

콘크리트 강도별 매입 철근의 유형별 부착력 측정실험

조성열 · 손기상[†]

서울과학기술대학교 안전공학과

(2014. 5. 18 접수 / 2014. 9. 1. 수정 / 2015. 1. 6. 채택)

An Experimental Study on Bonding Capacity by Concrete Strength and Type of Re-bar Anchor

Seong-Yeol CHO · Ki-Sang SON[†]

Department of Safety Engineering, Seoul National University of Science and Technology

(Received May 18, 2014 / Revised September 1, 2014 / Accepted January 6, 2015)

Abstract : Many construction equipment or supporting structure should be installed in a field without appropriate anchorage to cause a collapse of those. Anchor length, anchor diameter, hooked or non hooked will be made and tested in the study. This one will be analyzed and compared with the previous study in order to find out some difference, strength by strength, based on this study. Embedded re-bar and the resistant capacity against pulled out force of re bar have been tested and analyzed by concrete design strength and rebar diameter in the study. 21Mpa and 24MPa compressive strength which are used in construction practice have been applied as variables. Those rebars are composed of D13, D16, D22 which are mostly used at construction sites. The followings are summarized as conclusions.1) ductility is not increased as rebar diameter becomes larger under the condition of non-hooked anchorage.2) those are two times of displacement difference between small diameter of rebar and large one with hooked anchorage of rebar while being 1/10 times difference with non-hooked condition but, only 10% difference of maximum load are shown, not conspicuously between hooked and non-hooked condition.3) displacement related to ductility can be three(3) times decreased if only concrete compressive strength and rebar diameter become larger with heavy support weight.

Key Words : compressive strength, pulled out force, resistant capacity, ductility, heavy weight

1. 서론

건설현장에서 아파트 신축 공사에 사용되는 크레인 설치 시 아파트 구조물에 구멍을 내어 대형 와이어 로프로 고정하는 경우가 많지만 돌레 매듭에 인발되는 위험성이 상존하고 있다.

이러한 문제에도 불구하고 들판에 크레인이 세워지고 공사가 되는 경우가 많기 때문에 적절한 지지 와이어 정착은 현장에서 가설시설로 대체되어 붕괴사고 등 위험이 존재하고 있다.

이러한 현장 문제점 해결을 위해 이들 지지 와이어를 앵커 하는 앵커가 매입된 콘크리트 무게추가 땅속에 매입되어 인장력에 저항하는 앵커체가 뽑히지 않고 (인발되지 않고) 저항하는, 즉 부착되고 있는 다양한 조건별로 제시하는 것이 중요하다 하겠다.

철근과 콘크리트 조합의 구조물은 너무나 광범위하게 사용되고 있기 때문에, 두 재료사이의 부착강도는 대단히 중요한 관심사일수밖에 없다. 부착은 주로 마찰과 접착에 의해 발생된다. 그리고 철근에 비해 상대적으로 응축된 콘크리트에 의해 영향을 받기도 한다. 그러나 부착은 콘크리트 특성뿐만 아니라 철근의 기계적 특성까지도 관련되고 있는 요소이다¹⁾.

본 연구에서는 건설현장에서 여러 유형의 콘크리트 무게 덩이를 구축하고 여기에 철근 등을 매입하고 앵커하여 장비 등을 구조물에 지지시키는 구조적 실험으로 매입 앵커된 앵커 체의 인발 내력을 측정하는 것으로 하였다.

지금까지는 지지와이어를 사용한 타워크레인 등을 지지하는 방식은 2013년도부터는 안전상 부분적으로 금지되었지만(산업안전기준에 관한 규칙 제142조 타워

[†] Corresponding Author : Ki-Sang SON, Tel : +82-2-970-6388, E-mail : ksson@seoultech.ac.kr

Department of Safety Engineering, Seoul National University of Science & Technology, 232, Gongneung-ro, Nowon-gu, Seoul 139-743, Korea

크레인의 지지) 여전히 다양한 조건들에 대한 앵커 되고 후크된 철근에 지지하는 형태는 건설현장에서 필요한 피할 수 없는 방법이기도 하다.

콘크리트 구조에서 콘크리트와 철근 사이에 충분한 부착력이 필요하다. 부착강도는 철근의 종류 및 직경, 콘크리트 중의 철근의 위치 및 방향, 매입깊이, 콘크리트 피복두께, 콘크리트 품질 등에 따라 좌우되기 때문에 이들을 인자로 한 실험체 제작을 하는 것으로 하였다^{2,3)}.

2. 연구방법

2.1 연구계획

실험체 크기는 실험장비의 조건을 고려하여 20 cm × 20 cm × 47 cm로 하였다. 매입 철근(강재)의 길이, 후크형태, 직경별 측정을 하고, 또한 콘크리트 강도는 건설현장에서 20층 이상 아파트 건축에 통상적으로 사용되고 있는 24 MPa용 콘크리트 강도 조건에서 매입 유형별, 직경별 요인을 찾고자 하였다. 또한 21MPa용 콘크리트 강도와 강도별 비교를 하였다.

Table 1. Material property of concrete unit: MPa

Design strength	Mold size	Age	Strength of each			Average strength
			1	2	3	
21MPa Cement 301kg Sand 841kg Gravel 975kg Water 152kg	Φ10×20 cm	7days	2.28	2.12	2.20	2.20 (2.13)
		28days	2.59	2.66	2.73	2.66 (2.58)
24MPa Cement 318kg Sand 815kg Gravel 980kg Water 153kg	Φ10×20 cm	7days	2.48	2.43	2.46	2.46 (2.38)
		28days	3.15	3.07	3.33	13.18 (3.09)

* Curing temp. 20°C ±2°C in water tank

* () Value for the size of test piece Φ15 × 30 cm

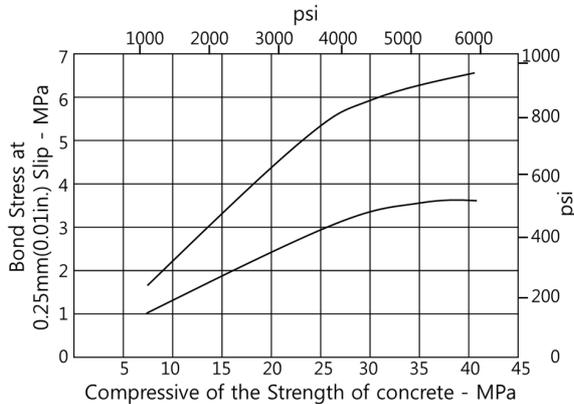


Fig. 1. Influence of the strength of concrete on bond determined by pull-out test¹⁾.

Table 2. Concrete mixture design

strength	W/C	S/A	Gravel	Sand
21MPa	42.9%	46.5%	975 kg/m ³	841 kg/m ³
24MPa	40.9%	45.6%	980 kg/m ³	815 kg/m ³
strength	Cement	Fly ash	Water	Admixture
21MPa	301 kg/m ³	53 kg/m ³	152 kg/m ³	2.48 kg/m ³
24MPa	318 kg/m ³	56 kg/m ³	153 kg/m ³	2.62 kg/m ³

* S/A = fine aggregate ratio

변형게이지는 실험체마다 콘크리트에 1개씩 부착하는 것으로 하였다.

앵커의 매입 길이별로 45 cm, 30 cm, 2가지로 구분하여 매입깊이에 따른 인발력을 측정하고자 하였다.(Table 1, 2, 3.) 실험에 적용되는 철근은 건설현장에서 가장 많이 사용되는 D13, D16, D22 분류를 택하였고, 강도는 400 MPa인 제품을 사용하였다.

2.2 실험계획

철근콘크리트 구조에서 철근과 콘크리트 사이에는 충분한 부착강도가 필요하다. 부착의 정도를 부착강도라고 한다. 부착강도 시험은 일반적으로 인발시험(pull-out test)방법으로 채용한다. 이 방법은 콘크리트 중에 매설한 철근에 인장력을 주어 콘크리트에 대한



Fig. 2. Form work of test pieces.

Table 3. Making test pieces

Variable name	Name of test piece	Size	Test piece by design strength						
			21MPa			Name of test piece	24MPa		
			Number of Pieces			Variable name	Number of Pieces		
1	Hooked H-21-D13	20cm* 20cm* 47cm	1	2	3	Hooked H-24-D13	1	2	3
2	Hooked H-21-D16	20cm* 20cm* 47cm	1	2	3	Hooked H-24-D16	1	2	3
3	Hooked H-21-D22	20cm* 20cm* 47cm	1	2	3	Hooked H-24-D22	1	2	3
4	Nonhooked H-21-D13	20cm* 20cm* 47cm	1	2	3	Nonhooked H-24-D13	1	2	3
5	Nonhooked H-21-D16	20cm* 20cm* 47cm	1	2	3	Nonhooked H-24-D16	1	2	3
6	Nonhooked H-21-D22	20cm* 20cm* 47cm	1	2	3	Nonhooked H-24-D22	1	2	3
7	Hooked H-21-D13	20cm* 20cm* 47cm	1	2	3	Hooked H-24-D13	1	2	3
8	Hooked H-21-D16	20cm* 20cm* 47cm	1	2	3	Hooked H-24-D16	1	2	3
9	Hooked H-21-D22	20cm* 20cm* 47cm	1	2	3	Hooked H-24-D22	1	2	3

철근의 미끄러지는 양을 측정하여, 인장력과 미끄러지기 시작할 때의 하중과 어느 미끄러진 양에 대한 하중 또는 최대하중 때의 부착응력으로서 부착성능을 평가하는 것이다(Fig. 1)

실험체 제작은 20 × 20 × 47 cm 콘크리트 단면으로 하여 내부에 현장에서 많이 사용되는 철근 배근 D13, D16, D22를 변수로 하여 배근하였다(Fig. 2)

공사물량이 가장 많은 아파트 공사 현장에서 일반적으로 사용되고 있는 철근 항복 강도 SD400(400 MPa), 연신율 17을 갖는 철근을 적용하였다.

3. 실험결과

변수 당 실험체 3개씩 테스트하여 하중-변형 그래프를 제작하였고 그 중에서 유사한 2개 이상의 결과 그래프를 제시하고 해설하는 것으로 하였다.

본 연구에서는 강도별 결과를 또 하나의 변수로 설정하였기 때문에 하중-변형 그래프마다 연구에서 설정한 설계기준강도 21 MPa용 콘크리트 강도, 24 MPa용

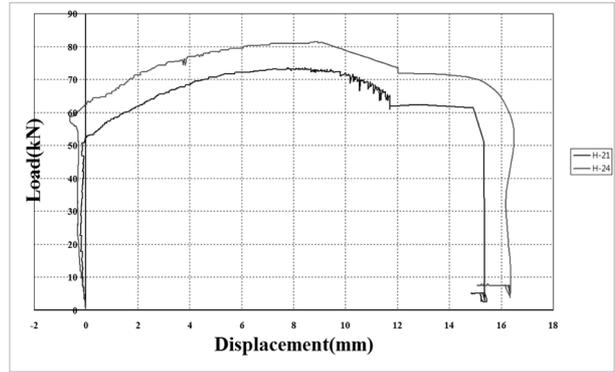


Fig. 3. H-21-D13 & H-24-D13 Load-displacement.

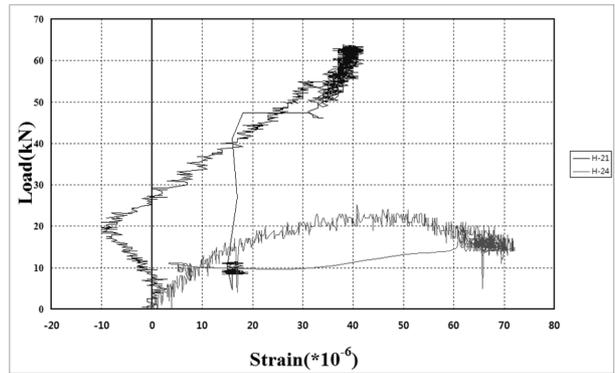


Fig. 4. H-21-D13 & H-24-D13 Load-deformation(concrete).

콘크리트 강도를 비교하여 그래프마다 제시하였다.

Fig. 4의 결과에서 21 MPa용은 최대 61 kN, 24 MPa용은 최대 23 kN에서 변형을 보이고 있지만 24 MPa용 콘크리트는 15%이상 변형을 더 보이고 있다.

Fig. 5의 결과에서 최대하중은 21 MPa용, 24 MPa용 두 가지 모두 거의 같은 123 kN이었고, 최대하중 도달 시 변위 값은 중지되었다.

Fig. 6의 결과에서 21 MPa용과 24 MPa용 콘크리트 강도 비교에서 콘크리트 하중-변형곡선을 나타냈고 X 축 “10 × 10⁻⁶” 단위 차이로 약 30% 증가된 변형 값(콘

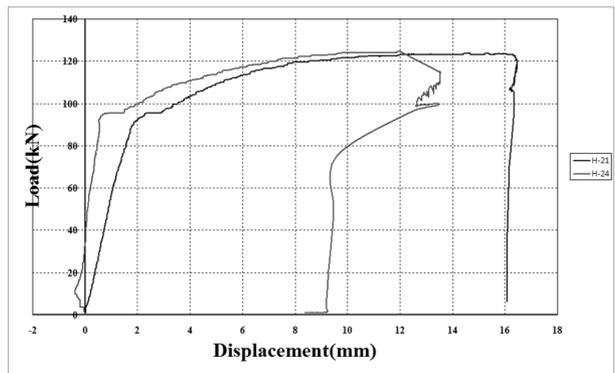


Fig. 5. H-21-D16 & H-24-D16 Load-displacement.

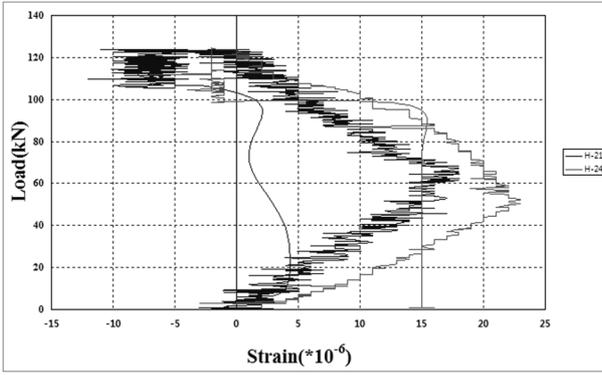


Fig. 6. H-21-D16 & H-24-D16 Load-deformation(concrete).

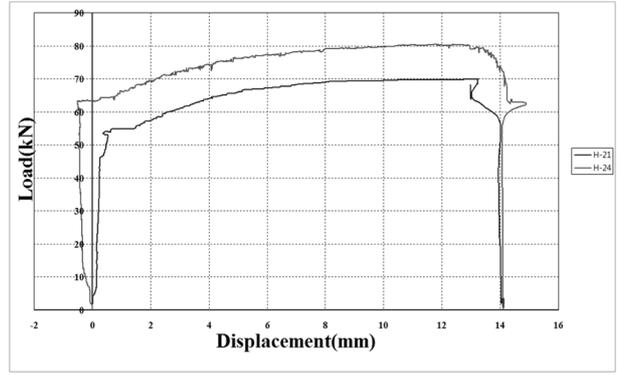


Fig. 9. NH-21-D13 & NH-24-D13 Load-displacement.

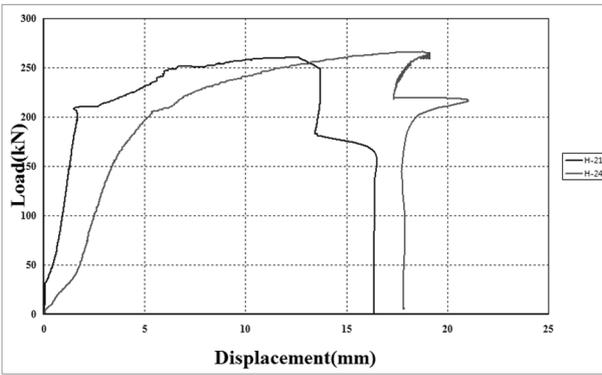


Fig. 7. H-24-D23 & H-24-D22 Load-displacement.

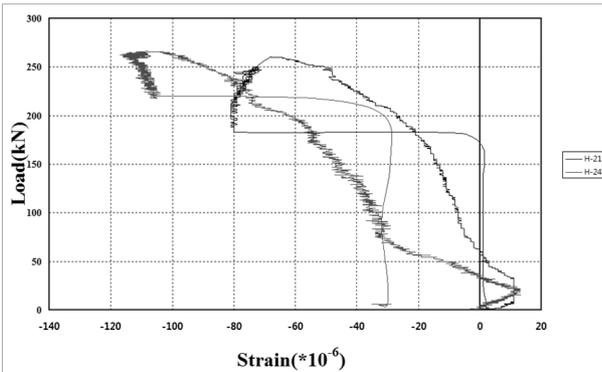


Fig. 8. H-21-D22 & H-24-D22 Load-deformation(concrete).

크리트를 나타내었다.

Fig. 7의 결과에서 21 MPa용에서는 최대 215 kN, 24 MPa용에서는 최대 220 kN이었고 변형은 두 가지 모두 최대하중에서 감소되었다.

Fig. 8의 결과에서 21 MPa용은 최대하중 260 kN, 24 MPa용에서는 최대하중 270 kN으로 나타났고 두 가지 모두 최대하중 도달 시 콘크리트 변형은 급감되었다. 21 MPa용보다 24 MPa용에서 더 큰 변형을 보였다.

Fig. 9의 결과에서 변위 값은 21 MPa용에서 최대 70 kN, 24 MPa용에서 80 kN으로 나타났다. 최대변위는

24 MPa용에서 조금 크지만 거의 유사한 값을 보였다.

강도 24 MPa용, 직경 13 mm에서는 3개의 동일조건 실험체에서 3개가 유사한 거동을 나타내었다.

약 60 kN(55-60 kN)까지 하중이 가해지면서 급격한 하중 증가에도 적은 변형이 발생하였고, 변위가 발생하기 시작하였다.

Fig. 10의 결과에서 변위 값은 21 MPa용에서 최대 70 kN, 24 MPa용에서 18 kN으로 나타났다. 콘크리트 변형 값은 21 MPa용에서 24 MPa용보다 변형률 차이에서 큰 의미를 찾을 수 없었다.

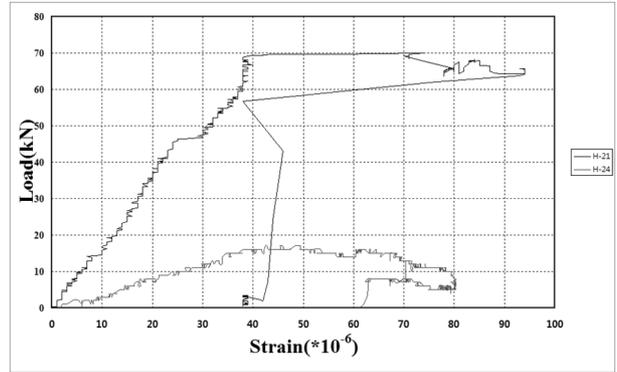


Fig. 10. NH-21-D13 & NH-24-D13 Load-deformation(concrete).

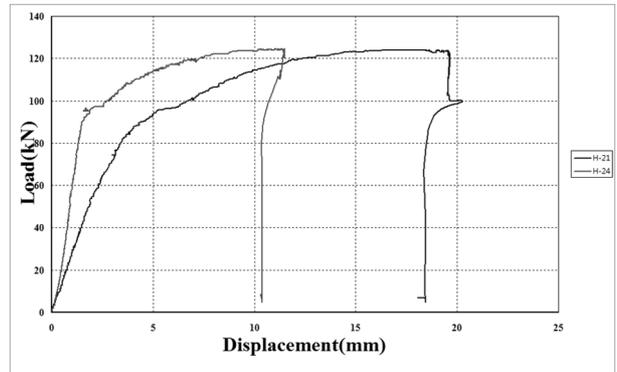


Fig. 11. NH-21-D16 & NH-24-D16 Load-displacement.

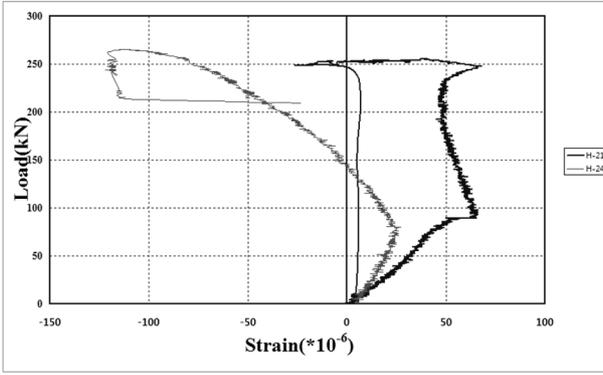


Fig. 12. NH-21-D22 & NH-24-D22 Load-deformation(concrete).

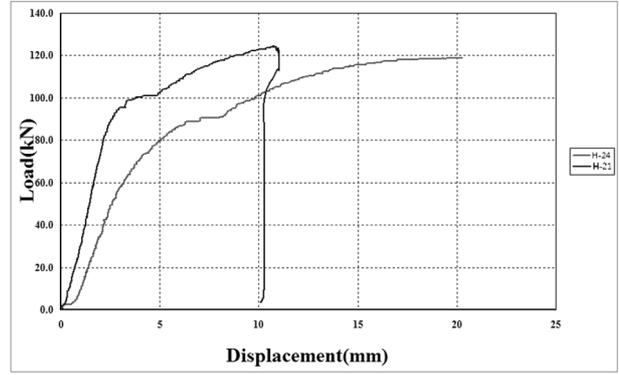


Fig. 15. H-21-D16 & H-24-D16 Load-displacement.

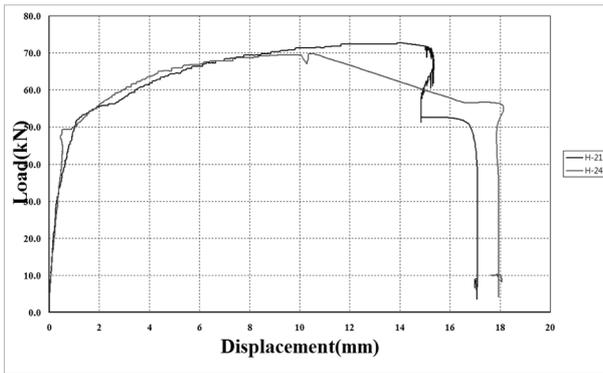


Fig. 13. H-21-D13 & H-24-D13 Load-displacement.

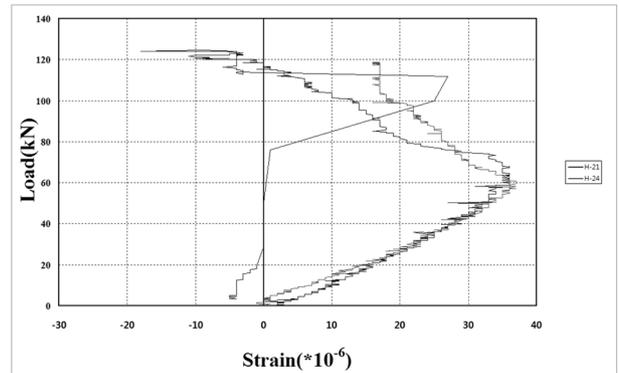


Fig. 16. H-21-D16 & H-24-D16 Load-deformation(concrete).

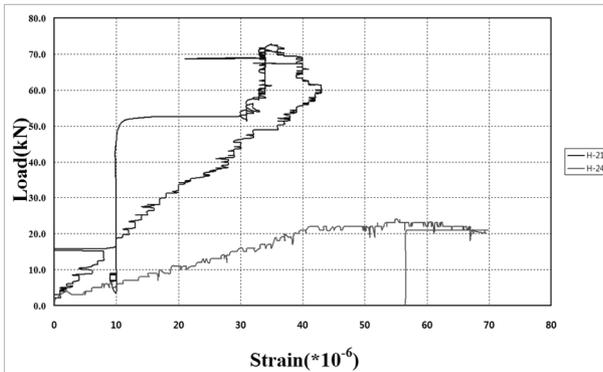


Fig. 14. H-21-D13 & H-24-D13 Load-deformation(concrete).

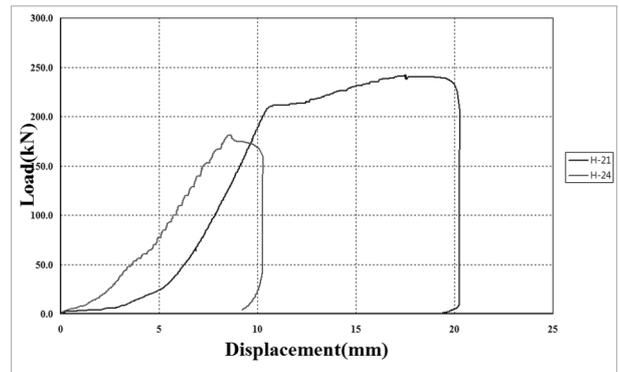


Fig. 17. H-21-D22 & H-24-D22 Load-displacement.

Fig. 11의 결과에서 최대하중은 24 MPa용에서 123 kN, 21 MPa용에서 122 kN으로 거의 유사했고, 변위값 21 MPa용은 18 mm이고 24 MPa용에서는 11 mm으로 나타났다.

Fig. 12의 결과에서 21 MPa용에서 최대하중 252 kN, 24 MPa용에서 최대하중 260 kN으로 나타났고, 콘크리트 변형은 24 MPa용에서 X축 변형값 -120×10^{-6} 과 60×10^{-6} 으로 나타났다.

Fig. 13의 결과에서 최대하중은 21 MPa용에서 72 kN, 24 MPa용에서 70 kN으로 나타났고 21 MPa용에서

15 mm 24 MPa용에서 18 mm값을 보였다.

Fig. 14의 결과에서 최대하중은 21 MPa용은 72 kN, 24 MPa용에서는 23 kN으로 나타났고 변형 값은 21 MPa용에서는 42 mm 24 MPa용에서는 70 mm까지 진행되었다.

Fig. 15의 결과에서 강도별 차이를 합당하게 나타내고 있다. 21 MPa용의 최대하중은 121 kN이고 24 MPa용의 최대하중은 120 kN으로 최대하중은 유사하지만 변위 값은 24 MPa용에서 더 큰 연성을 보였다.

Fig. 16의 결과에서 60 kN까지는 21 MPa용, 24 MPa

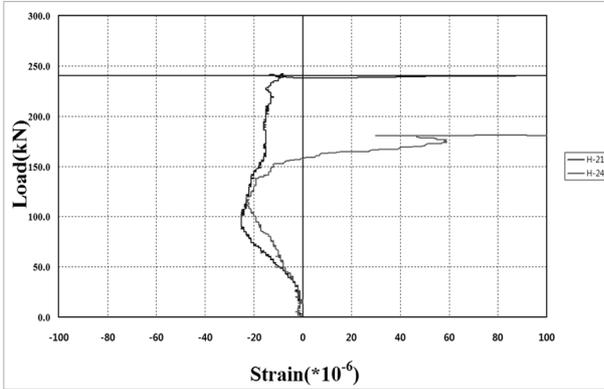


Fig. 18. H-24-D22 & H-24-D22 Load-deformation(concrete).

용에서 미세한 차이로 유사한 콘크리트 변형을 보였다.

Fig. 17의 결과에서 24 MPa용은 최대 90 kN, 21 MPa 용에서는 최대 140 kN에서 변형을 거의 정지되는 현상을 보였다.

Fig. 18의 결과에서 21 MPa용은 최대 240 kN, 24 MPa용에서는 최대 180 kN에서 콘크리트 변형이 나타내고 있다.

4. 분석

실험 내용이 많기 때문에 이해를 증진시키기 위하여 후크를 두고 매입된 경우와 후크를 두지 않은 비후크 조건으로 구분하여 다음과 같이 분석하였다.

4.1 후크 조건

1) 최대 하중 70 kN까지 20% 증가까지도, 감소되지 않고 지속되는 변위증가가 이루어지는 연성현상을 나타내었다.

이것은 21 MPa용 강도조건의 경우 최대 70 kN까지 변위시작 하중은 50 kN인 것과 비교하면 설계 기준강도 21-24 MPa용 사이에서, 강도별 큰 변화가 없음을 알 수 있다. 21 MPa용인 경우 12 mm변위이지만, 24 MPa용 설계 기준강도인 경우 변위는 18-28 mm까지 지속되어 21 MPa용에서 24 MPa용까지 3 MPa 강도 증가에도 최대 2배 이상까지도 감소되지 않는 변위증가를 알 수 있다.

2) 강도 24 MPa용 직경 16 mm에서는, 동일 조건 3개 시험체가 전반적인 유사현상을 보였으나, 특히 2개(1번, 2번 시험체)는 아주 유사한 하중 변위곡선을 만들어냈고, 80 kN까지는 하중증가에 따라 변위도 증가되는 1차식을 나타냈고, 80-90 kN에서는 적은 하중 증가에도 최대 120 kN까지 내에서, 변위증가는 최대 변위

16 mm까지 지속되었다.

이것은 21 MPa용 강도조건의 경우 최대 125 kN까지, 변위시작 하중은 98 kN인 것과 비교하면, 설계 기준강도 21-24 MPa용 사이에서, 강도별 최대하중의 큰 변화가 없음을 알 수 있다.

3) 철근직경 D22를 24 MPa용 콘크리트 압축강도에 적용하여 실험한 3개 실험체에서 1번과 3번이 유사하여 2개 이상으로 같은 분석을 할 수 있게 되었고 하중이 증가되면서 변위도 증가되는 거의 1차식 현상을 계속 보였고 연성 현상을 보이지 못하고 160-180 kN에서 파괴된 것은 앵커력이 우수하지 못한 결과로 매입 부분의 앵커유형과 매입 깊이에 기인 할 수 있는 것으로 분석된다.

반면에 21 MPa용인 경우 18-24 mm 변위이지만 24 MPa용 설계 기준강도용 콘크리트에 앵커 매입된 조건에서는 변위가 8 mm에서 파괴되어 21 MPa용에서 24 MPa용까지 3 MPa 콘크리트 강도 증가에도 최대 3배 정도까지 변위가 감소된 것은 앞서 분석과 같은 앵커유형과 매입된 철근 주변 깊이에 변형이 부착력 개선을 위해 필요한 것으로 분석된다.

21 MPa용인 경우 18-24 mm 변위이지만 24 MPa용 설계 기준강도의 경우 변위는 8 mm에서 파괴되어 21 MPa용에서 24 MPa용까지 3 MPa용 강도증가에도 최대 3배 정도 변위는 감소된 것으로 분석되었다.

4.2 비후크 조건

1) 강도 24 MPa용 직경 13 mm에서 최대 하중 70-79 kN까지 30% 증가할 때까지도 변위는 감소되지 않고 지속되는 변위 증가가 이루어지는 연성양상은 3개중 2개 실험체가 나타내었다. 이것은 21 MPa용 강도조건의 경우 최대 75 kN까지 변위시작 하중은 58 kN인 것과 비교하면 설계기준강도 3 MPa(21-24 MPa) 차이에서 강도별 큰 변화가 없음을 알 수 있다.

21 MPa용인 경우 변위는 12 mm이지만, 24 MPa용의 경우 13-16 mm까지 지속되어 3 MPa 강도 증가차이임에도 최대 12% 이상까지도 감소되지 않고 변위는 증가 되고 있음을 알 수 있다.

2) 24 MPa용, 직경 16 mm에서는, 3개의 동일조건 실험체에서 3개가 모두 유사한 양상을 보였지만 2번, 3번 실험체 2개가 특히 유사한 거동을 보여 분석 및 결론의 유효성을 높이고 있는 것으로 사료된다. 약 90 kN(80-90 kN)까지 급격한 하중에도 변형은 적은 1차식으로 거동하였고 그 이후부터 최대 120(118-120) kN까지 약 25% 적은 하중증가에도 큰 폭의 변위가 발생하

는 양상을 나타내었다. 감소되지 않고 지속되는 변위가 발생하는 연성 유형이 나타났다. 이것은 같은 직경 16 mm, 21 MPa용 설계기준강도 조건에서는 최대 125 kN까지, 변위시작 하중은 95 kN인 것과 비교하면 설계기준강도 3 MPa 차이에서 강도별 큰 변화가 없는 것을 알 수 있다.

21 MPa용인 경우 변위는 19 mm이지만 24 MPa용의 경우 11-17 mm까지 지속되어 3 MPa 재료 강도증가 차이임에도 약 10%까지 감소된 변위증가 현상을 알 수 있다.

3) 24 MPa용 콘크리트에 직경 D22 철근 적용 시 1 차식 변위 190 kN과 2차식 변위 270 kN까지 2배 증가 하중까지 콘크리트 변형 그래프에서 D22보다 D16 강도 모두에서 변형 현상이 일관성 있는 차이를 보이고 있는 것은 콘크리트 강도의 계속 증가보다는 적정 철근 표면적 증대 등 다른 요소를 고려해야 하는 것으로 분석된다. 감소되지 않고 지속되는 변위가 발생하는 연성양상을 일부 나타내었다.

이것은 같은 직경 22 mm, 21 MPa용 조건에서는 최대 260 kN까지 변위시작하중은 210 kN인 것과 비교하면 설계기준강도 3 MPa 차이에서 강도별 변화가 발생하였다.

21 MPa용인 경우 변위는 12 mm이지만, 24 MPa용인 경우 13 mm까지 지속되어 3 MPa 재료강도 증가차이에도 약 10%미만으로 증가되었지만 감소된 조건과 미소한 차이가 있을 뿐임을 알 수 있다.

5. 결론

이상과 같은 분석을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 21 MPa용에서 24 MPa용 설계 기준강도용 콘크리트 시험 체의 거동 철근직경별로 후크유형의 앵커력이 비후크 유형의 앵커력보다 약 30% 크게 발생한 것은 확인된 내력 양상이지만 변위 측면에서는 일정 부분 철근 직경이 커짐에 따라 연성효과를 기대할 수도 있는 것으로 판단된다.

2) 콘크리트 강도별로는 21 MPa용과 22 MPa용 콘크리트 강도 체에서 후크와 비후크 최대 하중 내력이 D22에서 D13에서 보다 D22 앵커 시 3배 정도 크지만 D13, D16, D22 철근 직경별 강도차이는 21 MPa용과 24 MPa용에서 거의 차이가 없는 것은 철근 앵커력을 높이는 부착력의 증가는 철근 앵커와 콘크리트 용적 균형이 더 큰 중요 요소인 것으로 판단된다.

3) 최대 하중에 영향을 미칠 수 있는 콘크리트 변형은 콘크리트 강도 증감보다는 철근 직경 크기 증대보다는 매입길이에 기초한 부착면적 증대가 중요한 것으로 판단된다.

감사의 글: 본 연구는 서울과학기술대학교 일부 지원에 의해 수행되었습니다.

References

- 1) A. M. Neville, "Properties of concrete 3rd Edition", Pitman Publishing Co, pp. 303-307, 1993.
- 2) J. A. Kim and G. H. Hong and O. C. Choi, "Effect of Rib Shape Bar according to Transverse-Reinforcement Space", Autumn Session Conference, Journal of the Korea Concrete Institute, pp. 189-190, 2011.
- 3) K. H. Hong and O. C. Choi, "Modified Development Design Equation Proposal on the Rib-Shape of Reinforcement", Journal of the Architectural Institute of Korea, Vol. 28, No. 6, pp. 43-50, 2012.