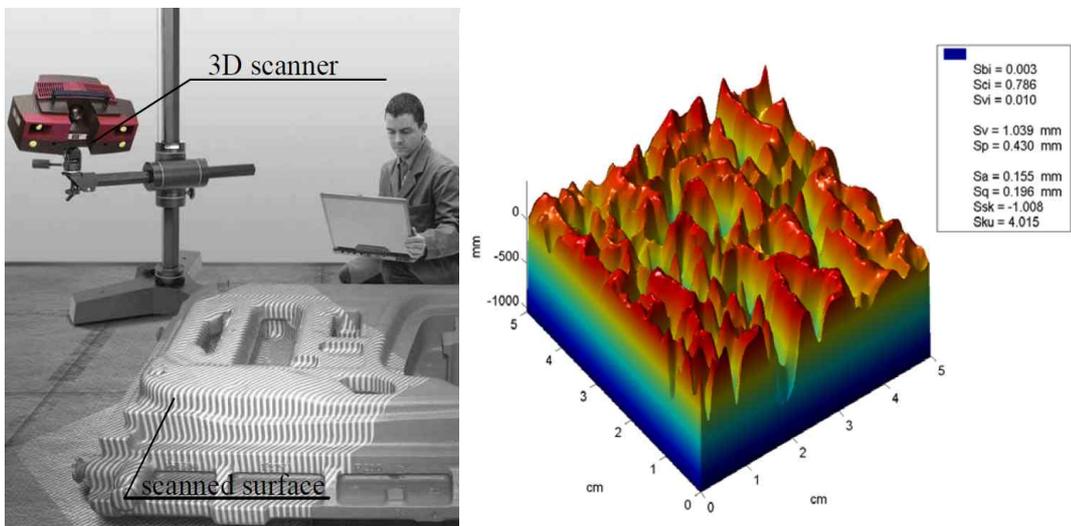
Pull-off test results

Situations considered	Substrate surface treatment	Bond strength in tension (MPa)	Variation coefficient (%)
1	As-cast against steel formwork	–	–
2	Wire-brushing	1.92	13.54
3	Partially chipped	1.47	7.48
4	Partially chipped and pre-wetted	1.02	12.75
5	Sand-blasting	2.65	6.42

그리고, 측정장비에 대해서는 Hola외 3인[Hola외 3인,2012]이 3차원 광학적인 방법을 이용하여 콘크리트 표면의 거칠기를 측정할 수 있는 장치를 개발하였으며, Grzelka[Grzelka, 2011]은 3D 스캐너를 이용하여 콘크리트의 표면거칠기를 측정할 수 있는 장치를 개발한 바 있다 [그림 2-2].



(a) Hola가 제안한 표면거칠기 측정장치



(b) Grzelka 가 고안한 3D 스캐너를 이용한 표면거칠기 측정장치
그림 2-2 광학적 방법 또는 3D스캐너를 이용한 표면거칠기 측정장치

2.2 단면증대 부재 관련 연구

단면증대부재에 대한 연구는 주로 단면증대된 기둥의 횡성능 평가에 대한 연구가 주로 이루어져 왔다.

철근콘크리트 기둥의 단면을 증대시킴으로써 기둥의 성능을 향상시키는 공법에 대한 연구는 중앙대 정영수 교수의 연구팀에서 교각의 소성힌지영역에 대한 성능을 향상시키기 위해 여러 가지 변수로 FRP보강 또는 철판보강을 수행한 기둥의 횡성능을 실험적으로 평가하는 연구가 수행된 바 있다.

B. J. Bett와 2인[B. J. Bett와 2인, 1988]은 8-D6의 주근이 배근된 360mmX360mm의 정방형 기둥의 단면을 510mmX510mm로 단면을 증대시켜 보강한 기둥에 일정한 축력을 가하면서 반복 횡하중 실험을 수행한 바 있다.

이때 보강된 부분은 슛크리트로 채웠으며, 기존 기둥의 콘크리트면과 새롭게 타설된 슛크리트의 면에 대한 연구보다는 기존 콘크리트를 가로질러 새롭게 배근된 전단철근에 정착되는 철근의 유무 또는 간격을 확인하기 위한 실험 연구를 수행하였다 [그림 2-3].

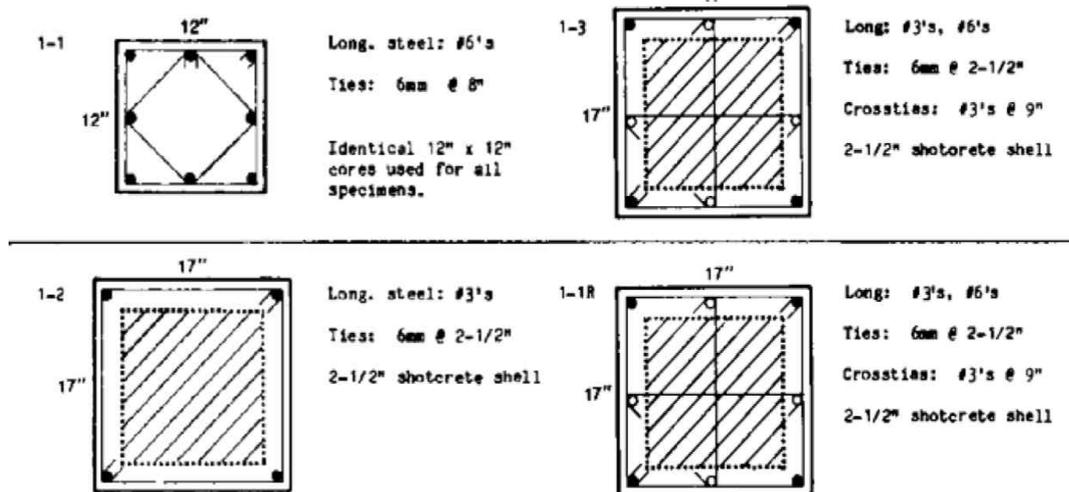


그림 2-3 Bett와 2인의 논문에서 실험변수 [B.J.Bett와 2인, 1988]

Julio[Julio의 2인 2005, Julio와 Branco 2008]는 콘크리트로 단면이 증대된 기둥에 대한 일방향실험과 반복횡하중실험을 통해 콘크리트기둥의 단면을 콘크리트로 증대시켰을 때, 기존 기둥 단면의 조면처리법에 따른 기둥의 거동을 일방향 가력실험과 반복횡하중실험을 통해 파악함으로써 단면이 증대된 기둥의 횡하중에 대한 거동을 비교한 바 있다 [그림 2-4].

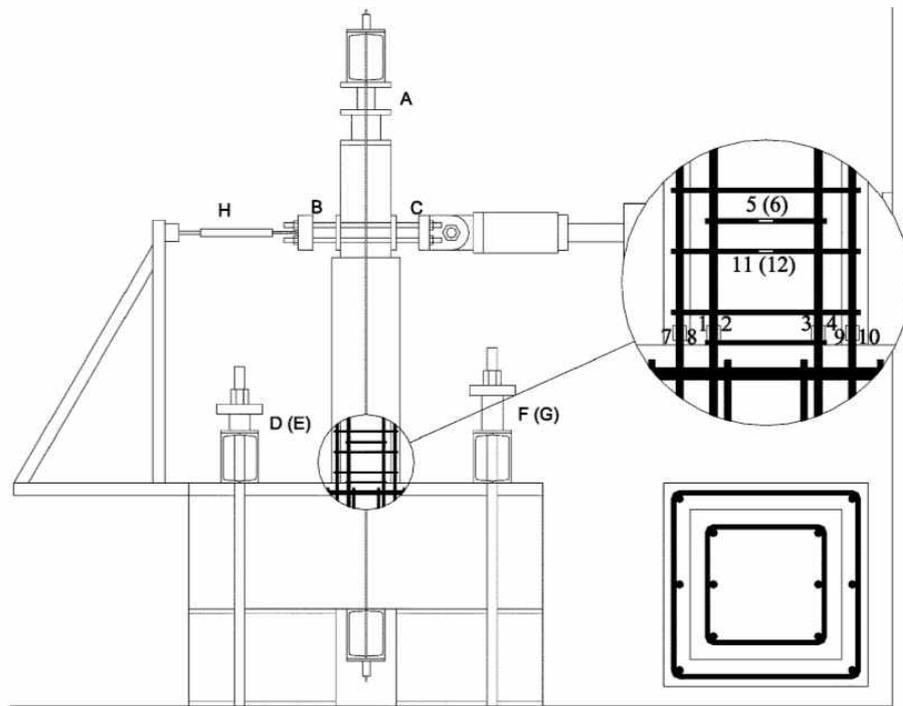


그림 2-4 압축시험기

한국과학기술원의 김정수[김정수, 2002]는 단면증대 공시체의 축강도를 예측하기 위한 실험적 연구에서 단면증대된 기둥에 대한 압축실험을 수행한 후, 프와송비와 기타 콘크리트의 응력-변형률곡선을 이용하여 이 강도를 예측하기 위한 식을 도출하였다. 이 연구에서는 기존부재의 강도와 외부 콘크리트의 강도의 차이, 그리고, 실험체의 폭과 높이의 비를 변수로 실험을 수행하였다.

이를 통해 상이한 강도로 타설된 공시체의 경우 축강도 실험시 프와송비 차이가 공시체의 축강도와 파괴이후의 응력-변형률곡선에 영향을 줌을 밝혀 내었으며, 공시체의 축강도에서 크기효과가 발생하는 것을 실험적으로 검증하였다.

2.3 기존연구와의 차별성

2.1과 2.2절에 언급한 연구들 이외에도 단면증대된 부재에 대한 연구는 있지만, 이들 부재들의 문제점은 다음과 같다.

표면거칠기에 대한 연구들은 전단에 대한 저항, 또는 뽑힘에 대한 저항성능을 비교하여, 최적의 표면거칠기 방법을 모색하는 연구가 대부분이었다. 이와 같은 연구가 주를 이루는 원인에는 표면거칠기를 평가하기 위한 부재들이 수직부재보다는 교량 상판의 토핑부분과 같이 주로 전단력에 저항하기 위한 부재들에 적용하기 위한 연구이기 때문이다.

그리고, 표면거칠기를 정량화하기 위한 연구는 광학적인 기법을 사용하여 표면 거칠기면을 묘사하고, 이를 통해 미세한 표면거칠기를 평가하고자 하는 연구가 대부분이었으며, 기존부재와 새로운 보강부재 사이의 역학적 일체성을 높이기 위한 의도적인 표면거칠기와는 다른 유형의 표면에 대한 거칠기 평가법을 제시하고 있다.

단면증대공법에 대한 연구는 단면증대되었을 때, 내진성능을 평가하기 위한 연구들이 대부분이며, 기본적으로 축성능에 대한 연구는 부분적으로만 수행되었다. 이 과정에서 표면거칠기를 변수로 한 연구 또한 수행된 바 없다.

따라서, 본 논문은 표면거칠기를 정량화하여, 이를 기반으로 무근콘크리트기둥의 압축성능을 평가함으로써, 기존부재의 표면거칠기와 콘크리트기둥의 축성능 사이의 상관성을 분석하고 제시한 점에서 기존의 연구들과는 차별성을 갖고 있다.

2.4 단면증대 보강사례

2.4.1 기둥의 단면증대 보강사례

그림 2-5는 구 콘크리트 및 콘크리트를 보강하는 단면증대공법으로서, 콘크리트 구조물의 표면 전부를 공기 타격식 해머를 이용하여 치핑한 후, 접합력을 최대화 하기 위해 요철 치핑 및 장부 철근연결을 위한 구멍을 타정하고, 그 면에 기둥주근 및 대근을 배근하여 신콘크리트를 타설하여 보강하는 과정 순으로 진행된다. 위와 같은 공법의 세부적 작업순서는 다음과 같다.

- (1) 기존콘크리트 표면 치핑
- (2) 연결철물 시공용 구멍천공
- (3) 에어청소 2회-에폭시주입
- (4) 연결철근 삽입
- (5) 에폭시 경화
- (6) 기둥 및 벽 철근 배근
- (7) 콘크리트 표면 고압 청소
- (8) 거푸집 설치
- (9) 콘크리트 타설
- (10) 양생후 거푸집 해체



(a) 조면처리(콘크리트면 치핑)



(b) 장부철근(연결철물 에폭시 고정)



(c) 철근 배근



(d) 면 청소



(e) 기둥철근 배근



(f) 기둥 증타후

그림 2-5 기둥의 단면증대를 위한 실제 현장 시공순서

단면증대공법의 세부 공정 및 작업내용을 살펴보면 다음과 같다.

(1) 1단계 - 단면증대 범위 및 방법 결정

- 정밀 측량 - 단면증대 기둥 및 벽체 도면 작성
- GPR에 의한 콘크리트 배후면 상태 조사
- 콘크리트 강도 조사 → 치핑심도결정
- 철근 배근 조사 ·중성화 심도 측정

(2) 2단계 - Chipping 및 요철 시공

- 결정된 chipping 작업으로 기초 콘크리트 표면 제거
- 접합부의 역학적 보강을 위한 요철 시공

(3) 3단계 - 진단 및 인장내력의 향상을 위한 연결철근 타정

- 드릴천공 후 잔재물 고압세정 공정

(4) 4단계 - 에폭시 주입후 연결철근 삽입

- 양생 후 주근 및 대근 철근배근
- 콘크리트 표면 고압 물청소후 콘크리트타설

2.4.2 현행 기존단면증대공법의 소요비용

표 2-2는 단면거칠기 처리를 수행하기 위한 표준비용산출 일위대가표로서 표면 거칠기를 수행하는 방법에 따라 각각 달리 적용하도록 하고 있다(인력치핑, 기계 치핑).

표 2-2 표면거칠기 표준비용 산출

(단위:원/m²)

품 명	재료비	노무비	경 비	계	비 고
인력 치핑	706	23,536	0	24,242	
기계 치핑	924	14,472	124	15,520	공기압축기 페이브먼트 브레이커
치핑면 청소		3,275	98	3,373	고압물청소

표 2-2의 표면거칠기의 표준비용산출은 콘크리트 표면 치핑 및 치핑면 고압 물청소 까지의 비용이며, m²당 약 18,893원의 비용이 소요되며 이 비용은 현장 여건에 따라 상이 할 수 있다.

표 2-3 거칠기처리 표준비용 산출일위대가표

품명	규격	단위	수량	재료비		노무비		경비		합계		비고
				단가	금액	단가	금액	단가	금액	단가	금액	
콘크리트치핑(인력) m²												
특별인부		인	0.23			102,334	23,536.8			102,334	23,536.8	
공구손료	인력품의3%	식	1	706.1	706.1					706.1	706.1	
계					706		23,536				24,242	
콘크리트치핑(기계) m²												
페이브먼트 브레이커	25.0kg(55#)	hr	0.1	0	0	0	0	375	37.5	375	37.5	
공기압축기	3.5m ³ /min	hr	0.05	10,513	525.6	23,389	1,169.4	1,746	87.3	35,468	1,782.3	
특별인부		인	0.13			102,334	13,303.4			102,334	13,303.4	
공구손료	인력품의3%	식	1	399.1	399.1					399.1	399.1	
계					924		14,472		124		15,520	
페이브먼트 브레이커 25.0kg(55#) HR												
페이브먼트 브레이커	25.0kg(55#)	대	0.25					1502	375.5	1502	375.5	
계									375.5		375.5	
공기압축기 3.5m³/min HR												
공기압축기	3.5m ³ /min	대	0.166					10,500	1746.1	10,500	1746.1	
경유	경유,저유황	L	6.2	1,618.1	9,063.2					1,461.8	9,063.2	
잡재료	주연료의16%	식	1	1450.11	1,450.1					1,450.1	1,450.1	
건설기계 운전사		인	1			23,389.1	23,389.1			23,389.1	23,389.1	
계					10,513		23,389		1,746		35,648	
고압 물 청소 m²												
특별인부		인	0.032			102,334	3,274			101,334	3,274.7	
공구손료	인력품의25%	식	1					98.24	98.24			
계							3,274		98.24		3,274.7	

제3장 콘크리트 표면거칠기의 평가

3.1 표면거칠기의 정량화

기계분야에 대해서는 표면거칠기와 관련하여 우리나라에서는 KS B 0601에서 규정하고 있고, 국제적으로도 ISO 4287/1 에서 표면의 거칠기와 관련한 여러가지 계산식을 제시하고 있다. 표면 가공정도와 기계부품 표면의 거칠기에 대한 규정과 연구는 기계분야에서 먼저 관심을 가졌었기 때문에, 기계표면의 정밀도가 기계적 기능과 수명을 결정할 뿐만 아니라 제품의 외관까지 좌우하고, 표면 가공정도와 기계부품 표면의 거칠기에 대한 규정과 연구에 관심을 가졌었다.

표면 거칠기 표준시편을 구성하는 재료의 요구조건으로는 충분한 내구성이 있는 재료로 구성되어야 하며, 거칠기의 크기에 따른 충분한 평가길이가 주어질 수 있도록 적절한 크기를 가져야 한다.

거칠기의 정도를 나타내는 가장 일반적인 방법은 표면을 측정물과 직각방향의 평면으로 절단한 후, 그 단면을 살펴보면 여러 개의 파형으로 이루어진 일련의 곡선의 형태를 띠게 되는데, 이 곡선의 가장 낮은 골에서 가장 높은 산까지의 거리를 최고값 거칠기로 표현하는 것이다.

그러나 이 방법은 지나치게 불확실하기 때문에 기계분야에서는 표면거칠기를 정량화하기 위한 몇 가지 방법을 기준에서 제시하고 있다.

3.1.1 KS기준의 규격

우리나라에서는 기계류의 표면거칠기 측정법과 관련하여 기계분야의 표면거칠기의 측정법 KS B 0161에서 규정하고 있는데, 디지털 측정기술이 발달하면서 관련

규정도 보완, 변천되었다.

아날로그식 측정법이 주로 사용되던 1999년 이전에는 중심선 평균거칠기(R_a), 최대높이(R_{max}), 10점평균거칠기(R_z) 등 3종류가 사용되다가, 디지털방식의 측정법이 널리 사용된 1999년 이후에는 요철평균간격(S_m), 국부산봉우리평균간격(S), 부하길이비율(t_p)의 세가지 방법이 추가되었다.

3.1.2 정의 및 기호

표면거칠기는 대상면으로부터 임의로 채취한 각 부분에서의 표면거칠기를 나타내는 파라미터인 산술평균거칠기(R_a), 최대높이(R_y), 10점평균거칠기(R_z), 요철평균간격(S_m), 국부봉우리 평균간격(S), 부하길이비율(t_p)의 각각의 산술평균값을 말한다. 일반적으로 대상면에서는 각 위치에서의 표면 거칠기는 같지 않고 상당히 많이 흩어져 있는 것이 보통이다. 따라서 대상면의 표면 거칠기를 구하려면 그 모평균을 효과적으로 추정할 수 있도록 측정 위치 및 그 개수를 정하여야 한다. 또한 측정 목적에 따라서는 대상면의 한 곳에서 구한 값으로 표면 전체의 표면 거칠기를 대표할 수 있다.

(1) 산술평균거칠기(R_a)의 정의 및 표시

R_a 를 구하는 방법은, 거칠기 곡선으로부터 그 평균 선의 방향에 기준 길이만큼 뽑아내어, 그 표본부분의 평균 선 방향에 x 축을, 세로 배율 방향에 y 축을 잡고, 거칠기 곡선을 $y=f(x)$ 로 나타내었을 때, 다음 식에 따라 구해지는 값을 마이크로미터(μm)로 나타낸 것을 말한다 [그림 3-1].

$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l |f(x)| dx, \text{ 여기서 } l: \text{기준 길이}$$

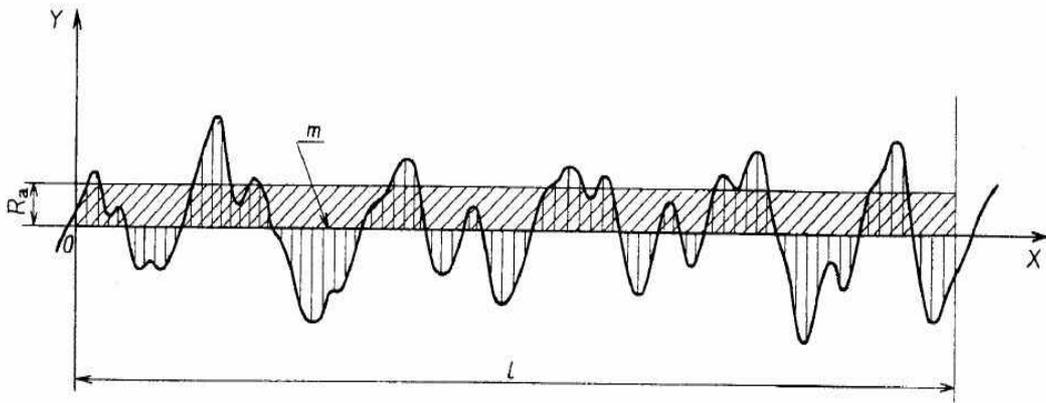


그림 3-1 산술평균거칠기(R_a)를 구하는 방법

(2) 최대높이

R_y 는 거칠기 곡선에서 그 평균 선의 방향에 기준 길이만큼 뽑아내어 이 표본 부분의 산봉우리 선과 골바닥 선의 간격을 거칠기 곡선의 세로 배열의 방향으로 측정하여 이 값을 마이크로미터(μm)로 나타낸 것을 말한다 [그림 3-2].

여기서, R_y 를 구하는 경우에는 흠이라고 간주되는 보통 이상의 높은 산 및 낮은 골이 없는 부분에서 기준 길이만큼 뽑아낸다.

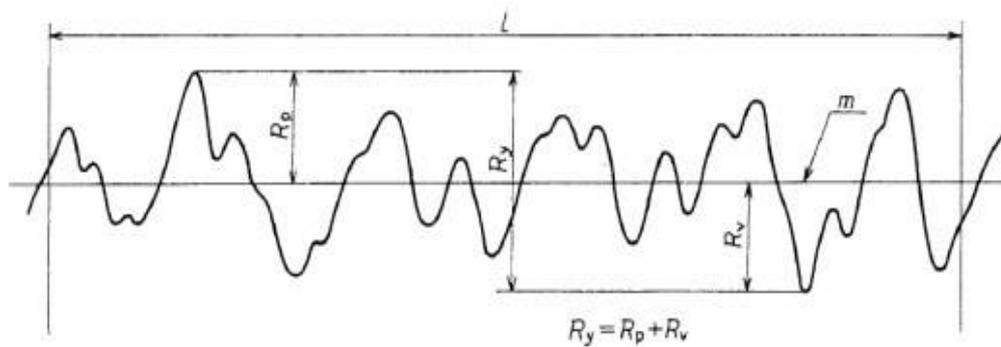


그림 3-2 최대높이(R_y)를 구하는 방법

(3) 10점평균거칠기

R_z 는 거칠기 곡선에서 그 평균 선의 방향에 기준 길이만큼 뽑아내어 이 표본부분의 평균선에서 세로 배율의 방향으로 측정한 가장 높은 산봉우리부터 5번째 산봉우리까지의 표고(Y_p)의 절대값의 평균값과 가장 낮은 골바닥에서 5번째까지의 골바닥의 표고(Y_v)의 절대값의 평균값과의 합을 구하여, 이 값을 마이크로미터 (μm)로 나타낸 것을 말한다 [그림 3-3].

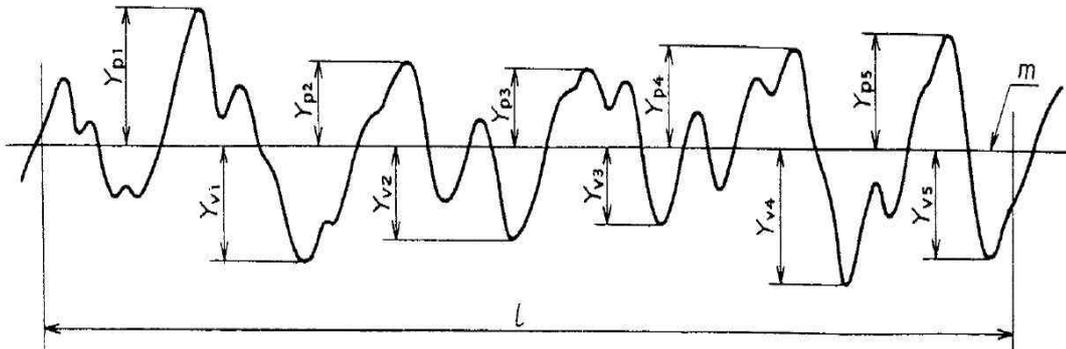


그림 3-3 10점평균기울기(R_z)를 구하는 방법

$$R_z = \frac{|Y_{p1} + Y_{p2} + Y_{p3} + Y_{p4}| + |Y_{v1} + Y_{v2} + Y_{v3} + Y_{v4} + Y_{v5}|}{5}$$

여기에서 $|Y_{p1}, Y_{p2}, Y_{p3}, Y_{p4}|$: 기준 길이 l 에 대응하는 샘플링 부분의,
가장 높은 산봉우리에서 5번째까지의 표고

$|Y_{v1}, Y_{v2}, Y_{v3}, Y_{v4}, Y_{v5}|$: 기준 길이 l 에 대응하는 샘플링 부분의,
가장 낮은 골바닥에서 5번째까지의 표고

(4) 요철평균거칠기

S_m 은 거칠기 곡선에서 그 평균 선의 방향에 기준 길이만큼 뽑아내어 이 부분에서 하나의 산 및 그것에 이웃한 하나의 골에 대응한 평균 선의 길이의 합(이하 요철의 간격이라 한다.)이다 [그림 3-4].

수의 요철 간격의 산술 평균값을 밀리미터(mm)로 나타낸 것을 말한다.

$$S_m = \frac{l}{n} \sum_{i=1}^n S_{mi}$$

여기에서 S_{mi} : 요철의 간격

n : 기준 길이 내에서의 요철 간격의 개수

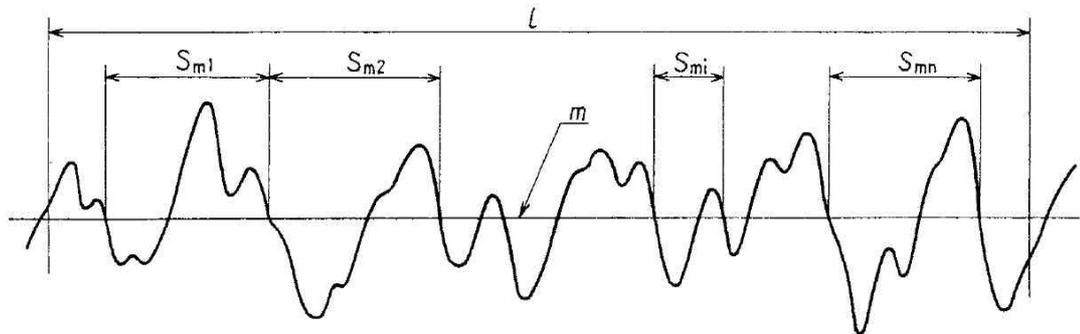


그림 3-4 요철평균기울기(S_m)를 구하는 방법

(5) 국부 산봉우리의 평균 간격(S)의 정의 및 표시

S 는 거칠기 곡선에서 그 평균 선의 방향에 기준 길이만큼 뽑아내어 이 표본 부분에서 이웃한 국부 산봉우리 사이에 대응하는 평균 선의 길이(이하 국부 산봉우리의 간격이라 한다.)를 구하여, 이 다수의 국부 산봉우리의 간격의 산술 평균값을 밀리미터(mm)로 나타낸 것을 말한다 [그림 3-5].

$$S = \frac{l}{n} \sum_{i=1}^n S_i$$

여기에서 S_i : 국부 산봉우리의 간격,

n : 기준 길이 내에서의 국부 산봉우리 간격의 개수를 나타낸다.

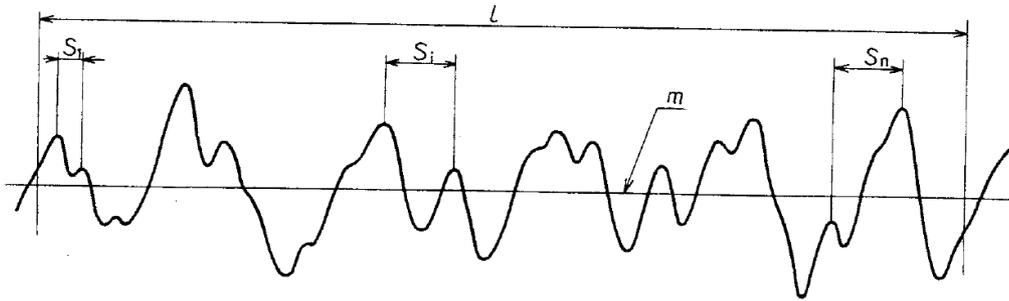


그림 3-5 국부 산봉우리의 평균 간격(S)를 구하는 방법

3.1.3 기존연구에서 표면거칠기의 정량화

건축과 토목분야에서 표면거칠기에 대해 관심을 가진 첫 번째 단계는 도로에서 자동차의 미끄러짐에 대한 표면의 저항성을 평가하기 위한 방법을 도출하는 과정에서 시작되었다. 이에 Wambold는 표면거칠기를 측정함에 있어 평균깊이의 개념을 도입하였다. 그리고, Silfwerbrand는 구조물 보강단계에서 발생하는 표면 거칠기에 대한 정량화를 평가하기 위해 레이저를 이용하여 거칠기이력을 측정 후, 파형길이와 진폭의 개념을 도입하여 표면거칠기를 정량화하였다. Tair는 콘크리트의 부착실험을 통해 아래의 식에서 제시하는 거칠기각(R.G)을 그림 3-6과 같이 제시하였다.

$$D_a = \frac{[(A-B) + (C-D)]}{2}$$

$$R.G. = D_a / W$$

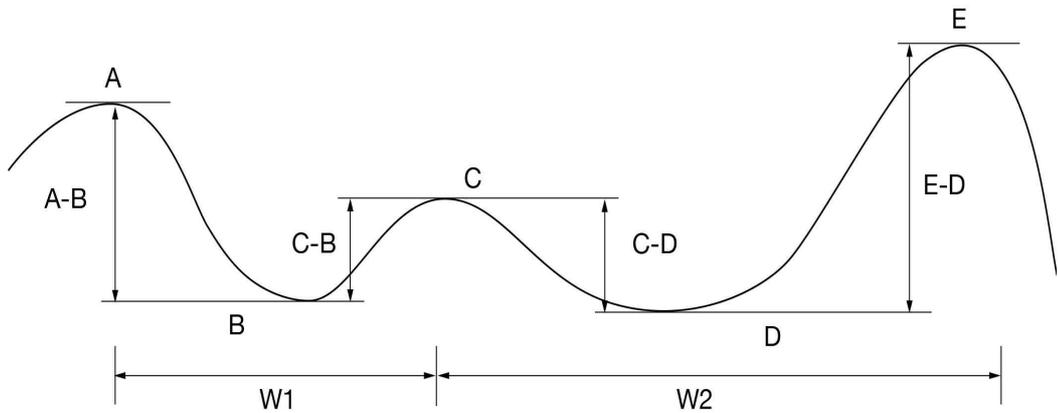


그림 3-6 표면조도를 평가하는 그래프

기존부재와 새로운 재료 사이의 접합력을 증진시키기 위해 표면거칠기를 수행한다고 볼 때, 표면거칠기를 정량화하는 지표로 기계분야에서의 기준은 거칠기 높이와 거칠기이력의 주기 위주로 정량화하고 있으며, 기존 연구에서는 거칠기 각도를 거칠기지표를 평가하는 방법으로 제시하고 있다.

3.1.4 본 연구에 적용한 거칠기 지표

본 연구에서는 KS B 0161에서 제시하는 거칠기지표 중 산술평균거칠기, 최대높이, 요철평균간격을 거칠기지표로 선택하고 이외에 상대높이와 거칠기이력을 추가하여 평가하였다. 통상적으로 치핑처리에 대한 표기는 거칠기 깊이로 표시되는데, 이는 산과 인접 골 사이의 깊이로 인식되어 기준에서 제시하는 최대높이와는 다른 지표가 될 가능성이 크다.

두 부재사이의 전단저항성능은 거친면 사이의 면적과 상관이 있다고 볼 때, 전단력에 저항하는 저항메커니즘을 정확히 파악하기 위해서는 전체적인 거칠기 면의 1차원적인 값이 거칠기이력길이를 평가하는 것도 바람직한 방법이라고 할 수 있다. 따라서, 거칠기이력으로부터 거칠기이력을 산출하는 거칠기지표로 거칠기이력길이(WL)를 추가하였다.

그리고 실무적으로는 도면상의 거칠기의 깊이를 나타내는데, 이는 직관적으로 산과 인접골 사이의 높이의 차이를 의미하기 때문에 본 연구에서는 상대높이(RH)를 거칠기 지표로 추가하였다.

그림 3-7은 본 논문에서 표면거칠기 지표로 정한 5개를 설명하는 그래프이다.

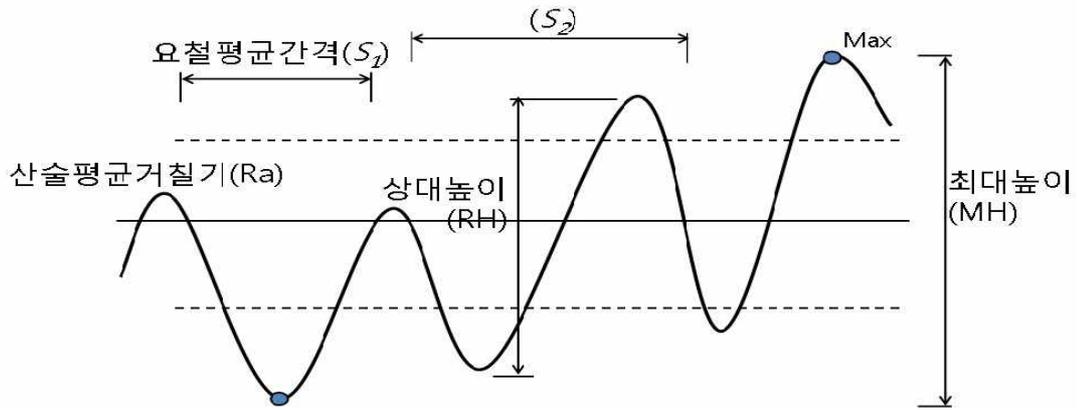


그림 3-7 표면거칠기 그래프

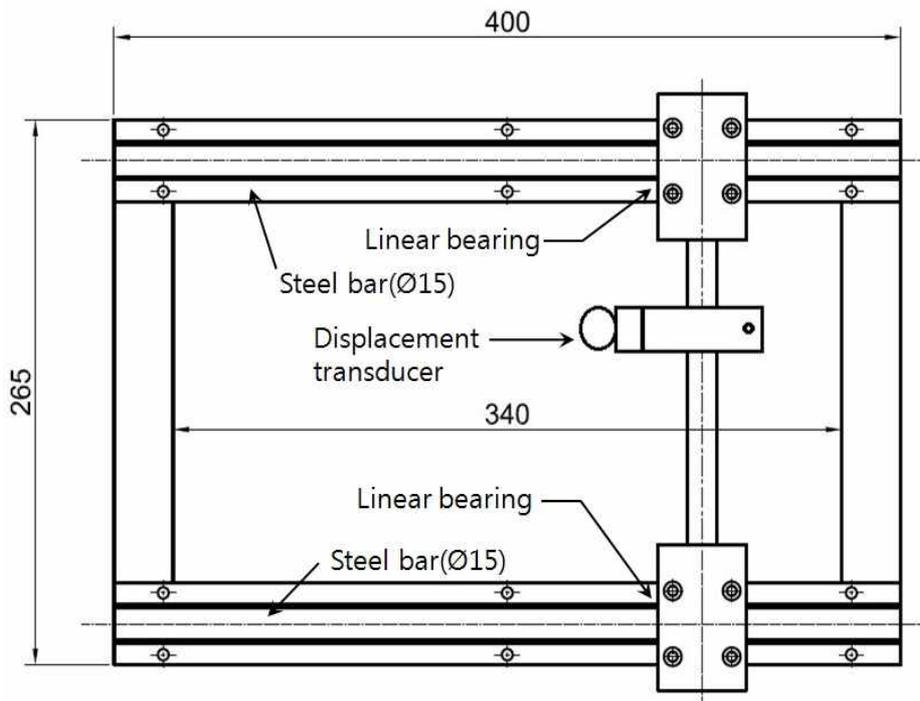
3.2 표면거칠기 측정

3.2.1 표면거칠기 측정기 제작

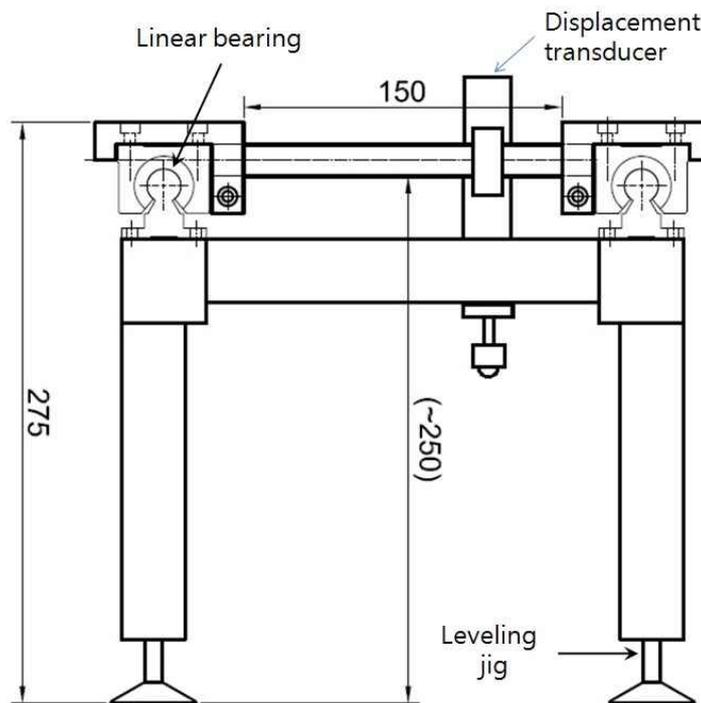
표면거칠기 측정장치를 설계함에 있어 측정자들이 측정내용을 직관적으로 이해할 수 있도록 하며, 이동의 편의성과 다양한 계측장치의 적용가능성을 주목적으로 설계하였다.

4개의 기둥으로 이루어진 알루미늄 프레임과 장변 방향의 수평부재 위에 선형베어링이 이동하면서 각 위치에 따른 콘크리트 표면의 변화를 측정할 수 있도록 하였다. 그리고, 두 개의 선형베어링 사이에 걸쳐지는 수평부재에 측정기로부터 콘크리트표면까지 수직방향거리의 변화를 측정하기 위한 선형변위측정기(Displacement transducer)를 설치하였으며, 선형베어링과 프레임 사이에 wire-type 변위측정기를 설치하여 측정지점의 위치를 파악하였다 [그림 3-8].

이들 계측장비들은 현재 대부분의 건축 또는 토목분야의 실험실에서 보편적으로 사용하고 있는 장비로서, 기존 타 연구에서 적용하는 3D스캐너라 또는 레이저를 이용한 장비와 비교할 때 사용상 편의성과 계측결과에 대한 신뢰성도 함께 확보할 수 있다는 장점이 있다. 변위측정기를 그대로 사용하면 콘크리트의 거친면을 정확히 측정할 수 없을 뿐만 아니라 변위측정기에 손상을 줄 수 있기 때문에, 그림 3-9 에서 보듯이 변위측정기 하부에 볼베어링이 달린 도구를 부착함으로써 명확한 측정값을 얻으면서 변위측정기의 손상도 방지할 수 있도록 하였다.



(a) 평면도



(b) 입면도

그림 3-8 표면거칠기 측정 장치 도면

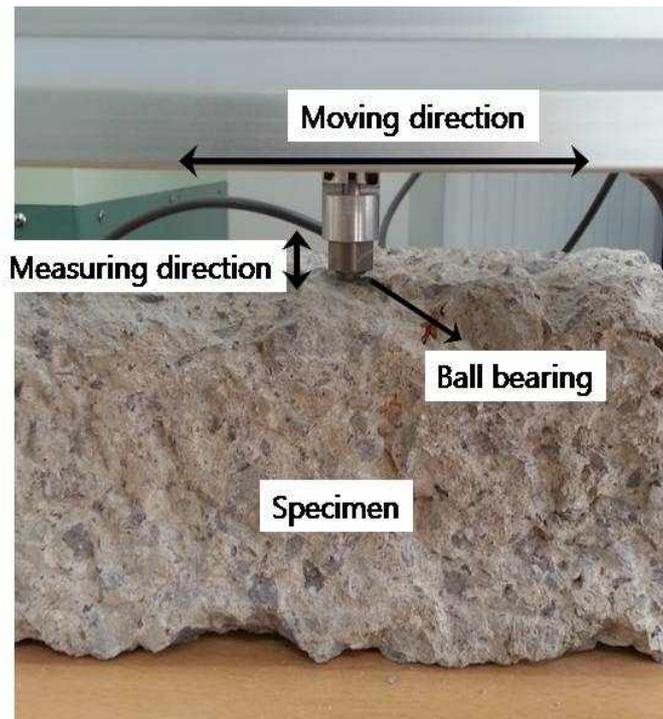
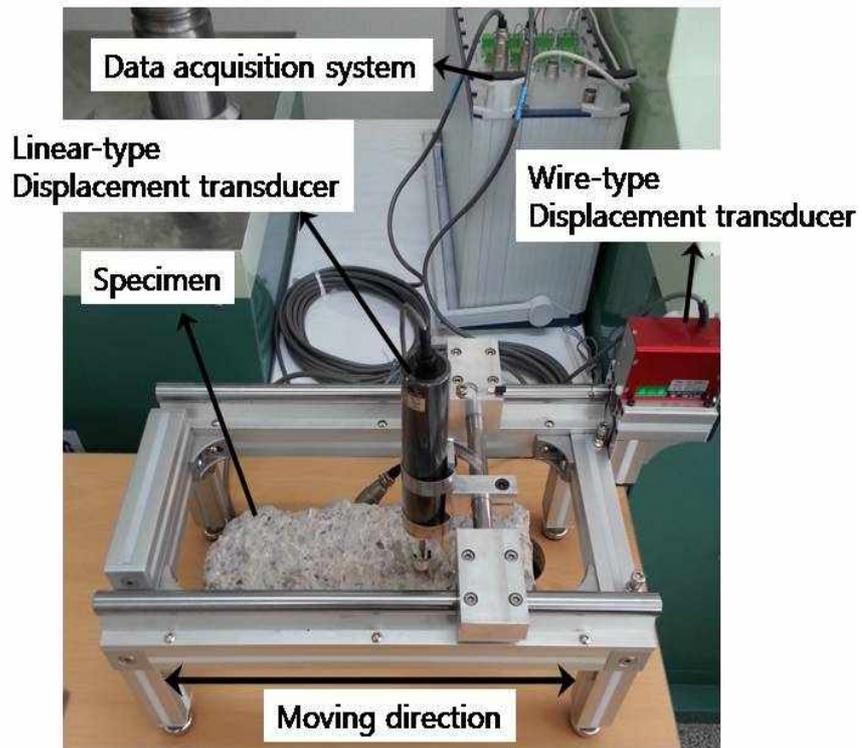


그림 3-9 표면거칠기 측정 방법

3.2.2 표면거칠기 측정결과

표면거칠기 측정장치를 사용하여 핸드치핑과 전동햄머를 사용한 시험체의 표면 거칠기 이력을 측정하였다. 핸드치핑한 실험체와 전동햄머를 이용하여 치핑한 실험체의 수는 각각 7개와 6개이다.

실험체의 크기는 보강전 기준부채로서 가로×세로×높이는 100×100×300과 80×80×320의 크기이며, 각 면에 대한 길이 방향으로 250mm의 길이에 걸쳐 거칠기 이력을 측정하고, 그 중 200mm의 길이에 대한 이력데이터를 분석에 반영하였다. 또한 거칠기 이력 간격은 10mm로써 최대한 촘촘히 측정하고자 하였으며, 각 면당 5군데의 거칠기 이력을 측정하였다.

결과적으로 각 실험체당 20개의 거칠기 이력데이터를 취득하여, 총 260개의 거칠기 이력에 대해 분석하였다.

그림 3-10은 표면거칠기 측정기를 사용하여 측정한 표면거칠기 이력의 대표적인 유형을 그래프로 나타낸 것이다. 거칠기를 측정한 이력거리는 200mm 를 표본으로 하였는데, 200mm 사이의 표면거칠기 이력의 유형을 분석해보면, 크게 4가지로 구분할 수 있다.

다른 부분은 진폭이 1~2mm이내이면서 한군데만 5mm이상의 급격한 진폭의 변화를 보이는 유형A[그림 3-10(a)], 전체적으로 4mm내외의 고른 진폭을 나타내는 유형B[그림 3-10(b)], 미세한 진폭의 변화는 있으나 전체적으로 100mm 내외의 주기성을 띠는 이력주기를 나타내는 유형C[그림 3-10(c)], 전체적으로 2mm내외의 고른 진폭을 나타내는 유형D[그림 3-10(d)]로 분석할 수 있었다.

표 3-1은 각각의 거칠기이력들을 정량화지표에 따라 측정하여 비교한 표이다. 이 표에서 사용한 거칠기 지표는 산술평균거칠기, 최대높이, 상대높이, 평균이력주기, 이력길이 이다.

산술평균거칠기 및 최대높이와 상대높이는 거칠기이력 유형A[그림 3-10(a)]와 거칠기이력 유형B[그림 3-10(b)]와 거칠기이력 유형C[그림 3-10(c)]에서 큰 것으로 나타났다. 평균이력주기는 거칠기이력 유형B[그림 3-10(b)]와 거칠기이력

유형C[그림 3-10(c)]에서 큰 것으로 나타났다. 이력길이는 거칠기이력 유형A [그림 3-10(a)]와 거칠기이력 유형D[그림 3-10(d)]에서 큰 것을 알 수 있다.

이는 대표적인 유형으로부터 도출한 내용으로, 대부분의 동일한 면에서도 여러 유형의 거칠기 이력이 발생하기 때문에, 이를 모든 거칠기 이력에 반영할 수는 없지만, 어느정도 거칠기 이력유형과 거칠기지표를 분석한 결과로 나타낼 수 있을 것이다.

표 3-1 거칠기이력을 정량화지표에 따라 측정하여 비교한 표

Roughness index	(a)	(b)	(c)	(d)
산술평균거칠기(mm)	1.006	1.342	1.190	0.460
최 대 높 이(mm)	6.728	6.490	6.160	2.583
상 대 높 이(mm)	6.021	6.145	5.933	1.608
평균 이력 주기(mm)	28.62	50.57	68.88	31.62
이 력 길 이(mm)	207.82	205.43	205.25	208.99

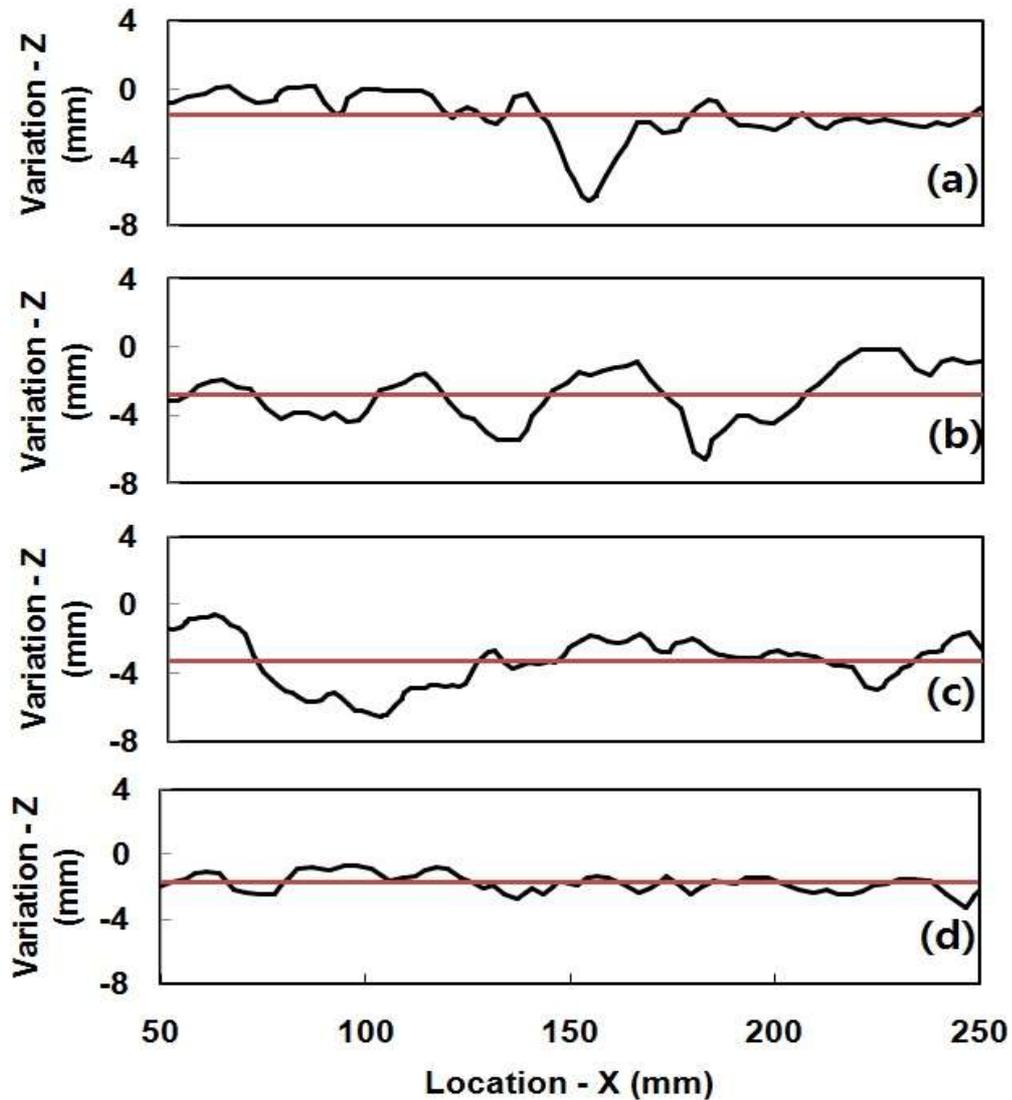


그림 3-10 표면거칠기 유형 분석

압축력실험을 수행하기 위한 실험체의 표면거칠기 지표를 표 3-2와 표 3-3에서 정리하였다. 실험체의 4개의 면의, 각 면당 5개의 위치에서 표면거칠기 이력을 측정 한 데이터와 4개의 면에 대해 수행한 이들 20개의 데이터의 평균값을 정하였다.

일반적으로 거칠기 이력의 길이만 핸드치핑에 의해 거칠기 처리를 한 실험체의 값이 작고, 나머지 거칠기 주기 지표는 전동햄머를 이용한 실험체의 값이 큰 것으로 나타났다. 이는 작업상 전동햄머를 사용하였을 때, 타격 강도가 핸드치핑보다 훨씬 크기 때문에 발생한 것으로 보인다.

표 3-2 표면거칠기 측정결과표

(단위:mm)

모델명	산술평균거칠기 /L	최대높이 (R _y)	상대높이 (차이)	파형길이	평균이력주기 (Average)
H1	0.71	3.86	3.03	206.6	36.17
H2	1.00	4.97	3.88	207.8	37.28
H3	0.80	4.25	3.26	206.4	33.15
H4	0.63	3.29	2.52	206.4	31.68
H5	0.86	4.35	3.45	208.6	32.86
H6	0.64	3.63	2.79	206.2	31.52
H8	0.77	4.08	2.94	208.5	33.18
Average	0.77	4.06	3.12	207.2	33.69

*H:핸드치핑에 의한 시험체

표 3-3 표면거칠기 측정결과표

(단위:mm)

모델명	산술평균거칠기 /L	최대높이 (R _y)	상대높이 (차이)	파형길이	평균이력주기 (Average)
E1	0.91	4.88	3.79	208.7	34.51
E2	0.92	4.43	3.50	206.3	40.33
E3	0.91	4.58	3.71	206.2	43.52
E4	0.82	4.33	3.38	210.0	32.13
E5	0.73	3.98	2.96	206.0	32.16
E6	0.81	4.31	3.32	206.1	36.42
Average	0.85	4.42	3.45	207.1	36.51

*E:전동햄머치핑에 의한 시험체

제4장 단면증대 무근콘크리트기둥의 성능평가

4.1 실험 계획

본 실험은 표면거칠기 측정 및 단면증대 무근콘크리트 기둥의 압축실험으로 표면거칠기에 대한 압축력 저항성을 평가하였다.

본 실험은 총 26개의 사각기둥 실험체를 제작하였으며, 실험체의 크기는 실험 장치의 성능을 고려하여 정하였다.

변수별로 실험체의 크기를 다르게 제작하였으며, 모든 실험체에는 중앙부에 길이 방향으로 Gauge를 부착하였으며[그림 4-2참조], 제작 후 상온에서 14일 이상 양생하였다. 콘크리트 타설은 실험체가 충분히 다져지도록 타설하였다.

4.1.1 실험 변수

표면거칠기에 따른 압축거동을 파악하기 위해 실험변수를 기존부재와 보강된 부재사이의 단면적 크기비율과 표면거칠기 여부로 정하였다.

(1) 기존부재와 보강된 부재사이의 단면적 크기 비율에 대한 변수는 실험장치의 규모와 시공성을 고려하여 1:1.5 와 1:2.0 두가지로 정하였다.[그림 4-1참조]

(2) 콘크리트의 표면거칠기에 대한 변수로는 표면거칠기 처리를 하지 않은 실험체와 표면거칠기를 수행한 실험체로 나누었으며, 제 3장에서 측정한 표면거칠기 지표는 실험결과를 분석하는 과정에서 참고하였다.

4.1.2 실험체 제작

단면증대된 무근콘크리트기둥의 압축성능을 평가하기 위한 기둥의 형태는 일반적인 기둥과 동일한 형태인 사각기둥의 형태로 정하였다.

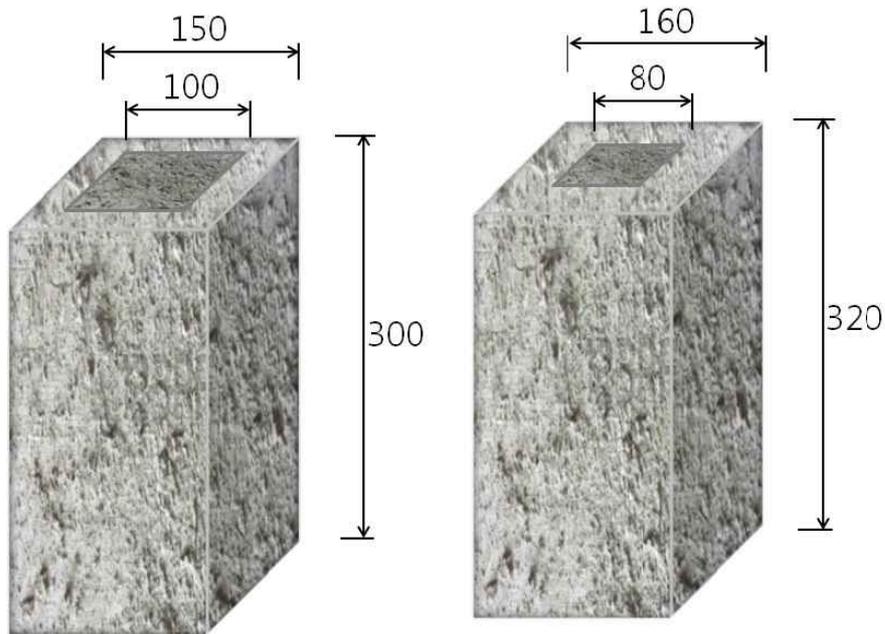
그리고, 증대된 기둥의 크기가 150mm×150mm이면서 콘크리트 압축강도가 30MPa내외일 때 예상최대하중이 675kN이 되어, 초과강도가 발생하더라도 압축 실험을 수행할 압축시험기의 용량 (1000kN)을 초과하지 않는 크기이다.

또한 기존 기둥의 단면크기가 지나치게 작을 경우, 치핑과정에서 시편이 파괴될 수 있기 때문에, 기존 부재의 크기는 80mm×80mm, 그리고 100mm×100mm 두가지로 제작하였으며, 단면증대된 기둥의 크기는 각각 160mm×160mm, 150mm×150mm로 하였다. 압축실험체의 높이는 증대된 부재 폭의 2배로 정하여 각각 320mm와 300mm로 계획하였다 [그림 4-1].

이와 같이 기존 부재와 증대되는 부재의 비율을 달리하여 축방향으로 하중을 가하였을 때, 반응을 확인하고, 이로부터 단면증대기둥의 축방향거동의 효과를 보다 확실히 파악하였다.

실험체의 기호는 다음의 규칙에 따라 정하였다. 맨 앞의 숫자 15와 20은 각각 기존부재와 증대된 부재의 단면길이의 비율로서 증대된 부재의 단면 길이가 각각 1.5배와 2.0배임을 의미한다.

그 뒤의 N, H, E는 표면거칠기를 나타내는 기호로서, N은 치핑을 하지 않은 것, H는 핸드치핑, E는 전동햄머치핑이 된 실험체이다. 맨뒤의 숫자는 실험체의 구분 기호이다 [그림 4-2].



(a) 공시체(150×150×H:300) (b) 공시체(160×160×H:320)

그림 4-1 기둥실험체의 크기

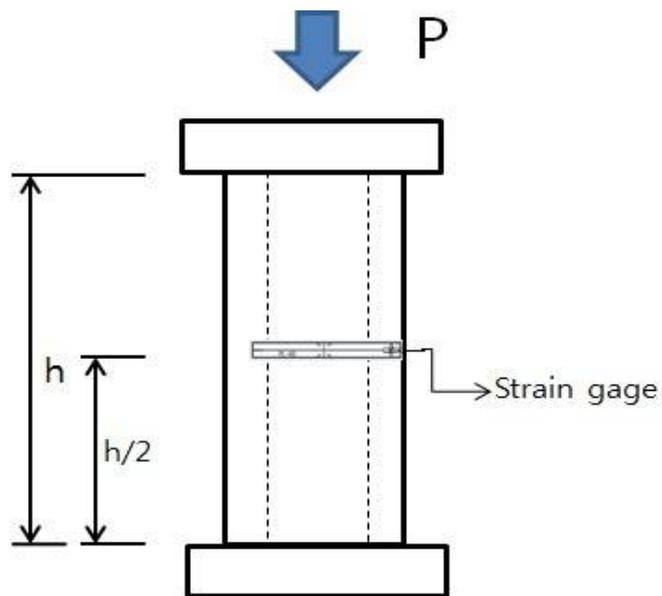


그림 4-2 기둥실험체의 계측 계획

4.1.3 배합 설계(재료)

기존 부재는 오래된 건물이고, 보강된 부분은 신규 보강되는 부분이므로 기존 부재와 보강된 부분의 콘크리트 설계 압축강도는 각각 21MPa 와 30MPa 로 정하였으며, 이 설계강도에 맞도록 표 4-1과 표 4-2와 같이 배합설계를 하였다.

실제 배합과정에서 잔골재 배합은 조립률을 맞추기 위하여 모래와 석분을 (7:3)의 비율로 혼합하여 사용하였다. 배합비는 다음의 표와 같다.

표 4-1 내부코어 배합비 (m³당 중량비 N)

설계강도 21MPa, W/C=60%

물	시멘트	잔골재	굵은골재
1,690 (0.60)	2,820 (1.0)	8,140 (2.89)	10,880 (3.86)

표 4-2 외부코어 배합비 (m³당 중량비 N)

설계강도 30MPa, W/C=48.6%

물	시멘트	잔골재	굵은골재	혼화제
1,807 (0.49)	3,718 (1.0)	7,018 (1.89)	10,238 (2.75)	1,100g (0.03)

4.1.4 계측 계획

(1) 계측계획

단면증대 콘크리트 기둥에 압축실험을 수행할 때, 프와송비에 의해 콘크리트 구조물은 횡방향으로 팽창을 하며, 이때 횡방향으로 팽창하는 정도를 측정하기 위해 실험체 높이의 1/2의 위치에 스트레인게이지를 측정하여 변형률의 변화를 관찰하였다. 이를 통해 탄성영역에서는 프와송비를 측정할 수 있으며, 균열이 발생한 이후의 비선형 영역에서는 균열의 진전상태를 파악할 수 있다.

(2) 계측장비

압축실험을 위해 1,000kN용량의 압축시험기를 사용하였으며, 데이터취득은 Radian사의 SDL-610R 데이터 취득장치를 이용하여 0.5초당 1개의 데이터 취득하였다. 기둥공시체의 국부거동을 파악하기 위하여 60mm용량의 스트레인게이지 사용하였다. 또한 압축력 작용시 단면증대된 부분의 횡팽창정도를 파악하기 위하여 실험체 양측면에 60mm 스케일의 스트레인 게이지 부착하였다.

4.2 원형공시체의 거동분석

4.2.1 압축압축하에서 콘크리트의 거동 고찰

콘크리트의 역학적인 거동은 균열의 진전에 의해서 영향을 받는다. 균열은 미세 균열(microcracks)로 시작하여 점점 커지면서 주균열(major cracks)이 되면서 벌어진다. 미세균열 및 균열과 유사한 공극은 통상 외부하중이 작용하기도 전에 이미 존재하는데, 주로 굵은 골재입자와 모르타르 매트릭스 경계면에 존재한다. 이러한 균열은 초기에 골재와 경화된 시멘트풀 사이의 부피 변화가 달라서 생기거나, 타설과정에서 굵은골재 입자의 침하 등으로 생긴다.

압축 공시체를 실험할 때 가압판과 공시체의 경계면에서는 약간의 횡방향 구속 응력이 발생하는데 이는 철재로 된 하중가압판과 콘크리트의 횡변형의 차이에 의한다.

압축공시체의 균열양상(crack pattern), 즉 파괴모드(fracture mode)는 이 횡방향 구속응력의 영향을 받는데 이는 공시체의 양단부에서 3단 압축응력상태가 발생하기 때문이다.

따라서 길이가 짧은 부재의 실험시 철재의 평편한 가압판이 사용된다면 그림 4-3의 (A)에서와 같이 hour-glass타입의 파괴모드가 대부분 발생한다. 그러나 이는 콘크리트의 압축파괴를 특정짓기 위해 사용될 수는 없다.

횡방향 구속응력의 영향은 brush타입의 재하장치를 이용하거나 윤활유 등과 같은 다양한 방법을 사용함으로써 최소화시킬 수 있다.

그림 4-3의 (B)에서는 몇 개의 전단균열과 함께 많은 양의 연직쪼갬 균열이 발생하는데 이 횡방향 구속응력의 영향은 공시체의 세장비를 증가시킴으로써 줄일 수 있다.

그림 4-3의 (C)는 세장한 공시체에 대하여 힌지형태의 가압판을 사용하여 얻은 결과로 한 개의 전단균열에 의한 파괴를 나타낸다.

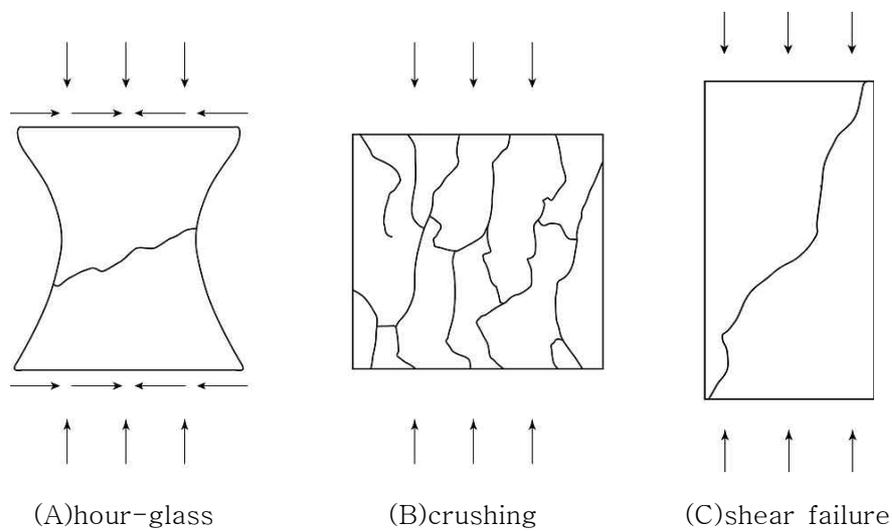
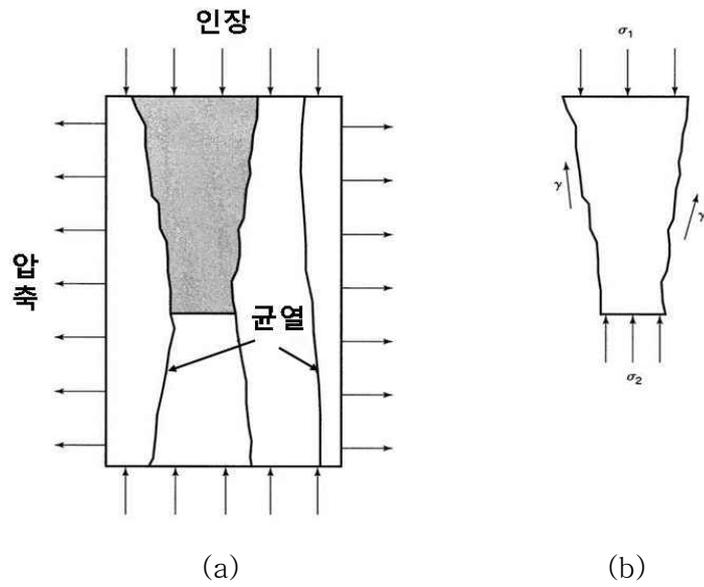


그림 4-3 일축 압축하에서의 콘크리트의 압축파괴 형상 (McGregor, 1997)

콘크리트에 압축력이 가해지면 콘크리트는 횡방향으로의 인장변위가 일어나므로 균열이 하중방향과 나란하게 나타나며, 프와송비가 증가한다. 이와 같은 프와송비는 콘크리트 내부에 발생하는 균열에 좌우되며 이 균열에 의해 파괴에 이르게 되므로, 이 프와송비의 값은 콘크리트의 파괴에 중요한 의미를 갖는다. 그림 4-4는 일축압축을 받는 콘크리트의 응력-변형률 곡선이다.[McGregor, 1997]

탄성계수(elastic modulus)는 탄성재료에서의 응력-변형률 곡선 위의 접선의 기울기이다. 콘크리트는 비선형 거동을 보이는 재료이므로 이 값은 하나의 값으로 정해지지 않는다.

임의의 점에서의 기울기를 접선탄성계수(tangent modulus of elasticity)라 하고, 접선탄성계수 중에 원점을 지나는 경우를 초기 접선탄성계수(initial tangent modulus of elasticity)라 한다.

그리고 원점과 임의의 응력을 연결한 선의 기울기를 할선탄성계수(secant modulus of elasticity)라 한다. 아마 초기할선탄성계수라고 부르는 것이 더 적당 할지도 모른다. 왜냐하면 일반적인 할선탄성계수(chord modulus)는 임의의 두 점을 연결하는 선을 말하기 때문이다.

‘콘크리트구조 설계기준’에서 말하는 탄성계수는 (초기)할선탄성계수이고, 그것은 원점에서 압축강도의 30~50%에 해당하는 응력을 연결한 선을 기준으로 한 값이다. 최고응력의 50% 이하로 하중이 가해졌을 경우 및 사용하중이 작용하는 범위에서는 비선형성이 크지 않으므로, 평균적인 값을 사용하고 있는 것이다 [그림 4-4].

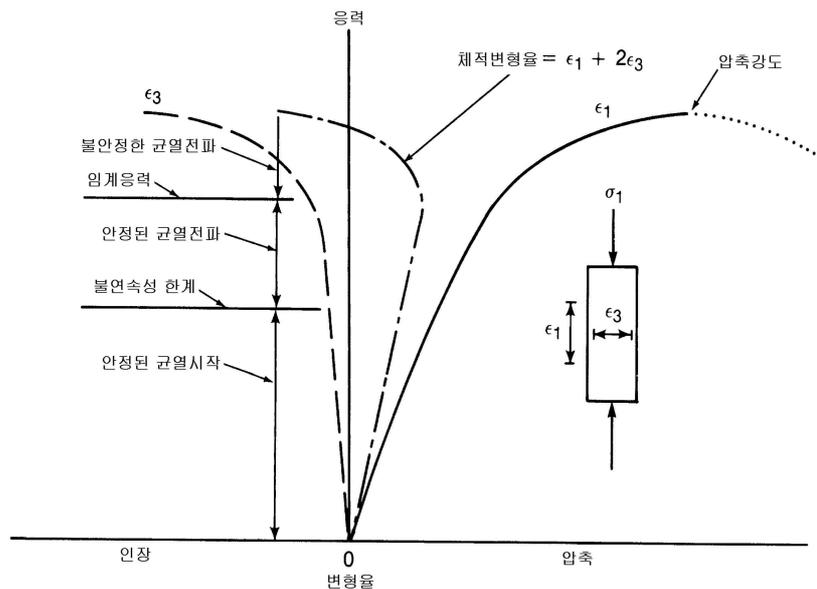


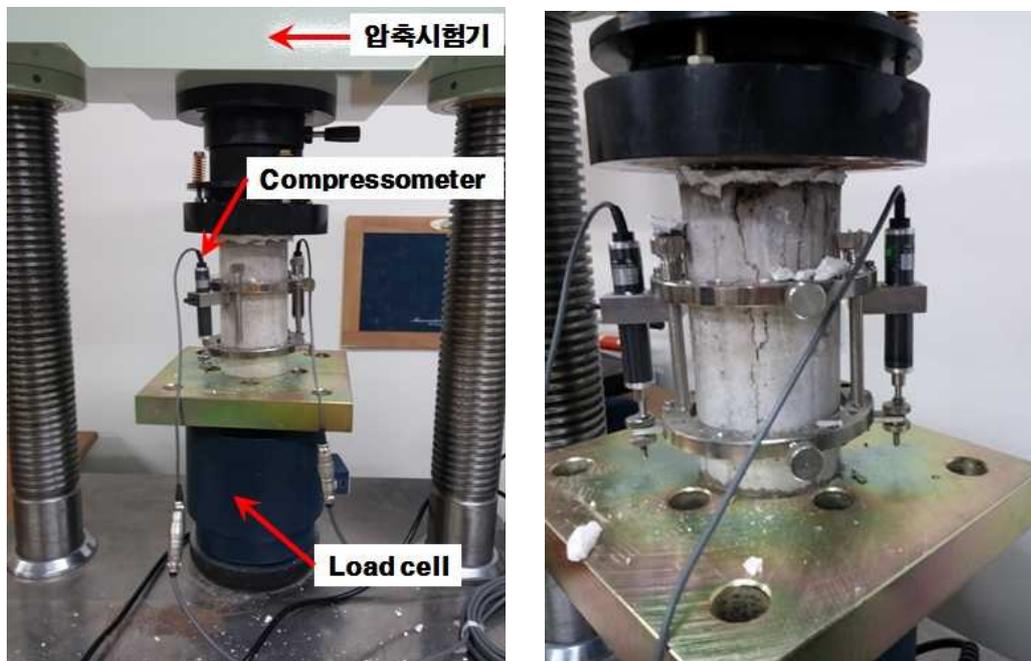
그림 4-4 일축압축을 받는 콘크리트의 응력-변형률 곡선 (McGregor, 1997)

4.2.2 일축압축하에서 보강된 원형공시체의 기계적 특성

콘크리트 공시체 실험은 KS B 0601에 따랐다. 그림 4-5는 공시체실험 광경이다.

하부에 힌지형태의 로드셀을 설치하고, 그 위에 지지판을 둔 후, 공시체를 가력판과 지지판 사이에 두었다. 공시체의 1/2 높이에 콤프레소메터를 설치하여 축력에 의해 발생하는 축변형량을 측정하였다.

콤프레소메터 양측에는 변위 측정기를 설치하여, 두 변위측정기로부터 측정된 변형량의 평균값을 축변형량으로 계산하였다.



(a) 압축시험기(UTM)

(b) 콘크리트 공시체 실험

그림 4-5 공시체 실험

이때 변위측정기의 측정거리는 100mm이므로, 변형률로 치환하기 위해 평균 압축변형값에 1/100을 곱하여 축방향 변형률로 계산하였다. 이 실험결과는 표 4-3에 정리하였다.

그림 4-6와 그림 4-7는 기존 부재와 보강된 부재의 콘크리트 공시체의 응력-변형률 곡선으로, 최대강도시 변형률을 모두 0.002~0.003의 범위에 놓였다. 탄성계수를 측정한 결과 기존부재와 보강된 부재의 계측값은 이론값의 0.95배를 나타내어 어느정도 유사성을 보여주었다.

표 4-3 기존부재의 공시체 실험 결과표

실험체번호	압축강도(kN)	압축응력(MPa)	Ec(계산값)	Ec(측정값)
기존부재의 공시체-1	262.9	33.47	28,451	25,188
기존부재의 공시체-2	275.2	35.05	28,825	23,557
기존부재의 공시체-3	260.7	33.19	28,375	-

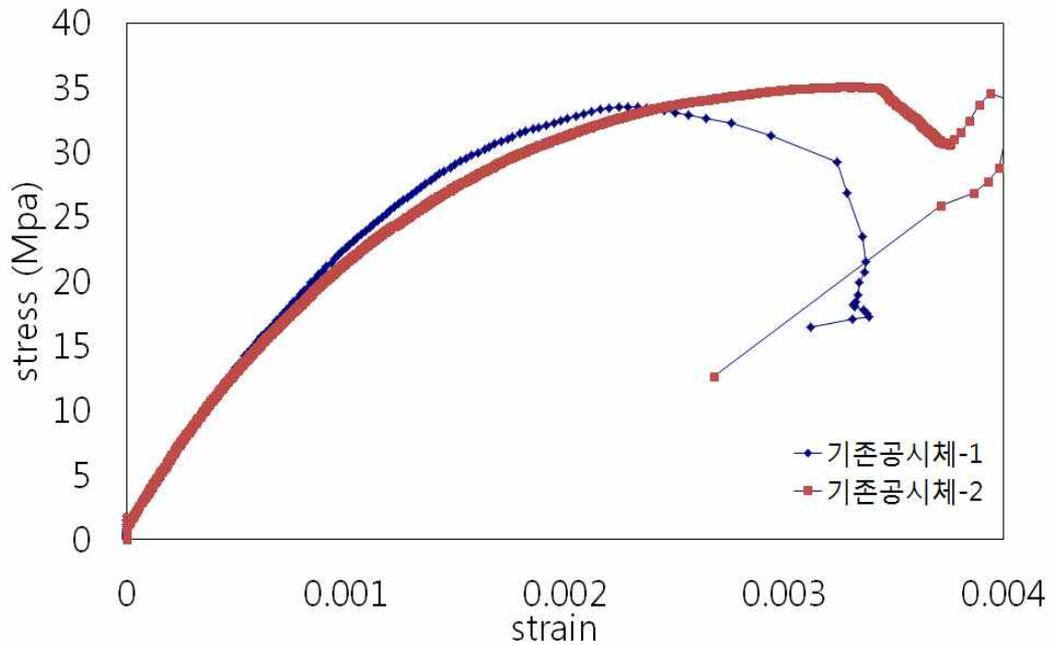


그림 4-6 기존부재의 공시체의 응력-변형률 그래프

표 4-4 보강부재의 공시체의 실험 결과표

실험체번호	압축강도(kN)	압축응력(MPa)	Ec(계산값)	Ec(측정값)
보강부재의 공시체-1	240.0	30.55	27,698	30,554
보강부재의 공시체-2	233.9	29.77	27,483	29,775
보강부재의 공시체-3	208.5	26.55	26,557	26,565
보강부재의 공시체-4	206.0	26.23	26,499	26,227

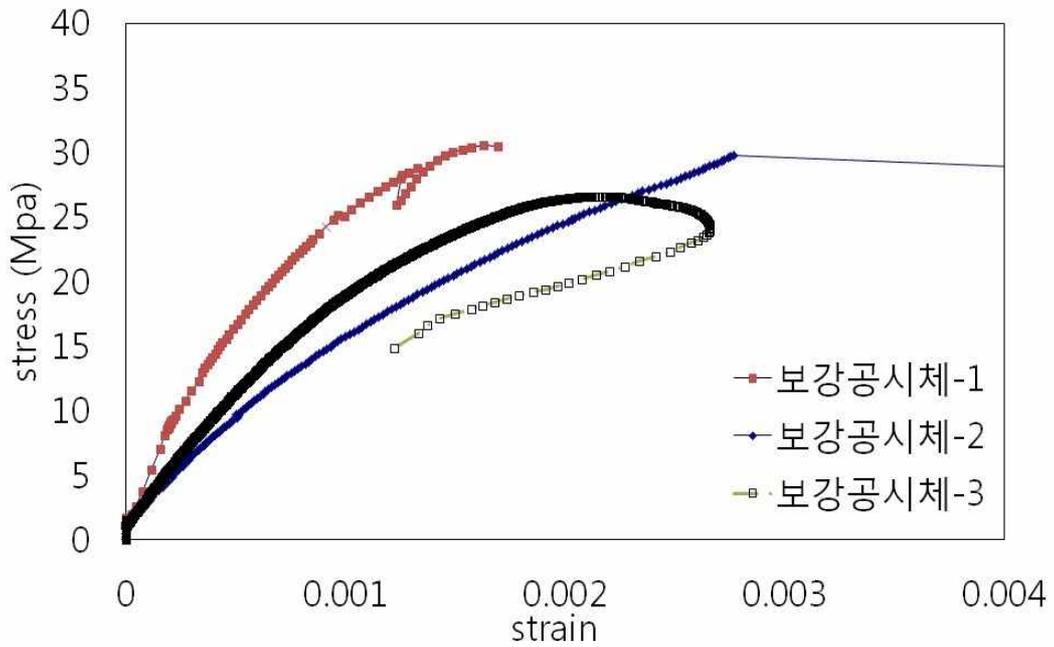


그림 4-7 보강부재의 공시체의 응력-변형률 그래프

4.3 단면증대된 짧은기둥의 거동 특성

4.3.1 실험 방법

그림 4-8은 기둥의 압축실험광경이다. 지압판 하부는 힌지처리된 것을 사용하여 압축력이 정확히 측정되도록 하였으며, 압축시험기의 지압판의 직경이 00(mm) 로 공시체보다 작은 부분이 발생하여 가로×세로, 200mm×200mm, 10mm 두께의 지압판을 추가로 설치하였다.

또한 실험체 앞뒤로 60mm 스트레인게이지를 설치하여 기둥실험체의 횡팽창을 측정하였다.



(a) 기둥의 압축실험-1



(b) 기둥의 압축실험-2

그림 4-8 실험 셋팅

4.3.2 최대하중 분석

표 4-5는 실험결과 나타난 최대하중을 정리한 표이다. 여기서 최대하중은 실험에서 계측된 최대 압축력을 의미하고, 예상최대하중은 기존 콘크리트부재와 보강부재에 타설된 콘크리트의 재료실험 결과 나타난 평균 압축강도로부터 다음의 식에 따라 추정된 강도이다 [그림 4-9].

$$P = f_{ck1} \times (b' \times b') + f_{ck2} \times (b \times b - b' \times b')$$

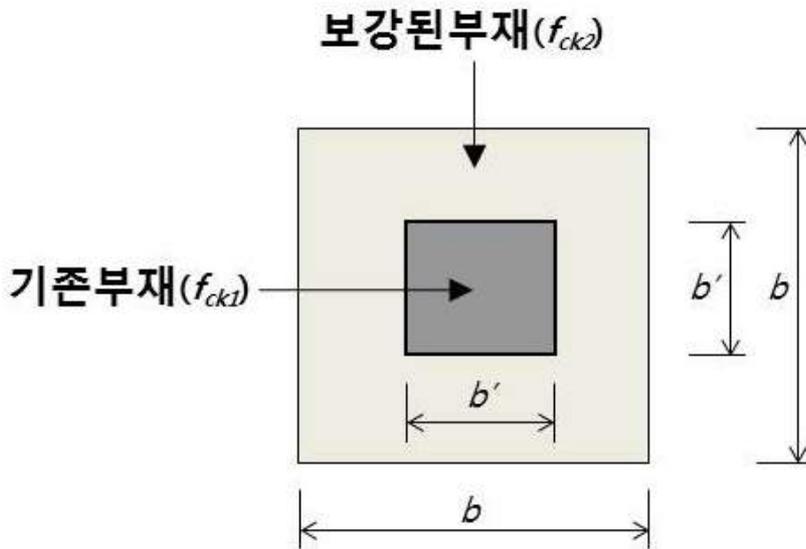


그림 4-9 최대하중을 구하는 식

이때 단면층에서 치핑작업을 수행할 경우 b' 는 당초의 $100 \times 100\text{mm}$, $80 \times 80\text{mm}$ 보다 줄어들 수 있으나, 그 차이가 매우 작기 때문에 이 과정에서는 치핑에 의한 단면크기 변화는 반영하지 않았다.

여기서 최대하중은 실험에서 계측된 최대 압축력을 의미하고, 예상최대하중은 기존콘크리트부재와 보강부재에 타설된 콘크리트의 재료실험 결과 나타난 평균

압축강도를 해당면적으로 곱하여 구한 최대하중이다.

예상실험 결과 최대하중은 예상최대하중의 85%~110%의 범위에 놓였다.

최대하중의 평균값을 비교하면 15계열과 20계열 사이에서는 차이가 거의 없었으나, 15계열과 20계열의 치핑의 유무에 따라 비교하면 치핑시 15계열과 20계열 각각 3.6%와 4% 증가하였다.

모두 예상최대하중보다 실제 측정된 최대하중이 작아, 단면증대 되면서 강도의 저하가 어느정도 발생하는 것을 알수 있었다.

일부 실험체의 경우 예상최대하중보다 큰 수치를 보이긴 하였으나, 이는 타설 배치에 따른 콘크리트 압축강도의 차이로 보인다.

그리고 예상최대하중에 대한 최대하중의 비율을 비교하면 15계열이 20계열보다 9% 정도 큰 값을 보여주었고, 면처리를 수행함에 따라 A/B 값은 3~4% 증가하는 것을 확인할 수 있다.

이로부터 단면증대공법을 수행할 경우 최대 15% 내외로 단면성능이 저하될 수 있으며, 거칠기 처리를 수행할 경우, 거칠기 처리를 하지 않았을 때보다 단면성능 증대 효과가 있는 것으로 나타났다.

기존부재와 보강된 부재의 평균값을 비교해보면, 표 4-5에서 알 수 있듯이 표면 거칠기를 시행한 실험체의 평균값이 더 크게 나온 것을 볼 수 있다. 또한 여기서 기존부재와 보강된 부재 사이의 단면적 크기(면적비의 비율)의 평균값보다 수작업 및 전동햄머에 의하여 치핑작업을 수행한 실험체의 평균값이 더 크게 나타났다.

표 4-5 실험결과 나타난 최대하중 분석

실험체번호	최대하중(kN) (A)	예상최대하중(kN) (B)	A/B	평균값	
				최대하중	A/B
15-N-1	619.82	696.00	0.89	614.5	0.883
15-N-2	627.47	696.00	0.90		
15-N-3	571.80	696.00	0.82		
15-N-4	605.58	696.00	0.87		
15-N-5	561.71	696.00	0.81		
15-N-6	764.01	696.00	1.10		
15-N-7	623.31	696.00	0.90		
15-N-9	527.30	696.00	0.76		
15-N-10	629.40	696.00	0.90		
15-H-2	625.61	696.00	0.90		
15-H-3	525.14	696.00	0.75		
15-H-4	656.69	696.00	0.94		
15-E-1	780.31	696.00	1.12		
15-E-2	592.37	696.00	0.85		
20-N-1	700.80	762.18	0.92	613.8	0.806
20-N-2	627.47	762.18	0.82		
20-N-3	667.99	762.18	0.88		
20-N-4	480.24	762.18	0.63		
20-N-6	583.24	762.18	0.77		
20-N-7	623.31	762.18	0.82		
20-H-1	661.06	762.18	0.87		
20-H-3*	420.9	762.18	0.85		
20-H-4	648.28	762.18	0.85		
20-E-1	690.99	762.18	0.91		
20-E-2	564.86	762.18	0.74		
20-E-3	614.37	762.18	0.81		

*편심압축에 의해 실험초기 보강부분 탈락

**편심압축에 의해 파괴된 20-H-3를 제외한 평균값

4.3.3 거칠기에 따른 축성능 분석

축실험을 수행한 후 거칠기에 따른 축성능을 비교해 보고자 대표적인 5가지 거칠기 지표에 따른 최대강도를 표 4-6에서 정리하였다.

산술평균거칠기는 15-H-4 실험체의 0.64부터 1.0 사이의 값은 가장 큰 결과를 보여주었으나, 15-H-2 의 산술평균거칠기, 최대높이, 상대높이 모두 최대하중은 실험체의 평균강도 636kN 보다도 작은 625.6kN에 불과하였다.

이력길이는 20-E-1이 가장 큰 209mm 였으며, 최대강도는 691kN으로 평균 강도를 상회하였다. 최대강도가 가장 큰 15-E-1 은 산술평균거칠기, 최대높이, 상대높이, 이력길이 모두 2번째로 큰 것으로 나타났다.

표 4-6 거칠기에 따른 축성능 비교

실험체번호	최대하중	산술평균거칠기	최대높이	상대높이	파형길이	평균이력주기
15-H-2	625.6	1.00	4.97	3.88	207.7	37.28
15-H-3	525.1	0.80	4.25	3.26	206.3	33.15
15-H-4	656.7	0.63	3.29	2.52	206.4	31.68
15-E-1	780.3	0.91	4.88	3.79	208.7	34.51
15-E-2	592.4	0.92	4.43	3.50	206.3	40.33
20-H-1	661.1	0.86	4.35	3.45	208.6	32.86
20-H-2*	420.9	0.64	3.63	2.79	206.2	31.52
20-H-4	648.3	0.77	4.08	2.94	208.5	33.18
20-E-1	691.0	0.82	4.33	3.38	209.0	32.13
20-E-2	564.9	0.73	3.98	2.96	206.1	32.16
20-E-3	614.4	0.81	4.31	3.32	206.1	36.42

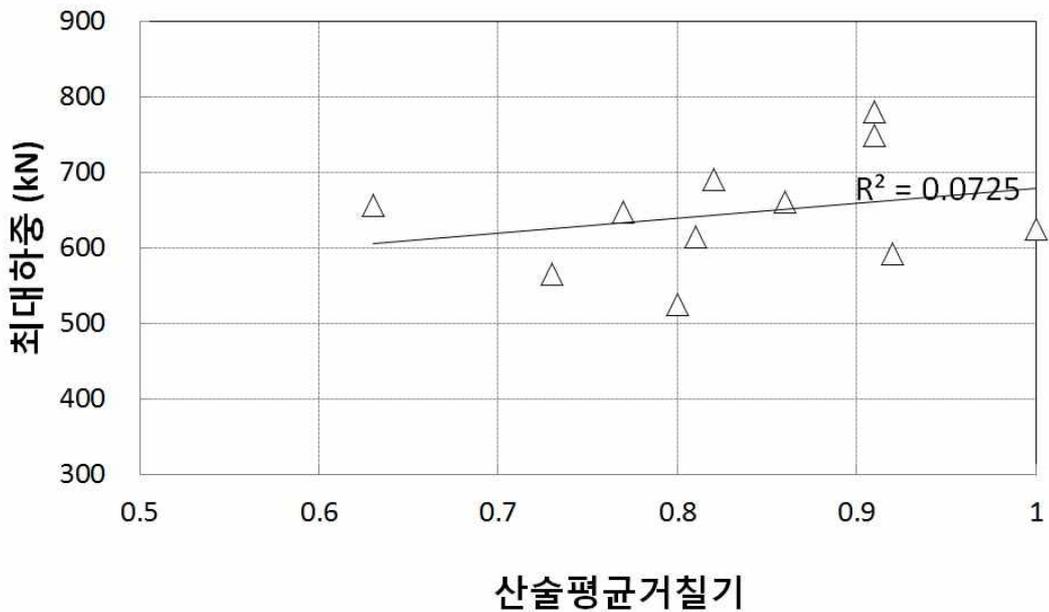
*편심에 따라 분석에서 제외

표 4-6에 나타난 거칠기 지표와 최대강도의 관계를 선형추세선과 함께 그림 4-10에서 비교하였다.

독립변수인 최대하중에 대하여 산술평균거칠기, 최대높이, 상대높이, 이력길이, 평균이력주기를 종속변수로 하여 다음과 같은 결과를 도출하였다.

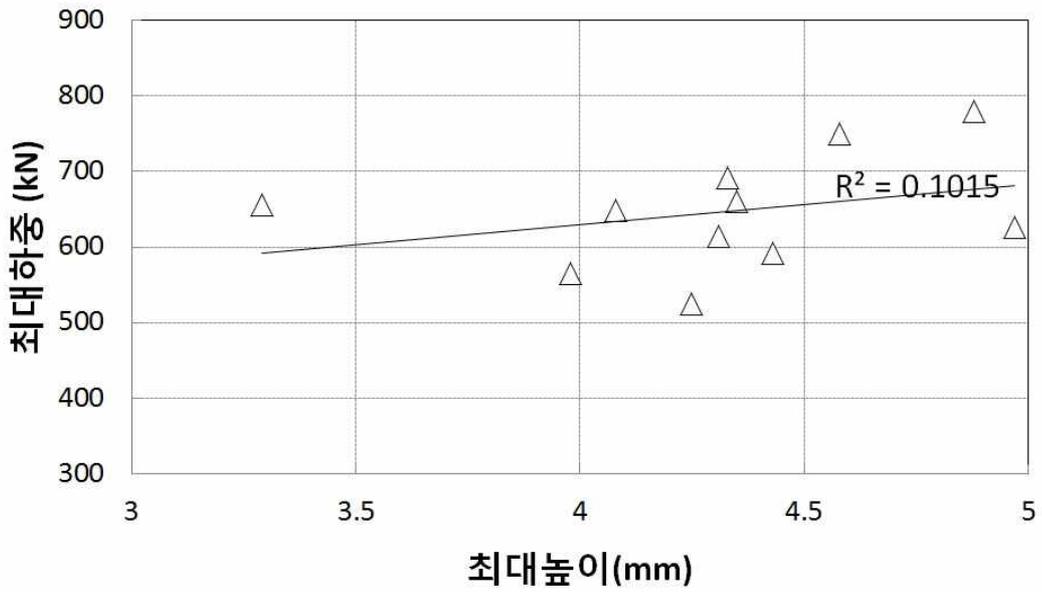
최대하중에 대한 산술평균거칠기, 최대높이, 상대높이, 이력길이, 평균이력주기를 회귀시킨 후 R^2 값을 산정한 결과 산술평균거칠기의 R^2 값은 0.072, 상대높이의 R^2 값은 0.101, 최대높이의 R^2 값은 0.138, 이력길이의 R^2 값은 0.249, 평균이력주기의 R^2 값은 0.057 로 이력길이의 R^2 값이 가장 1.0 값에 근접한 것으로 나타났다. 이와 같은 결과는 이력길이와 최대강도와의 선형상관성이 다른 거칠기 지표보다 크다는 것을 나타내는 것이다.

선형추세선 분석 결과 이력길이의 R^2 값이 0.249로 산술평균거칠기, 최대높이, 상대높이, 평균이력주기 등 다른 것보다 선형상관성이 뛰어난 것으로 나타났다.

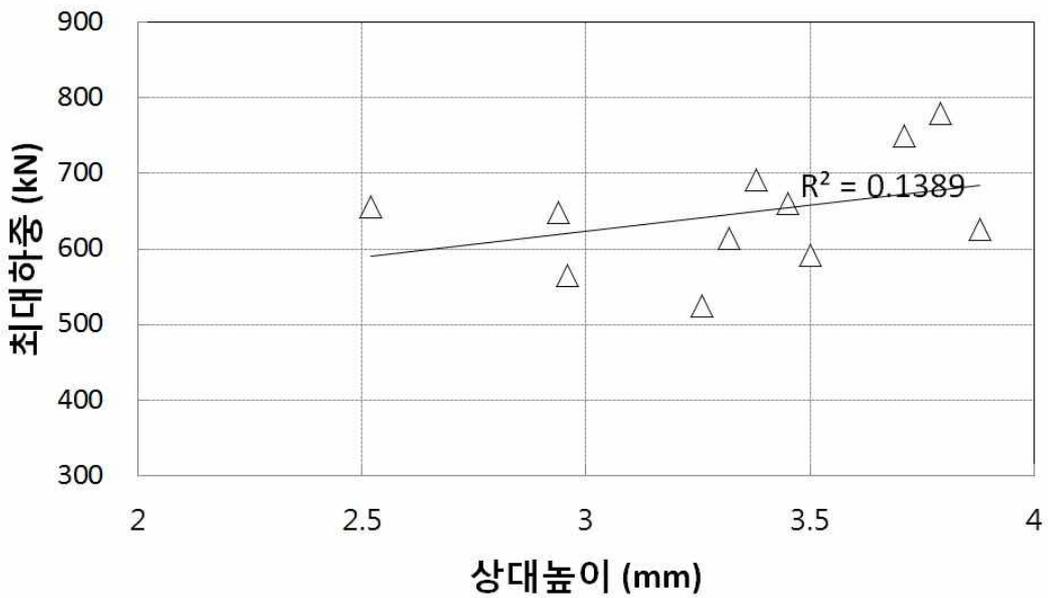


(a) 산술평균거칠기와 최대하중과의 관계

그림 4-10 선형추세선 분석결과 그래프 (계속)

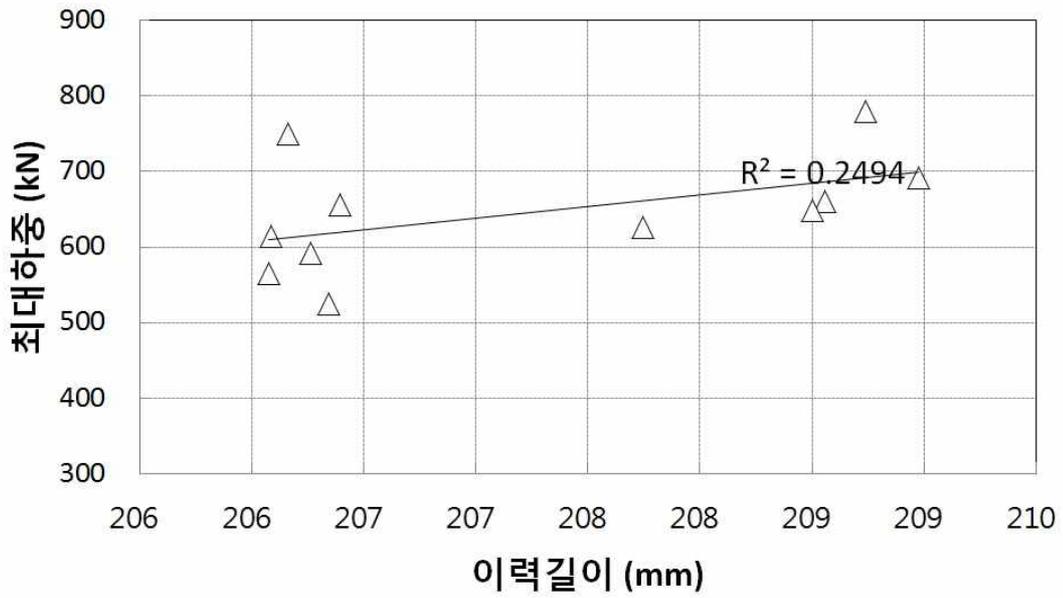


(b) 최대높이와 최대하중과의 관계

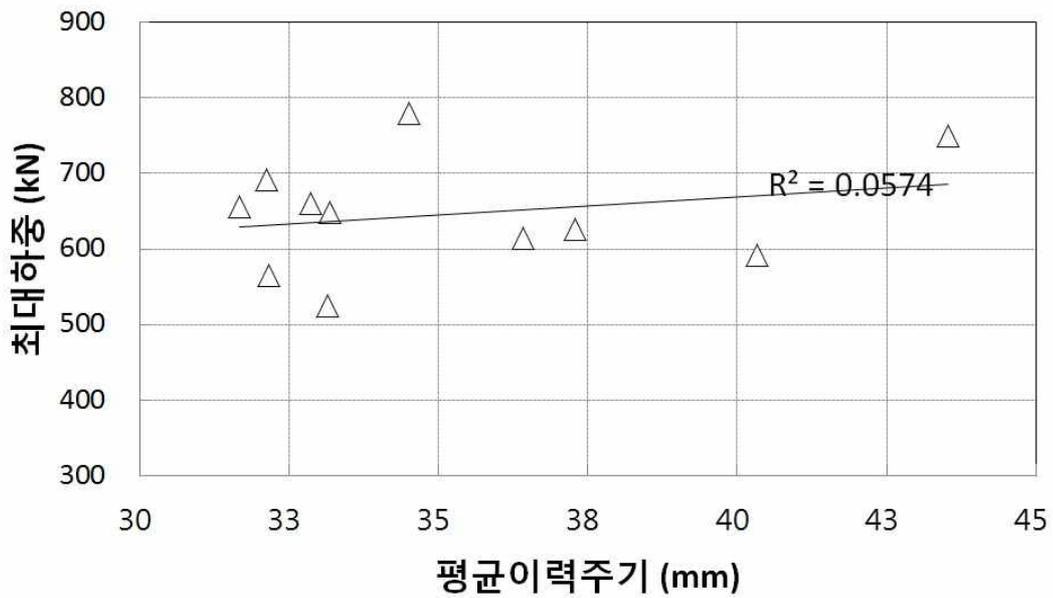


(c) 상대높이와 최대하중과의 관계

그림 4-10 선형추세선 분석결과 그래프 (계속)



(d) 이력길이와 최대하중과의 관계



(e) 평균이력주기와 최대하중과의 관계

그림 4-10 선형추세선 분석결과 그래프

4.3.4 변형률 분석

실험체 높이의 중앙위치에서 가로방향으로 스트레인게이지를 부착하여 압축력이 작용함에 따른 실험체의 횡팽창거동을 확인하였다. 변형률의 변형양상은 실험체의 균열발전양상과 파괴형태에 따라 다르게 나타나는데, 모든 실험체의 변형률의 변화양상은 다음과 같이 정리할 수 있다.

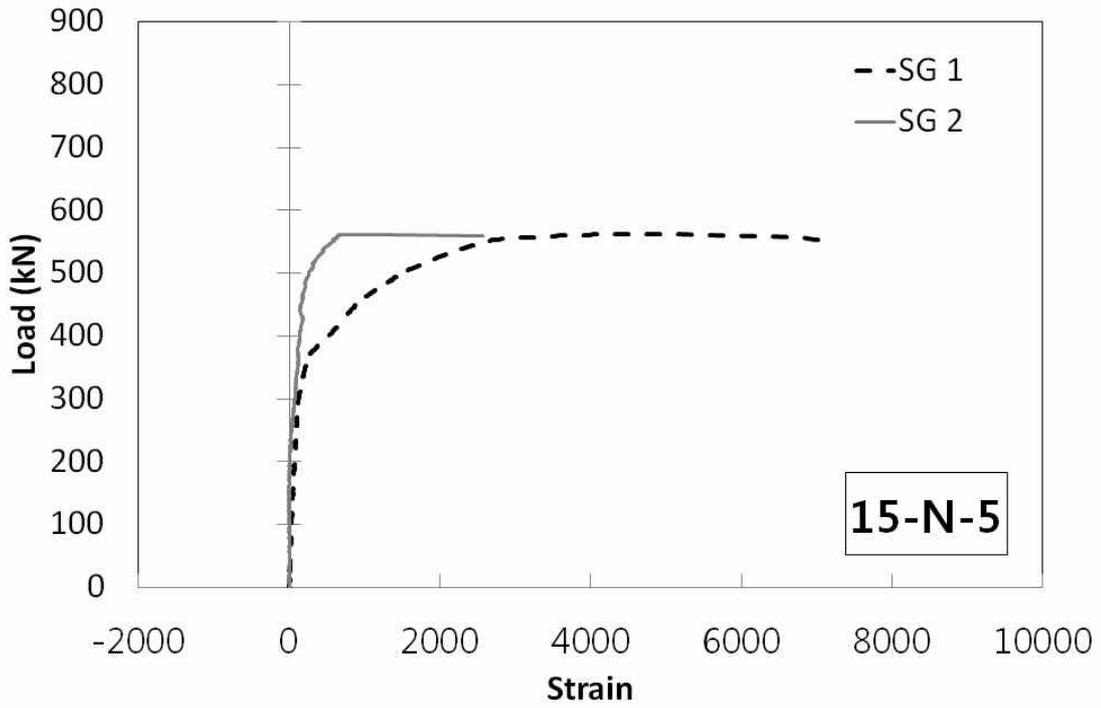
최대하중의 40%정도 수준까지는 프와송비에 따라 횡팽창이 발생하여, 하중이 증가함에 따라 변형률도 서서히 증가하는 영역이 발생하였다. 이 영역에서는 앞뒤 모든 스트레인게이지의 변형률의 증가양상이 비슷하였다.

이후 최대강도의 80%수준에 도달하는 영역에서는 변형률의 증가양상이 더욱 증가하는 특성을 보이는 실험체가 있는 반면, 어떤 실험체는 변형률이 오히려 감소하는 경우도 있었다.

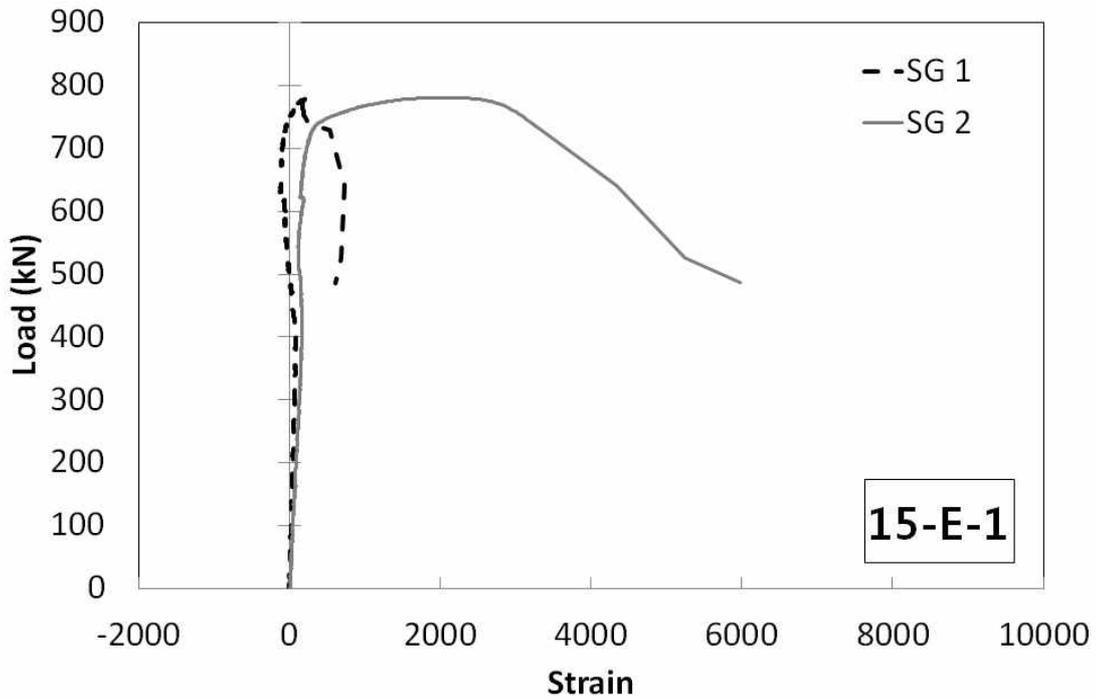
이 단계에서 변형률의 증감은 실험체 내부에서 손상이 진행 되기 시작하는 단계로서 내부적으로 균열이 발생하는 위치와 스트레인게이지의 위치에 따라 다른 결과를 나타낸 것으로 보인다.

최대강도 80%를 넘기는 수준에서는 대부분의 실험체에서 변형률이 급격하게 증가하거나 스트레인게이지의 범위를 벗어나는데, 이는 스트레인게이지를 균열이 관통하거나, 스트레인게이지 인근에서 균열이 발생하여 스트레인게이지 부근에서 급격한 변형률의 변화가 발생한 것을 의미한다.

그림 4-11의 (a)와 (b)는 각각 40%~80% 수준에서 변형률이 실험체와 감소하는 실험체의 하중-변형률 관계이다.



(a) 하중-변형률그래프 - 실험체(15-N-5)



(b) 하중-변형률그래프 - 실험체(15-E-1)

그림 4-11 하중-변형률 그래프

4.3.5 파괴양상비교 (응력전달과 계면)

실험체의 파괴는 내부 기존부재의 콘크리트가 파괴되기 보다는 실험체 외부 보강재에서 대부분 파괴가 발생하였다.

초기단계에서 실험체의 상부모서리 부분에서 균열이 발생한 후, 측면의 중앙부에 세로균열이 발생한 후, 이들 세로균열의 폭과 세로균열의 수가 증가하면서 파괴에 도달하였다. 최종적인 파괴유형으로는 횡팽창에 의한 파괴가 대부분이었다 [그림 4-12].

실험 후, 균열이 발생한 부분을 들어내서 내부적인 파괴양상을 관찰한 결과, 20-H-4, 15-E-3는 내부의 기존부재까지 파괴되었으며 [그림 4-12], 이들 실험체의 파괴강도는 각각 648kN과 749kN으로 나타났다.

또한, 15-E-1, 20-N-4 는 기존부재면에서 보강된 부재가 그대로 떨어져나가는 형태를 띠었는데 [그림 4-12], 이들 실험체의 파괴강도는 각각 780kN과 480kN으로 나타났다.

이들 파괴양상은 단순히 실험 시, 육안으로 확인한 균열과 파괴로부터 확인한 사항이라는 한계점 때문에, 파괴양상과 실험체의 강도 사이에는 큰 상관성은 발견할 수 없었다.



(a) 횡팽창에 의한 파괴



(b) 기존 부재까지 파괴된 형태



(c) 접합면에서 파괴된 형태

그림 4-12 실험체 파괴양상

제 5장 결론 및 향후과제

5.1 요약 및 결론

우리나라에서 제시되고 있는 리모델링과 관련된 주제 가운데, 구조리모델링을 포함하는 적극적인 리모델링은 최근들어 사회적으로 이슈화된 주제이다. 그러나, 현실적으로 구조적 변형을 포함하는 리모델링을 수행함에 있어 기둥을 포함한 수직부재의 축성능을 향상시켜야 하는 필요성은 많이 제시되었으나, 이들 부재의 축성능을 향상시키는 방법은 극히 제한적이며, 부재의 단면을 증대시키는 단면 증대공법이 기둥의 축성능을 향상시키는 주된 방법으로 실제 적용되고 있다. 이런 중요성에도 불구하고, 기존부재와 증대되는 부분에 대한 접합능력에 대한 평가가 거의 이루어지지 않고, 접합력을 증진시키기 위한 표면거칠기 처리에 대한 정량화된 지침도 없어 전단력에 대해 과다 설계를 하는 경향이 큰 것이 현실이다.

본 연구에서는 단면증대 보강된 무근콘크리트 기둥에 대한 압축강도 실험을 수행함으로써, 단면증대된 기둥의 단면 크기, 기존 콘크리트면의 표면거칠기 정도에 따른 단면증대된 기둥의 성능을 평가한 결과 다음과 같은 결론에 도달하였다.

- (1) 표면거칠기 측정장치를 통해 표면의 거칠기 이력을 분석한 결과, 산술평균 거칠기, 최대높이, 상대높이는 거의 유사성을 갖는 반면, 이력길이와 평균 이력주기는 상관성이 떨어졌다.
- (2) 실험에서 나타난 최대하중을 비교한 결과, 단면증대공법을 수행할 경우, 축성능은 예상최대하중대비 최대 15%정도 감소하였으며, 거칠기 처리를 수행할 경우, 거칠기처리를 하지 않은 경우보다 최대강도가 약 4% 증가하였다.
- (3) 표면거칠기 지표 5가지(산술평균거칠기, 최대높이, 상대높이, 이력길이, 평균

이력주기)와 최대강도의 상관성을 선형추세선분석을 통해 비교한 결과, 이력 길이와 최대강도의 선형추세선에 대한 R^2 값이 0.25로 다른 표면거칠기 지표와의 R^2 값 (0.057~0.138)보다 훨씬 큰 값을 보여주어 거칠기이력길이와 축하중을 받는 부재의 거칠기 성능과 상관성이 가장 큼을 확인하였다.

- (4) 최대하중의 40%정도 수준까지는 탄성적인 거동에 의해 프와송비에 따른 횡팽창이 발생하였으나, 이후에는 실험체 내부적 손상의 진행과 균열양상에 따라 다르게 나타났으며, 최대하중의 80% 수준부터는 횡팽창에 의해 변형률이 급격하게 증가하였다.
- (5) 횡팽창에 의한 파괴가 주로 발생하였으며, 보강된 부재에서 대부분 파괴가 발생하였다. 파괴양상에 대해서는 외부적으로 육안으로만 확인을 할 수 있어 구체적인 내부의 파괴양상과 최대하중과의 상관성은 명확히 밝힐 수 없었다.

5.2 향후과제

본 연구에서 도출된 결과를 바탕으로 본 연구에서 밝히지 못한 다음과 같은 사항에 대한 추가의 연구가 필요하다.

- (1) 기존부재에 하중이 가해진 상태에서 추가되는 하중에 대한 축성능 분석
- (2) 다양한 보강재료(섬유보강콘크리트, 무수축 콘크리트 등)에 따른 기둥의 축성능 비교
- (3) 실제 철근콘크리트 기둥에 단면증대 공법을 적용하였을 때, 횡하중 또는 증가된 수직하중에 대한 저항성능 평가

참 고 문 헌

- Bass, R. A., Carrasquillo, R. L., and Jirsa, J. O., "Shear transfer across new existing concrete interfaces," ACI Structural journal, Vol. 86, No. 4, pp.383~393, 1989.
- Bett, B. J., Klingner, R. E., and Jirsa, J. O., "Lateral load response of strengthened and repaired reinforced concrete columns," ACI Structural Journal , Vol.85, No.5 pp.499~508,2005.
- Bissonnette, B., Courard, L., Vaysburd, A.M., and Belair, N., "Concrete removal techniques," Concrete International, Vol. 28, No. 12, pp.49~55, 2006.
- Choi, E., Chung, Y. S., Park, J., and Cho, B.S., "Behavior of reinforced concrete columns confined by new steel-jacketing method," ACI Structural Journal, Vol. 105, No. 1, pp.654~662, 2010.
- Chung, Y. S., Pank, C. K., and Mayer, C., "Residual seismic performance of reinforced concrete bridge piers after moderate earthquakes," ACI Structural Journal, Vol. 105, No. 1, pp.87~95,2008.
- Committee ACI., 364, "ACI 364.7T-01(11): Evaluation and minimization of brushing (micro cracking) in concrete repair," ACI, 2002.
- Grzelka, M., Majchrowski, R., Sadowski, L., "Investigations of concrete surface roughness by means of 3D scanner," Proceedings of Electrotechnical Institute, V. 251, 2011.
- Hindo, K. R., "In-place bond testing and surface preparation of concrete," Concrete International, Vol.12, No. 4, pp.46~48, 1990.
- Hola, J., Sadowski, L., Peiner, J., Stankiewicz, M., "Concrete surface roughness testinf using nondestructive three-dimensional optical method," NDE for safety/ DEFECTOSKOPIE 2012, Oct.30~Nov.1, 2012.

- Johnson, R. F., "Strength tests on scaled - down concrete suitable for model," Magazine, V. 14, 1962, pp 47-53
- Julio, E.N.B.S., Branco, F.A.B., "Reinforced concrete jacketing - interface influence on cyclic loading response," ACI Structural journal, Vol. 105, No 4, pp.471~477, 2008.
- Julio, E.N.B.S., Branco, F.A.B., and Silva, V. D., "Reinforced concrete Jacketing - interface influence on monotonic loading response," ACI Structural Journal, Vol. 102, No2, PP.252~257, 2005.
- McGregor, J. G., "Reinforced concrete, mechanics and Design," 1997.
- Silfwerbrand, J., "Bonding between old and new concrete in structures loaded by static and time-dependent load," Proceedings of the International Conference on Adhesion between Polymers and concrete, Francem 1986.
- Tair, A. I., Lavery. D., Nadjal, A., Rinden, S. R., Ahmed. T.M.A., "A newmethod for evaluating the surface roughness of concrete cut for repair of strengthening," Construction and Building Materrials, 14, 2000.
- 김동균, "콘크리트 충전강재기둥의 최적충전높이결정에 관한 연구", 1997.
- 김정수, "단면증설 공시체의 축강도 예측에 관한 실험적 연구", 한국과학기술원 석사논문, 2002.
- 부척량외, "2축휨과 축력을 받는 철근콘크리트 기둥의 변형성상에 대한 해석적 연구", 대한건축학회 논문집, 1991.
- 심종성, "콘크리트 구조물의 보수, 보강기법의 최근 연구 동향", 콘크리트 학회지, 제 7권 6호, 1995.
- 양은익, 최중철, 이성태, "콘크리트의 압축 강도에 공시체의 크기와 형상이 미치는 영향", 콘크리트학회지, 제16권 3호.
- 오홍섭, 심종섭외 4명, "단면증설된 R/C보의 보수, 보강효과연구", 콘크리트 학회 학술발표회 논문집, 제 8권 1호, 1996.

조용원, “힘과 축력을 받는 철근콘크리트 기둥의 내력 및 연성에 관한 연구”,
한양대 대학원, 1987.

최석환, “압축 응력하에서의 콘크리트의 파괴거동”, 콘크리트학회지 제9권 6호,
1997.

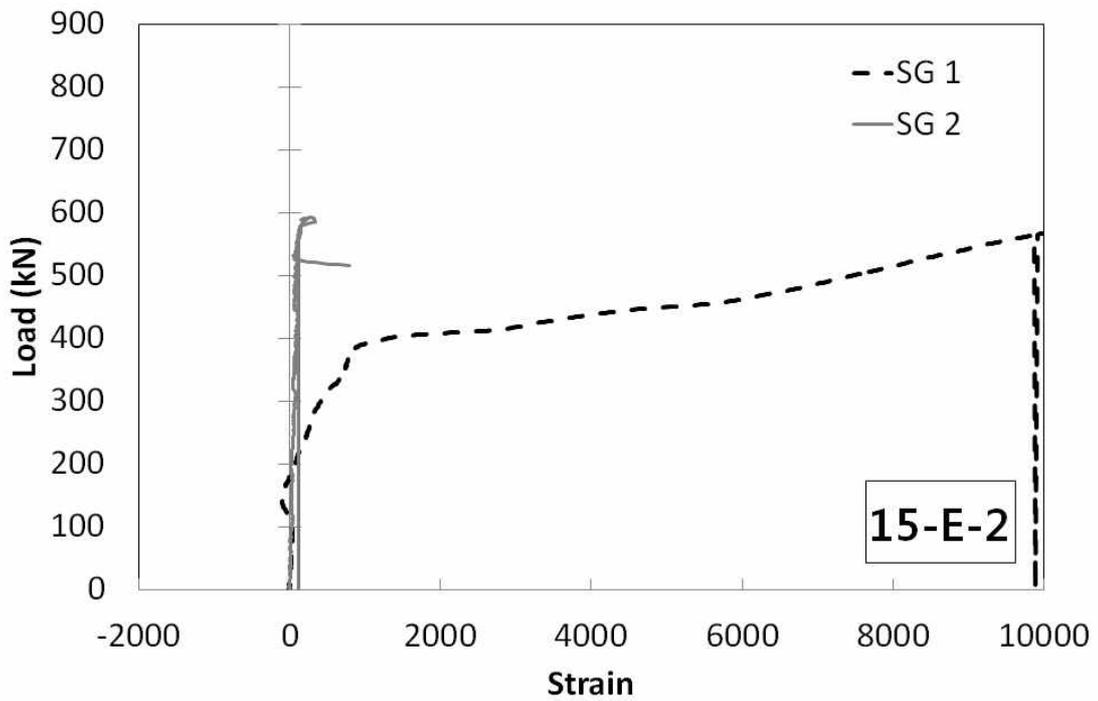
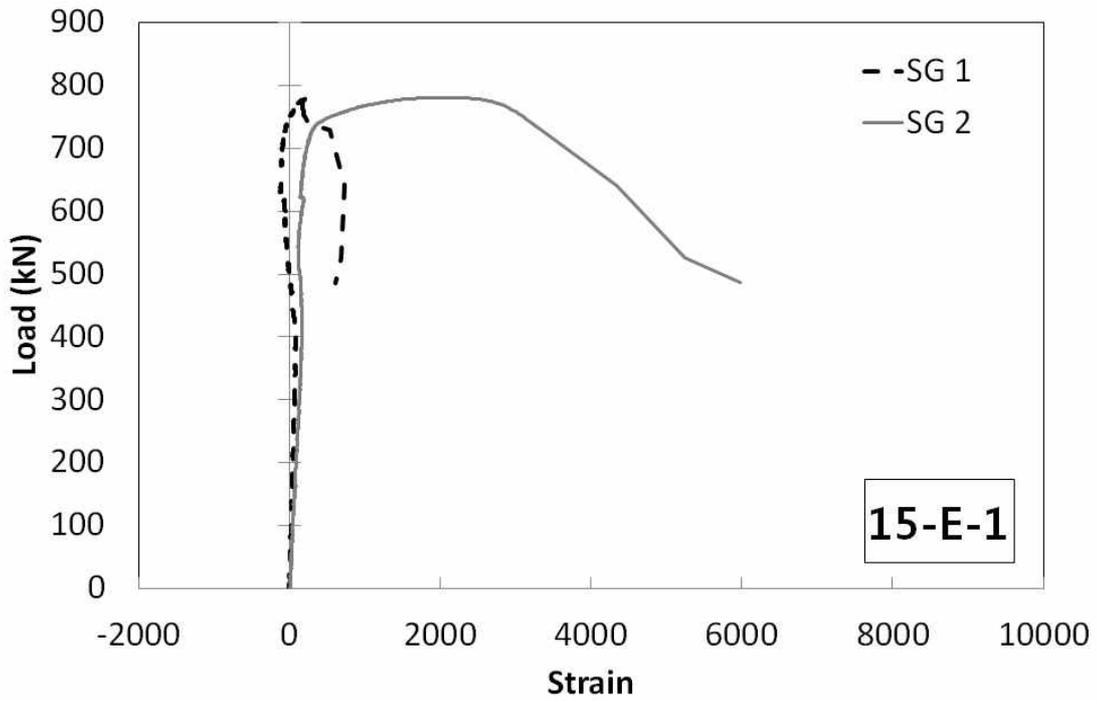
한국과학재단, “압축력 및 힘을 받는 압축부재의 구조 보강방안 연구”, 1998.

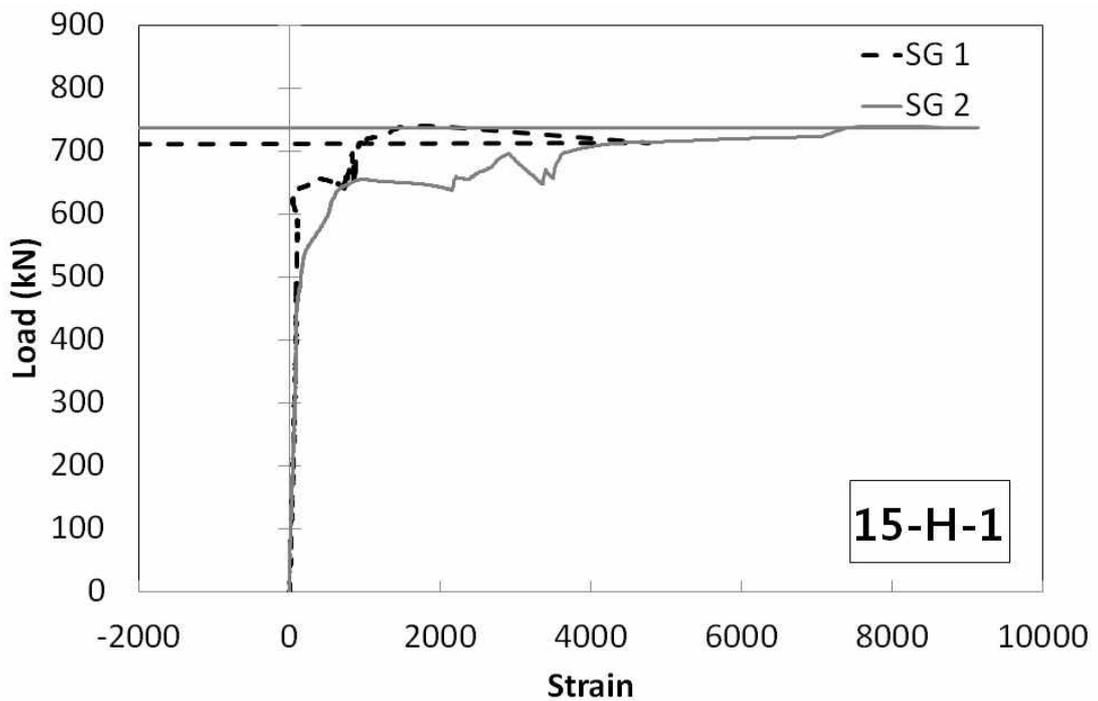
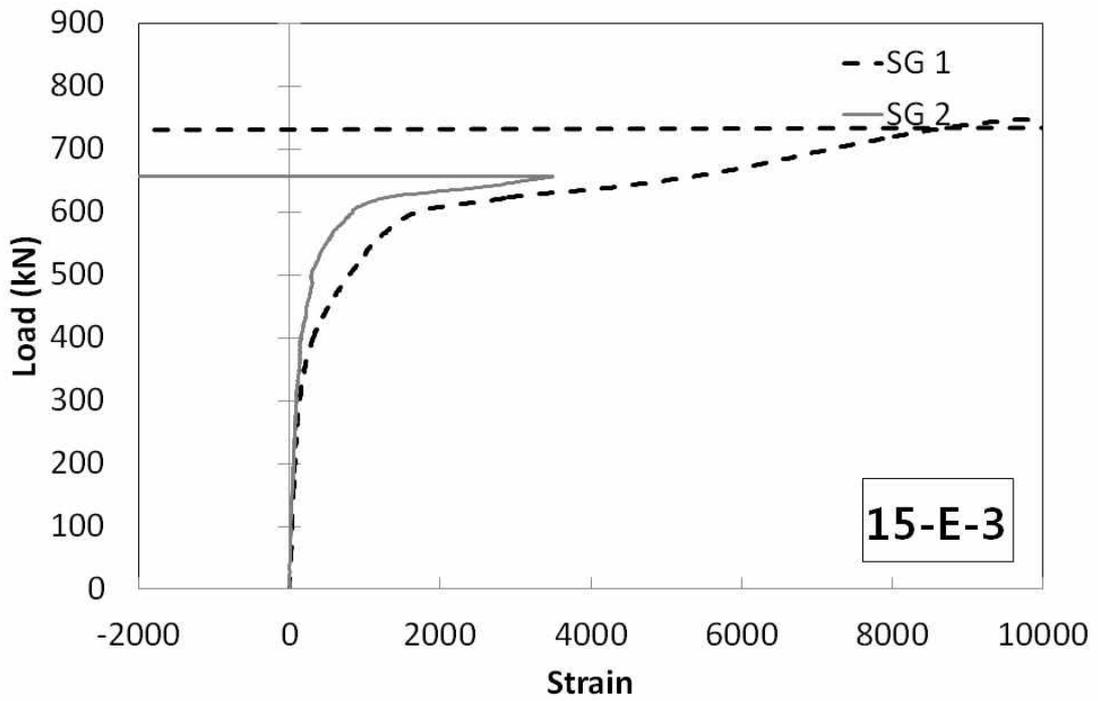
한국표준협회, “표면거칠기 정의 및 표시 (KS B 0161)”, 1999.

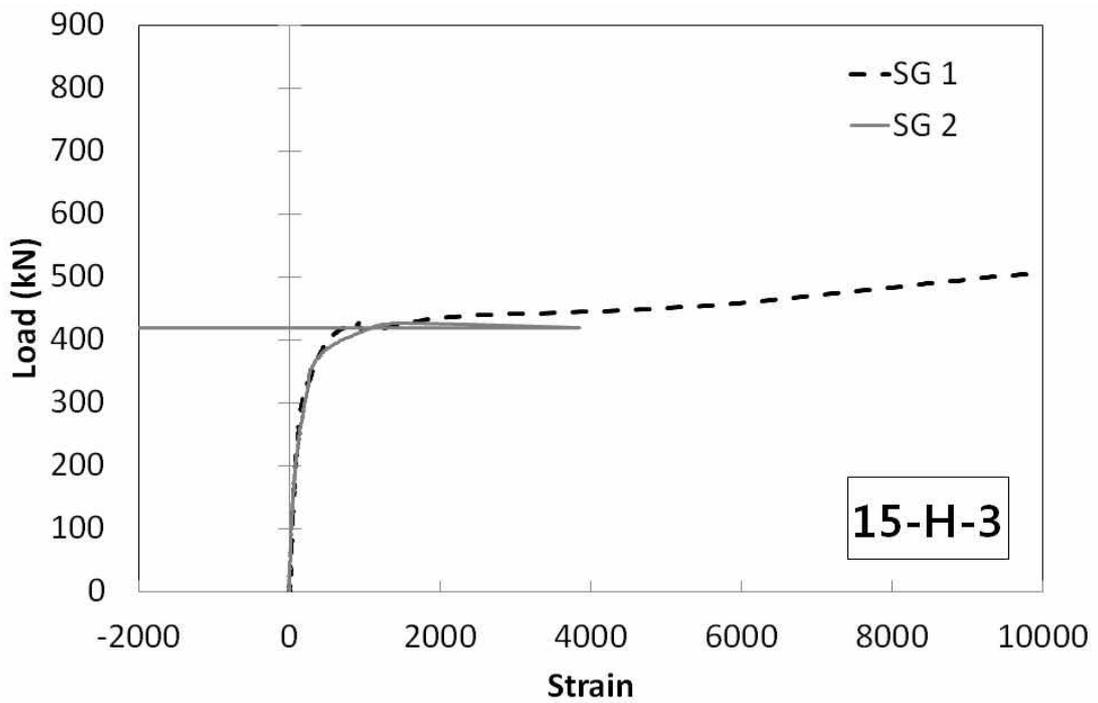
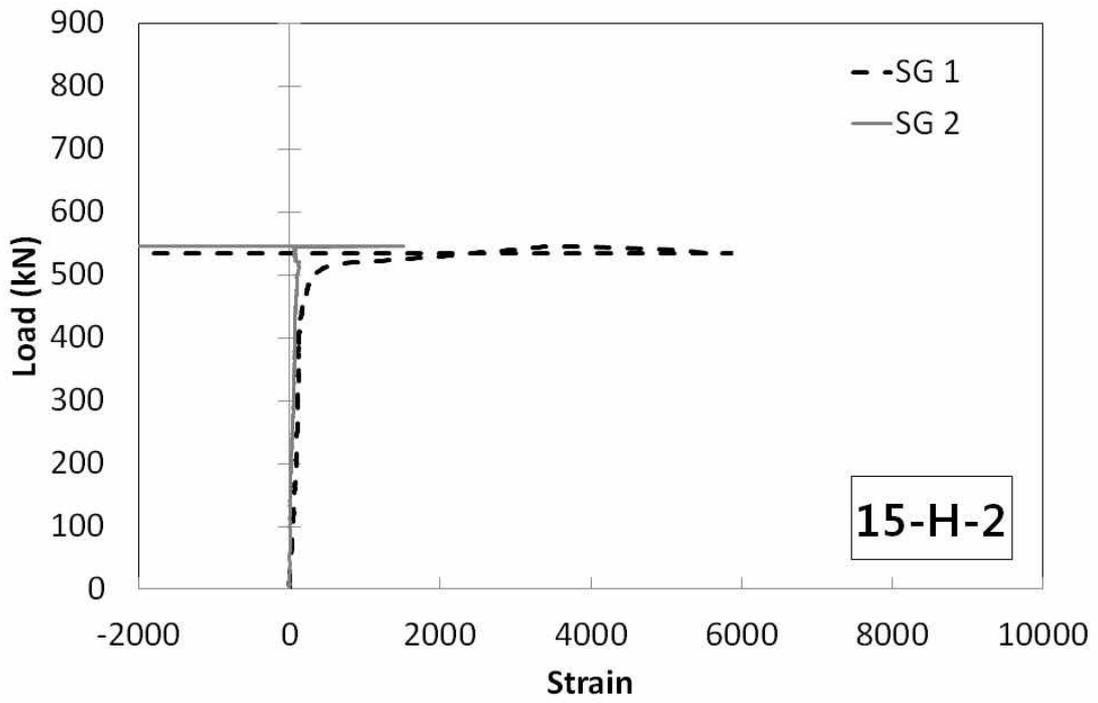
한국표준협회, “콘크리트 강도 시험용 공시체 제작 방법 (KS F 2403)”, 2005.

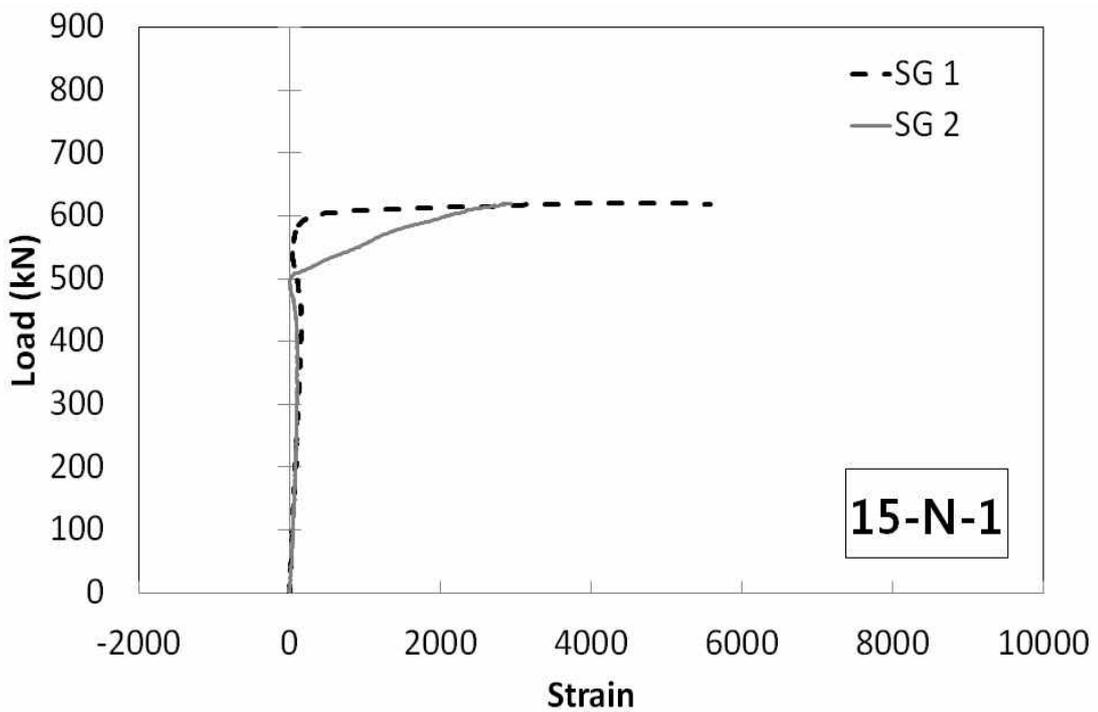
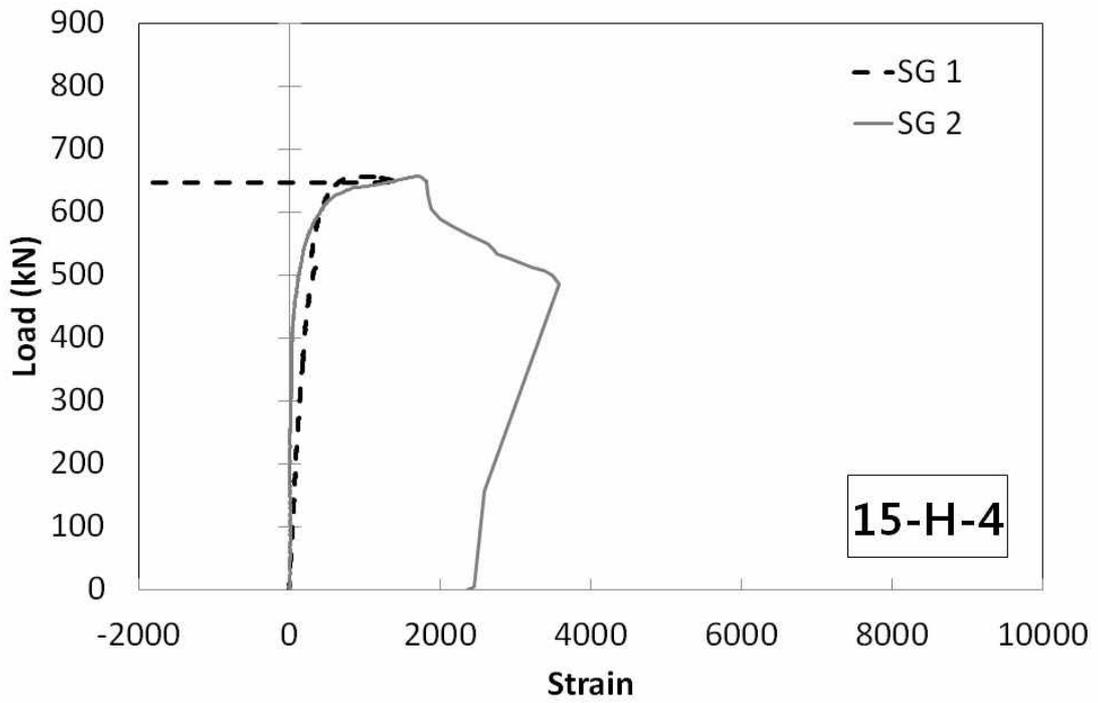
한국표준협회, “콘크리트 압축 강도 시험방법 (KS F 2405)”, 2005.

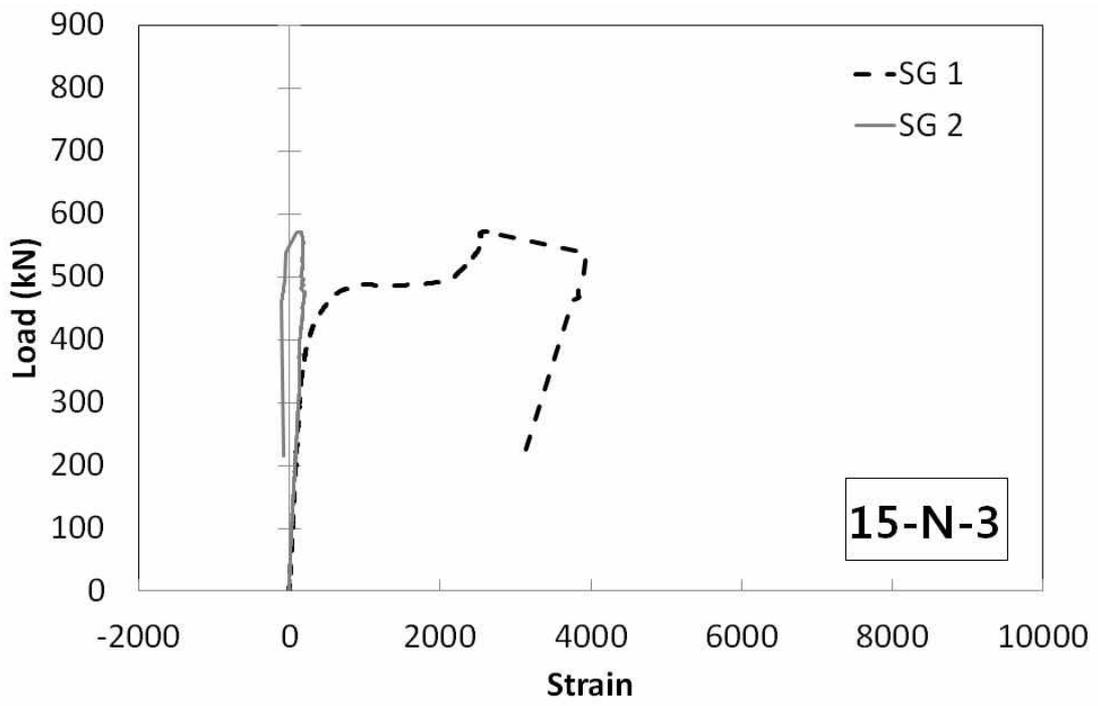
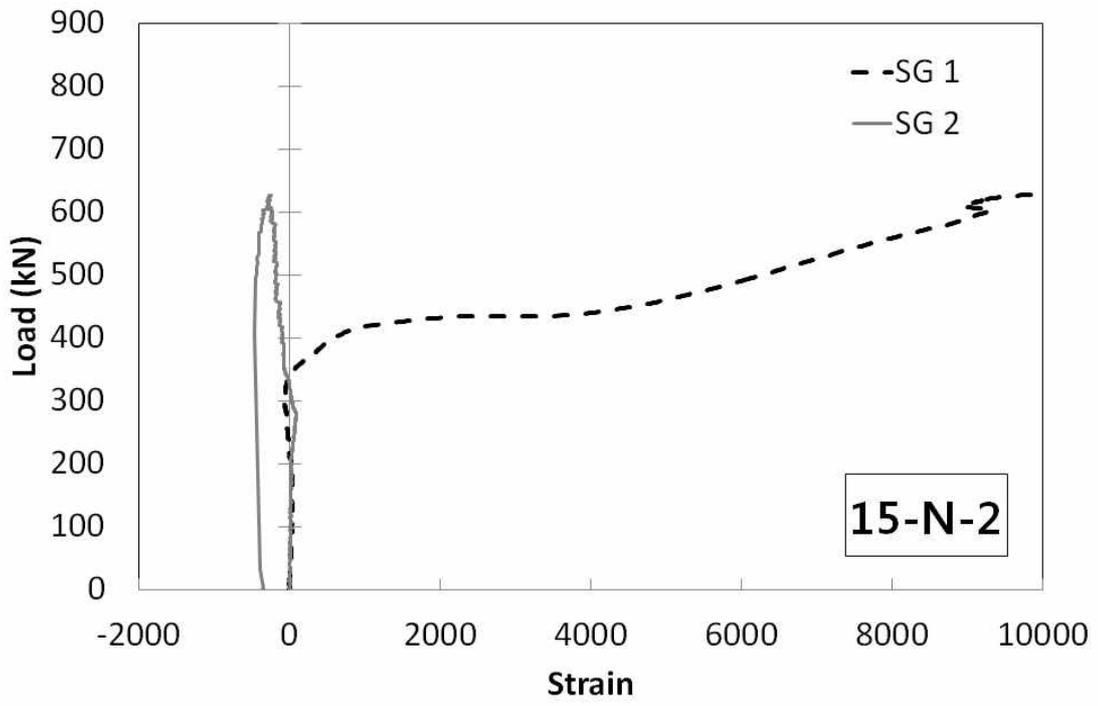
부 록 (하중-변형률그래프)

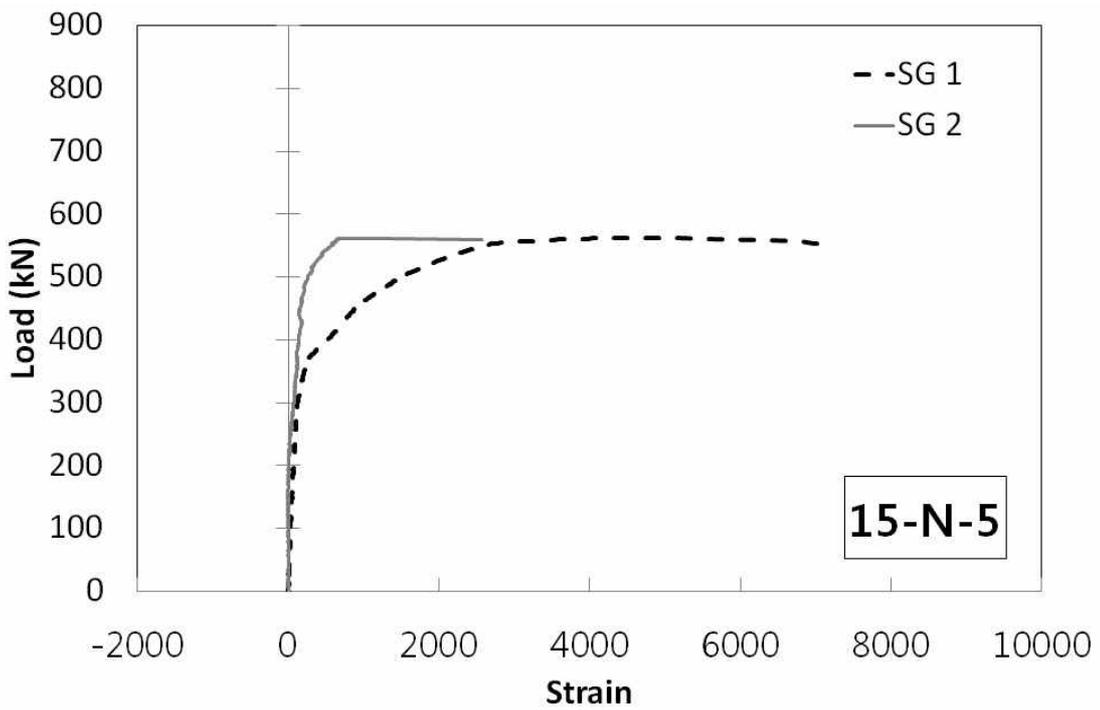
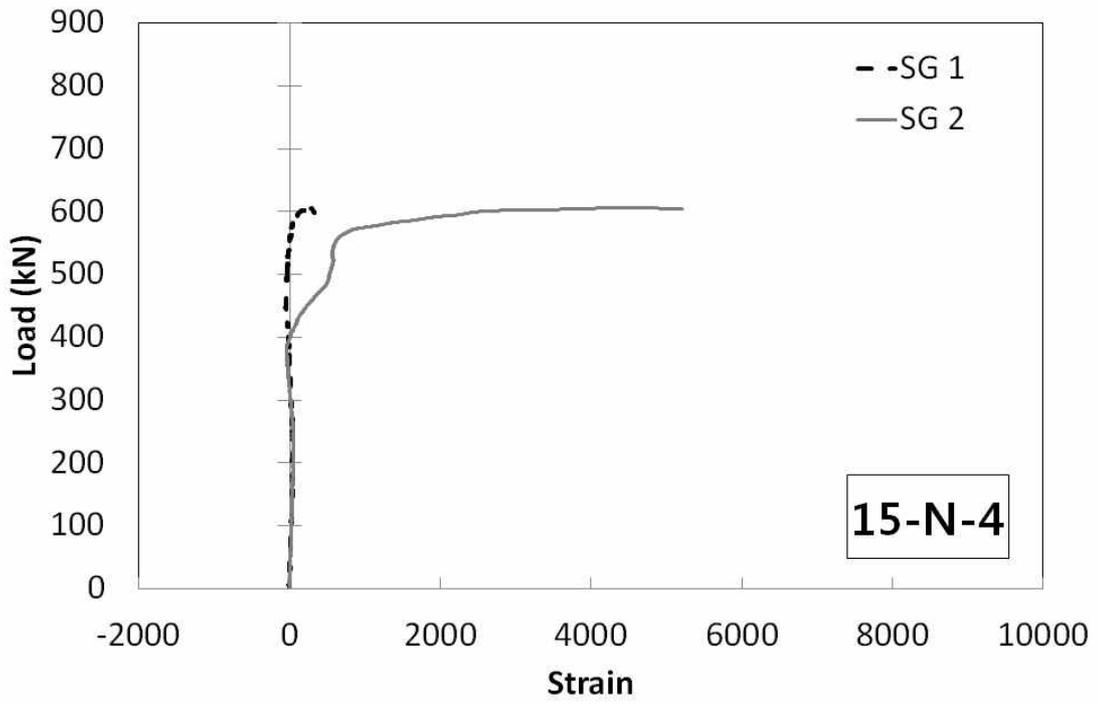


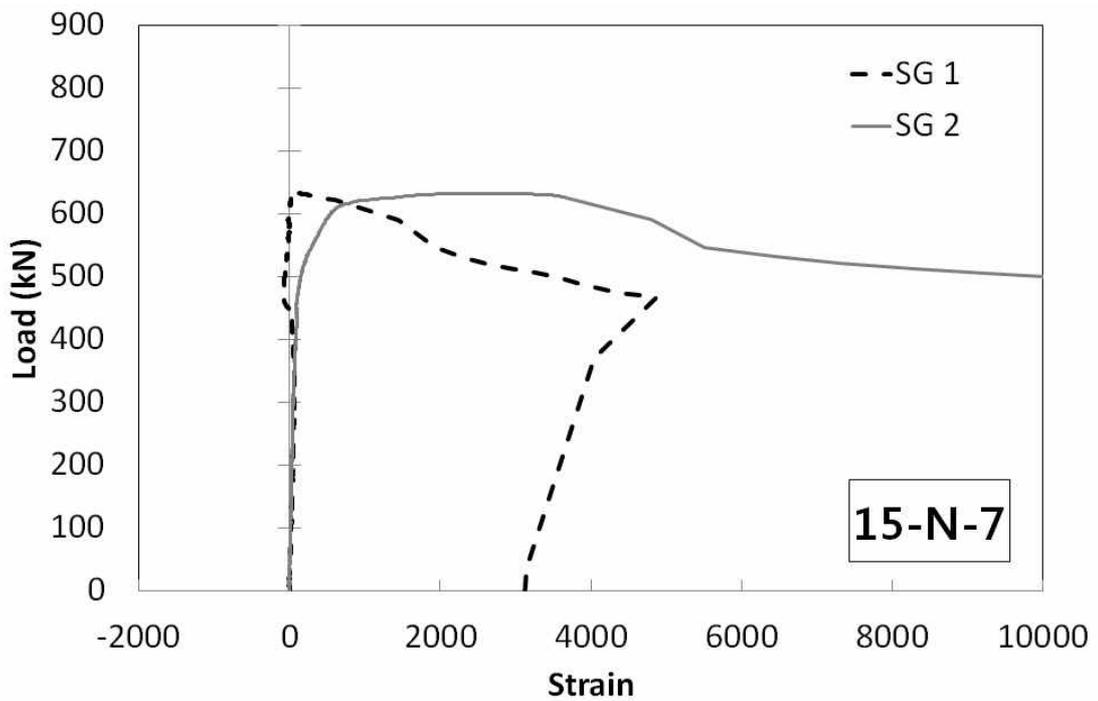
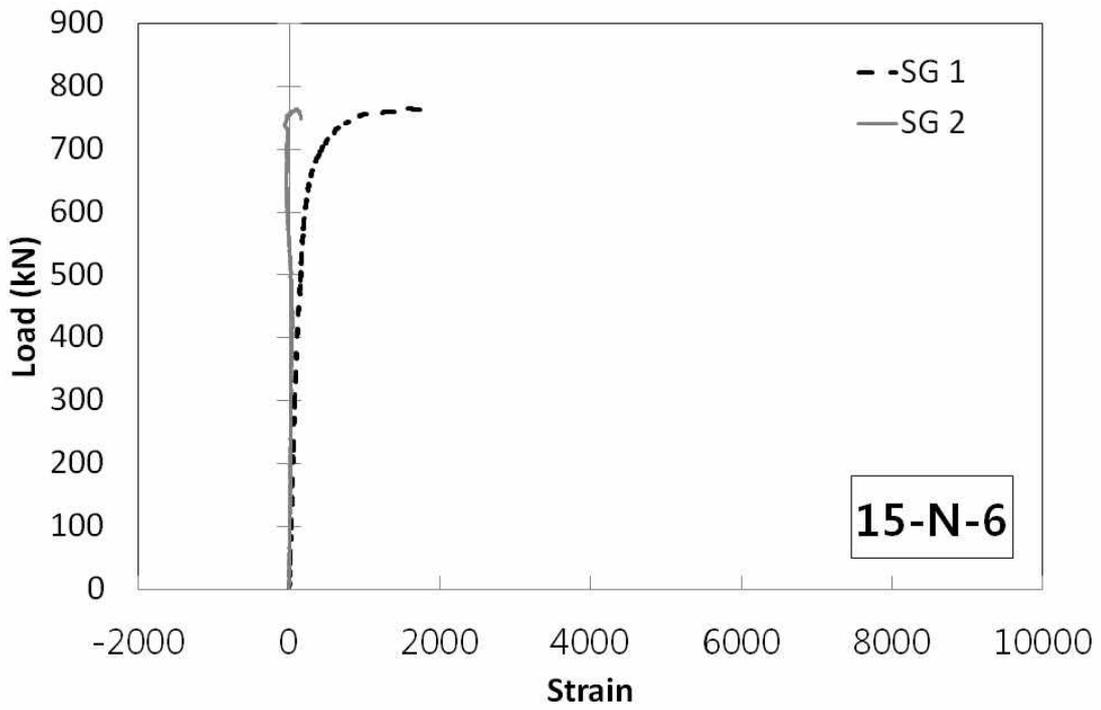


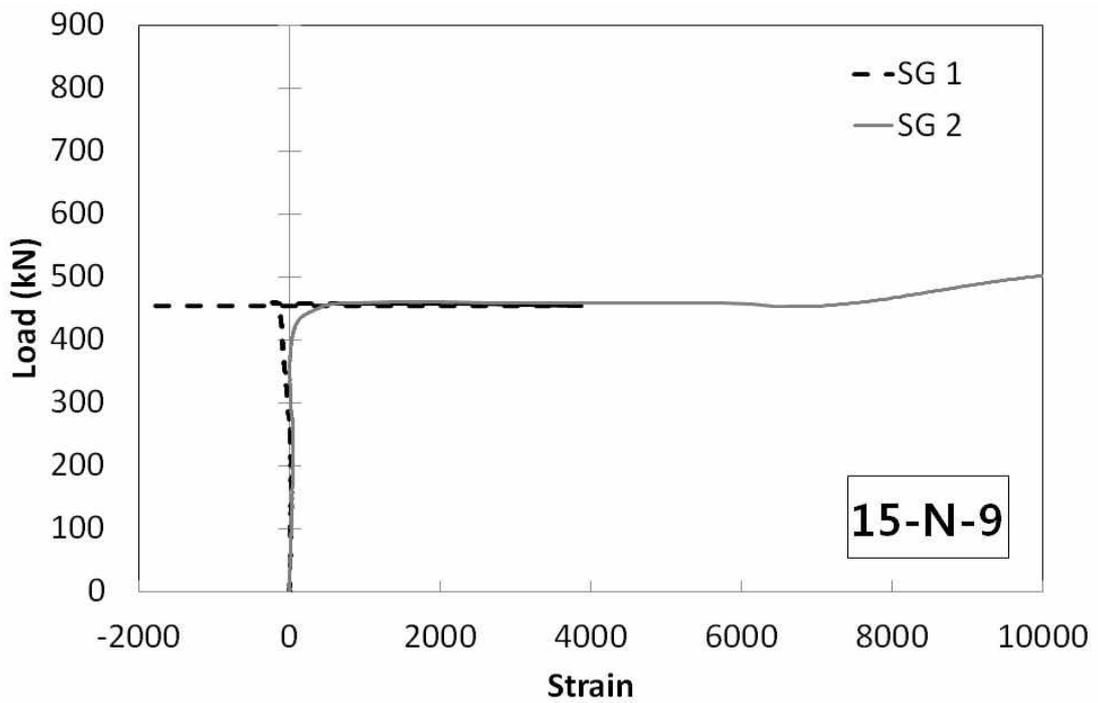
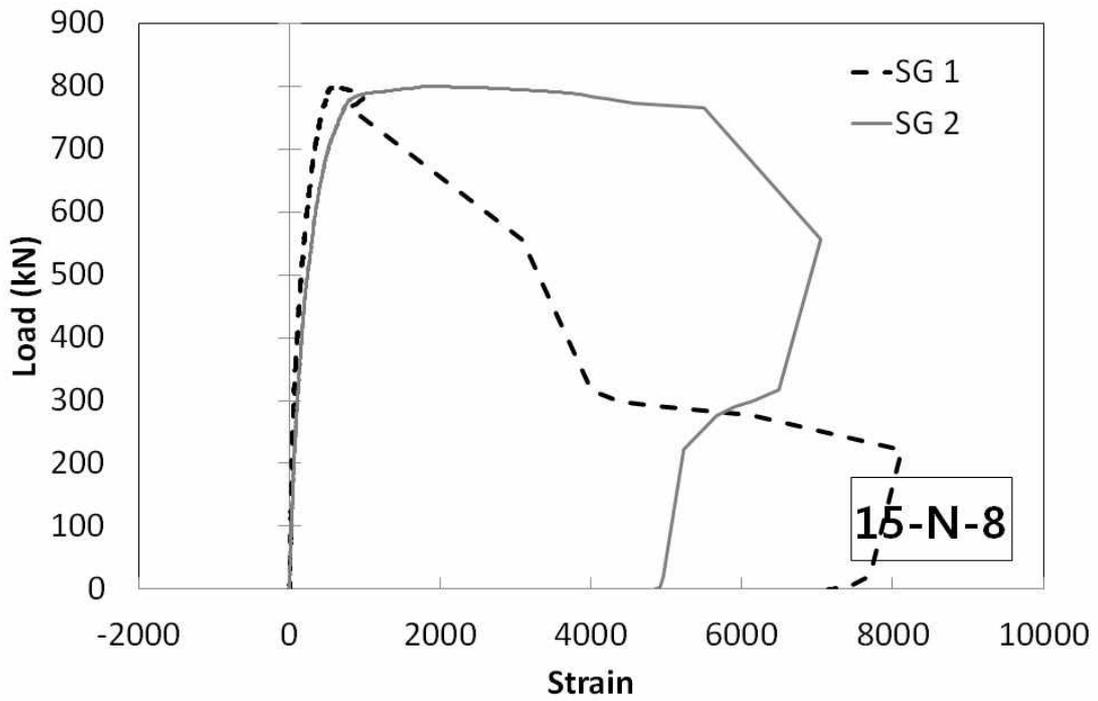


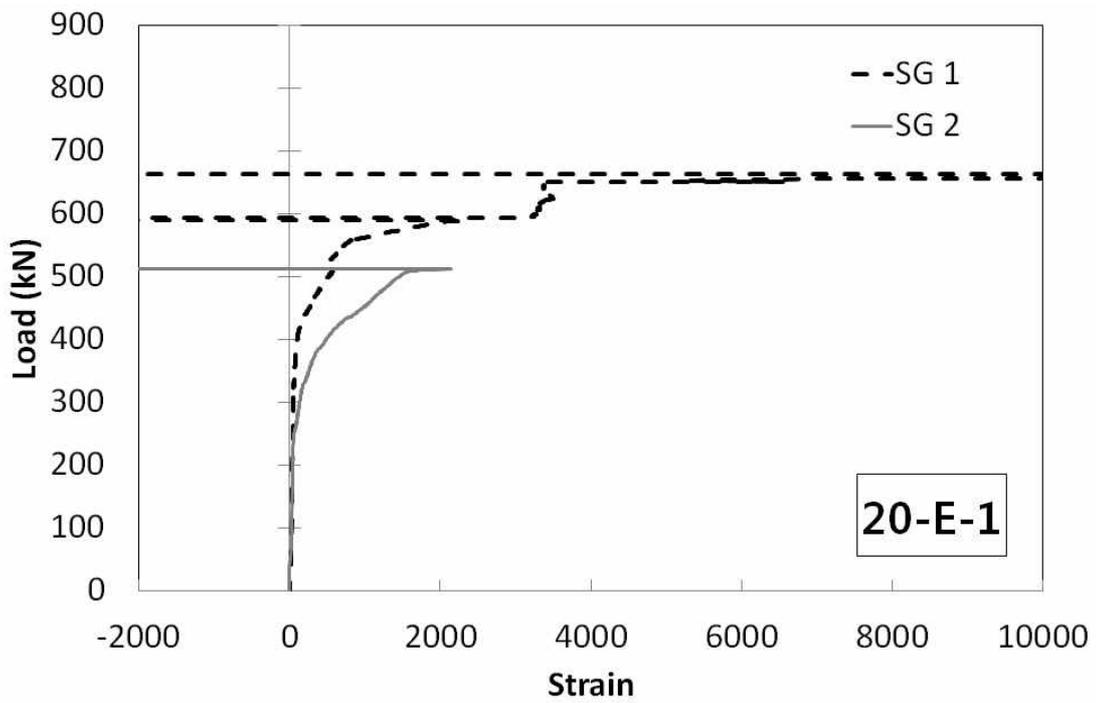
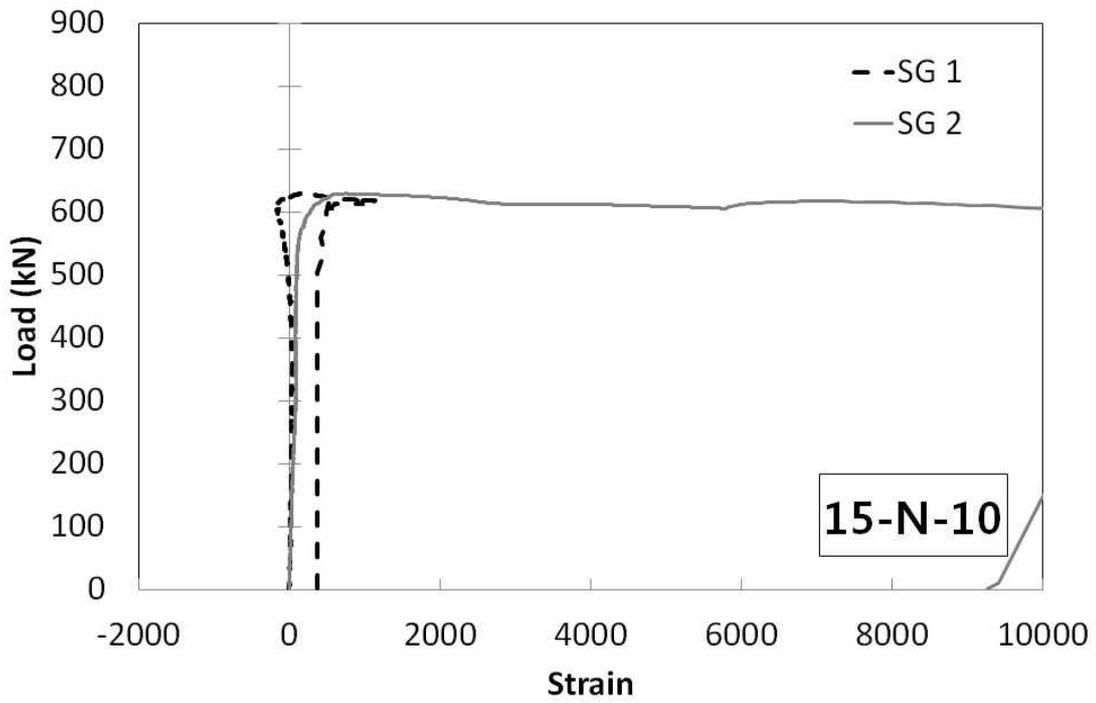


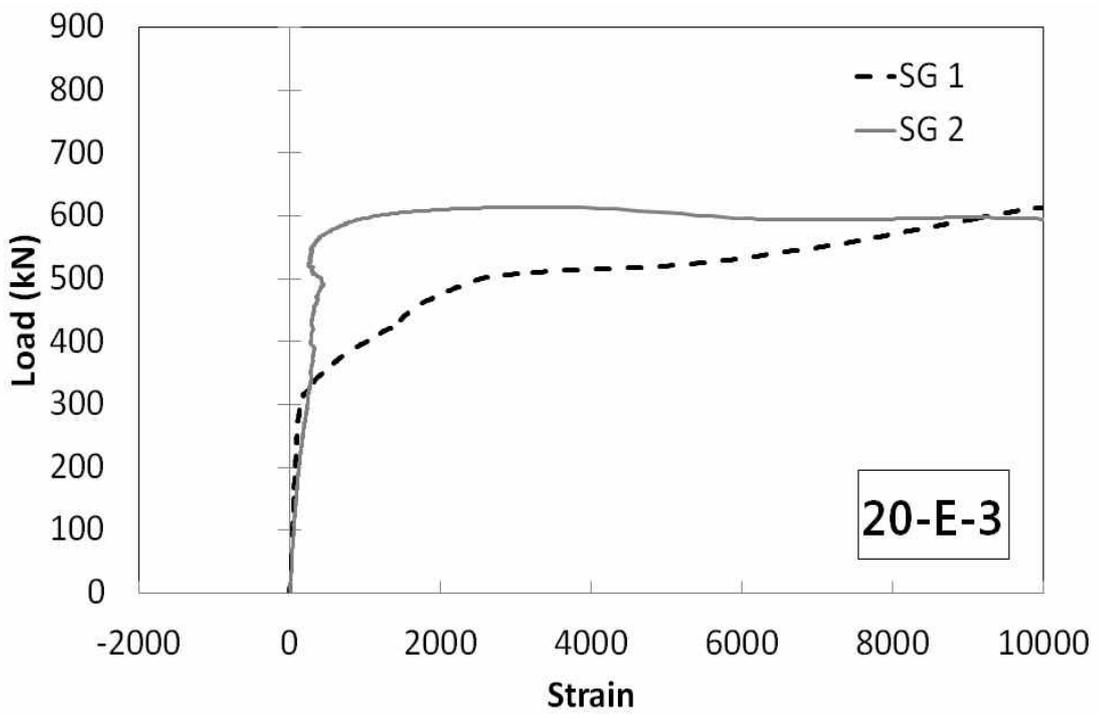
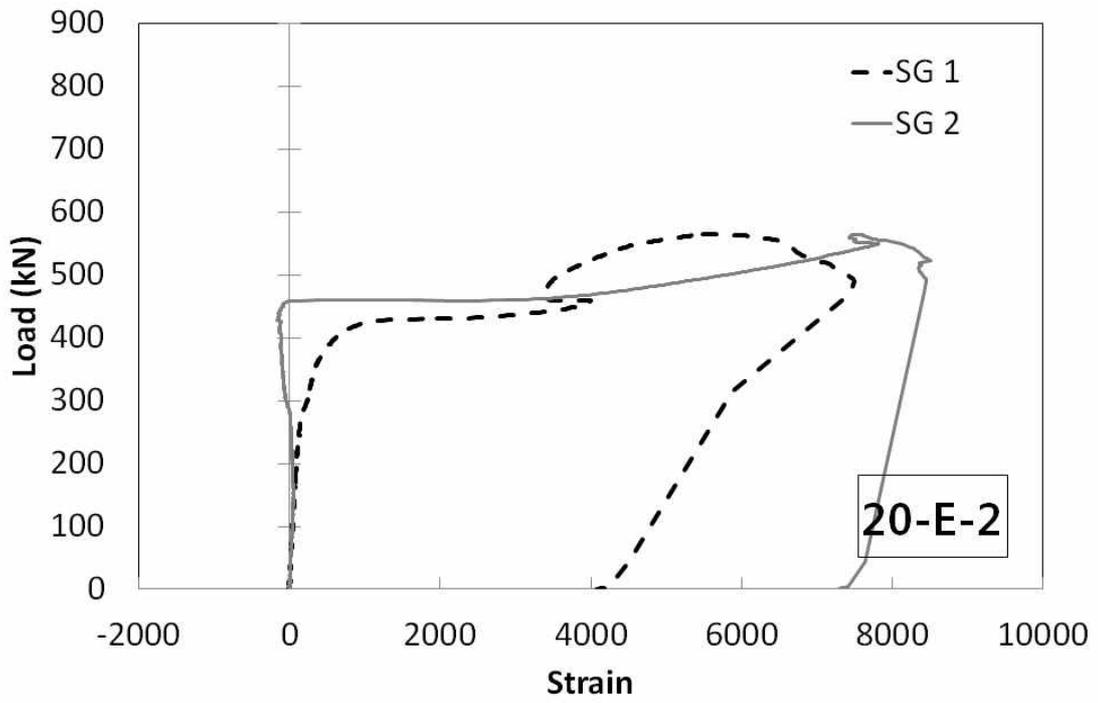


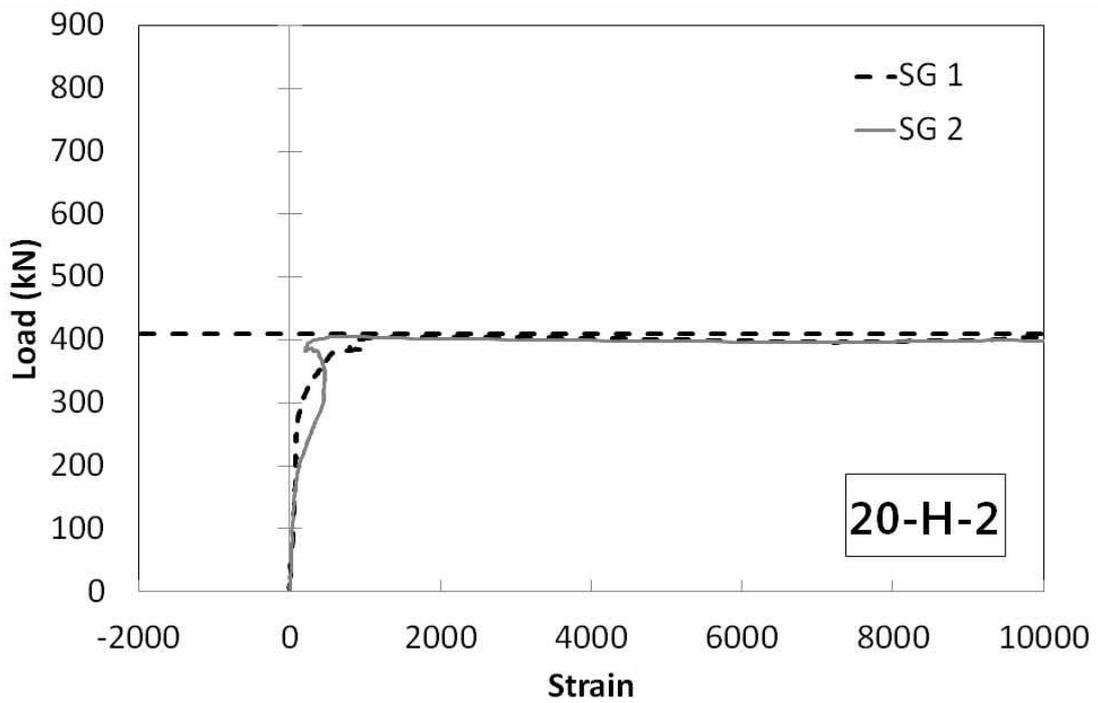
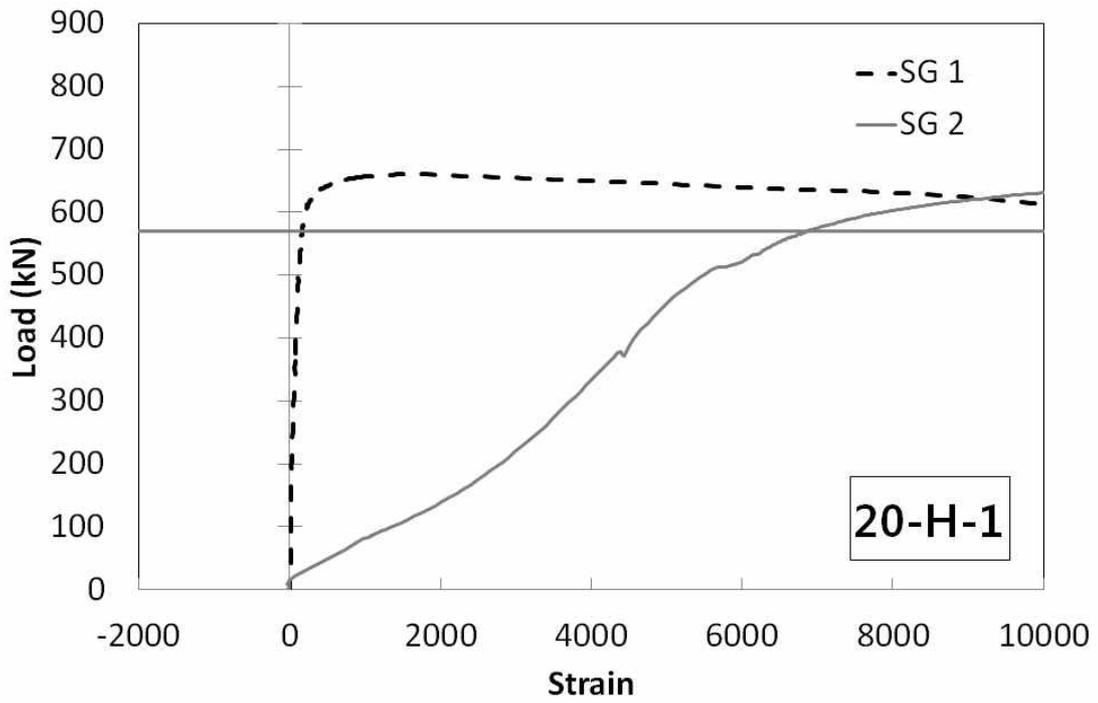


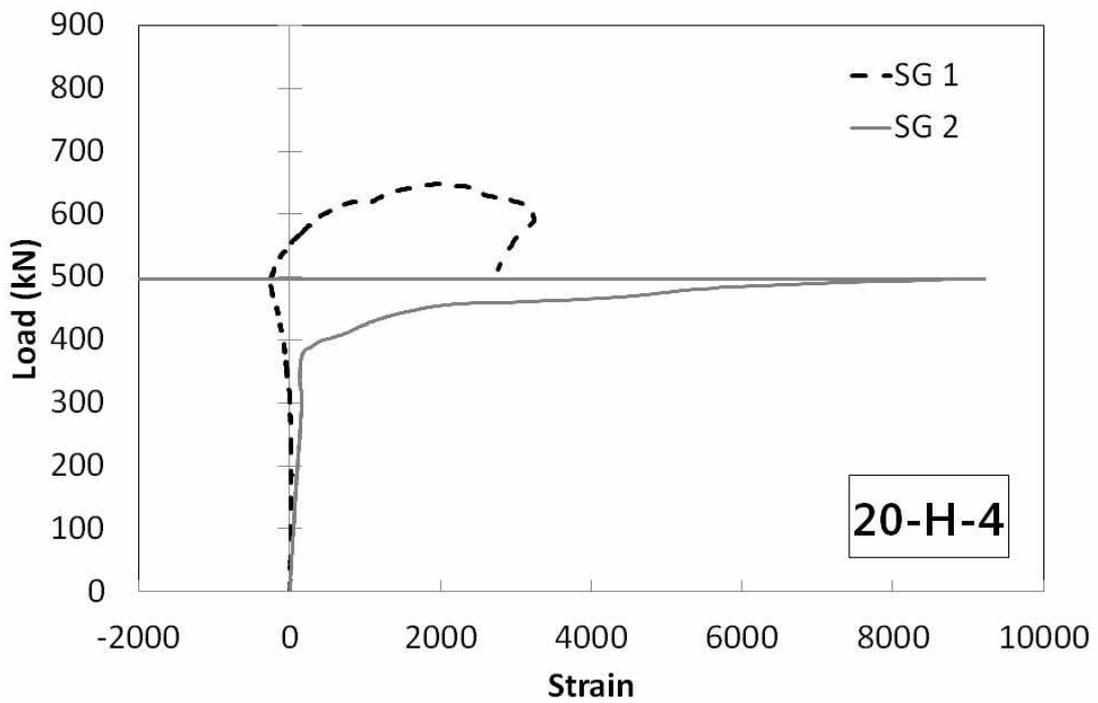
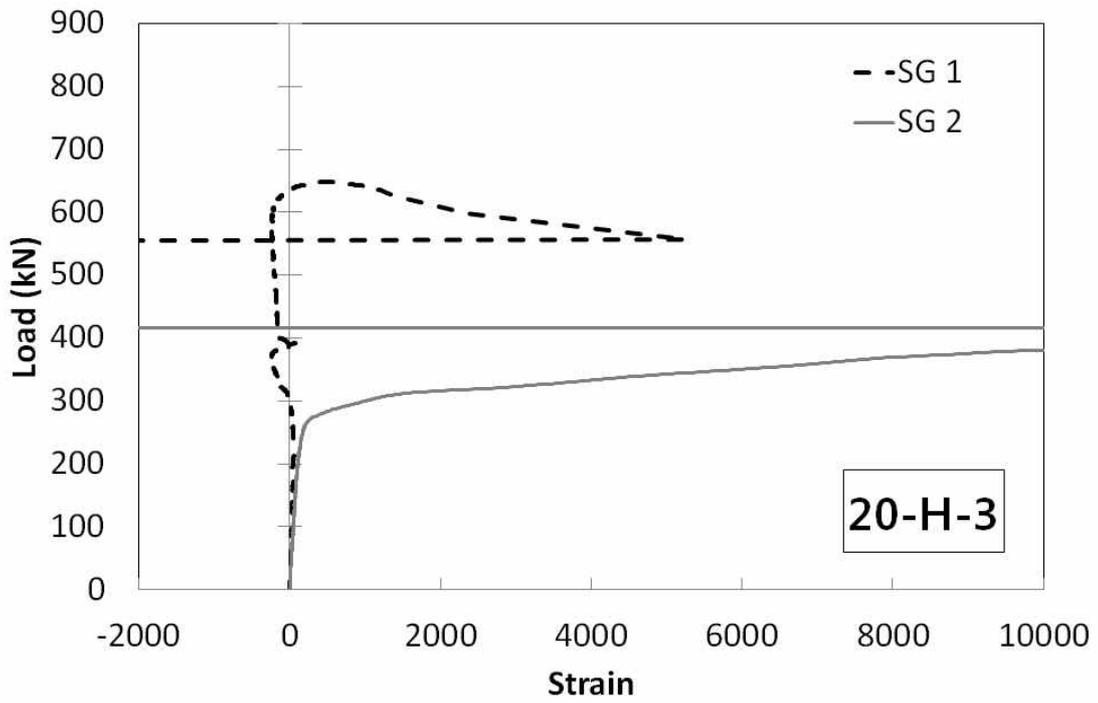


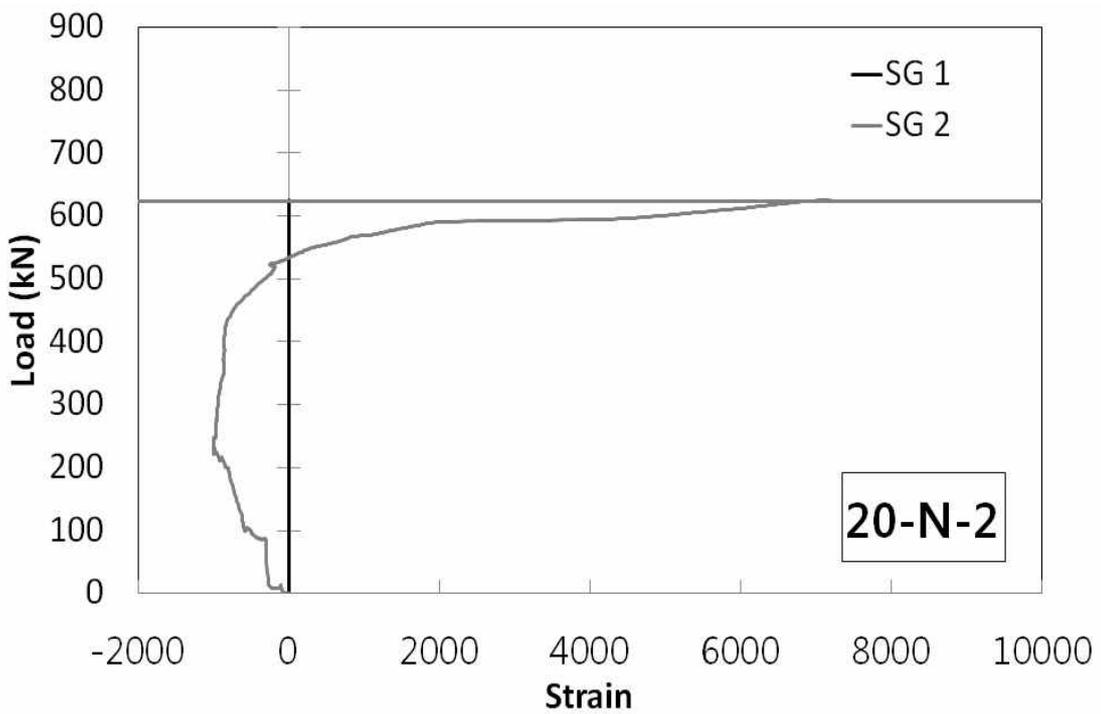
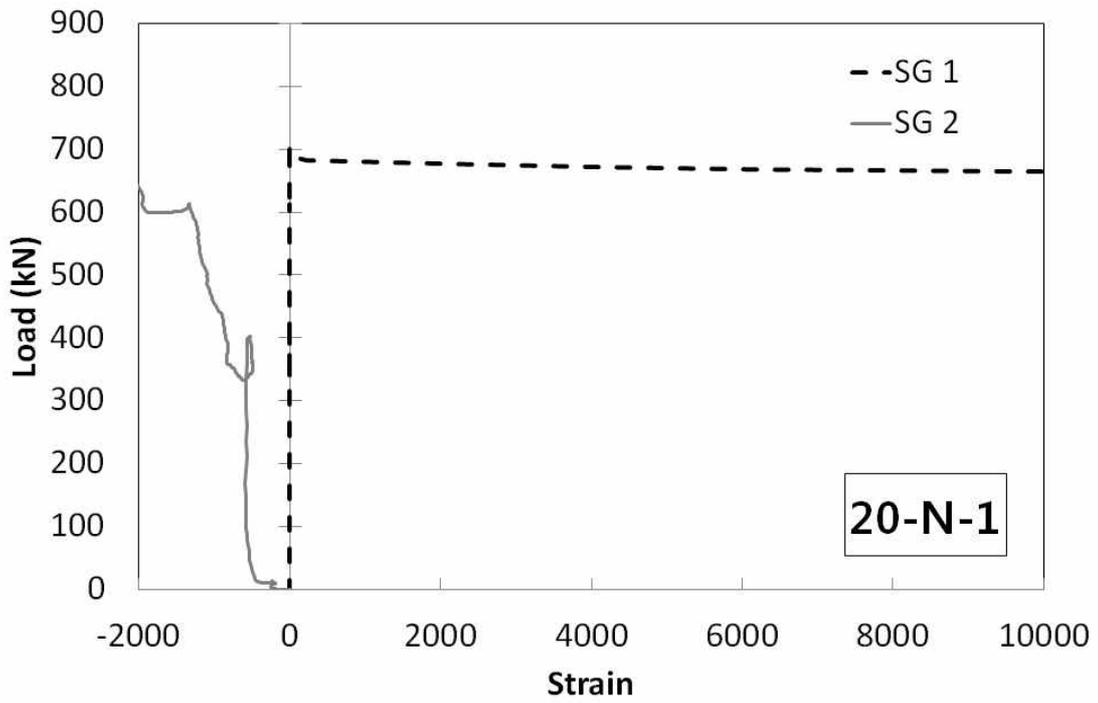


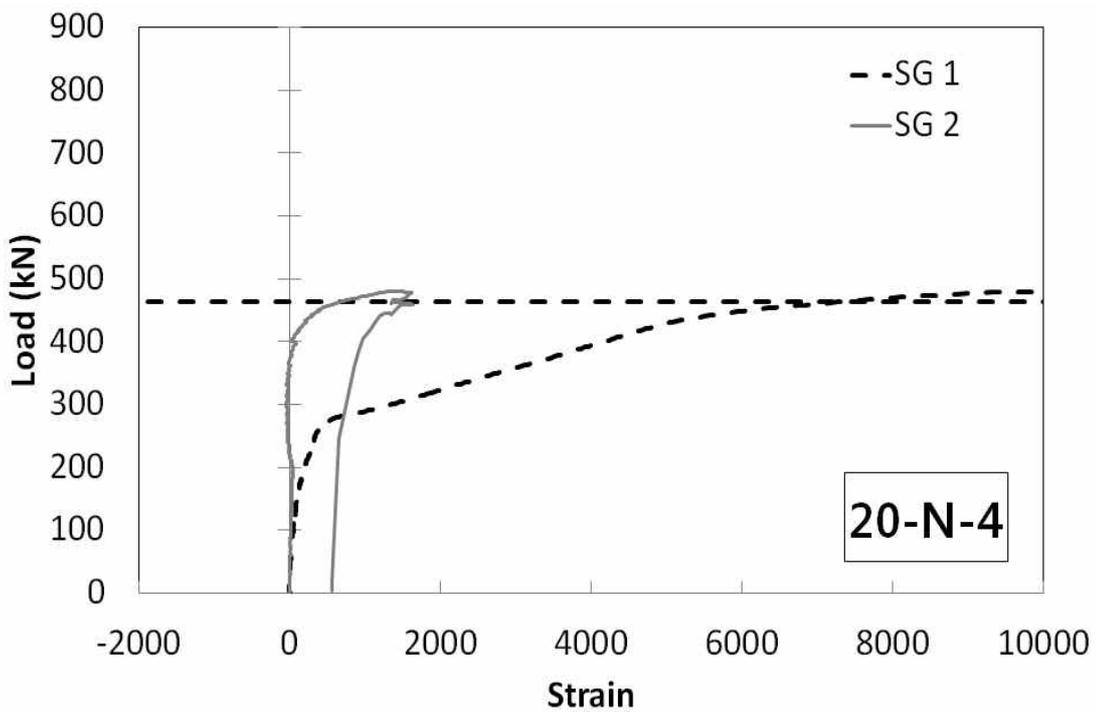
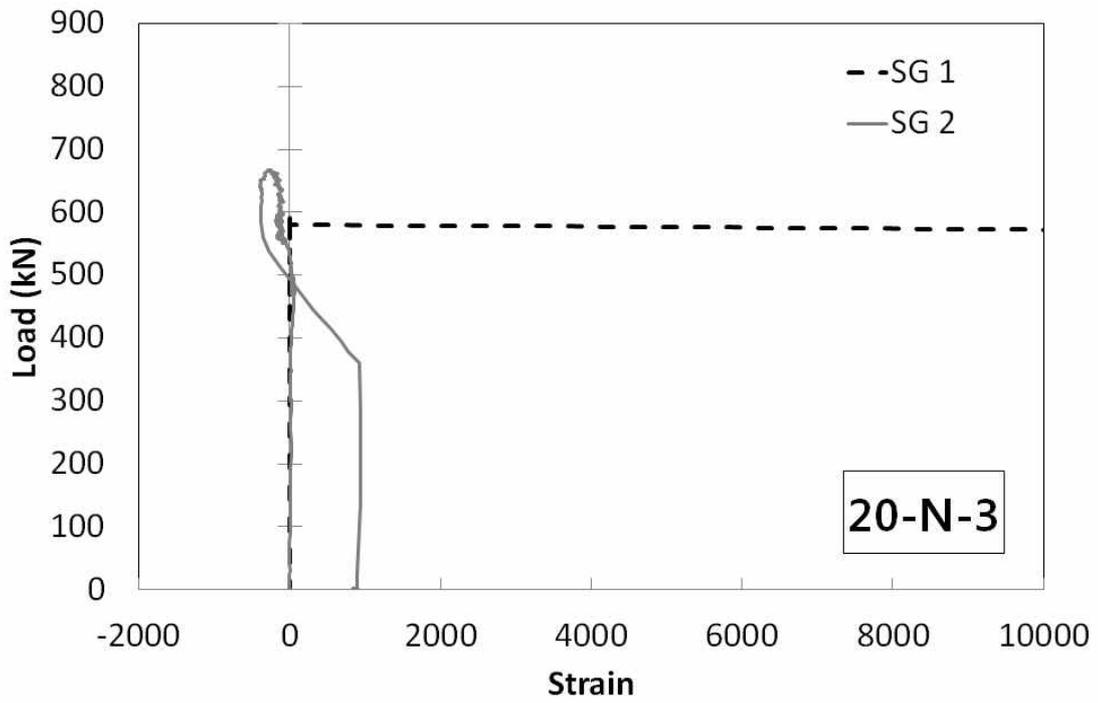


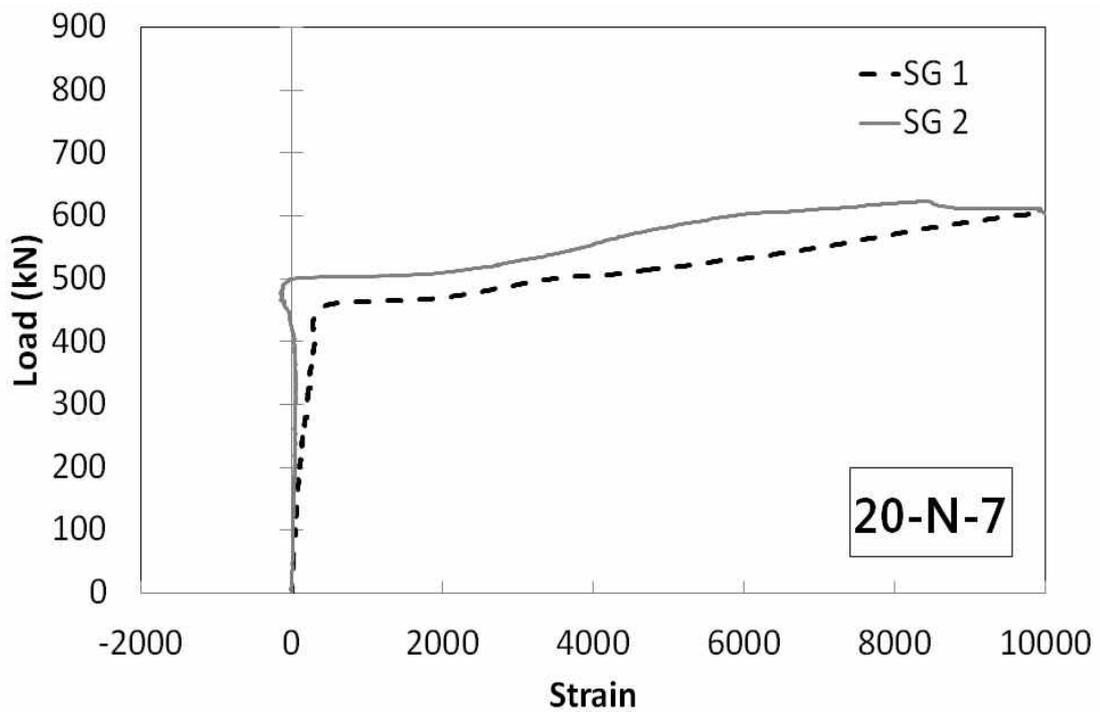
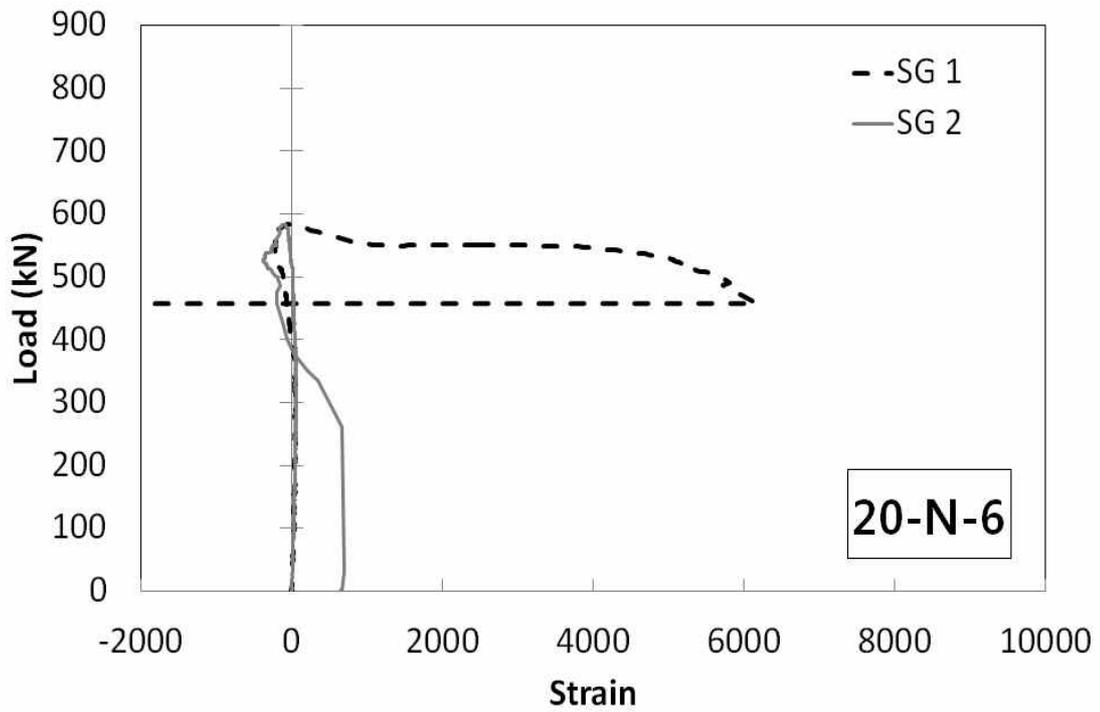












감사의 글

시간과의 싸움이었던 이 한편의 논문집이 이제 마무리가 되어 갑니다.

늘 가슴 한구석에 채워지지 않았던 열정이 마흔을 넘기면서 더 이상 미룰수 없다는 신념과 고집 하나로 대학원을 진학한 게 2012년 이었습니다. 사서 고생한다는 주변의 말을 섭섭해 하기보다는 채찍질이라 여기며 대학원 5학기를 쉬지 않고 앞만 보고 달렸습니다. 이루어야 할 하나를 위해 접어야 할 것도 많았던 시간이었습니다. 다행히 포기하지 않고 이 모든 과정을 마칠 수 있게 해 주신 분들께 감사의 마음을 전하고 싶습니다.

이 논문의 시작과 끝을 땀과 열성으로 같이 해주신 고동우 교수님, 교수님의 열정에 다 따라가지는 못했지만, 바쁘신 일정에도 끝까지 지도해 주셔서 감사합니다. 어떻게 말로 이 감사함을 다 전할지 모르겠습니다. 무엇보다 너무나도 무거웠던 콘크리트 실험체를 제 대신 셋팅해 주셔서 죄송하고 고마웠습니다.

항상 격려의 말을 아끼지 않으셨고, 전문용어라 어려웠던 영어원문을 한구절씩 해석해 주셨던 서일교 교수님과, 논문의 세세한 부분까지 검토해 주시고 교정에도 힘써주신 최희복 교수님께 감사드립니다.

그리고 건축학부 박철민교수님, 김태일교수님, 장명훈교수님, 김형준교수님, 전상훈교수님, 박정근교수님, 이용규교수님, 전규엽교수님께도 다시 한번 머리 숙여 감사의 인사 올립니다.

일과 학업을 병행하며 2년동안 함께 수학했던 대학원생 학우분들께도 많이 배우고 나갑니다. 실험을 도와준 철근콘크리트 연구실 학생들과, 바쁜 와중에도 기꺼이 PT자료까지 도와준 김세정 학생과 조교님들께도 고마움을 전합니다.

매번 부족함을 채워주시고 힘이 되어주시고 지금의 결실을 맺게 해주신 사수님과 직장 동료분들에게도 뜨거운 감사를 보냅니다.

언제나 든든한 지원군이 되어주신 양가 부모님들, 많은 인내를 감내한 남편분, 큰언니라고 많이 양보하고 믿고 따라준 윤정, 소영, 지영 이쁜 동생들과 그 동생들을 아껴주는 제부들과, 앞으로 공학도가 될지도 모를 조카들 태준, 다연, 수운 과도 기쁨을 함께 나누고 싶습니다.

무엇보다 올해 중학교에 진학한 하나밖에 없는 내 보물 유준이에게, 이 논문은 “엄마가 유일하게 이루고 싶은 꿈의 산실” 이라는 말과 함께 유준이를 너무나 사랑한다는 말을 수없이 전합니다.