

AFRP 보강 콘크리트 슬래브의 충격 특성에 관한 연구

Impact Characteristics of AFRP Reinforced Concrete Slab

박승진^{a,*}

Sung-Jin Park^{a,*}

^a Dept. of Urban Construction Eng., Incheon National University, 119 Academy-ro Yeonsu-gu, Incheon 406-772, Republic of Korea

ABSTRACT

Purpose: In this paper, based on this background, the main purpose of studying the behavior of concrete slab reinforced with new material fiber in impact loading is investigated by AFRP using aluminum fiber.

Results: Research on the use of new materials as reinforcing materials for concrete members has been carried out in many fields such as flexural and shear tests under static loading, fatigue loading under cyclic loading, and application to PC beams. However, And the issue of plate elements is still at a basic stage.

Conclusion: In this paper, the dynamic behavior of reinforced concrete slabs is investigated by using AFRP rod reinforced with aluminum fiber.

KEYWORDS

Commercial:
Reinforcing
Material,
PC Beam,
Fiber Material,
AFRP

연구목적: 본 논문에서는 이와 같은 배경을 근거로 충격하중 재하시 신소재 섬유로 보강한 콘크리트 슬래브 거동을 연구하는 것을 주 목적으로 알루미늄 섬유를 이용한 AFRP로 보강한 콘크리트 슬래브 중앙의 강재를 자유낙하 시켰을 때 충격실험을 검토하고자 한다.

연구결과: 신소재를 콘크리트 부재의 보강재로 이용하는 연구는 정적 하중하에서 휨 및 전단에 관한 연구나 반복하중 하에서 피로하중에 관한 연구와 PC 보에서의 적용에 관한 연구 등이 많이 보고 되고 있다.

결론: 신소재를 콘크리트 부재의 보강근으로 이용하는 연구의 일환으로 본 논문에서는 알루미늄 섬유로 보강된 조립상 AFRP 로트를 이용한 콘크리트 슬래브를 설치하여 동적 거동에 대해서 실험을 실시하였다.

보강재,
PC 빔,
섬유 보강재,
AFRP

© 2018 Society of Disaster Information All rights reserved

* Corresponding author. Tel. 82-32-835-8775. Fax. 82-32-232-5024
Email. sjpark@inu.ac.kr

ARTICLE HISTORY

Received Nov. 8, 2018
Revised Nov. 8, 2018
Accepted Dec. 26, 2018

1. 서론

최근 콘크리트 휨 및 전단보강재 또는 PC, PRC 구조체의 긴장재로서 각종 신소재섬유(탄소섬유, 알루미늄 섬유 등)를 이용하여 시공한 예가 보고 되고 있다. 이 들 신소재는 경량, 고강도에서 내식성이 우수하며 건설재료로서 철근콘크리트의 약점을 보강하고, 콘크리트 구조물의 용도를 넓혀주는 재료로서 주목받고 있다.

신소재를 콘크리트 부재의 보강재로 이용하는 연구는 정적 하중하에서 휨 및 전단에 관한 연구나 반복하중 하에서 피로하중에 관한 연구, 더욱이 PC 보에서의 적용에 관한 연구 등이 많이 보고되고 있다. 그렇지만 이 들 연구는 주로 보에 관한 것이고, 판요소에 관한 것은 아직 기초적인 단계이며, 토목구조물에서의 응용을 생각해 보았을 때 정적하중에 대한 내하거동 뿐만아니라 지진하중과 같은 동적하중에서의 내하거동이나 충격적인 하중재하에 관한 구조물 또는 구조부재의 거동과약도 중요한 검토사항으로 거론되고 있다.

본 논문에서는 이와 같은 배경을 근거로 충격하중 재하시 신소재 섬유로 보강한 콘크리트 슬래브 거동을 연구하는 것을 주 목적으로 알루미늄 섬유를 이용한 AFRP로 보강한 콘크리트 슬래브 중앙의 강재를 자유낙하 시켰을 때 충격실험을 실시하였다. 또한 AFRP의 부착 성능이 슬래브의 충격거동에 주어지는 영향을 검토하기 위해 표면에 규사를 칩착시킨 무처리 로트로 보강한 슬래브에 대해서 실험을 하였다. 더욱이 신소재로 보강한 슬래브의 충격거동과 철근을 이용한 경우의 거동을 비교 검토하기 위해 봉강이나 이형철근을 보강한 슬래브에 대해서도 같은 충격실험을 실시하였다.

계측으로서 중량낙하에 의한 충격력을 구하기 위해 중량측면에 용량 1000G의 변형게이지형 가속도 변환기를 설치하여 가속도를 측정하였고, 슬래브의 동적 변형 거동을 측정하기 위해 슬래브 상하단근에 AFRP 그림장 1mm, 저항 120Ω의 변형게이지를 철근에는 그림장 2mm, 저항 120Ω의 변형게이지를 설치하여 3선식 1장게이지 법에 의해 측정하였다. 이들 출력은 데이터 레코드에 일괄 저장한 후, 오프라인에서 측정 시간축을 확대하여 A/D 변환한 후 컴퓨터 처리를 하였다. 실험 종류에는 슬래브 표면에 균열상태를 검토하였고 본 논문에서 사용되고 있는 변형값은 잔류변형량을 무시한 것이다.

2. 실험 개요

충격실험의 재하는 직경 15cm, 중량 70kN의 강재의 원주로 이루어지는 높이에 세트한 후 슬래브 중앙에 자유 낙하시켜 재하하였고, 슬래브의 지지조건은 4변 단순지지로 가정하여 가정을 실험치와 근접하기 위해 4변을 상하 강재인 톨라로 지지하였다. 공시체, 재하 순서의 제원을 Talbe 1.에 보인다. 공시체의 세부 사항들은 나중에 기술하겠지만, 본 실험에서는 소량의 공시체를 유효하게 사용하기 위해서 동일 슬래브에서 수차례 충격하중 재하실험을 실시하였다. 각종 보강근이 충격거동에 미치는 영향을 직접적으로 비교검토하기 위해서는 모든 공시체의 재하 이력을 동일하게 세트하였고, 슬래브의 관용이나 표면녹리가 발생하지않도록 탄성영역에서 소성영역까지의 거동을 검토하기 위해 충격속도를 1m/sec에서 최대 4m/sec까지 실시하였다. 계측사항에 대해서는 중량 낙하에 의한 충격력을 구하기 위해 중량측면에 용량 1000G의 변형게이지형 가속도 용기를 설치하여 가속도를 측정하였다. 또한 슬래브의 동적변형 거동을 측정하기 위해서 슬래브 상하단근에서 조립상 AFRP로트에는 그림장 1mm, 저항 120Ω의 변형게이지를 철근에는 그림장 2mm, 저항 120Ω의 변형게이지를 설치하여, 3선식 1장게이지 법에 의해 측정하였다. 이들 출력은 데이터레코드에 일괄 수록한 후 온라인에서 웹메모리를 추가하여 설정시간 축으로 확대하여 A/D 변환한 후 컴퓨터 처리를 하였다. 실험 종료 후에는 슬래브 표면의 균열상황을 조사하여 그 성상에 대해서도 검토하였다. 또한 본 논문에서 이용되고 있는 변형값은 모두 잔류변형을 무시한 것이고, 절대변형을 생각한 경우에는 그것 까지의 변형 성분을 모두 고려하지 않으면 안된다.

Table 1. List of Experimental Specifications

시험체명	재하번호	충격속도(m/sec)
	-1	1.0
AC-SLB	-2	1.0
AsC-SLB	-3	2.0
RC-SLB	-4	3.0
DC-SLB	-5	4.0
	-6	4.0

2.1 공시체

보강근으로서 AFRP 로트 표면이 5호 규사를 접착시켜 슬래브(AsC-SLB)를 1개, 무처리 로트를 이용한 슬래브(AC-SLB)를 1개, 봉강을 이용한 슬래브(RC-SLB)를 1개, 이형봉강을 이용한 슬래브(DC-SLB)를 1개의 합계 4개로 제작하여 실험을 실시하였다. 슬래브의 배근 및 변형계이지를 설치한 위치를 Fig. 1에 보인다. 콘크리트 슬래브의 치수는 150cm×10cm이다. 보강근의 배치는 충격하중 재하에 의해 슬래브 상하면에 교번응력의 발생이 예상되기 때문에 복근단면의 직교배치로 하였다. 또한 AFRP 로트와 철근을 사용한 슬래브 간의 동적거동 비교를 실시하기 위해 거의 동일한 단면적의 보강근을 33.3mm의 동일 피치로 배치하였다. 보강근비는 편축 약 1%이다.

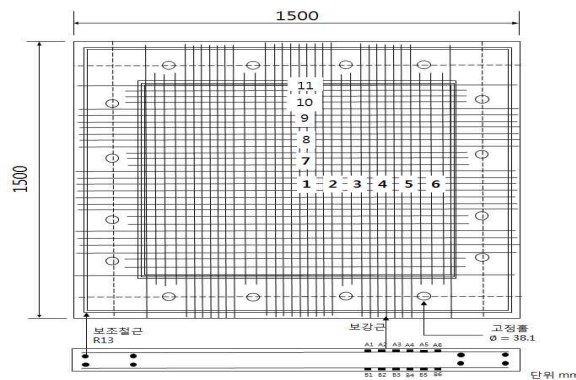


Fig. 1. Placement of Reinforcement and Strain Gage

2.2 보강근의 역학적 특성

Table 2.에 보강근의 특성을 나타내었고, AFRP로트는 직경 12 μ 의 알루미늄 섬유기로 짜여진 후 수지를 함유 투수화 시켜 성형한 것이고 조립의 구배는 로트 경의 10배인 구간내의 4개이고 섬유 중량 함유율은 약 70%이다. 또한 보강근의 특성은 실험편 3개의 실측값의 평균이다. AFRP로트는 항복점이 없는 탄성체에서 탄성 신장은 철근의 8배정도까지 달하지만, 탄성계수는 철근의 1/3정도로 낮다.

Table 2. Material Properties of Reinforcing Bars

보강근명	모래제외한 로트 K32	모래첨부한 로트 k32s	봉강 R6	이형봉강 D6
재질	알루미늄 섬유	알루미늄 섬유	SR30	SD30A
(공칭)직경 (mm)	6	7	5.87	6.35
(공칭)단면적(cm ²)	0.25	0.25	0.27	0.32
밀도 (g/cm ³)	1.30	1.30	7.85	7.85
인장내력 (kN)	2.8	2.8	1.2	1.1
탄성계수 ($\times 10^6$ MPa)	0.67	0.67	2.10	2.06
포아송비	0.60	0.60	0.28	0.27

2.3 컴퓨터의 역학적 특성

Table 3.에 콘크리트 배합비, Table 4.에 컴퓨터 특성을 보인다. AFRP 로트와 철근을 이용한 슬래브 배합은 양자 모두 동일하다. 또한 재료실험의 재령에서 양 콘크리트의 압축강도, 탄성계수는 거의 동일하며, 충격실험시 재령에 AFRP로트를 이용한 슬래브에서 23-23회, 철근을 이용한 슬래브에서 23회이다.

Table 3. Concrete Mixing Ratio

설계기 준강도	조골재 최대직 경(mm)	슬럼프 (cm)	공기량 (%)	물시멘 트비W/ C(%)	조골재 율 s/a (%)	단위량(kg/m ³)				
						물 W	시멘트 C	세골재 S	조골재 G	혼화재
400	15	10 \pm 2.5	4.5 \pm 1.5	38.0	46.9	164	432	823	916	4.32

Table 4. Concrete Material Properties

실험체명	재료시험재령 (일)	압축강도 (MPa)	탄성계수 (MPa)	포아송비	단위중량 (t/m ³)
AC-SLB AsC-SLB	28	502	2.95 $\times 10^5$	0.2	2.36
RC-SLB DC-SLB	30	526	2.83 $\times 10^5$	0.2	2.36

3. 실험결과

3.1 가속도 파형

Fig. 2,3에 각각 충돌속도 1m/sec, 4m/sec의 경우에서 각종 슬래브의 중량가속도 응답파형을 보인다.

충돌속도 1m/sec인 경우 : W_{ac1} , W_{ac2} 은 각각 중량의 좌우 측면에 설치된 가속도계의 파형이고, 전 계측시간은 4m/sec이다. 충돌속도가 작기 때문에 충돌면의 상태가 응답성상에 미치는 영향은 크다고 생각되지만, 실험결과에 근거를 기초로 하여 실시하기로 한다. 각 파형을 비교해 보면 최대가속도는 W_{ac1} 과 W_{ac2} 의 최대가속도의 평균을 최대평균가속도를 생각해 보면 RC-SLB에서 약 160G, DC-SLB에서 약 180G, AC-SLB에서 약 290G, AsC-SLB에서 약 270G로 되어 있다. 이 결과를 보면 철근을 이용한 슬래브에서 AFRP로트를 이용한 슬래브가 큰 가속도 값을 보이는 경향이 나타나고 있다. 더욱이 RC-SLB, AC-SLB가 큰 값을 가지고 있고, 여기서는 부착성능이 가속도 파형에 큰 영향이 미치는 것은 아니라는 것을 알 수 있다.

또한 파형의 최대치 값은 철근을 이용한 슬래브보다도 AFRP 로트를 이용한 슬래브가 짧다는 것을 알 수 있다.

충돌속도 4m/sec인 경우 : Fig. 3에 5회째 낙하의 충돌속도 4m/sec인 경우에서 각종 슬래브의 중량가속도 응답파형을 보이고 있다. 이 단계까지 오면 W_{ac1} 과 W_{ac2} 에서는 최대 가속도의 증대와 함께 충돌가속도도 커지게 되는 낙하오차(편심 등)이 조장된다고 생각된다. 평균 최대가속도는 충돌속도 4m/sec인 경우에서는 RC-SLB에서 970G, DC-SLB에서 1150G, AC-SLB에서 1130G, AsC-SLB에서 1330G이다. 충돌속도 1m/sec인 경우에는 AC-SLB>AsC-SLB>DC-SLB>RC-SLB라는 순으로 충돌속도 4m/sec인 경우에는 AsC-SLB>DC-SLB>AC-SLB>RC-SLB순이 되기 때문에 틀린 결과가 되었다.

충돌 속도 1m/sec인 경우와 마찬가지로 AFRP로트를 이용한 슬래브가 전체적으로 큰 값을 보이고 있지만, DC-SLB에 대해서는 AC-SLB이상의 값이었고, 부착 효과가 우수하다고 생각되는 슬래브가 평균최대 가속도에서는 큰 값을 보이고 있다.

Fig. 2와 Fig. 3을 비교하면 주 파형의 지속시간은 보강근이 다르기 때문에 다소 차이가 있고, 어느 경우의 슬래브도 1m/sec인 경우에는 약 0.6m/sec의 경우에 대해서 4m/sec에서는 약 0.4m/sec와 2/3 정도로 짧아진다고 생각되어진다.

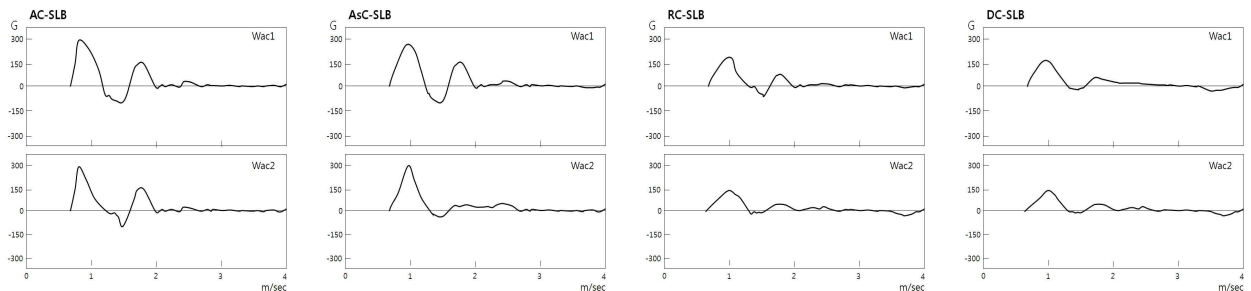


Fig. 2 Acceleration Waveform(1m/sec)

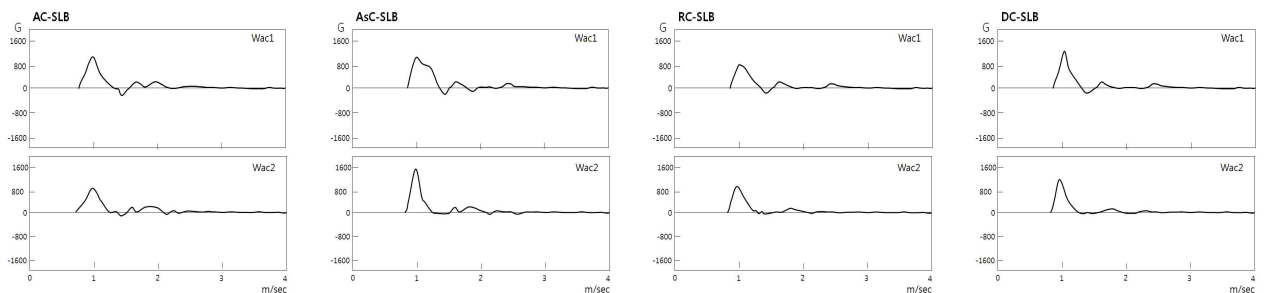


Fig. 3 Acceleration Waveform(4m/sec)

3.3 최대 변형과 충돌속도의 관계

Fig. 4(a),(b)에 상단근의 측정점 A1, A9에서 충돌속도와 최대압축변형의 관계를 보인다. Fig. 4(a)에서 철근을 이용한 슬래브 재하점 직하에서 충돌속도와 압축 변형의 관계는 거의 선형으로 나타나고 있고, 압축변형은 DC-SLB가 RC-SLB의 2배 정도 크고, 충돌속도와 압축변형이 이루는 구배는 DC-SLB가 크다. AFRP 로트에서 보강한 슬래브에서는 충돌속도 4m/sec에서 압축변형은 3m/sec에 비해 현저하게 증가하지 않고, 충돌속도 3m/sec에서 변곡점이 두드러진다.

이것은 하단근에 이용된 AFRP 로트가 큰 신장성능을 가지고 있기 때문에 슬래브 중립축이 상승하는 관계를 알 수 있다. 또한 압축변형은 전체적으로 AsC-SLB가 AC-SLB보다 1.5배 정도 크고, Fig. 4(b)보다 재하점과 지점이 거의 중앙에 위치하는 측정점 A9의 압축변형도 Fig. 4(a)과 동일한 충돌속도와 압축변형의 관계를 가지고 있다는 것을 알 수 있다. 변형의 대소에 대해서도 DC-SLB > RC-SLB, AsC-SLB > AC-SLB가 된다. 다만 철근을 이용한 슬래브에서는 Fig. 4(a)만큼 철근 종류에 의한 변형의 차이는 나타나고 있지 않고 있다.

Fig. 4(c),(d)에 하단근의 측정점 B1,B9에 의한 충돌속도와 최대인장 변형의 관계를 보인다. Fig. 4(c)에서 AFRP 로트를 이용한 슬래브에서는 충돌속도 2m/sec에서 변곡점이 나타나고 있지만, 이 후의 충돌속도에서 인장변형의 관계는 거의 선형적이다. 이것을 AFRP 로트의 축강성이 작기 때문에 충돌속도 2m/sec에서 명확한 균열 발생에 의해 하단 AFRP로트가 큰 응력을 분담하고 있다고 생각된다. 또한 AC-SLB, AsC-SLB에서는 현저한 차이는 발생하고 있지 않고 있다.

한편 철근을 이용한 슬래브에서는 충돌속도 1m/sec에서 4m/sec까지는 충돌속도와 인장변형의 관계는 거의 선형적이고, RC-SLB와 DC-SLB에서 거의 동일한 변형레벨이 되고 있다. 그러나 4m/sec는 축강성이 작은 AFRP 로트의 변형은 철근의 1.5배~2배 정도 크게 나타나고 있다. Fig. 4(d)에서 재하점과 지점이 거의 중간에서 하단근의 충돌속도와 인장변형의 관계는 4개의 슬래브에서 비교적 유사하게 나타나고 있다. 즉 AC-SLB의 충돌속도 3m/sec의 값을 제외하고, 충돌속도가 커지게 되어 인장변형도 증가하게 되고, 단위 충돌속도의 증가에 대응하는 인장변형의 증가는 충돌속도의 증가와 함께 커지게 되고, 그 성상은 쌍곡선적으로 되어가고 있다. 이것은 충돌속도의 증대에 대응하는 균열이 재하점에서 지지방향으로 진행 되어가고 있음을 나타내고 있다.

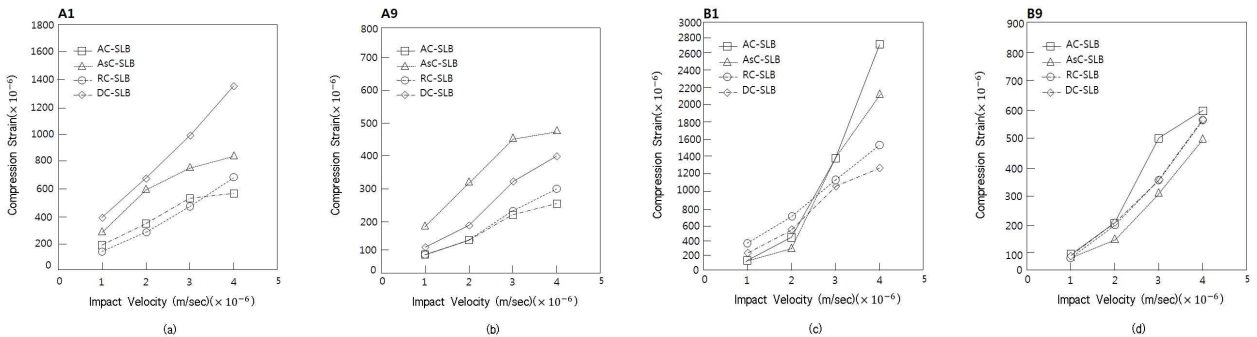


Fig. 4 Each point the collision speed and the transition state of the maximum strain

3.4 슬래브 표면의 균열성상

Fig. 6에 모든 실험이 종료된 후의 슬래브 표면의 균열성상을 보인다. AC-SLB는 항복선 이론에서 예상되는 대각선상의 균열이 현저하게 나타나고 있다. Fig. 5의 AC-SLB 하단근 변형 분포에서 재하점 근처에 변형이 집중하고 있다. AsC-SLB에서는 AC-SLB에 비해 슬래브 중앙에 발생한 국부적인 방사성의 휨 균열이 보이고 있지만, 슬래브 중앙부에서 휨 변형에서 충격력에 저항하기 위함이라 생각된다. 이와같은 균열성상의 차이는 로트에 규사를 접착시킴으로써 부착성능이 향상되고, 충격하중 재하에 의한 슬래브의 강성저하에 상향억제되고 이다는 것을 알 수 있다.

RC-SLB의 균열성상은 AsC-SLB와 유사한 형태를 나타내고 있고, Fig. 5에서도 보이는 것과 같이 RC-SLB와 AsC-SLB의 변형 분포가 다소 다른 분포성상을 보이고 있다는 것을 이해할 수 있다. DC-SLB의 균열은 RC-SLB를 확장

시킨 형태이다. Fig. 5에서 충격하중 재하후 2msec에서는 재하점에서 지지점까지 거의 동일한 변형량을 보이고 있고, 응력이 효율 좋게 분산되어 균열도 넓게 분포되어 있는 것을 알 수 있다. 철근을 이용한 슬래브는 AFRP 로트를 이용한 슬래브는 균열성상의 큰 차이는 없지만, 본 실험에서는 AsC-SLB의 균열성상은 철근을 이용한 슬래브와 동일하다는 것을 알 수 있다.

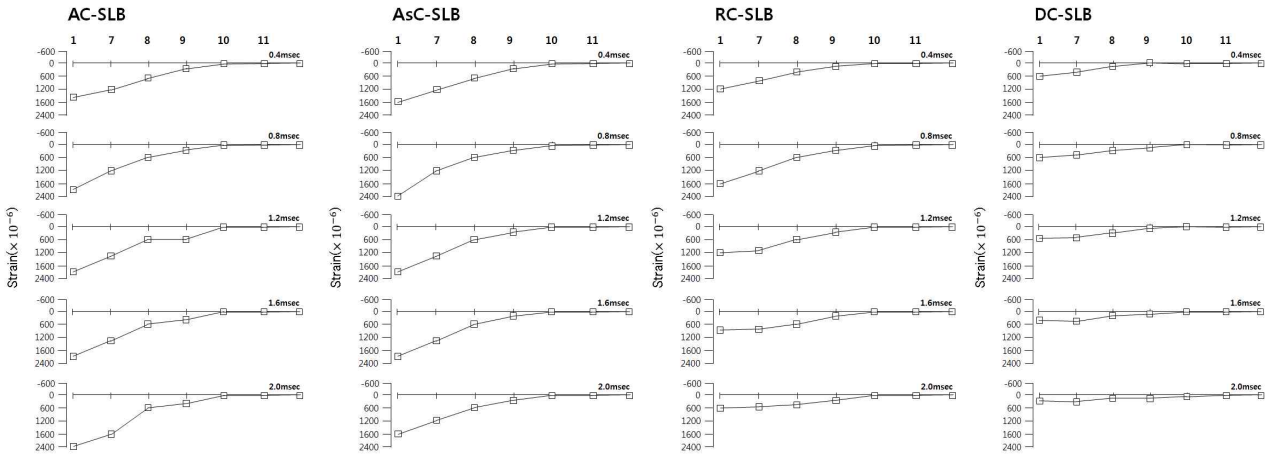


Fig. 5 Lower Muscle Strain Distribution

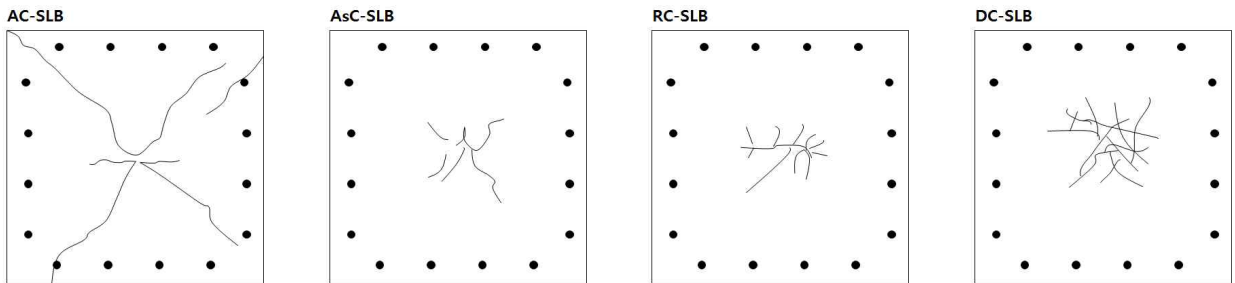


Fig. 6 Crack Condition after Experiment

3.5 최대충격력

Fig. 7에는 Table 1.에서 보이는 모든 충격하중 재하실험에서 구해진 최대 충격력에 대해 충돌속도를 가로축으로 하고, 최대 충격력은 중량을 설치한 2점의 가속도계의 최대가속도의 평균치에 중량중량을 곱해서 구할 수 있다. 또한 이번 실험에서는 충돌속도를 최대 4m/sec에 산정한 슬래브 표면에 균열이 발생한 정도까지 거동에 주목하였기 때문에, 탄성접촉론에 근거한 충격력 산정식에 의해 구한 이론치와 실험치와 비교를 하였다.

충돌속도 3m/sec까지는 어느 슬래브도 이론 결과와 거의 유사한 값을 보이고 있지만, 4m/sec인 경우는 슬래브의 실험치는 이론치보다 큰 값을 나타내고 있다. 일반적으로 균열이 진행되고 있는 경우에는 최대 충격력은 탄성이론 결과보다 작은 값을 보이고 있지만, 결과는 이론치가 하한치의 결과가 나타나고 있다. 이에 따라 슬래브 전체로는 소성화가 진행되고 있다고 생각되어지지만, 재하면 콘크리트부가 아직 균열이나 파괴상태에 도달 하지 않고 있고, 최대 응답치에는 주파동이 지지계계에 도달하지 않은 등에 의해 재하점 근처의 슬래브는 무한 평판적인 거동을 보이고 있다고 생각된다.

따라서 AFRP 로트를 이용한 경우나 철근을 이용한 경우에도 비교적 높은 충돌속도에서는 활중계수를 도입함으로써 탄성 접촉론에 근거한 충격력 산정식의 평가가 가능하다는 것을 알 수 있었다.

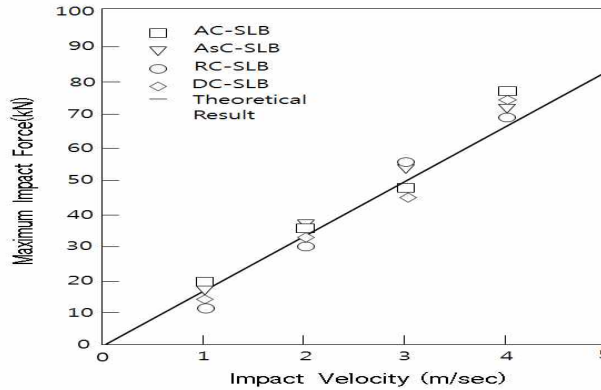


Fig. 7 Maximum impact load - impact velocity relationship diagram

4. 결론

신소재를 콘크리트 부재의 보강근으로 이용하는 연구의 일환으로 본 논문에서는 알루미늄 섬유로 보강된 조립상 AFRP 로트를 이용한 콘크리트 슬래브를 설치하여 동적거동에 대해서 실험을 실시하였다. 실험은 중량을 이용한 충격하중 재하인 경우에 있어서 거동을 확인하고, 모래와 모래가 없는 로트를 이용한 경우의 특성에 대해서 봉강, 이형철근을 이용한 경우와 비교하는 형태로 검토를 하였다.

본 실험에서 얻어진 결론을 요약하면

- 1) 가속도 파형에 관해서 최대치는 충격속도 1m/sec에서는 철근에서 보강한 슬래브보다 AFRP 로트로 보강한 슬래브가 크다는 것을 알 수 있다. 또한 충격속도 4m/sec에서는 보강근에 의한 명확한 차이는 발견할 수 없었지만, 부착 효과에 우수한 슬래브가 큰 가속도를 보인다는 것을 알 수 있다.
- 2) 하단근 변형 분포에서 철근 및 AFRP 로트에서 보강한 슬래브 모두 부착효과가 우수한 슬래브가 광범위하게 콘크리트를 보강하고 있고, 보강근의 강성의 변형이 큰 영향을 받는다는 것을 알 수 있었다.
- 3) 상단근의 최대 압축변형은 철근 사용시에는 거의 충돌속도와 선형인 관계가 있다. AFRP 로트 사용시에는 중립축이 상승하기 쉽기 때문에 충돌속도 3~4m/sec에서 압축 변형은 현저히 증가하게 된다. 하단근의 최대 인장변형은 철근사용시에는 거의 충돌속도와 선형관계에 있다. AFRP 로트 사용시에는 충돌속도 2m/sec에서 변곡점을 보이고 있지만, 이후에는 선형적이다.
- 4) 본 실험의 범위내에서 AsC-SLB의 균열성상은 철근을 이용한 슬래브와 거의 동일하다.
- 5) 중량 가속도에서 산정한 최대 충격력은 보강근의 종류에 관계없이 거의 일정하며, 충돌속도에 비례하여 증대한다. 탄성 접촉론에 근거하여 충격력 산정식은 이들 값의 하한치가 얻어진다는 것을 알 수 있었다.

감사의 글

이 논문은 인천대학교 2017년도 자체연구비 지원에 의하여 수행한 것으로 이에 감사드립니다.

References

[1] ASTM C 1609/C 1609M-05. (2006). "Structural Test Method for Flexural Performance of Fiber Reinforced Concrete (using Beam with Third Point Loading).", American Society of Testing and Materials.

- [2] ASTM C 1018-97. (1998). "Structural Test Method for Flexural Toughness and First Crack Strength of Fiber Reinforced Concrete (using Beam with Third Point Loading).", American Society of Testing and Materials.
- [3] Jeon, I.K., Jeon, C.K. (2010). "Manufacture and Construction Technology of Polyamide Fiber Reinforced Shotcrete in Tunnel.", Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection, Vol.14, No.6, pp.41-45.
- [4] Kim, Y.G., Kim, S.C., Kim, M.H. (2012). "A Study on the Dynamic Properties of Cement Mortar with Recycled PET Fiber.", Journal of the Korea Institute of Building Construction, Vol.2, No.4, pp.113-122.
- [5] KS F 2566:2000. (2000). "Test Method for Flexural Toughness of Steel Fiber Reinforced Concrete.", Korean Standards Association.
- [6] Lee, I.C., Kim, H.S., Nam, J.S., Kim, S.B., Kim, G.Y. (2013). "Evaluation of Protective Performance of Fiber Reinforced Concrete T-Wall.", Journal of the Korea Institute of Building Construction, Vol.13, No.5, pp.465-473.
- [7] Lee, I.W., Kim, S.H., Choi, T.J., Hong, B.T., Kim, H.H., Won, J.P. (2011). "Fracture Performance of Structural Synthetic Fiber Reinforced Concrete.", Conference paper on Korea Concrete Institute, Vol.23, No.2, pp.103-104.
- [8] Mobasher, B., Shah, S.P. (1990). "Interaction between fibers and the matrix in glass fiber reinforced concrete, Thin-Section Fiber Reinforced Concrete and Ferrocement", SP 124, American Concrete Institute, Detroit, MI, 1990, pp.137-156.
- [9] S.J Park. (2015). "Dynamic Characteristics of Cross-Ply Laminated Shells", J. of Korea Society of Disaster Information, Vol. 11 No.4 pp.527-533
- [10] S.J Park. (2015). "Dynamic Characteristics of Laminated Shells by Finite Strip Method", J. of Korea Society of Disaster Information, Vol. 11 No.4 pp.534-541